

Capabilities Deliver Ancillary Services Provided by Decentralized Energy Generation

Authors

Jarosław G. Korpikiewicz
Leszek Bronk
Tomasz Pakulski

Keywords

decentralized energy generation, ancillary service, DSO

Abstract

The article proposed definitions of regulatory services that can be provided by a local energy source. Shows a review of manufacturing technology including the ability to regulate these sources and assess the potential changes in demand DSO standard conditions sources. The Document presents the DSO's benefits resulting from the implementation of these services. The use of regulatory services will allow the potential of distributed generation to improve the performance of the network, the creation of a decentralized model of services and enable growth RES connecting to the network.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2014207

1. Ancillary services

1.1. Definition of ancillary services

Ancillary service shall be understood as a capability to operate at certain conditions or an action performed by a generator on DSO's order, consisting of:

- change of a base daily profile of active power supplied to the grid
- change of reactive power consumed from/fed into the grid in reference to the conditions specified in the grid connection agreement and distribution services agreement.

Base daily pattern of active power supplied to the grid shall be understood as electricity generation resulting from signed electricity/heat sales contracts or availability of renewable resources. Such a service is carried out by a Generating Unit (GU) for the DSO at a fee, except for situations when it would pose a disturbance to the power system. Tab. 1 below defines categories of ancillary services. Classification is based on the aim of services, implementation method and grid parameters control. Controllable items are changes of active power P , reactive power Q and reduction of short-circuit current I_{sc} . Measured values are voltage U and frequency f .

1.2. Active power change on DSO's demand

This service category covers changes of active power supplied by Distributed Generation in reference to the value resulting from availability of primary energy (e.g. wind farm or PV) or planned

Service category	P	Q	U control	f control	I_{sc}
Active power change on DSO's demand	•				
Frequency control	•			•	
Reactive power change on DSO's demand	• ¹	•	• ²		
Ability to operate at disturbed conditions	•	•	•		•
Operation in isolated circuits	•	•	•	•	

Tab. 1. Connection between service categories and grid parameters

operating schedule (e.g. CHP). Services related to frequency control are separated from this category.

1.3. Reactive power change on DSO's demand

Currently the capability of reactive power generation at DG is not used. According to the grid connection conditions, DG usually ensures a constant power factor at the grid connection point. The service concerns reactive power generation according to the needs of the grid, within capabilities of Generating Units (GUs). It is used to control U or compensate Q.

¹ Only in the case of voltage control service, when change of reactive power proves insufficient, and change of active power enables further control.

² Only in the case of voltage controls service, in the case of other services U control within a permissible band, depending on grid interconnection point.

1.4. Frequency control

This service concerns active power regulation according to the frequency. In the best case this allows following static characteristic of synchronous generators, i.e. power increase at frequency drop and power reduction at frequency increase. Not all types of DG permit frequency control within the entire band. For this reason several services are separated.

1.5. Ability to operate at disturbed conditions FRT (fault ride-through)³

Sources connected to the MV grid are automatically disconnected in case they cause disturbances⁴.

LVRT and ZVRT automation systems⁵ allow a power plant to operate for a certain time under low voltage conditions. The ability to ride through distortion conditions may facilitate power grid control by the operator. Advisability of using LVRT/ZVRT option will depend on the grid connection point (different power grid property in the each node e.g. curve $U = f(P,Q)$) and DG's ability to supply power under such conditions. Additional benefits to the operator include reduced breaks in power supply, and keeping part of generation without LVRT/ZVRT capability

in operation during a distortion. Moreover, the ability to supply reactive and/or active power in such conditions enables reducing the impact of distortions on customers located far from sources.

1. After storage capability has been exhausted, the source may still provide this service with output reduction
2. Service provided only by sources which do not have obligatory operating conditions depending on frequency specified in their interconnection conditions and for which such an obligation is not imposed by the grid code. Such sources must be equipped with automation systems providing such functionality.

1.6. Operation in isolated circuits

The key service within this category is the island operation. Its application improves power supply reliability for some consumers. This allows improving SADI/SAFI values. The process of island creation (isolation) and deletion (reconnection) must be performed by the DSO using infrastructure equipped with remotely controlled connectors. In the case of island operation, both active power and voltage must be controlled at the same time. In such a mode both autonomous and

Type of Generating Unit	Grid interconnection method	Technical limitations	P control ability	Q control ability	Island operation	FRT
	Converter		Possible with pitch control or active stall control Additionally operation below possibility actual power – converter (fast regulation)	Depending on converter's capabilities	Possible. Special converter design required	Possible. Special converter design required
Wind farms (Wind)	Doubly-Fed Generator	Depending on weather conditions. Max active power depends on wind speed. Operation below possibility actual power	Possible with pitch control or active stall control	Depending on permissible operating band	Possible with appropriate converter control	Possible. Special converter design required
	Asynchronous generator		Possible with pitch control or active stall control	–	–	–
Solar power plants (PV)	Converter	Depending on weather conditions. Max active power depends on luminous intensity Operation below possibility actual power	Capability to operate below possibility actual power – converter	Depending on converter's capabilities	Possible. Special converter design required	Possible. Special converter design required
Hydroelectric plants	Synchronous generator	Restrictions imposed by water utilisation permit, type of operation (reservoir, run-of-the-river, cascade), river characteristic	Possible with pitch control, guide vane control or sluice gate control	Depending on SG circle diagram	Possible with synchroniser allowing for island operation	Limited
	Asynchronous generator			–	–	–
CHP	Synchronous generator	Resulting from heat demand pattern and heat storage capabilities	Possible with steam inlet flow control	Depending on SG circle diagram	Possible with synchroniser allowing for island operation	Limited
CHP – Biogas plant (bio)	Synchronous generator	Resulting from gas generation pattern and heat storage capabilities	Possible with steam inlet flow control	Depending on SG circle diagram	Possible with synchroniser allowing for island operation	Limited
Engine-generator units	Synchronous generator	Technical limitations of the engine	Fuel injection control	Depending on SG circle diagram	YES	Limited

Tab. 2. Capabilities of providing ancillary services by DG

³ Fault ride through – ability to maintain operation at distorted conditions (LVRT – at low grid voltage, ZVRT – at zero grid voltage).

⁴ Distribution Grid Code does not specify relevant requirements.

⁵ LV – Low Voltage, ZV – Zero Voltage, RT – Ride Trough, i.e. ability to maintain operation at distorted conditions.

parallel operation is possible. In case of autonomous operation of a generating unit, except for a black start capability, it also must have an ability to generate voltage of a required level at the connection point (at unenergised grid) as well as an ability to balance an isolated sector.

2. Review of technical capabilities for providing ancillary services by various technologies

Ability to supply/consume reactive power depends on current active power and range of permissible operation of specific GU. Reactive power control by controllable capacitor banks is not addressed.

3. Catalogue of ancillary services

Ancillary services are briefly presented in Tab. 3. 13 services are described. Limitations of providing these services by DG are presented in Tab. 2.

4. Final conclusions

Required increase of share of renewable energy in the total energy balance brings new problems for energy grids and new tasks for DSOs. Introduction of ancillary services will allow utilising distributed generation for improving grid operation conditions, creation of a decentralised services model for the power system and will enable connecting more RES to the grid. Technical capabilities of providing ancillary services by DG depend on the type of power electronic equipment installed at a plant to control its output. Systems currently installed in DG units connected to MV or LV grids do not have large control capabilities. Nevertheless, development of power electronics and increasing requirements for newly connected sources will lead to implementation of advanced converting equipment, just as in case of wind farms connected the HV grid.

Connection of uncontrollable DG with dynamically changing output (e.g. wind, PV) may cause power quality problems and increase system balancing needs (demand for primary/

No.	Category	Service name	Description	Capability to provide service by a generating unit	GU	DSO benefit
1	Active power change on DSO's demand	On-demand change of active power supplied to the grid	Within this service, upon DSO's demand power supplied to the grid shall be altered from the value resulting from primary energy availability (e.g. PV, wind, hydro) or technical process conditions (e.g. CHP, biogas). This shall mean increasing or decreasing output. Applications: removing threats to MV grid operation, increasing new connection capacity, postponement of investments into grid extension	All generating units with active power control enabling lowering or increasing active power in reference to the current operating point	Hydro, CHP, bio, wind, PV	Decreasing overloads, replacing or postponement of grid extension, voltage control, grid loss reduction, increased connection capability
2		Reduced load operation	Service of lowering output fed into the grid by required value in relation to primary energy availability or technical process conditions of the source. Reduced load operation service may be a basis for providing primary control	All generating units with active power control enabling lowering active power in reference to the current operating point	Hydro, CHP, bio, wind, PV	
3		Reduction of gradient of power supplied to the grid	Service of reducing 15-minute gradients of active power supplied to the grid by distributed sources in reference to standard capabilities of a generating unit and variation of primary energy availability. Service provided by sources with volatile active power characteristic (wind, PV). Providing this service decreases power system's demand for secondary reserves. This service possible provided by reduced load operation or operation below minimum load of generating units or by cooperation with an energy storage system	Generating units with high output volatility equipped with active power control. Required modification of active power control enabling setting and maintaining maximum active power gradient	wind, PV	
4	Reactive power change on DSO's demand	Voltage control at connection point	This service concerns generation of leading or lagging reactive power, with a value resulting from set voltage value. This service might become very important in the case of future large-scale connections of uncontrollable sources (wind, PV) to LV grid	All generating units equipped with reactive power control and voltage measurement at connection point	wind (converter or DFIG), PV, Hydro (SG), CHP	Voltage control, loss optimisation, reduction of transformer tap changes
5		Reactive power control	This service concerns reactive power generation to compensate reactive power flows in a given MV grid area	All generating unit equipped with reactive power control		
6	Frequency control	Operation with full static characteristic	Accomplished by changes of active power depending on frequency. This service supports the effects of ancillary service "primary/secondary reserve". It must be rendered simultaneously with: 1. reduced load service or below-minimum load operation (in either case related to loss of some generation capacity), or 2. to a limited extent without loss of generation capacity by sources provided with a capability to accumulate primary energy or co-products of electricity generation process ¹ . One of the features of distributed generation equipped with power output converter (wind, PV) is their ability to change the power output almost instantaneously ² .	All generating units: 1. equipped with power control within range $P_{min} - P_n$ at a rate of 0.05 Pn/sec. 2. able to operate continuously with output resulting from momentary capacity of primary energy within frequency range of $49.0 \leq f \leq 51.5$ [Hz]	CHP, bio, hydro	

7		Operation at reduced active power at frequency increase	Frequency control service provided (contrary to the service with full static characteristic) only within the upper frequency band (above $f = 50$ Hz), with linear reduction of active power according to frequency increase ²	All generating units with: 1. capability of active power reduction at 0.05 Pn/sec in reference to the value resulting from current primary energy source capacity 2. capability to continuously operate at output resulting from regulation droop within frequency range at least $50 \leq f \leq 51.5$ [Hz]	wind, PV	increased participation in frequency control, reduction of unconventional generation rise at $f > 50.2$ [Hz], increased RES connection capabilities
8		Operation with maintained active power at lowered frequency	Service provided only in the lower frequency band (below $f = 50$ Hz) in all operating regimes of a source, involving: 1. maintaining value of power supplied to the grid identical to that supplied at grid frequency ("no output limit" mode) or 2. reaching power permissible by technical limitations of a unit, lower than at grid frequency (mode "with output limits"). This requires generating unit not to disconnect at f drop and supplying active power (of which there is shortage) within technical limits of the unit ²	Generating units whose technical documentation permits operation at frequencies below 50 Hz. Attaining required service parameters might require alterations in automation systems	wind, PV	
9	Ability to operate at fault conditions	Fault (short-circuit) ride-through	This service involves maintaining operation (i.e. not disconnecting) in the case of voltage drop. The most frequent cause of such a fault is a short circuit in a grid. The aim of this service is preventing large generation losses in MV grids in case of voltage drops in large areas. Additionally in MV grids this service enables maintaining line voltage in the case of local short-circuits	Sources with ability to reduce short-circuit current to a safe value	Wind (converter, DFIG), PV Hydro (SG), CHP and bio – to a limited extent	Reduction of power outages, decreasing threat of
10		Maintaining voltage	This service involves generation of large reactive power towards voltage regulation for certain present time, even in fault conditions (voltage deviation by at least 10%). Application of this service allows reducing impact of short-circuits on consumers connected at certain distance from such a fault	Sources with ability to reduce short-circuit current to a safe value. Sources with ability to operate in voltage regulation mode and to temporarily operate with reactive power above the nominal value		
11		Active power reconstruction	Involves generation of active power equal to at least 0.9 of the nominal value or the value resulting from capacity of primary energy source, in fault conditions, after the voltage returns to 0.85 Un, throughout predetermined period. Application of this service allows reducing impact of short-circuits on consumers connected at certain distance from such a fault	Sources with ability to reduce short-circuit current to a safe value. Operation in voltage regulation mode at momentary active power		
12	Operation in isolated circuits	Black start service	It involves ability to start a unit at zero grid voltage. Sources providing this service need an ability to generate voltage at required parameters, when there is no voltage in the grid. This service will be used for island operation. There should be at least one generating unit offering this service within every island. Units operating this kind of service must be built using technology with inherent black start capability or with additional energy sources, e.g. storage units	Units equipped with self-excited generators with battery-based interruptible power supply for control and communication systems. Units equipped with inverters of appropriate design, enabling operation for unenergised grid, with battery-based interruptible power supply for control and communication systems	Engine-generator sets, wind (converter), hydro (SG), PV	Reduction of power outages, decreasing threat of system-wide failure, decreasing threat of partial loss of generation due to a fault
13		Island operation	Service involving active and/or reactive power generation for isolated grid area. Units must be equipped with frequency regulation systems throughout full static characteristic. Alteration of Power System Protection (EAZ) settings within the island would be required for island operation. Settings of the droop system must be island-specific. High-availability units should be primarily used to operate in parallel to supply an island	Generating units with wide output control range and dynamic load control capability. Some units may be uncontrollable, if there is a certain minimum demand (base load) exists within the island et al. times. Desirable feature is also fault right-through capability	Engine-generator sets bio, wind (converter, DFIG), hydro (SG), PV	

¹ After storage capability has been exhausted, the source may still provide this service with output reduction.

² Service provided only by sources which do not have obligatory operating conditions depending on frequency specified in their interconnection conditions and for which such an obligation is not imposed by the grid code. Such sources must be equipped with automation systems providing such functionality.

Tab. 3. Catalogue of ancillary services

/secondary reserves). Introduction of ancillary services in DG sources connected to MV grid would improve grid operating conditions. In the case of increasing capacity of connected uncontrollable sources combined with connection of DG able to provide ancillary services would permit maintaining required grid conditions.

Adapting DG for providing ancillary services requires upgrades, change of control systems and construction of a common

communication system enabling remote control. This would require development of a common communication and control standard within a DSO. Moreover, providing ancillary services would cause losses on the plant operators' side (loss of active power production, loss of certificates, increased maintenance cost). Thus a system for compensating lost benefits and covering the investment cost of upgrades, tests and commissioning must be introduced to enable developing ancillary services.

Jarosław G. Korpikiewicz

Institute of Power Engineering, Gdańsk Division

e-mail: jkorpikiewicz@ien.gda.pl

Graduate of the Faculty of Electrical and Control Engineering, Gdańsk University of Technology, field of study: automation (2002). Works as a Specialist for Analysis at the Department of Strategy and System Development at the Institute of Power Engineering, Gdańsk Division. His professional interest includes ancillary services, issues of power system operation, automation systems of power plants and power system and application of renewable energy sources. PhD student at the Faculty of Electrical and Control Engineering, Gdańsk University of Technology.

Leszek Bronk

Institute of Power Engineering, Gdańsk Division

e-mail: l.bronk@ien.gda.pl

Graduate of the Faculty of Electrical and Control Engineering, Gdańsk University of Technology, field of study: electrical engineering. Since 2000 employed as a Specialist for Analysis at the Department of Strategy and System Development, Institute of Power Engineering, Gdańsk Division. His work focuses on development of renewable energy sources and other issues related to the power industry.

Tomasz Pakulski

Institute of Power Engineering, Gdańsk Division

e-mail: t.pakulski@ien.gda.pl

Graduate of the Faculty of Electrical and Control Engineering, Gdańsk University of Technology, field of study: electrical engineering (2005). Works as a Specialist for Analysis at the Department of Strategy and System Development, Institute of Power Engineering, Gdańsk Division. His professional interest includes: operation of the power system and development of conventional and renewable energy sources.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 70–74. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Możliwości świadczenia usług regulacyjnych przez generację rozproszoną

Autorzy

Jarosław G. Korpikiewicz
Leszek Bronk
Tomasz Pakulski

Słowa kluczowe

usługa regulacyjna, OSD, generacja rozproszona

Streszczenie

W artykule zaproponowano definicje usług regulacyjnych, które mogą być świadczone przez lokalne źródła energii. Dokonano przeglądu technologii wytwarzania z uwzględnieniem możliwości regulacyjnych tych źródeł i oceny możliwości zmiany na żądanie operatorów systemów dystrybucyjnych (OSD) standardowych warunków, pracy źródeł. Przedstawiono korzyści dla OSD wynikające z realizacji tych usług. Zastosowanie usług regulacyjnych pozwoli na wykorzystanie potencjału generacji rozproszonej do poprawy pracy sieci, utworzenie zdecentralizowanego modelu usług SEE oraz umożliwi wzrost przyłączania odnawialnych źródeł energii (OZE) do sieci.

1. Usługi regulacyjne

1.1. Definicja usług regulacyjnych

Przez usługę regulacyjną rozumiana jest zdolność do pracy w określonych warunkach lub czynność wykonywana przez wytwórcę na polecenie OSD, polegająca na:

- zmianie bazowego dobowego profilu mocy czynnej oddawanej do sieci
- zmianie mocy biernej pobieranej/oddawanej do sieci w stosunku do warunków określonych w umowach o przyłączeniu do sieci i świadczeniu usług dystrybucyjnych.

Przez bazowy dobowy profil mocy czynnej oddawanej do sieci należy rozumieć generację energii elektrycznej wynikającą z podpisanych umów sprzedaży energii elektrycznej/ciepła lub dostępności zasobów odnawialnych. Usługa ta jest realizowana odpłatnie przez jednostkę wytwórczą (JW) na rzecz OSD za wyjątkiem zagrożenia bezpieczeństwa systemu.

Poniżej w tab. 1 zdefiniowano kategorie usług regulacyjnych. Klasyfikacji dokonano ze względu na cel usług, sposób realizacji oraz kontrolę parametrów sieci. Środkami wykonawczymi są zmiana mocy czynnej P , biernej Q oraz ograniczanie prądu zwarciowego I_{zw} . Wielkościami mierzonymi są napięcie U i częstotliwość f .

1.2. Zmiana na żądanie OSD mocy czynnej

Kategoria usług polega na zmianie mocy czynnej dostarczanej przez DG (ang. *Distributed Generation*, generacja rozproszona) w stosunku do jej wartości wynikającej z dostępności energii pierwotnej (np. FW, PV) lub zaplanowanego programu pracy (np. CHP). Z kategorii tej wydzielono usługi związane z regulacją częstotliwości.

Kategoria usług	P	Q	Kontrola U	Kontrola f	I_{zw}
Zmiana na żądanie OSD mocy czynnej	●				
Regulacja częstotliwości	●			●	
Zmiana na żądanie OSD mocy biernej	● ¹	●	● ²		
Zdolność do pracy w warunkach zakłóceń	●	●	●		●
Praca w obwodach wydzielonych	●	●	●	●	

Tab. 1. Powiązanie kategorii usług oraz parametrów sieci

1.3. Zmiana na żądanie OSD mocy biernej

Obecnie możliwości generacji mocy biernej przez DG nie są wykorzystywane. W punkcie przyłączenia do sieci źródła, zgodnie w wydanymi warunkami, zapewniają zazwyczaj stały współczynnik mocy. Usługa polega na generacji mocy biernej zależnie od potrzeb sieci, uwzględniając możliwości jednostek wytwórczych (JW). Wykorzystywana jest do regulacji U lub kompensacji Q .

1.4. Regulacja częstotliwości

Polega na regulacji mocy czynnej w zależności od częstotliwości. W najlepszym przypadku jest to możliwość naśladowania charakterystyki statycznej generatorów synchronicznych, tj. wzrost mocy przy obniżeniu częstotliwości oraz redukcja mocy przy wzroście częstotliwości. Jednak nie wszystkie rodzaje DG umożliwiają regulację f w całym paśmie. Z tego powodu wyróżniono kilka usług.

1.5. Zdolność do pracy w warunkach zakłóceń

Źródła przyłączone do sieci SN przy wystąpieniu zakłócenia zostają automatycznie odłączane³.

Układy automatyki LVRT oraz ZVRT⁴ powodują, że elektrownia może pracować przez określony czas w warunkach ograniczonego napięcia. Zdolność do pracy w warunkach zakłóceń może ułatwić operatorowi systemu prowadzenie ruchu w sieci elektroenergetycznej. Celowość wykorzystania opcji LVRT/ZVRT będzie uzależniona od miejsca przyłączenia w sieci (m.in. od sztywności sieci) oraz możliwości dostarczania mocy przez DG w tych warunkach. Dodatkowe korzyści, jakie uzyskuje operator, to zmniejszenie przerw w dostawach energii, podtrzymanie przy zakłóceniu części generacji nieposiadających zdolności LVRT/ZVRT. Ponadto możliwość dostarczania mocy biernej albo/i mocy czynnej

¹ Tylko przy usłudze regulacji napięcia, gdy zmiana mocy biernej jest niewystarczająca, natomiast zmiana mocy czynnej umożliwia dalszą regulację.

² Tylko przy usłudze regulacji napięcia, w pozostałych usługach kontrola U w zakresie dopuszczalnym, zależnym od punktu przyłączenia w sieci.

³ IRiESD nie precyzują wymagań w tym zakresie.

⁴ LV – Low Voltage, ZV – Zero Voltage, RT – Ride Trough, tj. zdolność do pracy w warunkach zakłóceń.

Rodzaj JW	Sposób połączenia z siecią	Ograniczenia technologiczne	Możliwość regulacji P	Możliwość regulacji Q	Praca wyspowa	FRT ¹
Siłownie wiatrowe (FW)	Przekształtnik	Zależne od warunków meteorologicznych. Maksymalna moc czynna zależy od prędkości wiatru. Praca w zaniżeniu	Możliwa za pomocą regulacji ustawienia łopatek (ang. <i>pitch control</i> lub <i>active stall control</i>). Dodatkowo możliwość pracy w zaniżeniu – przekształtnik (regulacja szybka)	Zależna od możliwości przekształtnika	Możliwa. Wymagana specjalna wersja przekształtnika	Możliwa. Wymagana specjalna wersja przekształtnika
	Generator dwustronnie zasilany		Możliwa za pomocą regulacji ustawienia łopatek (ang. <i>pitch control</i> lub <i>active stall control</i>)	Zależna od obszaru dopuszczalnej pracy	Możliwa przy odpowiednim sterowaniu przekształtnikami	Możliwa. Wymagana specjalna wersja przekształtnika
	Generator asynchroniczny		Możliwa za pomocą regulacji ustawienia łopatek (ang. <i>pitch control</i> lub <i>active stall control</i>)	–	–	–
Elektrownie słoneczne (PV)	Przekształtnik	Zależne od warunków meteorologicznych. Maksymalna moc czynna zależy od natężenia światła. Praca w zaniżeniu	Możliwość pracy w zaniżeniu – przekształtnik	Zależna od możliwości przekształtnika	Możliwa. Wymagana specjalna wersja przekształtnika	Możliwa. Wymagana specjalna wersja przekształtnika
Elektrownie wodne (EW)	Generator synchroniczny	Ograniczenia wynikające z pozwolenia wodno-prawnego, rodzaju pracy (zbiornikowa, przepływowa, kaskada), możliwości cieku wodnego	Możliwa za pomocą sterowania ustawieniem łopatek turbiny, kierownicy lub zasuw	Zależna od wykresu kołowego SG	Możliwa przy układzie synchronizacji umożliwiającej pracę wyspową	Ograniczona
	Generator asynchroniczny			–	–	–
Kogeneracja (CHP)	Generator synchroniczny	Wynikające z profilu zapotrzebowania na ciepło oraz możliwości akumulacji ciepła	Możliwa za pomocą sterowania strumienia pary wlotowej turbiny	Zależna od wykresu kołowego SG	Możliwa przy układzie synchronizacji umożliwiającej pracę wyspową	Ograniczona
Kogeneracja – biogazownia (bio)	Generator synchroniczny	Wynikające z profilu produkcji gazu oraz możliwości akumulacji ciepła	Możliwa za pomocą sterowania strumienia pary wlotowej turbiny	Zależna od wykresu kołowego SG	Możliwa przy układzie synchronizacji umożliwiającej pracę wyspową	Ograniczona
Agregaty	Generator synchroniczny	Techniczne ograniczenia silnika	Sterowanie układem wtryskowym paliwa	Zależna od wykresu kołowego SG	TAK	Ograniczona

¹ *Fault ride through* – zdolność do pracy w warunkach zakłóceń (LVRT – przy niskim napięciu w sieci, ZVRT – przy braku napięcia w sieci).

Tab. 2. Możliwości realizacji usług regulacyjnych przez DG

w tych warunkach umożliwia ograniczenie skutków zakłóceń w sieci dla odbiorców oddalonych od jego źródła.

1.6. Praca w obwodach wydzielonych

Główną usługą w tej kategorii jest praca wyspowa. Jej zastosowanie poprawia niezawodność zasilania części odbiorców. Skutkuje to poprawą wskaźników SADI/SAFI. Proces wydzielenia wyspy oraz jej likwidacji musi być realizowany przez OSD za pomocą infrastruktury wyposażonej w zdalnie sterowane łączniki. W przypadku pracy wyspowej konieczna jest zarówno regulacja mocy czynnej, jak i napięcia. W trybie tym możliwa jest praca autonomiczna oraz równoległa. W przypadku pracy autonomicznej JW musi poza zdolnością do samostartu mieć również możliwość wytworzenia napięcia o wymaganym poziomie w punkcie przyłączenia (przy braku napięcia w sieci) oraz możliwość zbilansowania wydzielonego obszaru.

2. Przegląd możliwości technicznych realizacji usług regulacyjnych przez różne technologie

Możliwość dostarczania/pobierania mocy biernej zależy od aktualnej mocy czynnej i obszaru dopuszczalnej pracy JW. Pominięto możliwość regulacji mocy biernej przez sterowane baterie kondensatorów.

3. Katalog usług regulacyjnych

Zestawienie usług regulacyjnych zostało skrótkowo przedstawione w tab. 3. Wyróżniono 13 usług. Ograniczenia w realizacji tych usług przez DG przedstawiono w tab. 2.

4. Wnioski końcowe

Wymagany wzrost udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym implikuje nowe problemy występujące w sieciach dystrybucyjnych, jak i nowe zadania dla OSD. Zastosowanie usług regulacyjnych pozwoli na wykorzystanie generacji rozproszonej do poprawy pracy sieci, utworzenie modelu zdecentralizowanego usług SEE oraz umożliwi wzrost przyłączania OZE do sieci.

Możliwości techniczne w zakresie realizacji usług przez DG są zależne od rodzaju zastosowanych urządzeń energoelektronicznych do wyprowadzenia mocy. Obecnie stosowane układy w DG podłączanych do SN lub nn nie posiadają dużych zdolności regulacyjnych. Jednak rozwój urządzeń energoelektronicznych oraz wzrost wymagań stawianych przyłączanym źródłom spowodują zastosowanie zaawansowanych urządzeń przekształtnikowych, jak ma to miejsce w farmach wiatrowych przyłączanych do WN. Przyłączenie niesterowanych DG o dynamicznie zmieniającej się mocy (np. FW, PV) może powodować problemy jakościowe energii elektrycznej oraz wzrost zapotrzebowania na bilansowanie systemu (rezerwę pierwotną/wtórą). Powszechne zastosowanie usług regulacyjnych wśród DG podłączonych do SN poprawi stan pracy sieci. W przypadku wzrostu przyłączonych niesterowanych źródeł i jednoczesnym przyłączeniu DG z uruchomionymi usługami regulacyjnymi umożliwi utrzymanie stanu sieci na wymaganym poziomie.

Lp.	Kategoria	Nazwa usługi	Opis	Możliwość realizacji usługi przez jednostki wytwórcze	JW	Korzyści OSD
1	Zmiana na żądanie OSD mocy czynnej	Zmiana na żądanie mocy czynnej oddawanej do sieci	W ramach świadczenia usługi moc oddawana do sieci przez źródło jest na polecenie OSD różna od tej, która wynika z dostępności energii pierwotnej (np. PV, wiatr, hydroenergetyka) lub uwarunkowań techniczno-technologicznych (np. CHP, biogazownie). Jest to praca z zaniżeniem lub zawyżeniem mocy. Zastosowania: likwidacja zagrożeń pracy sieci SN, zwiększenie możliwości przyłączania nowych źródeł, odsunięcie w czasie inwestycji sieciowych	Wszystkie jednostki wytwórcze posiadające możliwość regulacji mocy czynnej w kierunku jej zaniżenia lub zwiększenia w stosunku do mocy chwilowej	EW, CHP, bio, FW, PV	Zmniejszenie przeciążeń, zastępowalność inwestycji sieciowych, ewentualnie przesunięcie inwestycji w czasie, regulacja napięcia, ograniczenie strat sieciowych, wzrost możliwości przyłączania OZE
2		Praca z odstępem	Usługa polegająca na zmniejszeniu mocy oddawanej do sieci o zadaną wartość w stosunku do dostępności energii pierwotnej i/lub uwarunkowań techniczno-technologicznych źródła. Usługa pracy z odstępem może być podstawą do świadczenia usługi regulacji pierwotnej	Wszystkie jednostki wytwórcze posiadające możliwość regulacji mocy czynnej w kierunku jej zaniżenia w stosunku do mocy chwilowej	EW, CHP, bio, FW, PV	
3		Ograniczenie gradientu zmian mocy oddawanej do sieci	Usługa polegająca na ograniczeniu 15-minutowych gradientów mocy oddawanej do sieci przez źródła rozproszone w stosunku do standardowych właściwości jednostki wytwórczej i zmian wydajności źródła energii pierwotnej. Usługa świadczona przez źródła o niespokojnym profilu mocy czynnej oddawanej do sieci (FW, PV). Świadczenie usługi zmniejsza w KSE zapotrzebowanie na rezerwę wtórną. Realizacja usługi może odbywać się poprzez pracę z odstępem mocy / pracę z zaniżeniem generacji lub przy współpracy z magazynem energii	Jednostki wytwórcze o dużej zmienności mocy oddawanej do sieci, posiadające możliwość regulacji mocy czynnej. Wymagana modyfikacja układu sterowania mocą czynną umożliwiającą zadanie i utrzymanie maksymalnej szybkości zmian mocy czynnej	FW, PV	
4	Zmiana na żądanie OSD mocy biernej	Regulacja napięcia w punkcie przyłączenia	Usługa polega na wytwarzaniu mocy biernej (pojemnościowej lub indukcyjnej) o wartości wynikającej z wartości zadanej napięcia. Usługa może mieć w przyszłości duże znaczenie w przypadku masowego przyłączania do sieci nn niesterowalnych mikroźródeł (PV, FW)	Wszystkie jednostki wytwórcze posiadające możliwość sterowania mocą bierną oraz posiadające pomiar napięcia w punkcie przyłączenia	FW (przekształtnik lub DFIG), PV, EW (SG), CHP	Regulacja napięcia, optymalizacja strat, ograniczenie liczby przełączeń zaczepek transformatorów
5		Regulacja mocy biernej	Usługa polega na wytwarzaniu mocy biernej w celu kompensacji przepływu mocy biernej w danym obszarze sieci SN	Wszystkie jednostki wytwórcze posiadające możliwość sterowania mocą bierną		
6	Regulacja częstotliwości	Praca z pełną charakterystyką statyczną	Realizowana przez zmianę mocy czynnej w zależności od częstotliwości. Usługa wspomaga działanie usługi systemowej „rezerwa pierwotna/wtórna”. Musi być świadczona równocześnie z: 1. usługą „pracy w odstępie mocy” lub pracy z zaniżoną generacją (w obydwu przypadkach wiąże się to z utratą części produkcji), lub 2. w ograniczonym zakresie bez utraty produkcji przez źródła posiadające możliwość akumulacji energii pierwotnej lub współproduktów procesu wytwarzania energii elektrycznej ¹ . Jedną z cech źródeł rozproszonych wyposażonych w przekształtnik dla wyprowadzenia mocy (FW, PV) jest możliwość niemal natychmiastowej zmiany mocy oddawanej do systemu ²	Wszystkie jednostki wytwórcze posiadające: 1. możliwość regulacji mocy czynnej w zakresie $P_{min} - P_n$ z prędkością 0,05 Pn/sek. 2. możliwość trwałej pracy z mocą wynikającą z chwilowej wydajności źródła energii pierwotnej w zakresie częstotliwości $49,0 \leq f \leq 51,5$ [Hz]	CHP, bio, EW	Wzrost udziału w regulacji częstotliwości, ograniczenie wzrostu generacji niekonwencjonalnej przy $f > 50,2$ [Hz], wzrost możliwości przyłączania OZE
7		Praca z ograniczeniem mocy czynnej przy zwężce częstotliwości	Usługa regulacji częstotliwości świadczona (w odróżnieniu od usługi z pełną charakterystyką statyczną) tylko w górnym paśmie częstotliwości (powyżej $f = 50$ Hz), redukując liniowo moc czynną zależnie od wzrostu częstotliwości ²	Wszystkie jednostki wytwórcze posiadające: 1. możliwość regulacji mocy czynnej w kierunku jej zmniejszenia z prędkością 0,05 Pn/sek. w stosunku do wartości wynikającej z chwilowej wydajności źródła energii pierwotnej 2. możliwość trwałej pracy z mocą wynikającą ze statyzmu regulacji w zakresie częstotliwości co najmniej do $50 \leq f \leq 51,5$ [Hz]	FW, PV	
8		Praca z utrzymaniem mocy czynnej przy obniżonej częstotliwości	Usługa świadczona tylko w dolnym paśmie częstotliwości (poniżej $f = 50$ Hz) we wszystkich trybach pracy źródła, polegająca na: 1. utrzymaniu mocy oddawanej do sieci jak przy częstotliwości sieciowej (tryb „bez ograniczeń mocy”) lub osiągnięciu mocy wynikającej z możliwości technicznych jednostki niższej niż przy częstotliwości sieciowej (tryb „z ograniczeniami mocy” źródła). Polega ona na niewyłączaniu się JW przy obniżce f i dostarczaniu deficytowej mocy czynnej w granicy możliwości technicznych JW ²	Jednostki wytwórcze, których dokumentacja techniczna przewiduje możliwość pracy z częstotliwością poniżej 50 Hz. W celu dotrzymania charakterystyk usługi mogą być wymagane zmiany w układach automatyki	FW, PV	

Lp.	Kategoria	Nazwa usługi	Opis	Możliwość realizacji usługi przez jednostki wytwórcze	JW	Korzyści OSD
9	Zdolność do pracy w warunkach zakłóceń	Przejsięcie przez zwarcie	Usługa polega na pracy jednostki (niewyłączeniu się jej) w przypadku zapadów napięcia. Najczęstszą ich przyczyną są zwarcia w sieci. Celem usługi jest zapobieżenie utracie znacznej generacji w sieciach SN w przypadku rozległych obszarowo zapadów napięcia. Dodatkowo w sieciach SN usługa stwarza możliwość podtrzymania napięcia na liniach w przypadku lokalnych zwarć	Źródła posiadające zdolność ograniczania prądu zwarciowego do wartości bezpiecznej	FW (prze-kształtnik, DFIG), PV EW (SG), CHP i bio – w ograniczonym zakresie	Zmniejszenie przerw w dostawach energii, zmniejszenie zagrożenia wystąpienia awarii systemowej, zmniejszenie prawdopodobieństwa utraty części generacji w skutek zakłócenia, konieczność utrzymywania mniejszej rezerwy wirującej
10		Podtrzymanie napięcia	Usługa polega na wytwarzaniu mocy biernej o dużych wartościach w kierunku regulacji napięcia przez zadany maksymalny czas, nawet w warunkach zakłóceń (odchyłce napięcia o co najmniej 10%). Zastosowanie tej usługi umożliwia obniżenie skutków zwarć dla odbiorców przyłączonych w pewnej odległości od miejsca zwarcia	Posiadają zdolność ograniczania prądu zwarciowego do wartości bezpiecznej. Posiadają zdolność pracy w trybie regulacji napięcia z możliwością chwilowej generacji ponad-znamionowej mocy biernej		
11		Odbudowa mocy czynnej	Polega na wytwarzaniu mocy czynnej o wartości co najmniej 0,9 wartości mocy znamionowej lub wynikającej z wydajności źródła energii pierwotnej w warunkach zakłóceń po powrocie napięcia do wartości 0,85 Un przez zadany maksymalny czas. Usługa umożliwia obniżenie skutków zwarć dla odbiorców przyłączonych w pewnej odległości od miejsca zwarcia	Posiadają zdolność ograniczania prądu zwarciowego do wartości bezpiecznej. Praca w trybie regulacji napięcia z chwilową mocą czynną		
12	Praca w obwodach wydzielonych	Usługa samostartu	Polega ona na możliwości uruchomienia jednostki przy braku napięcia w sieci. Źródła oferujące tę usługę muszą mieć możliwość generacji napięcia o wymaganych parametrach, gdy w sieci nie ma napięcia. Usługa ta będzie wykorzystana dla pracy wyspowej. Dla każdej wyspy powinna być co najmniej jedna jednostka oferująca tę usługę. Jednostki oferujące tego typu usługę muszą być zrealizowane w technologii umożliwiającej samostart w sposób naturalny lub korzystając z innych źródeł energii, np. zasobników	Jednostki wyposażone w generatory samowzbudne z akumulatorowym podtrzymaniem zasilania dla układów sterowania i telekomunikacji. Jednostki wyposażone w odpowiednio zaprojektowane inwertery umożliwiające ich pracę na niezasilaną sieć z akumulatorowym podtrzymaniem zasilania dla układów sterowania i telekomunikacji (np. elektrownie słoneczne, wiatrowe)	Agregaty, FW (prze-kształtnik), EW (SG), PV	Zmniejszenie przerw w dostawach energii, zmniejszenie zagrożenia wystąpienia awarii systemowej, zmniejszenie prawdopodobieństwa utraty części generacji wskutek zakłócenia
13		Praca wyspowa	Usługa polega na wytwarzaniu mocy czynnej i/lub biernej do wydzielonego obszaru sieci. Muszą to być jednostki z możliwością regulacji częstotliwości z pełną charakterystyką statyczną. Podczas pracy wyspowej wymagana będzie modyfikacja działania urządzeń EAZ zainstalowanych w obszarze wyspy. Nastawy statyzmu muszą być wyznaczone dla konkretnej wyspy. Do pracy równoległej na obszar wydzielony powinny być szczególnie wykorzystane jednostki o dużej dyspozycyjności	Jednostki wytwórcze o szerokim zakresie regulacji mocy czynnej/biernej w dynamiczny sposób. Część jednostek może być niestwierdzonych, jeśli w wydzielonej wyspie istnieje pewna stała wartość minimalnego zapotrzebowania (podstawa zapotrzebowania) w całym czasie pracy wyspy. Cechą pożądaną będzie również zdolność do pracy w warunkach zakłóceń	Agregaty, CHP, bio, FW (prze-kształtnik, DFIG), EW (SG), PV	

¹ Po wyczerpaniu zdolności akumulacji źródło może nadal świadczyć usługę z utratą części produkcji.

² Usługa świadczona tylko przez źródła nieposiadające w warunkach przyłączenia wpisu o obowiązkowych warunkach pracy w zależności od częstotliwości lub obowiązek ten nie wynika z instrukcji ruchu. Źródła te obligatoryjnie muszą być wyposażone w automatykę realizującą ww. funkcjonalność.

Tab. 3. Katalog usług regulacyjnych

Przystosowanie DG do realizacji usług regulacyjnych wymaga ich modernizacji, zmiany układów sterowania oraz budowy wspólnego systemu telekomunikacyjnego, umożliwiającego ich zdalne sterowanie. Wymagać

to będzie opracowania wspólnego standardu komunikacji i sterowania w ramach OSD. Ponadto realizacja usług będzie się wiązała z utratą korzyści przez wytwórców (utrata produkcji energii czynnej, utrata certyfikatów, wzrost kosztów eksploatacji). Żeby

umożliwić rozwój usług regulacyjnych, musi powstać mechanizm rekompensaty utraconych korzyści oraz pokrywający koszty inwestycyjne, modernizacji oraz testów i uruchomień.

Jarosław G. Korpikiewicz

mgr inż.

Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk

e-mail: jkorpikiewicz@ien.gda.pl

Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, na kierunku automatyka (2002). Zatrudniony na stanowisku specjalisty ds. analiz w Zakładzie Strategii i Rozwoju Systemu Instytutu Energetyki Oddział Gdańsk. Jego zawodowe zainteresowania obejmują: usługi systemowe i regulacyjne, problematykę pracy systemu elektroenergetycznego, automatykę elektrowni i SEE oraz zastosowanie odnawialnych źródeł energii. Doktorant Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej.

Leszek Bronk

mgr inż.

Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk

e-mail: l.bronk@ien.gda.pl

Absolwent Politechniki Gdańskiej Wydziału Elektrotechniki i Automatyki na kierunku elektrotechnika. Od 2000 roku zatrudniony na stanowisku specjalisty ds. analiz w Zakładzie Strategii i Rozwoju Systemu Instytutu Energetyki Oddział Gdańsk. Zawodowo zajmuje się problematyką rozwoju odnawialnych źródeł energii oraz zagadnieniami powiązаныmi z energetyką.

Tomasz Pakulski

mgr inż.

Instytut Energetyki Instytut Badawczy Oddział Gdańsk

e-mail: t.pakulski@ien.gda.pl

Absolwent Politechniki Gdańskiej Wydziału Elektrotechniki i Automatyki, kierunek elektrotechnika (2005). Zatrudniony na stanowisku specjalisty ds. analiz w Zakładzie Strategii i Rozwoju Systemu Instytutu Energetyki Oddział Gdańsk. Jego zawodowe zainteresowania obejmują: problematykę pracy systemu elektroenergetycznego oraz rozwoju klasycznych i odnawialnych źródeł energii.