

Smart Grid – a Slogan or a Necessity?

Author

Zbigniew Szczerba

Keywords

Smart Grid, hybrid vehicles, electric power system

Abstract

The use of the terms “smart grid” and “intelligent power networks” should be limited to economically valid technological developments. This paper presents two electrical energy related “sets of elements”: an electric power system as an integrated set and a distributed set consisting of plug-in hybrid vehicles, such as passenger cars. As plug-in hybrid vehicles are becoming more and more popular, this paper introduces a concept of integrating such vehicles with the electric power system. A quantitative assessment of the benefits for the car owners and the electrical power system has been presented.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2014411

1. Origins

The notion of the Smart Grid was coined in the United States. Europeans tend to be fascinated by the material culture and the level of technology in that country. This widespread opinion should not apply to distribution grids. In 2010 I lived for over a month in a new district of modern detached houses in the suburbs of San Francisco. I was amazed by the low technical and aesthetic level of the distribution grid there. Examples of the grid’s solutions are shown in Fig. 1 and 2. Local residents fully agreed with my opinion that the reliability of the energy supply from the grid is low. The grid seems primitive compared to rural grids in Poland.

In that rich country its state and federal authorities became interested in the technical technological backwardness, government agencies were activated as well as the Electric Power Research Institute (EPRI) – well known in Poland – and the Smart Grid concept was conceived. These new smart grids were supposed to revolutionise the market. They began to reinvent grid self-maintainability¹ (which has long been known as anti-failure automation, ATS or reclosers) and self-restoration² (of broken wires and fallen poles too?). Behind it was an innovation of distribution grids adjustment for bi-directional transmission of energy from distributed sources (welcome to Poland to see the small hydropower plants up and running for many years, and recent windmills).

In line with the evolutionary trend of power systems development in European countries, they began to use state of the art means of information transmission and processing in distribution grids also in the USA.

Consistently with the US information and advertising style the notion of Smart Grid was coined.

2. Smart Grids in Poland

On the wave of fashion or technological trend the concept of the Smart Grid, translated into “inteligentne sieci elektroenergetyczne” reached Poland. This concept has been exploited in two different ways:

- By experienced power engineers to accelerate modernization of the power system, mainly distribution grids, applying constantly developed solutions in the domains of automation, computer science, data communications, metrology, customer service, etc. Experienced power engineers know that the power system is particularly receptive to the application of the latest solutions of control, protection, anti-failure, and restoration automation. They also know that the transition from dumb to smart grids has been a continuous process, without any qualitative leap, and is conditioned by consistent development of technical means of automation, information technology, measurements and telecommunications, and the continuous reduction of their prices.
- Whereas engineers unfamiliar with the current solutions and actual implementation of modern technical means to control the power system, including distribution grids translate unprofessionally and uncritically insightful articles on Smart Grid, operating advertising slogans, suited to distribution networks in the United States, and propose the implementation of solutions, sometimes completed a long time ago in Poland. They promote general headlines in an advertising way that avoid technical justifications and figures.

The Smart Grid concept, cleared of non-professional promotional and advertising ballast, should be used in Poland to introduce economically justifiable technological advancement.

¹ M. Samotyj, *Wizja sieci inteligentnej Smart Grid [The vision of the Smart Grid]*, „Problemy ocen środowiskowych” [Problems of environmental assessments] 2011, nr specjalny, s. 4–9.

² Ibidem.



Fig. 1. High voltage distribution grid in the residential district of Danville, near San Francisco



Fig. 2. Low voltage distribution network in the residential district of Danville, near San Francisco

Further in this paper a proposal is presented of a new task for distribution grids, far beyond the tasks so far promoted in relations distribution grid – consumers. The new task is meant to actively bind customers (in an extended scope) through the distribution grid with the entire power system.

3. The idea of a new task for smart power grids

In the economic structure of modern society there are two major sets of elements associated with the concept of energy:

- a set of interrelated elements used for electricity generation, transmission, and distribution, together with management and control systems, known (according to system definition) as the power system
- a set of cars used for private, business, and public transport. This set in developed countries, including Poland, is subject to quantitative saturation; however, the unit power of these cars' engines is growing steadily.

Why does this paper deal with these two completely different sets?

The common denominator of the power system and the set of cars is power. In Poland, the capacity installed in the power system amounts to ca.

$$P_{iso} = 36 \text{ GW.}$$

With the number of passenger cars in Poland at ca. 16×10^6 and the average engine power ca. 50 kW, the equivalent to the installed capacity is:

$$P_{iso} = 50 \times 16 \times 10^6 = 800 \text{ GW.}$$

Comparison of power in the near future surprises (Tab. 1). It turns out that the average Pole will have at their disposal more than 20 times more power in the car than in the grid.

Is it worth considering different sets at present?

The power system is a real system with properties known to power engineers. For this system a major problem was and still is the considerable variability in demand, especially the big difference between the peak and the low. Now, there is also the uncontrolled variability of generation in renewable sources, especially

Set	Installed power capacity
Power system	36 GW
Cars	800 GW
Hybrid vehicles	160 GW
Smart plug-in	29-72 GW

Tab. 1. Comparison of power capacities installed in the power system and passenger cars in Poland



Fig. 3. Fuel power flow at refuelling

wind and solar power plants. This variability is compensated by construction of very expensive pumped storage power plants, and low-efficient, but easy to control gas power plants. Other ways of offsetting the discussed variability of demand and generation have no significant prospects in Poland. Cars with internal combustion engines are completely unsuitable for any kind of system connection. Cars with electric motors and batteries, at the current level of technology, do not promise a significant quantitative development in the coming years. The reasons are heavy batteries, short drive range, and long recharging time incomparable with combustion-driven cars.

Even when lightweight high capacity batteries are developed, the problem of the charging time comparable to that shown in the photo remains unresolved.

However, hybrid vehicles have appeared with the combined drive of internal combustion engine and one or more electric motors, capable of energy recovery and storage, e.g. when braking or downhill driving. The latest achievement, already available in Poland, is the *hybrid plug-in car*, with a battery that can be recharged from a low voltage network with standard mains voltage (e.g. 230 V). In some countries, the percentage of such cars is already significant and rapidly growing. The reason is the unavoidable and consistent increase in hydrocarbon prices, and ecology-related significant tax benefits available in many countries. In Poland, cars of this type are widely available, the number of buyers is increasing, and in the near future they will constitute a significant part of the fleet.

4. Combination of the two large sets

The following is a proposal for a merger of these two great sets with extensive use of hybrid cars with a modified way of plug-in connection with the power system.

Hybrid plug-in cars treat the power grid just like a gas station, electricity flows only in the direction from the grid to the car battery. The proposed modified hybrid plug-in cars are supposed to treat the smart power system as a set, which they become an integral part of. The power system with connected *hybrid smart*

plug-in cars will become a smart energy system with enhanced systems of control, communication with car users, billing and financial settlement etc. Further in this paper it is revealed that the benefits will be mutual. The power system will acquire the electricity storage and fast power control capability (similar to that of a pumped-storage plant, but much faster), and the consumers will be granted significant discounts for the provision of a new ancillary service.

5. Modification of hybrid smart plug-in car

In a hybrid car, in addition to a classical internal combustion engine, a high speed electric motor is installed. The shafts of both motors are mechanically coupled to each other and together constitute the car's propulsion system. The electric motor is connected to a battery pack through a power electronic converter, which allows supporting the car's propulsion or recovering energy to the battery. The main purpose of this solution is to reduce fuel consumption by recovering braking energy, and to optimize the coverage of variable demand for driving power jointly by both motors. In these vehicles, by adding the capability to recharge the battery from low voltage network, the plug-in hybrid version was obtained, which enables further reduction in fuel consumption by obtaining an additional source of cheaper energy – the power system. The coupling with low voltage network is similar to the operation of a standard car battery charger rectifier.

The proposed hybrid smart plug-in modification consists in the replacement of the rectifier with an inverter, and the addition of a controller enabling automatic remote control of bi-directional energy flow: from grid to battery and from battery to grid.

6. Effects

Given the above-discussed relation of both sets' power capacities, even with a small percentage of hybrid smart plug-in cars the proposed solution leads to:

- combination of the two energy-related sets
- addition to the power system of another energy storage, i.e. hybrid cars
- benefits for the car owners arising from differences in electricity prices in different periods: purchase of cheap and sale of more expensive energy, just like in a pumped-storage plant.

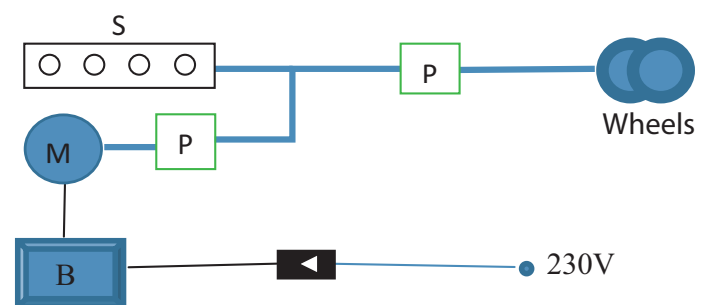


Fig. 1. Hybrid plug-in vehicle propulsion, S – combustion engine, M – electric motor, B – battery, P – gears

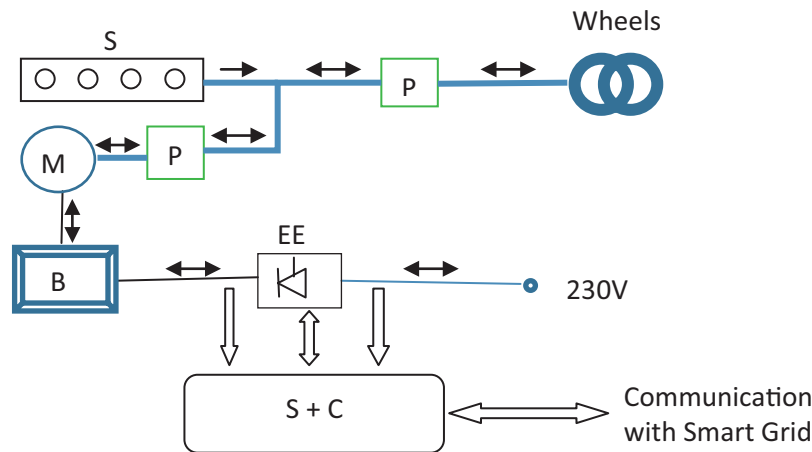


Fig. 2. Hybrid smart plug-in vehicle propulsion, S – combustion engine, M – electric motor, B – battery, P – gears, EE – converter, S + C – Smart Grid coupling controller

7. Quantitative rationale

Hybrid vehicles are offered by many car makers. Depending on the vehicle design and specification, the battery capacity is in the range from several to tens of kWh. In many countries dynamic technological advancement, price reductions and increasingly wide use are experienced. Below is assumed example average data obtained from a vendor offering hybrid cars in Poland.

Assumptions

- car battery capacity: $E_s = 4,4 \text{ kWh}$ (as an example³)
- car electric power $E_s = 45 \text{ kWh}$ (as an example⁴)
- number of hybrid cars: $n = 0.2 \cdot 20 \cdot 10^6 = 4 \cdot 10^6$ (based on trends in developed countries, with increase in the number of cars in Poland $20 \cdot 10^6$ and 20% share of plug-in vehicles)
- share of hybrid vehicles in Smart Grid⁵: $u = 0.2 \sim 0.5$ maximum available power capacity:
 $P_{dM} = (0.2 \sim 0.5) \cdot 45 \cdot 4 \cdot 10^6 = (36 \sim 90) \text{ GW}$
- P_d power utilization time: ca. $T_w = \sim 0,1 \text{ h}$ (at the assumed battery capacity)
- stored energy: $E_d = (36 \sim 90) \text{ GW} \cdot 0.1 \text{ h} = (3.6 \sim 9.0) \text{ GWh}$.

So large available capacity is not needed in the Polish power system with peak demand ca. 30 GW. The available power capacity sufficient for the Polish Power Grid will be ca $P_g = 1.8 \text{ GW}$, which leads to utilisation times of ca $T_w = (3.6 \sim 9.0) \text{ GWh} : 1.8 \text{ GW} = (2 \sim 5) \text{ h}$.

The above estimates show that the coupling of hybrid smart plug-in cars with Smart Grid exceeds the capacity of all pumped-storage power plants in Poland.

8. Example control pilot of remote hybrid smart plug-in car owner

Values to be preset by car owner.

1. Battery has to be 100 % recharged at 7:00 a.m.
2. Capacity available to the Power Dispatch >30%

3. To charge, if the price: < 0.30 PLN/kWh

4. To sell, if the price: < 0.40 PLN/kWh.

9. Car ownership cost estimate

Assumption

- daily in-town mileage 20 km/day
- charging not only in load lows. The adopted electricity cost includes also a bonus for the stored energy availability
 $K = 4.4 \text{ kWh} \cdot 0.25 \text{ PLN/kWh} = 1.10 \text{ PLN}$.

It may happen that the bonus for this service will amount to 100%, because at a standstill with the connection to the Smart Grid the difference between the cost of energy sold and purchased by the car will be higher than the cost of electricity consumed. It is noteworthy that if the car were combustion-driven, it would consume two litres of gasoline, which costs 10 times more.

10. Problems to be worked-out

1. Analysis is required that takes into account forecasts, e.g. of technological advancement, implementation costs, battery life, and tariffs, and compares the proposed solution with the design of pumped-storage power plant or other similar energy storages.
2. Smart electricity meters, connected with the Smart Grid operator, deployed in the cars and/or at the points of common coupling.
3. Raising public awareness of the project's expediency and cost-effectiveness.
4. Development of a car owner friendly way of using the new hybrid smart plug-in solution.
5. Tax regulations that promote hybrid smart plug-in cars.

11. Conclusions

No large investment is needed for the implementation of the proposed solution, because:

- no capital expenditures are needed for the battery banks, because they are used in hybrid cars

³ The hybrid vehicles market share exceeded 10% in California.

⁴ Toyota Prius hybrid plug in.

⁵ Cars connected to grid.

- the replacement of the rectifier with the inverter is technically very simple, and the related cost increase would be small
- the price of the smart microprocessor system for control of the inverter in accordance with the car owner preferences
- will be comparable to that of a standard mobile phone
- the connection to low voltage network in a garage and parking place (with adequate protection) is simple to implement and does not require significant capital expenditures
- the smart billing system, regardless of the locations of its elements deployment, with the modern IT and multilateral information transfer will be a component of the smart power system
- the proposed solution, subject to a slight modification, can be used for plug-in electric cars.

This paper, intended as a call for debate, aims to draw attention to the future possibilities of a modern *hybrid smart* plug-in solution coupled with the Smart Grid, leading to savings of energy and hydrocarbon fuels, and to environmental protection.

REFERENCES

1. Smart Grid od wizji inteligentnego systemu do jej urzeczywistnienia [*Smart Grid from vision to its realisation*], EPRI, special issue, 2011.
2. Product catalogues: Toyota, Chevrolet, BMW.
3. Webpage: www.poznajhybrydy.pl.

Zbigniew Szczerba

Gdańsk University of Technology

e-mail: szczerba@ely.pg.gda.pl

Graduated from Gdańsk University of Technology. At the Power Engineering Department, he managed a team he had created, which designed numerous types of excitation systems and voltage regulators for generators ranging from a few hundred kW for the shipbuilding industry to 500 MW. In the peak period, generators controlled by these regulators constituted 75% of the power provided by the Polish Power Grid power system. He twice served as Dean of the Faculty of Electrical Engineering of Gdańsk University of Technology, and also held the position of Vice-Rector for Science (1990–1996). In 1987–1990 a visiting professor at the University of Technology in Oran, Algeria. Having returned to Poland, he organised the Power Systems Department in the present Faculty of Electrical and Control Engineering. He is an author and co-author of over 50 patents and over 200 scientific works most of which have been implemented in practice.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 132–136. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Smart Grid – reklama czy konieczność?

Autor

Zbigniew Szczerba

Słowa kluczowe

Smart Grid, samochody hybrydowe, system elektroenergetyczny

Streszczenie

Idea Smart Grid, inteligentnych sieci elektroenergetycznych, po odrzuceniu nieprofesjonalnego balastu propagandowo-reklamowego, powinna być w kraju wykorzystana do wprowadzania postępu technicznego uzasadnionego ekonomicznie.

Opisano dwa zbiory elementów związane z energią: zintegrowany zbiór – system elektroenergetyczny i rozproszony zbiór – samochody osobowe. Wśród samochodów osobowych coraz liczniejsze są pojazdy z napędem hybrydowym lub elektrycznym (ang. *hybrid plug-in*). W artykule zaproponowano wersję samochodów hybrydowych *smart hybrid plug-in*, umożliwiającą skojarzenie tego typu pojazdów z systemem elektroenergetycznym. Przedstawiono szacunek liczbowy korzyści dla posiadaczy samochodów i dla systemu elektroenergetycznego.

1. Geneza

Pojęcie Smart Grid ukute zostało w Stanach Zjednoczonych. Europejczycy zwykle są zafascynowani kulturą materialną i poziomem techniki w tym kraju. Ta powszechna opinia nie powinna dotyczyć sieci rozdzielczej. W 2010 roku mieszkałem ponad miesiąc w nowej dzielnicy nowoczesnych domów jednorodzinnych na przedmieściu San Francisco. Zdumiał mnie niski poziom techniczny i estetyczny sieci rozdzielczej. Przykłady rozwiązań tej sieci widoczne są na fot. 1 i 2. Mieszkańcy w pełni zgodzili się z moją opinią, że niezawodność dostaw energii z tej sieci jest niska. Sieć robi wrażenie prymitywnej w porównaniu z sieciami wiejskimi w Polsce.

W bogatym kraju władze stanowe i federalne zainteresowały się opóźnieniem technicznym, uruchomiono agendy rządowe oraz znany w Polsce Electric Power Research

Institute (EPRI) i powstało pojęcie Smart Grid. Te nowe inteligentne sieci elektroenergetyczne miały zrewolucjonizować rynek. Zaczęto odkrywać na nowo samonaprawialność sieci¹ (znana od dawna jako automatyka przeciwwaryjna, SZR czy reklozery), samoodbudowywanie się² (czy również przerwanych przewodów i przewróconych słupów?). Za nowość uznano dostosowanie sieci rozdzielczych do dwukierunkowego przesyłu energii z rozproszonych źródeł (do obeerżenia działające od wielu lat małe elektrownie wodne i ostatnio wiatraki w Polsce).

Zgodnie z ewolucyjną tendencją rozwoju systemów elektroenergetycznych w krajach europejskich, również w USA zaczęto stosować najnowsze środki przesyłu i przetwarzania informacji w sieciach rozdzielczych.

Zgodnie ze stylem informacyjno-reklamowym USA powstało pojęcie Smart Grid.

2. Smart Grid – inteligentne sieci elektroenergetyczne w Polsce

Moda czy tendencja techniczna na pojęcie Smart Grid, przetłumaczone na „inteligentne sieci elektroenergetyczne”, dotarła do Polski. Pojęcie to zostało wykorzystane na dwa różne sposoby:

- Przez doświadczonych elektroenergetyków do przyspieszenia unowocześniania systemu elektroenergetycznego, głównie sieci rozdzielczych, z zastosowaniem stale rozwijanych rozwiązań automatyki, informatyki, teleinformatyki, metrologii, obsługi odbiorców itp. Doświadczeni elektroenergetycy wiedzą, że system elektroenergetyczny jest szczególnie chłonny na zastosowanie najnowszych rozwiązań automatyki regulacyjnej, zabezpieczeniowej, przeciwwaryjnej i restytucyjnej. Wiedzą też, że przejście od sieci nieinteligentnych do inteligentnych odbywa się stale, bez żadnego skoku jakościowego, i jest uwarunkowane ciągłym rozwojem środków technicznych automatyki, informatyki, pomiarów i telekomunikacji oraz ciągłą obniżką cen tych środków
- Przez inżynierów nieznających obecnych rozwiązań i aktualnego wdrażania współczesnych środków technicznych do sterowania w systemie elektroenergetycznym, w tym w sieciach rozdzielczych. Tłumaczą oni nieprofesjonalnie i bezkrytycznie odkrywcze artykuły na temat Smart Grid, operując reklamowymi hasłami, dostosowanymi do sieci rozdzielczych w USA, proponując realizację rozwiązań niekiedy dawno w Polsce zrealizowanych. Propagują ogólne hasła w sposób reklamowy, unikając uzasadnień technicznych i liczbowych.

Pojęcie Smart Grid, po odrzuceniu nieprofesjonalnego balastu propagandowo-reklamowego, powinno być w kraju wykorzystane do wprowadzania postępu technicznego uzasadnionego ekonomicznie.

W dalszej części artykułu przedstawiono propozycję nowego zadania sieci rozdzielczych, wykraczającego poza lansowane dotychczas zadania w relacjach sieć rozdzielcza – odbiorcy. Nowe zadanie ma



Fot. 1. Sieć rozdzielcza wysokiego napięcia w dzielnicy willowej Danville, nieopodal San Francisco



Fot. 2. Sieć rozdzielcza niskiego napięcia w dzielnicy willowej Danville, nieopodal San Francisco

¹ M. Samotyj, Wizja sieci inteligentnej Smart Grid, „Problemy ocen środowiskowych” 2011, nr specjalny, s. 4–9.

² Ibidem.

Zbiór	Moc zainstalowana
System EE	36 MW
Samochody	800 MW
Pojazdy hybrydowe	160 MW
Smart plug-in	29-72 MW

Tab. 1. Porównanie mocy zainstalowanych systemu elektroenergetycznego i samochodów osobowych w Polsce
Rx – odbiorniki

aktywnie powiązać odbiorców (w rozszerzonym zakresie) przez sieć rozdzielczą z całym systemem elektroenergetycznym.

3. Idea nowego zadania inteligentnej sieci elektroenergetycznej

W strukturze gospodarczej nowoczesnego społeczeństwa istnieją dwa wielkie zbiory elementów związanych z pojęciem energii:

- zbiór wzajemnie powiązanych elementów służących do wytwarzania, przesyłu i rozdziału energii elektrycznej, wraz z układami zarządzania i sterowania, znany (zgodnie z definicją systemu) jako system elektroenergetyczny
- zbiór samochodów osobowych służących do transportu prywatnego, służbowego i publicznego. Zbiór ten w krajach rozwiniętych, w tym w Polsce, ulega ilościowemu nasyceniu, jednak moc jednostkowa silników tych samochodów systematycznie rośnie.

Dlaczego w artykule rozpatruje się wymienione dwa zupełnie różne zbiory?

Wspólnym mianownikiem systemu elektroenergetycznego i zbioru samochodów osobowych jest moc. W Polsce moc zainstalowana w systemie elektroenergetycznym wynosi ca:

$$P_{ise} = 36 \text{ GW}$$

Przy liczbie samochodów osobowych w Polsce ca $16 \cdot 10^6$ i przeciętnej mocy

silnika ca 50 kW, odpowiednik mocy zainstalowanej wynosi:

$$P_{iso} = 50 \cdot 16 \cdot 10^6 = 800 \text{ GW}$$

Porównanie mocy w niedalekiej przyszłości zaskakuje (tab. 1). Okazuje się, że przeciętny Polak będzie dysponował ponad 20-krotnie większą mocą w samochodzie niż w sieci elektroenergetycznej.

Czy warto rozpatrywać tak dalece różniące się zbiory?

System elektroenergetyczny jest prawdziwym systemem o właściwościach znanych elektroenergetykom. Istotnym problemem dla tego systemu była i jest znaczna zmienność zapotrzebowania, szczególnie duża różnica między szczytem a doliną. Obecnie pojawiła się również niekontrolowana zmienność generacji w źródłach odnawialnych, szczególnie wiatrowych i solarnych. Tę zmienność kompensuje się przez budowę bardzo kosztownych elektrowni szczytowo-pompowych i niskosprawnych, lecz łatwych do sterowania, elektrowni gazowych. Inne sposoby pokrywania w Polsce omawianych zmienności zapotrzebowania i generacji nie mają znaczących perspektyw.

Samochody osobowe z silnikami spalinyowymi nie nadają się zupełnie do jakiegokolwiek połączenia systemowego. Samochody z silnikami elektrycznymi z baterią akumulatorów, przy obecnym poziomie techniki, nie roją znaczącego ilościowego rozwoju



Fot. 3. Moc strumienia paliwa przy tankowaniu

w perspektywie najbliższych lat. Powodem są: ciężar baterii, krótki zasięg, długi – nieporównywalny z samochodami spalinyowymi – czas ładowania.

Nawet po opracowaniu lekkich baterii o dużej pojemności pozostanie nierozwiązany problem ładowania w czasie porównywalnym do pokazanego na zdjęciu.

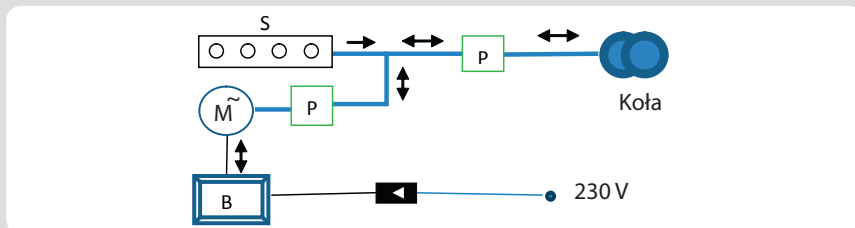
Pojawiły się jednak pojazdy hybrydowe o napędzie zespólnym, spalino-elektrycznym, z możliwością odzysku i magazynowania energii, m.in. przy hamowaniu czy jeździe z góry. Ostatnim osiągnięciem są dostępne już w Polsce samochody *hybrid plug-in*, umożliwiające doładowanie baterii z sieci niskiego napięcia o standardowym napięciu (np. 230 V). W niektórych krajach udział procentowy takich samochodów jest już znaczący i szybko rośnie. Powodem jest nieunikniony, systematyczny wzrost cen paliw węglowodorowych i stosowane w wielu krajach znaczne ulgi podatkowe związane z ekologią. W Polsce tego typu samochody są powszechnie dostępne, liczba nabywców rośnie, a w niedalekiej przyszłości będą one stanowiły znaczną część floty.

4. Połączenie dwóch wielkich zbiorów

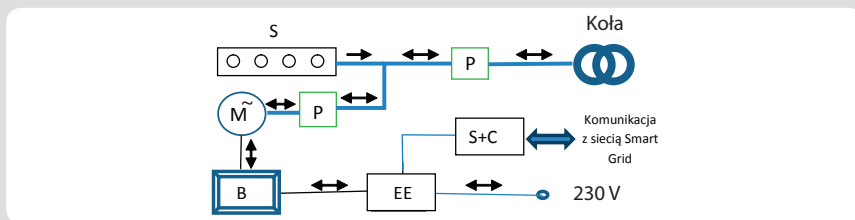
Poniżej podano propozycję połączenia wymienionych dwóch wielkich zbiorów z szerokim wykorzystaniem samochodów hybrydowych ze zmodyfikowanym sposobem łączenia *plug-in* z systemem elektroenergetycznym.

Samochody *hybrid plug-in* traktują sieć elektroenergetyczną tak jak stację paliw, przepływ energii elektrycznej odbywa się tylko w kierunku sieć – bateria akumulatorów samochodu.

Proponowane zmodyfikowane samochody *hybrid plug-in* mają traktować inteligentny system elektroenergetyczny jako zbiór, którego stają się integralną częścią. System elektroenergetyczny z przyłączonymi samochodami *hybrid smart plug-in* stanie się inteligentnym systemem energetycznym z rozbudowanymi układami sterowania, komunikacji z użytkownikami samochodów, rozliczeń finansowych itp. W dalszej części artykułu okaże się, że korzyści będą obopólne. System elektroenergetyczny otrzyma możliwość magazynowania energii elektrycznej i szybkiego sterowania mocą (podobnego jak w elektrowniach pompowych, lecz znacznie szybszego), a odbiorcy uzyskają znaczne upusty za realizację nowej usługi systemowej.



Rys. 1. Schemat układu napędowego samochodu *hybrid plug-in*, gdzie: S – silnik spalinyowy, M – silnik elektryczny, B – bateria, P – przekładnie



Rys. 2. Schemat układu napędowego samochodu *hybrid smart plug-in*, gdzie: S – silnik spalinyowy, M – silnik elektryczny, B – bateria, P – przekładnie, EE – przetwornik, S+C – sterownik sprzęgający z siecią Smart Grid

5. Modyfikacja samochodu hybrydowego *hybrid smart plug-in*

W samochodzie hybrydowym, oprócz klasycznego silnika spalinowego, zainstalowano szybkoobrotowy silnik elektryczny. Wały obu silników są wzajemnie sprzężone mechanicznie i wspólnie stanowią układ napędowy samochodu. Silnik elektryczny jest połączony z baterią akumulatorów za pośrednictwem przekształtnika energo-elektronicznego, umożliwiającego wspomaganie napędu samochodu lub zwrot energii do baterii. Głównym celem takiego rozwiązania jest zmniejszenie zużycia paliwa przez odzyskiwanie energii hamowania i optymalizację pokrycia zmiennego zapotrzebowania na moc napędową, wspólnie przez oba silniki. W tych samochodach, przez dodanie możliwości ładowania baterii z sieci niskiego napięcia, uzyskano wersję *hybrid plug-in* umożliwiającą dalsze zmniejszenie zużycia paliwa, przez uzyskanie dodatkowego źródła tańszej energii – systemu elektroenergetycznego. Powiązanie z siecią niskiego napięcia jest zbliżone do działania zwykłego prostownika do ładowania akumulatorów.

Proponowana modyfikacja *hybrid smart plug-in* polega na zastąpieniu prostownika przez przekształtnik oraz dodaniu sterownika, umożliwiającego automatycznie, zdalnie sterowanie przepływem energii w dwie strony: z sieci do baterii i z baterii do sieci.

6. Efekty

Przy omówionych wyżej stosunkach mocy obu zbiorów, nawet przy niewielkim udziale samochodów *hybrid smart plug-in*, proponowane rozwiązanie prowadzi do:

- połączenia wymienionych wyżej dwóch zbiorów związanych z energią
- uzyskania przez system elektroenergetyczny dodatkowego zasobnika energii, jakim są samochody hybrydowe
- uzyskania przez właścicieli samochodów korzyści, wynikających z różnic cen energii elektrycznej w różnych okresach: zakup tańszej energii i sprzedaż droższej, podobnie jak w elektrowniach pompowych.

7. Uzasadnienie ilościowe

Samochody hybrydowe oferuje wiele firm. W zależności od koncepcji i przeznaczenia pojazdu pojemność baterii mieści się w przedziale od kilku do kilkudziesięciu kWh. Obserwuje się dynamiczny postęp techniczny, obniżkę cen i popularyzację w wielu krajach. Poniżej przyjęto przykładowe przeciętne dane, uzyskane od dostawcy oferującego samochody hybrydowe w kraju.

Założenia

- pojemność baterii samochodu: $E_s = 4,4 \text{ kWh}$ (przykładowo³)

- moc elektryczna samochodu: $P_s = 45 \text{ kW}$ (przykładowo⁴)
- liczba samochodów hybrydowych: $n = 0,2 \cdot 20 \cdot 10^6 = 4 \cdot 10^6$ (na podstawie tendencji w krajach rozwiniętych, przy wzroście liczby samochodów w Polsce do $20 \cdot 10^6$ i udziale samochodów *plug-in* 20%)
- udział samochodów hybrydowych w Smart Grid⁵: $u = 0,2 \sim 0,5$
- maksymalna moc dyspozycyjna: $P_{dM} = (0,2 \sim 0,5) \cdot 45 \cdot 4 \cdot 10^6 = (36 \sim 90) \text{ GW}$
- czas wykorzystania mocy P_d wynosi ca: $T_w = \sim 0,1h$ (przy założonej pojemności baterii)
- zmagazynowana energia: $E_d = (36 \sim 90) \text{ GW} \cdot 0,1h = (3,6 \sim 9,0) \text{ GWh}$.

Tak wielka moc dyspozycyjna nie jest potrzebna w krajowym systemie elektroenergetycznym o szczycie zapotrzebowania ca 30 GW. W skali Krajowego Systemu Elektroenergetycznego wystarczająca będzie moc dyspozycyjna ca $P_g = 1,8 \text{ GW}$, co prowadzi do czasów wykorzystania ca $T_w = (3,6 \sim 9,0) \text{ GWh}$: $1,8 \text{ GW} = (2 \sim 5) h$.

Z powyższych szacunków wynika, że wykorzystanie skojarzenia samochodów *hybrid smart plug-in* i sieci Smart Grid przewyższa możliwości wszystkich elektrowni pompowych w kraju.

8. Przykład ustawień pilota sterującego samochodem *hybrid smart plug-in*

Wartości liczbowe nastawialne przez właściciela samochodu.

1. Bateria ma być pełna w 100% o godz. 7.00
2. KDM może dysponować pojemnością >30%
3. Ładować, jeżeli cena: < 0,30 zł/kWh
4. Sprzedaż, jeżeli cena: > 0,40 zł/kWh.

9. Szacunek kosztów właściciela samochodu

Założenie

- przebieg w mieście 20 km/dzień
- ładowanie nie tylko w dolinach. Przyjęty koszt energii uwzględnia również bonifikatę za dyspozycyjność zmagazynowanej energii: $K = 4,4 \text{ kWh} \cdot 0,25 \text{ zł/kWh} = 1,10 \text{ zł}$.

Może się zdarzyć, że bonifikata za tę usługę wyniesie 100%, gdyż w czasie postoju z połączeniem ze Smart Grid różnica kosztu energii sprzedawanej i kupowanej przez samochód będzie większa od kosztu zużytej energii elektrycznej. Warto zauważyć, że przy napędzie z silnikiem spalinowym samochód zużyłby 2 l benzyny, co generuje koszt 10 razy większy.

10. Problemy do opracowania

1. Niezbędne są analizy uwzględniające prognozy m.in. rozwoju techniki,

koszty realizacji, trwałość baterii, taryfy, porównujące proponowane rozwiązanie z budową elektrowni pompowych lub innych podobnych zasobników energii.

2. Inteligentne liczniki elektryczne, skomunikowane z operatorem Smart Grid, umieszczone w samochodach lub w punktach przyłączenia.
3. Uświadamianie społeczeństwu celowości i opłacalności przedsięwzięcia.
4. Opracowanie przyjaznego dla właściciela samochodu sposobu korzystania z rozwiązania *new hybrid smart plug-in*.
5. Przepisy podatkowe, promujące samochody *hybrid smart plug-in*.

11. Wnioski

Dla realizowania proponowanego rozwiązania nie są potrzebne duże nakłady, gdyż:

- nie są potrzebne nakłady inwestycyjne na baterie akumulatorów, ponieważ wykorzystywane są one w samochodach hybrydowych
- zastąpienie prostownika przekształtnikiem jest technicznie bardzo prostym przedsięwzięciem, a wzrost kosztów byłby niewielki
- mikroprocesorowy inteligentny układ sterujący przekształtnik, zgodnie z życzeniem właściciela samochodu, będzie miał cenę porównywalną ze standardowym telefonem komórkowym
- przyłączenie do sieci niskiego napięcia w garażach i miejscach parkingowych (z odpowiednim zabezpieczeniem) jest proste w realizacji i nie wymaga znaczących nakładów
- inteligentny system rozliczeń, niezależnie od miejsca zainstalowania elementów, przy współczesnym poziomie informatyki i wielostronnym przesyle informacji, będzie jednym z elementów inteligentnego systemu elektroenergetycznego
- proponowane rozwiązanie, po niewielkiej modyfikacji, może być stosowane do samochodów elektrycznych *plug-in*.

Artykuł, o charakterze dyskusyjnym, ma na celu zwrócenie uwagi na przyszłościowe możliwości nowoczesnego rozwiązania *hybrid smart plug-in*, sprzężonego ze Smart Grid, prowadzącego do oszczędności energii, paliw węglowodorowych i ochrony środowiska naturalnego.

Bibliografia

1. Smart Grid od wizji inteligentnego systemu do jej urzeczywistnienia, EPRI, numer specjalny, 2011.
2. Katalogi firm: Toyota, Chevrolet, BMW.
3. Strona internetowa: www.poznajhybrydy.pl.

Zbigniew Szczerba

prof. dr hab. inż.
Politechnika Gdańska
e-mail: szczerba@ely.pg.gda.pl

Absolwent Politechniki Gdańskiej. W Instytucie Energetyki kierował m.in. utworzonym przez siebie zespołem, który opracował wiele typów układów wzbudzenia i regulatorów napięcia generatorów o mocy od kilkuset kW dla okrętownictwa do 500 MW. W szczytowym okresie generatory sterowane przez te regulatory stanowiły 75% mocy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Dwukrotnie pełnił funkcję dziekana Wydziału Elektrycznego PG, a także piastował stanowisko prorektora ds. nauki (1990–1996). Pracował jako visiting-professor na Uniwersytecie Technicznym w Oranie w Algierii (1987–1990). Po powrocie do kraju zorganizował Katedrę Systemów Elektroenergetycznych na obecnym Wydziale Elektrotechniki i Automatyki. Jest autorem lub współautorem ponad 50 patentów, ponad 200 prac naukowych, z których znaczna większość została zastosowana w praktyce.

³ W Kalifornii udział samochodów hybrydowych w rynku przekroczył 10%.

⁴ Toyota Prius hybrid plug in.

⁵ Samochody przyłączone do sieci.