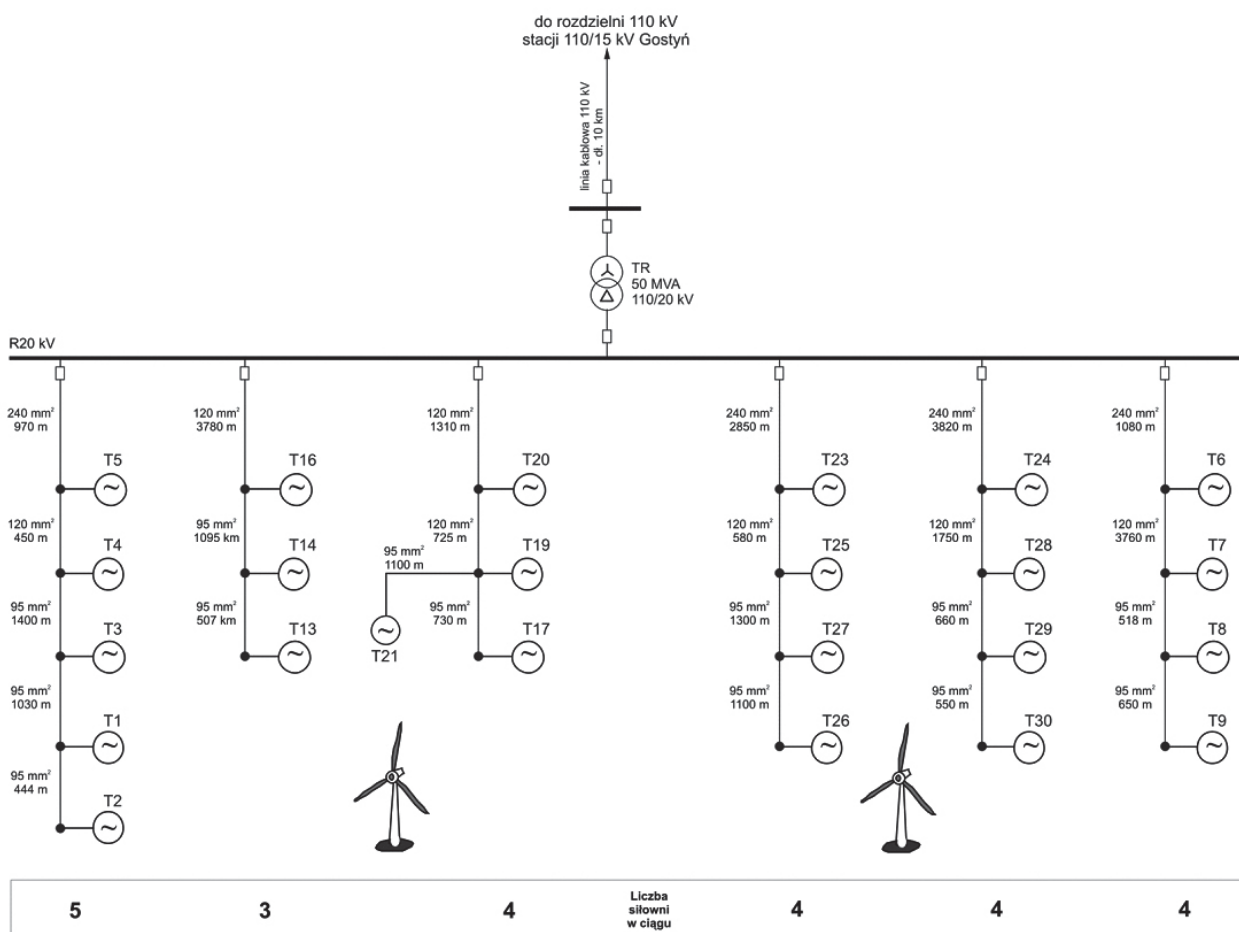


Kompensacja mocy biernej indukcyjnej oraz pojemnościowej na farmach wiatrowych

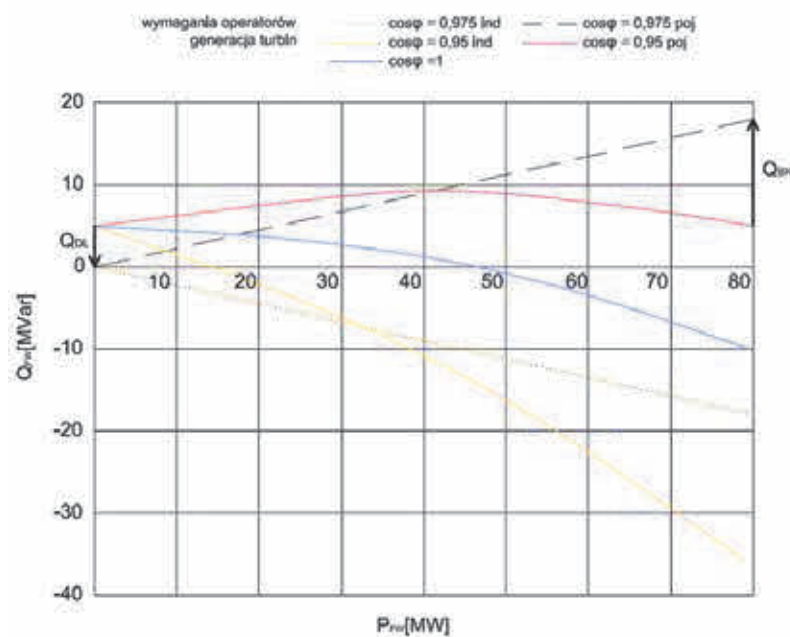
W Polsce obserwuje się olbrzymie zainteresowanie budową nowych, odnawialnych źródeł energii elektrycznej. Zainteresowanie to jest wynikiem kształtowania rynku energii przez politykę Unii Europejskiej, dążącą do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla. Wśród różnych technologii wytwarzania energii elektrycznej, charakteryzujących się ograniczeniem niekorzystnego wpływu na środowisko naturalne, największy przyrost nowo instalowanych obiektów zauważa się w obszarze wykorzystania energii wiatru. Wartość mocy zainstalowanych w Polsce elektrowni wiatrowych wynosi prawie 1 GW i ciągle rośnie. Elektrownie wiatrowe są grupowane w instalacje za-

wierające od kilkunastu do kilkudziesięciu siłowni wiatrowych. Instalacje takie, nazywane farmami wiatrowymi, przyłączane są najczęściej do istniejących linii elektroenergetycznych sieci dystrybucyjnej 110 kV bądź, w przypadku znacznych mocy, za pomocą linii promieniowych do węzłów NN/WN (rys 1). Zapisy prawne zawarte w Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej nakładają na inwestora farmy wiatrowe konieczność zapewnienia regulacji mocy biernej generowanej przez farmę wiatrową. Na wykresie (rys 2) przedstawiono zmienności mocy biernej w funkcji mocy czynnej mierzonej w punkcie przyłączenia farmy wiatrowej o mocy 80

MW na tle wymagań IRIESD i IRIESP. Na farmie zainstalowano turbiny pracujące z regulacją $\cos\varphi$ w zakresie 0,95poj -0,95ind. Z przebiegu wykresu widzimy że podczas postoju farmy oraz podczas małej generacji mocy czynnej występuje oddawanie mocy biernej do sieci. Jest to spowodowane generacją mocy biernej pojemnościowej przez rozległe linie kablowe SN oraz WN. W celu eliminacji tego zjawiska należy wprowadzić do węzła farmy źródło mocy biernej indukcyjnej np. w postaci dławików kompensacyjnych. W górnym zakresie generacji mocy czynnej farmy występuje deficyt mocy biernej. Widzimy że turbiny nie są w stanie utrzymać zadanego tg fi we-



Rys 1. Przykładowa struktura farmy wiatrowej – schemat elektryczny sieci SN, transformator farmy, połączenie z siecią WN.



Rys 2. Wykres zmienności mocy biernej w funkcji mocy czynnej dla farmy 80 MW.

dług wymagań IRIESD. W tej sytuacji jest niezbędna dodatkowa generacja mocy biernej pojemnościowej np. poprzez zastosowanie baterii kondensatorów.

Regulacja napięcia i mocy biernej

Innym z problemów związanych z pracą elektrowni wiatrowych jest stabilność napięciowa. W przypadku dużego udziału elektrowni wiatrowych w generacji mocy w dolinie obciążenia następuje odstawianie jednostek z generatorami synchronicznymi i w konsekwencji ograniczenie zdolności regulacyjnych mocy biernej. Szczególnie w przypadku, gdy generacja wiatrowa jest w większości zlokalizowana na obszarach oddalonych od miejsc koncentracji jednostek konwencjonalnych. Skutkiem powyższego są zbyt wysokie napięcia w węzłach sieci przesyłowej. Mogą być one obniżone za pomocą regulacji przekładni transformatorów i regulowanych dławików lub poprzez wyłączanie linii przesyłowych. To ostatnie prowadzi jednak do obniżenia niezawodności pracy systemu. Większość małych i średnich elektrowni wiatrowych nie posiada lub posiada ograniczone zdolności regulacji i najczęściej pracuje przy współczynniku mocy bliskim jedności. Wadą generatorów indukcyjnych jest pobór mocy biernej, z czego wynika potrzeba kompensacji mocy biernej za pomocą baterii kondensatorów i dławików.

W przypadku generatorów indukcyjnych dwustronnie zasilanych nie ma takiej potrzeby, gdyż mogą one zarówno pobierać, jak i oddawać moc bierną do sieci. Bezpośrednio w regulacji napięcia i mocy biernej mogą również uczestniczyć generatory synchroniczne z przetwornikami. Regulacja napięcia i mocy biernej może być zrealizowana w sposób indywidualny przez pojedynczy turbozespół wchodzący w skład elektrowni lub centralnie w stacji przebiegowej lub w miejscu przyłączenia do sieci.

Ważnym problemem jest kompensacja pojemności kabli łączących turbozespoły z siecią wewnętrzną lub kabla łączącego elektrownię wiatrową z siecią zewnętrzną oraz eliminacja wpływu pojemności napowietrznych linii przesyłowych na poziomy napięcie w niskich stanach obciążenia. Kompensacja mocy biernej niekoniecznie musi mieć miejsce wewnątrz elektrowni wiatrowej. Równie dobrym rozwiązaniem jest kompensacja w miejscu przyłączenia do sieci. Szczególnie w przypadku przyłączenia elektrowni za pomocą kabla prądu przemiennego będącego źródłem mocy biernej, która może bilansować się z mocą bierną elektrowni.

Do kompensacji mocy biernej stosuje się działania polegające na odpowiednim prowadzeniu ruchu oraz instalowaniu urządzeń technicznych, takich jak dławiki i baterie kondensatorów oraz urządzenia energoelektroniczne.

Cel sterowania generacją mocy biernej farmy wiatrowej

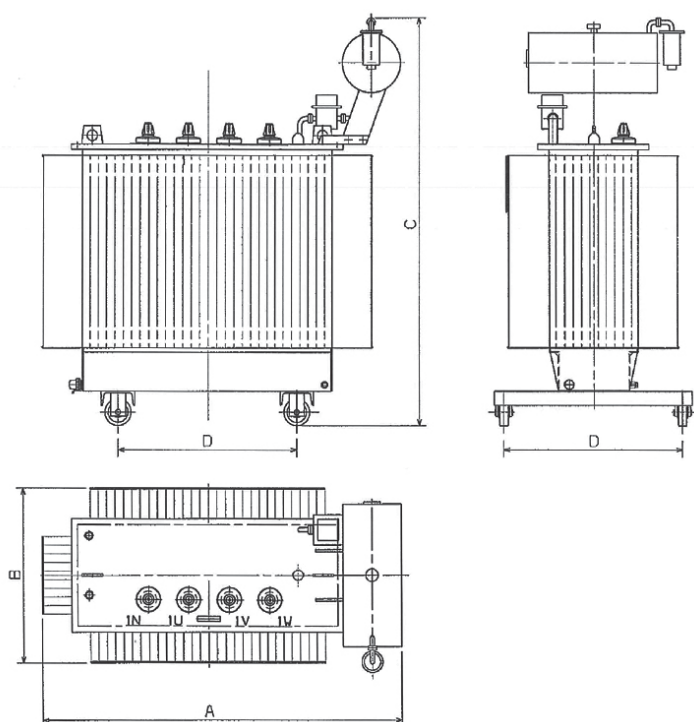
Farma wiatrowa musi być wyposażona w aparaturę, która zapewnić utrzymanie określonych warunków napięciowych w miejscu jej przyłączenia. Regulacja napięcia i mocy biernej powinna być zapewniona w pełnym zakresie dopuszczalnych obciążeń mocą bierną. System sterownia i regulacji napięcia i mocy biernej farmy wiatrowej powinien posiadać zdolność do pracy autonomicznej oraz opcjonalnie do pracy z nadrzędnym układem regulacji napięcia i mocy biernej zainstalowanym w stacji elektroenergetycznej. Możliwość sterowania mocą bierną może potencjalnie być wykorzystywana do realizacji następujących zadań:

- ograniczenia wpływu zmienności wiatru na wahania (zmiany) napięcia w punkcie przyłączenia farmy do sieci elektroenergetycznej,
- regulacji napięcia w sąsiedztwie farmy w stanach normalnych i awaryjnych,
- ograniczenia strat mocy w sieci wewnętrznej farmy wiatrowej,
- ograniczenia strat mocy w sieci dystrybucyjnej, do której jest przyłączona farma,
- ograniczenia wahań napięcia w sieci dystrybucyjnej, powodowanych zmiennością obciążenia,
- zwiększenia zapasu stabilności napięciowej.

Dławiki kompensacyjne

Podstawowym źródłem mocy biernej indukcyjnej poza możliwością wytwórczą turbin są dławiki kompensacyjne. W przypadku braku oraz niskiej generacji, generatory na farmie nie są w stanie skompensować mocy biernej rozległych linii kablowych. Zastosowanie dławików umożliwia zapewnienie wymaganej wartości współczynnika mocy w miejscu przyłączenia farmy wiatrowej.

Dławiki w zależności od struktury kablowej oraz potrzeb farmy mogą być instalowane zarówno na poziomie SN (15, 20 czy 30 kV) jak również na poziomie WN (110 kV). Punkt przyłączenia dławika jest określany w zależności od miejsca gdzie występuje zapotrzebowanie na moc bierną. W przypadku gdy farma jest przyłączona do sieci poprzez długą linię kablową 110 kV stanowiącą główny generator mocy biernej pojemnościowej, wówczas naturalnym punktem przyłączenia dławika będzie rozdzielnia 110 kV. W przypadku gene-



Rys 3. Widok dławika SN 30 kV rdzeniowego w izolacji olejowej.



Fot. 1. Widok stanowiska dławik kompensacyjny 30 kV z zabudowaną misą.

racji mocy biernej pojemnościowej poprzez rozległą sieć SN łączącą poszczególne turbiny przyłączenia dławików należy zrealizować do rozdzielnic SN. Na rynku są dostępne dławiki rdzeniowe w izolacji olejowej, jak również dławiki suche bezrdzeniowe. Oba rozwiązania mają swoje zalety jak również i wady. Dławiki rdzeniowe w izolacji olejowej charakteryzują się zwarłą budową, co pozwala na zabudowę w stosunkowo niedużych gabarytach dużych mocy znamionowej urządzenia (rys 3). Zastosowana izolacja olejowa wymaga budowy szczelnej misy

pod dławikiem oraz wpięcia instalacji do separatora (zdjęcie nr 1).

Powyższy problem nie dotyczy dławików suchych bezrdzeniowych. Jednakże strefy magnetyczne jakie powstają wokół cewek dławików bezrdzeniowych, powodują że w stosunku do dławików olejowych instalacja potrzebuje o wiele większej przestrzeni pod zabudowę (zdjęcie 2). W związku z powyższym typ dławika powinien zostać dobrany na etapie projektu uwzględniając warunki panujące na danej stacji.

Baterie kondensatorów

Podstawowym źródłem mocy biernej pojemnościowej są baterie kondensatorów. Baterie kondensatorów w zależności od potrzeb sieci mogą być zabudowane zarówno po stronie SN (15, 20 czy 30 kV) jak i WN (110 kV). W zależności od poziomu napięcia pracy, baterie różnią się budową, układem połączeń oraz sposobem zabezpieczenia.

Baterie kondensatorów dla potrzeb farm wiatrowych oferowane przez firmę OLMEX S.A. są przystosowane do pracy w sieci gdzie występuje podwyższony poziom wyższych harmonicznych lub może wystąpić rezonans baterii z pracującymi transformatorami. W projektowanych rozwiązaniach stosowane są dławiki o częstotliwości rezonansowej 134 lub 189 Hz.

Baterie projektowane są w układzie podwójnej gwiazdy z przekładnikiem prądowy w połączeniu międzygwiazdowym. Baterie wyposażone są również, w przekładniki napięciowe służące do skrócenia procesu rozładowania kondensatorów po zaniku napięcia.

W przypadku baterii na poziomie 30 kV kondensatory zabudowane są na stalowych stelażach. Poszczególne fazy ze względu na wymagany poziom izolacji oraz szeregowe połączenia kondensatorów są izolowane pomiędzy sobą poprzez zastosowanie izolatorów por-



Fot. 2. Widok stanowiska dławików kompensacyjny bezrdzeniowych 110 kV.

PRZEDSIĘBIORSTWO BADAWCZO-WDROŻENIOWE „OLMEX” S.A.

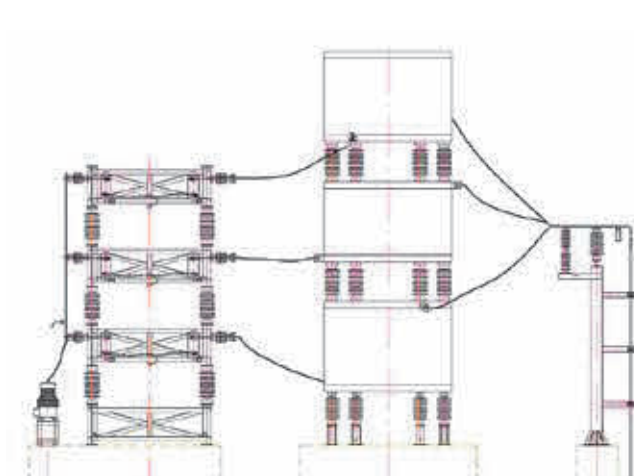
Realizacja inwestycji SN i WN metodą „pod klucz”.

***Kompleksowe usługi w zakresie, doradztwa,
projektowania, dostawy i serwisu:***

- ***kompensacji mocy biernej NN, SN i WN,***
- ***przekładników napięciowych i prądowych SN
i WN, Wyłączników SN, ograniczników przepięć,
rozdzielnic, aparatury stacyjnej,***
- ***zabudowy wozów do diagnostyki kabli oraz
aparatury pomiarowej.***



PONAD 25 LAT NA RYNKU



Rys 4. Widok stanowiska baterii kondensatorów 30 kV typu BKSdn-30 prod. OLMEX SA



Fot. 3. Widok stanowiska baterii kondensatorów 30 kV typu BKSdn-30 prod. OLMEX SA

celanowych pomiędzy poszczególnymi stelażami (rys. 4 oraz zdjęcie 3).

Przedstawiony na rys. 4 oraz zdjęciu 3 układ BKSdn-30 składa się z następujących elementów:

- sekcji bateryjnej o mocy 4 MVar;
- przekładnika prądowego 5/5A w połączeniu międzygwiazdowym;
- przekładników napięciowych 30/0,1 kV pracujących w układzie „V”;
- ograniczników przepięć chroniących kondensatory przed przepięciami sieciowymi typu HTS;
- dławików tłumiących wyższe harmoniczne o stopniu tłumienia $p=7\%$;
- słupków kablowych i konstrukcji pod ww aparaturę.

W przypadku rozwiązań stosowanych na WN (110 kV) układ połączeń podwójnej gwiazdy (YY) jest zastąpiony układem „H”. W tym układzie połączeń, w każdej z faz jest zabudowany prze-

kładnik prądowy do pomiaru asymetrii w przypadku wystąpienia zwarć wewnętrznych w kondensatorach. Ten układ połączeń jest wymuszony ilością ogniw zastosowanych w baterii (zdjęcie 4). Dla uzyskania stosu napięciowego stosuje się połączenia szeregowo 6-8 ogniw. W większości projektów baterie WN są budowane dla mocy 10MVar i większych.

Wybór przyłączenia układów kompensacji (dławiki, baterie kondensatorów) powinien uwzględniać czynniki techniczne jak również ekonomiczne. Na większości farm urządzenia kompensacyjne są umiejscowione na poziomie SN. Jest to podyktowane od strony technicznej miejscem zapotrzebowania na energię bierną np. rozległe sieci kablowe łączące poszczególne turbiny wiatrowe (zabudowa dławików indukcyjnych) czy generacja mocy biernej pojemnościowe dla po-

trzeb turbin przy max generacji (zabudowa baterii kondensatorów). Z punktu ekonomicznego stosowanie rozwiązań SN (15, 20 i 30 kV) są znacznie korzystniejsze w stosunku do rozwiązań WN (110 kV). Niższe koszty aparatury łączeniowej jak również urządzeń kompensacyjnych.

Instalacje WN mają zastosowanie przy długich liniach kablowych wyprowadzających moc z farmy (dławiki kompensacyjne o mocach kilku lub kilkunastu MVar) oraz dużym zapotrzebowaniu na moc bierną pojemnościową (baterie kondensatorów) gdzie zastosowanie rozwiązań SN jest trudne technicznie lub niemożliwe.

Literatura

1. Bandzul Waldemar, Energetyka wiatrowa w Polsce PSE SA Elektroenergetyka Nr 3/2005.
2. Grzędziński I., Sposoby kompensacji mocy biernej farm wiatrowych, Materiały konferencyjne Międzynarodowe Targi Poznańskie Expopower, Poznań 2010.
3. IRIESP – Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci v. 1.2. Tekst jednolity obowiązujący od dnia: 5 listopada 2007 roku.
4. Klucznik J. Udział farm wiatrowych w regulacji napięcia w sieci dystrybucyjnej, Acta Energetica Nr 11/2011.
5. Kompensacja mocy biernej - katalog wyrobów OLMEX SA 2013.
6. Lubośny Z., Farmy wiatrowe w systemie elektroenergetycznym, WNT, Warszawa 2009.
7. www.pse.pl



Fot. 4. Widok stanowiska baterii kondensatorów 110 kV prod. OLMEX SA

Iwanicki Marek, Marcin Dębek
OLMEX S.A. Wójtowo