

**REFERAT GENERALNY DO REFERATÓW PODSEKCJI II.2  
SMART GRID****Désiré Dauphin Rasolomampionona**

Instytut Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej

Tytuł podsekcji „Smart Grids” jest bardzo szeroki i obejmuje wiele zagadnień. Wśród nadesłanych referatów dominują tematy związane bezpośrednio z tematyką „Smart Grid” lecz opisujące zagadnienie w sposób ogólny (cztery referaty). Cztery referaty są powiązane z tematyką magazynowania energii elektrycznej. Jeden referat dotyczy pojazdu ekologicznego. Jeden referat dotyczy zagadnień związanych ze źródłami fotowoltaicznymi. Zaznaczyć należy, że ostatnie tematyki są również powiązane z głównym tematem Smart Grid.

**GRUPA TEMATYCZNA „SMART GRID”**

**Referat nr 2.2.1** - Wiesław Nowak, Wojciech Bąchorek, Szczepan Moskwa, Rafał Tarko, Waldemar Szpyra, Mariusz Benesz, Andrzej Makuch, Jarosław Łabno, Paweł Mazur „*Model systemu Smart Grids zarządzania dystrybucją energii elektrycznej*”.

Pierwszy referat z 1 grupy tematycznej dotyczy możliwości wdrażania rozwiązań typu *Smart Grids* w konkretnej sieci rozdzielczej. W tym referacie omawiano najważniejsze aspekty zastosowania rozwiązań typu *Smart Grids* czyli

- bilansowanie sieci dystrybucyjnej w kontekście lokalizacji urządzeń pomiarowych, a także oraz opomiarowanie niezbędne dla pozostałych obszarów opracowanej koncepcji sieci *Smart Grids*. Jest to aspekt związany z zastosowaniem systemu pomiarowego do celów bilansowych. Koncepcja jest oparta na instalacji liczników typu *smart* we wszystkich stacjach SN/nN po stronie niskiego napięcia oraz w GPZ na poszczególnych ciągach liniowych, za pośrednictwem przekładników (pomiar pośredni). Ich instalacja stanowić będzie uzupełnienie wdrażanego systemu zdalnego opomiarowania odbiorców AMI (ang. *Advanced Metering Infrastructure*).
- optymalizacja pracy sieci poprzez rekonfigurację układu z wykorzystaniem napowietrznych łączników samoczynnych. Po przyłączeniu do sieci średniego napięcia lokalnych źródeł energii autorzy stwierdzili, że można ograniczyć straty mocy i energii w wyniku zmian punktów rozcięć za pomocą łączników zdalnie sterowanych. Lokalizację tychże łączników można określić drogą optymalizacyjną.
- automatyzacja sieci w zakresie zabudowy różnego rodzaju automatyk, tutaj autorzy skupili się głównie na rozproszonej automatyce zabezpieczeniowej. Autorzy proponują aby poprawić niezawodność układów automatyki za pomocą urządzeń umożliwiających rozproszenie układów elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, którymi są między innymi reklozery, czyli samoczynne napowietrzne wyłączniki SN wyposażone w odpowiednie układy zabezpieczeniowe.

- dynamiczne zarządzanie przepływami energii elektrycznej w sieciach WN i SN. Ze względu na trudność w budowie nowych lub przebudowie istniejących linii elektroenergetycznych, przy większym zapotrzebowaniu na przesłanie większej mocy przez niektóre linie sieci elektroenergetycznej, w tym sieci dystrybucyjnej średniego i wysokiego napięcia, autorzy proponują dwa podejścia do określania i prognozowania dynamicznej obciążalności linii. Pierwsze, które wykorzystuje modele termiczne linii elektroenergetycznych oraz drugie – oparte o monitoringu podstawowych parametrów istotnych dla określenia obciążalności (w sposób pośredni lub bezpośredni). Zastosowanie systemu ciągłego monitoringu obciążalności linii pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie możliwości przesyłowych istniejących linii, zwiększenie pewności zasilania, lepsze wykorzystanie zdolności wytwórczych lokalnych źródeł energii (w przypadku, gdy występują ograniczenia wynikające z obciążalności linii) oraz uniknięcie kosztownych inwestycji.
- wymagania dla urządzeń łączności celem zapewnienia transmisji danych dla prawidłowego funkcjonowania *Smart Grids*. Autorzy proponują wykorzystać sieć LAN, sieć światłowodową, łącza PLC MV) oraz łącza GPRS (z pozostałych stacji SN/nN) do dwustronnej i niezawodnej transmisji danych.

Wobec w/w propozycji autorów powstają następujące pytania:

- czy są jakieś specjalne wymagania (techniczne, prawne) dotyczące rozpowszechniania technologii inteligentnego opomiarowania u odbiorców? jeżeli są czy na dzień dzisiejszy istnieje realna możliwość ich wdrożenia w ciągu najbliższych lat?
- Co należy brać pod uwagę przy optymalizacji pracy sieci poprzez rekonfigurację układu z wykorzystaniem napowietrznych łączników samoczynnych?
- Czy nowa filozofia dotycząca automatyk w nowych warunkach pracy SEE nie będzie kolidowała z dotychczasową filozofią projektowania i nastawienia urządzeń zabezpieczeniowych?

**Referat nr 2.2.2 - Krzysztof Billewicz „Problematyka bezpieczeństwa informatycznego w inteligentnych sieciach”**

Drugi referat z 1 grupy tematycznej dotyczy zagrożeń systemów informatycznych i możliwości ingerencji cyberprzestępców. Praca sieci inteligentnych wymaga odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, ustalonego za pomocą spójnych, precyzyjnych i zgodnych z obowiązującym prawem przepisów, reguł i procedur. Jest to polityka bezpieczeństwa w danym kraju lub danej dziedzinie. Zarządzanie i eksploatawanie inteligentnych sieci w przyszłości będzie wymagać powszechnego zastosowania inteligentnych urządzeń oraz zaawansowanego oprogramowania. Należy zatem tworzyć odpowiednie warunki na prawidłowe funkcjonowanie takich sieci, ich bezpieczeństwa oraz ochrony przed atakami hackerów. Autor artykułu omawia problematykę bezpieczeństwa przyszyłych sieci inteligentnych pod kątem:

- Dostępu poszczególnych użytkowników do aplikacji,
- Strategicznego znaczenia inteligentnych sieci w kwestii bezpieczeństwa energetycznego,
- Ochrony prywatności odbiorców,

Rodzą się następujące pytania:

- czy restrykcje w polityce bezpieczeństwa dotyczących urządzeń nie jest przeszkodą w pracy sieci inteligentnych?
- czy nie istnieje ryzyko, że procedury weryfikacji i sprawdzenia na różnych poziomach warstw logicznych systemów informatycznych mogą doprowadzić do paraliżu SEE?

**Referat nr 2.2.3** - Piotr Helt, Dariusz Baczyński, Marek Maniecki, Krzysztof Kołodziejczyk  
*„Funkcjonalność systemu ElGrid do optymalizacji pracy i rozwoju rozdzielczych sieci elektroenergetycznych”*

Trzeci referat z 1 grupy tematycznej dotyczy systemu ElGrid opracowanego przez zespół Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. Jest to system, który służy do wspomagania rozwoju i optymalizacji pracy rozdzielczych sieci energetycznych z generacją rozproszoną, magazynami energii i odbiorami sterowanymi. System powstał z myślą o luce wynikającej z braku danych o sieci rozdzielczej SN i nn – zarówno o strukturze jak i o jej stanie. Biorąc pod uwagę te czynniki opracowany system charakteryzuje się następująco:

1. System jest oparty na uniwersalnej bazie danych służących różnym rodzajom obliczeń i analiz. System ma charakteryzować się „elastycznością” wymagań dostępu do danych – właściwe rozwiązanie zależy od zakresu merytorycznego dostępnych danych.
2. System rozwija się wraz z użytkownikiem dostosowując się do zwiększania szczegółowości danych i zwiększanych wymagań.
3. System jest niezależny od systemów zasilających danymi np.: różne systemy GIS, SCADA, obliczeń technicznych itp. Interfejs do tych systemów oparty jest na formacie CIM, zapewniając efektywną z nimi współpracę.
4. Silniki obliczeniowe mają postać dostosowaną do bieżącej szczegółowości i rodzajów danych dostępnych do obliczeń.

Powstają następujące pytania:

- Jaki algorytm jest stosowany (jakie algorytmy są stosowane) do optymalizacji punktów podziału w sieci SN, nN i optymalizacji poziomów napięcia?
- Czy planuje się sprzęganie systemu ElGridz układami telekomunikacyjnymi, których rola w będzie coraz istotniejszy pracy przyszłych sieci inteligentnych?
- Czy autorzy widzą możliwość sprzęgania systemu, który zbudowali z nowoczesnymi systemami zarządzania procesami telekomunikacyjnymi między innymi automatykami typu SCADA, automatyka zabezpieczeniowa itp.?
- Jak wygląda (lub jak będzie wyglądać) aspekt prawno-organizacyjny wdrażania systemu w praktyce?

**Referat nr 2.2.4** - Piotr Czerwonka *“CIM in Smart Grid implementation - usage scenarios”*

CIM jest rozwiązaniem opisowym, którego głównym celem jest prezentowanie topologii dowolnego systemu w jednolity, uniwersalny sposób. Osoba zarządzająca systemem informatycznym nie widzi poszczególnych elementów obiektu, postrzegając system jako całość, ale jednocześnie widzi fizyczne zależności zachodzące między różnymi zainstalowanymi w sieci urządzeniami.

Autor artykułu określa podstawowe założenia mające na celu tworzenie modelu opisowego dla elementów sieci inteligentnych. Korzystając ze standardu CIM ułatwiony jest proces wymiany informacji między poszczególnymi obiektami SEE.

Informacje przedstawione w tym artykule są ogólnie znane. Jest kilka pozycji literatury, które autor mógł również uwzględnić w opisie.

Znacznie więcej informacji nt. konkretnych możliwości zastosowania modelu CIM w zarządzaniu sieciami inteligentnymi można znaleźć m.in. w pozycji [1-3]. Kilka wad modeli CIM z powodu wielości możliwych interpretacji modeli opartych na standardzie XML można znaleźć np. w pozycji [1], a wymiana danych w modelach dynamicznych za pomocą standardu CIM jest szczegółowo opisana w [2].

Jest również bardzo ciekawy artykuł, w którym pracownicy ABB przedstawili pewne niezgodności między standardem stosowanych w modelach opartych na IEC 61850 a CIM. Czy autor może się ustosunkować do wątpliwości przedstawionych w [1] i [3]?

- [1] Neumann, S.A.; Nielsen, T.D.; CIM interoperability challenges, 2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Page(s): 1 – 5.
- [2] Becker, D.; Saxton, T.L.; Goodrich, M., CIM standard for dynamic model exchange, 2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Page(s): 1 – 3.
- [3] O. Preiss, T. Kostic, “Unified information models in support of location transparency for future utility applications,” 39<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 4-7 January 2006, Kauai, Hawaii, USA.

### **Referat nr 2.2.5 - Marta R. Jabłońska, Jerzy S. Zieliński „Electric vehicles’ influence on Smart Grids”**

Jedyny referat z grupy tematycznej „Pojazdy Ekologiczne” dotyczy historii ewolucji tych pojazdów na przestrzeni ostatnich kilku, kilkunastu lat. Autorzy przedstawili przegląd aktualnie stosowanych rozwiązań, informacje podstawowe nt. procesu ładowania i rozładowania baterii stosowanych w pojazdach elektrycznych oraz dosyć obszerny przegląd literatury dotyczącej uwzględnienia procesu ładowania i rozładowania baterii w pracy sieci inteligentnych.

Jest trochę niedociągnięć redakcyjnych w tym artykule. Już na początku razi obecność wskazówek dla autorów, których autorzy nie usunęli „Treść rozdziału. Tu należy stosować styl „Treść rozdziału” – czyli: Czcionka Times New Roman, rozmiar 12 pt, wyjustowany, pierwszy wiersz przesunięty o 1,25 mm.”

Trochę informacji można znaleźć nt. cykli ładowań baterii stosowanych w samochodach ekologicznych. Osobny punkt autorzy poświęcili temu zagadnieniu.

Drugim punktem, któremu również poświęcone dużo wagi jest wpływ procesów (cykli) ładowania pojazdów ekologicznych na pracę sieci inteligentnych. Więcej informacji dotyczących pojęcia V2G (ang. *Vehicle-to-Grid*) autorzy umieścili w tym punkcie.

Najczęściej stosowane zasobniki energii w pojazdach hybrydowych napędzonych za pomocą ogniw paliwowych (FCHEV) są baterie, superkondensatory lub kombinacja obu rodzajów ogniw. Baterie mają dużą gęstość energii lecz ograniczoną gęstość mocy, a superkondensatory odwrotnie. Oba rodzaje ogniw się uzupełniają nawzajem i pozwalają uzyskać lekki, efektywny układ magazynowania energii o dużej zarówno gęstości energii jak i mocy [1]–[4]. Stos ogniw paliwowych składa się z Ogniw paliwowych z membraną do wymiany protonów, charakteryzujących się niską temperaturą pracy, krótkim czasem rozruchu, niewielką masą oraz gabarytami w porównaniu z innymi ogniwami. Obecnie zastosowania idą w kierunku związanym z wykorzystaniem tych ogniw do napędzania autobusów i samochodów. Jako źródła wytwarzania energii, umożliwiają osiągnięcie mocy ok. 200 kW przy sprawności rzędu 34%. Ich wadą jest możliwość szybkiego skracania ich czasu życia przy nieodpowiednim procesie ładowania i rozładowania. Należy zatem odpowiednio zaprojektować zarówno baterie jak i superkondensatory, pod kątem pojemności i wymiarów aby uzyskać optymalną wydajność pracy zespołu ogniw paliwowych [5-7].

### **Pytania**

1. Wiadomo, że w przypadku pojazdów elektrycznych, bateria będzie najważniejszym i najdroższym elementem pojazdu. Czy autorzy mogliby coś powiedzieć nt.

aktualnego stanu technologii jeżeli chodzi o przedłużenie procesu starzenia się, czyli przedłużenie czasu życia baterii stosowanych w pojazdach elektrycznych lub hybrydowych?

2. Biorąc pod uwagę, że cena baterii jest w tej chwili największą przeszkodą przed masowym korzystaniem z tych pojazdów, jakie są aktualne szanse na wdrożenie tych samochodów do szerszego użytkowania?

- [1] J. Bauman and M. Kazerani, "A comparative study of fuel cell- battery, fuel-cell-ultracapacitor, and fuel-cell-battery-ultracapacitor vehicles," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 2, pp. 760–769, Mar. 2008.
- [2] L. Gao, A. Dougal, and S. Liu, "Power enhancement of an actively controlled battery/ultracapacitor hybrid," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 20, no. 19, pp. 236–243, Jan. 2005.
- [3] A. C. Baisden and A. Emadi, "ADVISOR-based model of a battery and an ultra-capacitor energy source for hybrid electric vehicles," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 53, no. 1, pp. 199–205, Jan. 2004.
- [4] A. A. Ferreira, J. A. Pomilio, G. Spiazzi, and L. de Araujo Silva, "Energy management fuzzy logic supervisory for electric vehicle power supplies system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 1, pp. 107–115, Jan. 2008.
- [5] H. Douglas and P. Pillay, "Sizing ultracapacitors for hybrid electric vehicles," in *Proc. 31st Annu. Conf. IECON*, Nov. 2005, pp. 1599–1604.
- [6] E. Schartz and P. O. Rasmussen, "Design and comparison of propulsion systems for a fuel cell hybrid electric vehicle," in *Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting*, Edmonton, AB, Canada, Oct. 2008.
- [7] E. Schartz, A. Khaligh, and P. O. Rasmussen, "Investigation of battery/ ultracapacitor energy storage rating for a fuel cell hybrid electric vehicle," in *Proc. IEEE VPPC*, Harbin, China, Sep. 2008, pp. 1–6.

**referat nr 2.2.6** - I. Wasiak, R. Pawełek, R. Mieński, P. Gburczyk „*Mikrosystem elektroenergetyczny w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej - doświadczenia eksploatacyjne*”

Jest to czwarty referat z grupy tematycznej *Smart Grid*. Artykuł zawiera strukturę oraz warunki pracy laboratorium generacji rozproszonej w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej. Laboratorium powstało w wyniku udziału w projekcie europejskim realizowanym we współpracy międzynarodowej w ramach V Programu Ramowego Unii Europejskiej (projekt DISPOWER „*Distributed Generation with High Penetration of Renewable Energy Sources*”). Laboratorium jest wyposażone w następujące grupy urządzeń:

- odnawialne źródła energii,
- źródła energii wykorzystujące paliwa energetyczne,
- dodatkowe urządzenia wspomagające pracę mikrosystemu.

Artykuł zawiera bardzo suchy opis elementów, z jakich się składa laboratorium. Opisane są takie szczegóły jak np. nowoczesne rozwiązania typu - Sterowanie pracą mikroturbiny za pomocą panelu wyświetlacza umieszczonego na stronie frontowej mikroturbiny, lub zdalnie (poprzez Internet) z wykorzystaniem fabrycznego programu komputerowego Capstone (CRMS).

Jest kilka sprzeczności w przedstawieniu tego artykułu. Z jednej strony przedstawiono dużo szczegółów nt. wyposażenia a z drugiej strony nie ma żadnych założeń nt. przeprowadzonych badań. Jest bardzo dużo wyników badań w postaci wykresów ale komentarzy do owych wyników niewiele.

Bardzo proszę autorów o komentarz w tej sprawie.

**referat nr 2.2.7** - Antoni Dmowski, Mariusz Kocęba, Łukasz Roślaniec „*Optymalne wykorzystanie ogniw fotowoltaicznych – algorytm śledzenia maksymalnego punktu pracy*”

Do głównych gałęzi badań dotyczących źródeł energii elektrycznych wykorzystujących ogniwa fotowoltaiczne należą:

- badania mające na celu opracowanie efektywniejszych technologii fotowoltaicznych,
- badania poszukujące nowych rozwiązań przekształtników energoelektronicznych,

- badania dążące do opracowania udoskonalonych algorytmów śledzenia maksymalnego punktu mocy MPPT (ang. *maximum power point tracking*). Charakterystyka częściowo zacienionego modułu posiada dwa maksima lokalne, co dla wielu algorytmów MPPT jest dodatkowym problemem. Nie można się bowiem ograniczyć do poszukiwania maksimum lokalnego, gdyż może ono nie być MPP.

W literaturze opisano szeroko wiele algorytmów MPPT, które wykorzystują metody:

- „off-line” polegające na wyposażeniu układu energoelektronicznego w dodatkowe pomiary (np. takie jak: temperatura, natężenie światła, prąd zwarcia panelu nie biorącego udziału w generacji) do wyznaczenia położenia punktu MPP baterii słonecznej, W referacie tym autorzy postanowili opisać zaproponowany przez nich algorytm typu „on-line”.
- „on-line” polegające na wykorzystaniu jedynie pomiaru prądu i napięcia baterii słonecznej do wyznaczenia położenia MPP.

Przedstawiony referat przedstawia jedną z metod poprawy efektywności ogniw słonecznych. Zaprezentowana w nim metoda powinna pozytywnie wpłynąć na produktywność instalacji fotowoltaicznych mimo, że do implementacji rozwiązań nie użyto wyrafinowanych metod pomiarowych.

Pod kątem wielkości źródeł energii elektrycznych wykorzystujących ogniwa fotowoltaiczne metody MPPT można ogólnie sklasyfikować na dwie grupy – grupa dużych źródeł, w którym do realizacji algorytmu MPPT konieczne jest zastosowanie takich procesorów jak DSP lub mikrokontrolerów. O tym jest mowa m.in. w literaturze [1-3]. Grupa małych źródeł PV, w której nie stosuje się sterowników cyfrowych. algorytm MPPT jest mniej dokładny w tym przypadku lecz koszty jego implementacji i pracy są również mniejsze [4,5]

Wraz z wzrostem zainteresowania technologią zbioru w ciągu ostatnich lat pojawia się trzecia grupa metod MPPT, która charakteryzuje się znacznie większą dokładnością niż w przypadku obu wcześniej wymienionych grup metod. Śledzenie mocy odbywa się z dokładnością do kilku mW i odbywa się na poziomie poszczególnych komórek fotowoltaicznych.

Pod kątem rozwiązań technicznych można wymienić następujące metody MPPT [5]:

- Metoda *hill-climbing*, za pomocą której oblicza MPP przez pomiar gradientu mocy wyjściowej w zależności od napięcia wyjściowego [6],
- Metoda P&O (ang. *perturb and observe*) [7], która polega na nieustannym wprowadzeniu małego zakłócenia w celu wykrywania MPP przez spowodowanie zmiany napięcia,
- Metoda inkrementacji konduktancji (ang. *incremental conductance*) [9], która jest oparta na obserwacji kształtu krzywej MPP. Metoda ta polega na przeprowadzeniu prostego procesu obliczeniowego, za pomocą którego punkt operacyjny jest na bieżąco strojony i nastawiony. Jest to jedna z najdokładniejszych metoda śledzenia maksymalnego punktu MPP.

Podstawową wadą w/w metod MPPT jest możliwość śledzenia tylko jednego maksimum na raz, co w przypadku gdy punkt ten znajduje się w obszarze cienia może spowodować przerwanie procesu śledzenia. Stąd kolejni autorzy zaproponowali nowsze rozwiązania MPPT [11] – [18].

Z nowszych metod wykorzystujących metody MPPT można wymienić następujące:

- Autorzy Kobayashi i inni [11] oraz Iriszawa i inni [12] zaproponowali dwuetapową metodę śledzenia szczytu globalnego. W pierwszym etapie optimum układu PV przesuwana się w okolicach rzeczywistego punktu maksymalnego MPP. Potem w drugim etapie osiągnięto rzeczywisty punkt. Wadą tej metody jest to, że w przypadku niestabilnego stopnia nasłonecznienia proces śledzenia punktu może ulec zakłóceniu.
- Autorzy Miyatake i inni [13] zastosowali algorytm wyszukiwania liniowego do wyznaczania maksimum globalnego. Wadą tej metody jest to, że nie we wszystkich warunkach pracy układu PV możliwe jest wyznaczanie punktu optymalnego.
- Z nowszych metod można wymienić również m.in. metodę kompensacji mocy [15], za pomocą której można „wyłączyć” moduły PV znajdujące się w cieniu za pomocą diod, które uruchamiają się w zależności od stopnia nasłonecznienia w danym module.

Więcej informacji nt. innych metod MPPT można znaleźć w [16-18]

Proces wyszukiwania optimum należy uznać za zakończony gdy znalezione zostają wszystkie optima lokalne. Potem wystarczy tylko porównać je i wyłonić maksimum.

- [1] T. Noguchi, S. Togashi, and R. Nakamoto, “Short-current pulse-based maximum-power-point tracking method for multiple photovoltaic-and-converter module system,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 49, no. 1, pp. 217–223, Feb. 2002.
- [2] R.-J. Wai and W.-H. Wang, “Grid-connected photovoltaic generation system,” *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, vol. 55, no. 3, pp. 953–964, Apr. 2008.
- [3] W. Xiao, M. Lind, W. Dunford, and A. Capel, “Real-time identification of optimal operating points in photovoltaic power systems,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 4, pp. 1017–1026, Aug. 2006.
- [4] D.-Y. Lee, H.-J. Noh, D.-S. Hyun, and I. Choy, “An improved MPPT converter using current compensation method for small scaled PV-applications,” in *Proc. 18th Annu. IEEE APEC*, Feb. 9–13, 2003, vol. 1, pp. 540–545.
- [4] J. Enslin, M. Wolf, D. Snyman, and W. Swiegers, “Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 44, no. 6, pp. 769–773, Dec. 1997.
- [5] T. Esmar and P. Chapman, “Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, Jun. 2007.
- [6] C. Hua, J. Lin, and C. Shen, “Implementation of a DSP-controlled photovoltaic system with peak power tracking,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 45, no. 1, pp. 99–107, Feb. 1998.
- [7] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, “Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 20, no. 4, pp. 963–973, Jul. 2005.
- [8] T.-Y. Kim, H.-G. Ahn, S. K. Park, and Y.-K. Lee, “A novel maximum power point tracking control for photovoltaic power system under rapidly changing solar radiation,” in *Proc. IEEE ISIE*, 2001, vol. 2, pp. 1011–1014.
- [9] Y.-C. Kuo, T.-J. Liang, and J.-F. Chen, “Novel maximum-power-point-tracking controller for photovoltaic energy conversion system,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 48, no. 3, pp. 594–601, Jun. 2001.
- [10] C. Rodriguez and G. A. J. Amaratunga, “Analytic solution to the photovoltaic maximum power point problem,” *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, vol. 54, no. 9, pp. 2054–2060, Sep. 2007.
- [11] K. Kobayashi, I. Takano, and Y. Sawada, “A study on a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded isolation conditions,” in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meeting*, 2003, pp. 2612–2617.
- [12] K. Irisawa, T. Saito, I. Takano, and Y. Sawada, “Maximum power point tracking control of photovoltaic generation system under nonuniform insolation by means of monitoring cells,” in *Proc. 28th IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, 2000, pp. 1707–1710.
- [13] M. Miyatake, T. Inada, I. Hiratsuka, H. Zhao, H. Otsuka, and M. Nakano, “Control characteristics of a Fibonacci-search-based maximum power point tracker when a photovoltaic array is partially shaded,” in *Proc. IEEE Int. Power Electron. Motion Contr. Conf.*, 2004, vol. 2, pp. 816–821.
- [14] B. Bekker and H. J. Beukes, “Finding an optimal panel maximum power point tracking method,” in *Proc. 7th African IEEE Conf.*, 2004, pp. 1125–1129.
- [15] E. Karatepe, T. Hiyama, M. Boztepe, and M. Colak, “Voltage based power compensation system for photovoltaic generation system under partially shaded insolation conditions,” *Energy Convers. Manage.*, vol. 49, no. 8, pp. 2307–2316, Aug. 2008.

- [16] D. Nguyen and B. Lehman, "An adaptive solar photovoltaic array using model-based reconfiguration algorithm," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, pp. 2644–2654, Jul. 2008.
- [17] R. Gules, J. De Pellegrin Pacheco, H. L. Hey, and J. Imhoff, "A maximum power point tracking system with parallel connection for PV stand-alone applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, pp. 2674–2683, Jul. 2008.
- [18] H. Patel and V. Agarwal, "Maximum power point tracking scheme for PV systems operating under partially shaded conditions," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 4, pp. 1689–1698, Apr. 2008.

### Pytania

- Jakie jest miejsce zastosowanych przez panów metody w porównaniu z ostatnimi rozwiązaniami opisanymi w pozycjach [12-18]?
- Jak wpływa stopień nasłonecznienia lub cień na proces śledzenia punktu MPP w panów metodzie?

## GRUPA TEMATYCZNA „ZASOBNIKI ENERGII ELEKTRYCZNEJ”

### Bateryjne zasobniki energii

Ważnym zagadnieniem w badaniu bateryjnych zasobników energii jest optymalizacja ich lokalizacji oraz określenie parametrów gabarytowych. Również ważnym problemem przy projektowaniu jest koszt układu. Na lokalizację zasobników w systemie ma wpływ kilka czynników m.in. jaka będzie rola danego zasobnika w systemie, w którym będzie pracować itp. Są trzy obszary zastosowania zasobników energii elektrycznej, które są aktualnie przedmiotem badań w różnych ośrodkach naukowych to są: możliwości zastosowania baterii w pojazdach elektrycznych, zastosowanie baterii w domostwach i w przemyśle, baterie jako czynnik regulacji energii w farmach wiatrowych.

Bateryjne zasobniki energii mają szeroki zakres zastosowań. Można między innymi je wykorzystywać do zarządzania zarówno krótszymi procesami zarządzania energią jak szybka reakcja w zachowaniu odpowiedniej jakości energii (wyrównanie obciążenia (ang. *load leveling*), wyrównanie obciążeń szczytowych (ang. *peak shaving*), tworzenie rezerwy wirującej, zdolność samostartu (ang. *black-start capability*), bezprzerwowe zasilanie rezerwowe (ang. *uninterruptible power supply* - UPS), kompensacja migotania napięcia (ang. *flicker compensation*), kompensacja zapadów napięcia (ang. *voltage sag correction*), regulacja mocy w danym obszarze energetycznym (ang. *area regulation*), itp. [1], [2]) jak dłuższymi procesami (regulacja częstotliwości). Bateryjne zasobniki energii mogą zatem przyczynić się do poprawy stabilności SEE i do zwiększenia marginesu bezpieczeństwa. Można je również wykorzystać w integracji źródeł odnawialnych oraz wykorzystać do kompensacji niedoboru mocy w przypadku konieczności przełożenia prac związanych z rozbudową sieci elektroenergetycznej.

Możliwości zastosowania bateryjnych zasobników energii przedstawiono m.in. w [1]. Jeżeli baterie spełniają określonych warunków eksploatacyjnych to mogą interweniować jako zasoby energetyczne w ramach programu zarządzania usługami systemowymi. Podczas okresu, w którym częstotliwość przekraczałaby wartość nominalną, zasobniki energii mogą pobierać mocy i odwrotnie. A ponieważ bateryjne zasobniki energii składają się głównie z elementów statycznych ich odpowiedź jest znacznie szybsza niż reakcja innych elementów SEE lub inne zasobniki energii. Przykłady zastosowania bateryjnych zasobników energii w regulacji częstotliwości można znaleźć m.in. w [3][4]. W [3] autorzy przedstawili sposób określenia parametrów zasobników energii (całkowita pojemność ładowania, maksymalna i minimalna pojemność ładowania baterii, moc ładowania) w przypadku ich zastosowania w regulacji pierwotnej. Również odpowiedni algorytm regulacji z uwzględnieniem ograniczeń ładowania (ang. *state of charge limitations*) określono w [3].

- [1] A. Oudalov, D. Chartouni, C. Ohler, and G. Linhofer, "Value analysis of battery energy storage applications in power systems," in *Proc. 2nd IEEE PES Power Systems Conf. Expo.*, Atlanta, GA, 2006, pp. 2206–2211.



- [2] V. T. Sulzberger and I. Zeinoski, "The potential for application of energy storage capacity on electrical utility systems in the united statespart I," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-95, pp. 1872–1881, Nov. 1976.
- [3] A. Oudalov, D. Chartouni, and C. Ohler, "Optimizing a battery energy storage system for primary frequency control," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 3, pp. 1259–1266, Aug. 2007.
- [4] UCTE. [Online]. Available: <http://www.ucte.org>.

**Referat nr 2.2.8** - I. Wasiak, R. Pawełek, R. Mieński „Zasobniki energii w mikrosystemach elektroenergetycznych”

Jest to pierwszy referat z podsekcji „zasobniki magazynowania energii”. W pierwszej części referatu omawiany jest przegląd zastosowań zasobników w mikrosystemach elektroenergetycznych w obszarze wytwarzania, przesyłu i użytkowania energii elektrycznej. Dalsza część referatu omawia dwa wybrane zastosowania, które zdaniem autorów są istotne z punktu widzenia funkcjonowania mikrosystemu – wyrównywania obciążeń i zapewnienia jakości energii elektrycznej. Autorzy przedstawiali algorytm sterowania zasobnikiem do jednoczesnej realizacji funkcji zarządzania energią oraz regulacji napięcia w węzle przyłączenia. Dołączono model węzła mikrosystemu z zasobnikiem oraz wyniki badań symulacyjnych.

Autorzy zwrócili uwagę na to, że „Badania wykonane dla wybranych linii elektroenergetycznych [9] wykazały, że energia przesyłana przez linię stanowi nie więcej niż 68% zdolności przesyłowych wynikających z mocy maksymalnej. Zastosowanie zasobników umożliwia wyrównanie obciążenia sieci i zmniejszenie obciążenia szczytowego. Efekt ten jest szczególnie istotny, jeśli sieć pracuje na granicy swoich możliwości.”

Układ przyjęty przez autorów składa się z „źródła energii elektrycznej o stochastycznym przebiegu mocy generowanej, przyłączonego do węzła sieci oraz elektrochemicznego zasobnika energii elektrycznej (bateria akumulatorów) połączonego z siecią poprzez inwertor PWM”. Jest to typowy układ uproszczony, odpowiadający typowemu układowi spotykanemu w literaturze, w którym regulacja mocy jest realizowana właśnie za pomocą bateryjnych zasobników energii.

Jest kilka pozycji literatury, w których autorzy przedstawiają możliwości zastosowania bateryjnych zasobników energii w regulacji mocy. Prosty algorytm ładowania i rozładowania baterii w przypadku zastosowania źródeł GR typu elektrownia słoneczna lub farmy wiatrowe przedstawiono w [4]–[8]. Konieczna jest implementacja odpowiedniego algorytmu sterowania procesu ładowania i rozładowania energii baterii w tym przypadku. O tym można przeczytać w literaturze [1 - 3].

- [1] R. Hara, H. Kita, T. Tanabe, H. Sugihara, A. Kuwayama, and S. Miwa, "Testing the technologies," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 7, no. 3, pp. 77–85, May/June. 2009.
- [2] K. Yoshimoto, T. Nanahara, and G. Koshimizu, "New control method for regulating state-of-charge of a battery in hybrid wind power/battery energy storage system," in *Proc. IEEE PES Power Systems Conf. and Expo.*, Oct. 29–Nov. 1 2006, pp. 1244–1251.
- [3] C. Banos, M. Aten, P. Cartwright, and T. C. Green, "Benefits and control of STATCOM with energy storage in wind power generation," in *Proc. Inst. Elect. Eng. Int. Conf. AC and DC Power Transmission*, Mar. 28–31, 2006, pp. 230–235.
- [4] M. Mehos, D. Kabel, and P. Smithers, "Planting the seed," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 7, no. 3, pp. 55–62, May/June. 2009.
- [5] E. Muljadi, C. P. Butterfield, R. Yinger, and H. Romanowitz, "Energy storage and reactive power compensator in a large wind farm," in *Proc. 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, Reno, NV, Jan. 5–8, 2004.
- [6] A. Arulampalam, M. Barnes, N. Jenkins, and J. B. Ekanayake, "Power quality and stability improvement of a wind farm using STATCOM supported with hybrid battery energy storage," *Proc. Inst. Elect. Eng. Generation, Transmission and Distribution*, vol. 153, no. 6, pp. 701–710, Nov. 2006.
- [7] J. Zeng, B. Zhang, C. Mao, and Y. Wang, "Use of battery energy storage system to improve the power quality and stability of wind farms," in *Proc. Int. Conf. Power System Technology*, 2006, pp. 1–6.
- [8] H. T. Le, S. Santoso, and W. M. Grady, "Development and analysis of an ESS-based application for regulating wind farm power output variation," in *Proc. IEEE Power Energy Soc. Gen. Meeting*, Calgary, Alberta, Canada, Jul. 26–30, 2009.

[9]. Veldman E., Gibescu M., Slootweg J.G., Kling W.L.: Technical Benefits of Distributed Storage and Load Management in Distribution Grids. IEEE Power Tech Conference, Bucharest, Romania, 28.06-2.07. 2009.

Powstają zatem następujące pytania:

1. czy wprowadzenie tych zasobników energii nie ma wpływu na stabilność pracy SEE poprzez chwilowe oddziaływanie na jego parametry kluczowe, a mianowicie chwilowe wahnięcie napięcia i częstotliwości,
2. układ zaproponowany przez autorów jest bardzo uproszczony. W rzeczywistości praca SEE odbywa się w sieciach wielokrotnie zamkniętych, w których niezbilansowania mocy mogą być nieco bardziej skomplikowane niż w przykładzie przedstawionym przez autorów. Czy w tym przypadku nie będzie konieczności implementacji odpowiedniego algorytmu sterowania procesu ładowania i rozładowania energii baterii nawet w przypadku chwilowego zaburzenia bilansu mocy?

### **Referat nr 2.2.10** - P. Biczel, M. Kłos, M. Koniak „Wybrane aspekty sterowania zasobnikami energii”

Jest to trzeci referat podsekcji „Zasobniki energii elektrycznej”. Autorzy wprowadzają najpierw w istniejące sposoby regulacji występujące w systemie elektroenergetycznym. Opisana jest możliwość pracy bateryjnych zasobników energii zarówno jako element regulacji wtórnej jak i pierwotnej. Opracowanie takiej strategii jest niezbędne ze względu na ochronę baterii przed zbyt głębokim rozładowaniem lub przeładowaniem. Na koniec autorzy prezentuje przykładowy algorytm pracy baterijnego zasobnika energii jako elementu mikrosieci prądu stałego.

Autorzy napisali, że „właściwie dobrane i prawidłowo sterowane bateryjne zasobniki energii mogą zapewnić

- zdolność do pracy w kilku cyklach na dobę w celu pokrycia obciążeń szczytowych,
- możliwość szybkiego wejścia do pracy jak i jej przerwania,
- zdolność do udziału w automatycznej regulacji częstotliwości i mocy (ARCM), wymagająca, szybkich i dużych zmian mocy,
- możliwość dociążenia systemu podczas dolin zapotrzebowania.”

Jest to stwierdzenie prawdziwe lecz rola w/w zasobników jest raczej drugorzędna w porównaniu z innymi automatykami, które są obecne w SEE. Można cytować chociażby elektrownie szczytowo-pompowe, pomimo, że ich rola jest nieco ograniczona gdyż ich „czas odpowiedzi na sygnał sterujący jest znacznie krótszy oraz będą mogły być bezpośrednio przyłączane do wybranych węzłów sieci” jak napisali sami autorzy.

Artykuł zawiera również opis regulacji pierwotnej i wtórnej (częstotliwości przypuszczam?). Nie bardzo widać jednak jaka jest rola bateryjnych zasobników energii w tej dziedzinie. W ramach dyskusji autorzy mogliby przedstawić krótki komentarz.

Pod koniec artykułu autorzy przedstawili dosyć rozbudowany schemat blokowy algorytmu sterowania lokalnego, uwzględniającego ograniczenie maksymalnego dopuszczalnego prądu przekształtnika przy określeniu uchybu napięcia wraz z jego znakiem. Artykuł nie zawiera niestety żadnego przykładu zastosowania tego algorytmu (nawet w wersji symulacyjnej). Potrzebny jest również komentarz w tej sprawie.

### **Referat nr 2.2.9** - Józef Paska, Mariusz Kłos, Paweł Antos, Grzegorz Błajszczak „Koncepcja zasobnika energii elektrycznej o zdolności magazynowania 50 MWh”

## **Referat nr 2.2.11 - Józef Paska, Mariusz Kłós „Kryteria oceny i wyboru urządzeń i układów do magazynowania energii elektrycznej”**

Oba referaty omawiają tę samą tematykę a więc będą razem omawiane. To są drugi i trzeci referat z podsekcji „zasobniki energii”. W obu artykułach przedstawiono technologie magazynowania energii elektrycznej. Na początku autorzy przedstawili kilka kryteriów podziału urządzeń MEE magazynowanie energii elektrycznej (MEE). Jest to podział ogólny technologii (z wykorzystaniem pola magnetycznego, elektrycznego, konwersja na energię chemiczną i mechaniczną):

- (Pneumatyczne zasobniki energii (ang. CAES - *Compressed Air Energy Storage*),
- Superkondensatory (ang. *Supercapacitors*)
- Kinetyczne zasobniki energii (ang. FES - *Flywheel Energy Storage*),
- Nadprzewodzące zasobniki energii (ang. SMES - *Superconducting Magnetic Energy Storage*),
- Odwracalne ogniwa paliwowe (ang. FC - *Fuel Cells*).

W artykule 2.2.9 dwie koncepcje zasobnika energii elektrycznej o zdolności magazynowania co najmniej 50 MWh, wykorzystującą magazynowanie elektrochemiczne (BES) oraz wykorzystującą magazynowanie w postaci sprężonego powietrza (CAES) są omawiane. Referat się składa z czterech części podstawowych:

- Przedstawienie technologii zasobników energii elektrycznej,
- Obszary zastosowań zasobników energii elektrycznej,
- Koncepcja bateryjnego zasobnika energii elektrycznej,
- Koncepcja pneumatycznego zasobnika energii elektrycznej.

Odnosnie pneumatycznych zasobników energii elektrycznej typu CAES niewiele jest informacji w literaturze. Można zacytować pozycję [1], w której autorzy opisują różne rozwiązania magazynowania energii łącznie z zasobnikami typu CAES. Zanim można pozycję [2], w której opisano aspekt ekonomiczny stosowania innych niż wodnych zasobników energii. W pozycji [3] autorzy opisali współpracę hybrydowego układu składającego się z zasobnika typu CASE a elektrowni wiatrowej. Optymalizacja pracy tego układu hybrydowego przedstawiono z kolei w [4]. Z tej samej serii artykułów warto również zwrócić uwagę na pozycję [5], w której opisano pracę dużej farmy wiatrowej oraz aspekt ekonomiczny stosowania zasobnika typu CAES, zwłaszcza w przypadku wystąpienia ograniczeń przesyłu w obszarze obsługiwanym przez ową farmę wiatrową.

[1] L. A. Schienbein, “Energy storage and wind energy conversion systems,” *Int. J. Global Energy Issues*, vol. 9, no. 3, pp. 128–149, 1997.

[2] G. N. Bathurst and G. Strbac, “Value of combining energy storage and wind in short-term energy and balancing markets,” *Electric Power Syst. Res.*, vol. 67, no. 1, pp. 1–8, 2003.

[3] B. M. Enis, P. Lieberman, and I. Rubin, “Operation of hybrid windturbine compressed-air system for connection to electric grid networks and cogeneration,” *Wind Eng.*, vol. 27, no. 6, pp. 449–459, 2003.

[4] V. Marano, M. Moran, and G. Rizzo, “Optimal management of a hybrid power plant with wind turbines and compressed air energy storage,” presented at the Electric Power Conf., Atlanta, GA, 2006.

[5] R. Barth, H. Brand, D. J. Swider, C. Weber, and P. Meibom, “Regional electricity price differences due to intermittent wind power in Germany: Impact of extended transmission and storage capacities,” *Int. J. Global Energy Issues*, vol. 25, no. 3/4, pp. 276–297, 2006.

Pod koniec artykułu 2.2.11 autorzy przedstawili możliwości zastosowania pod kątem wsparcia odbiorcy końcowego, sektora wytwórczego, sektora przesyłu i dystrybucji energii elektrycznej, a potem jest stwierdzenie „Zważywszy na zaprezentowane wyżej właściwości

techniczno-ekonomiczne, definiujące możliwości aplikacyjne poszczególnych technologii MEE, wydaje się że na obecnym etapie rozwoju optymalnymi technologiami dla sektora elektroenergetycznego są:

- Bateriajne zasobniki energii (BES – Battery Energy Storage),
- Pneumatyczne zasobniki energii (CAES – Compressed Air Energy Storage).”

Potrzebny jest komentarz uzasadniający to stwierdzenie końcowe w świetle całej treści artykułu.