

# Rozwój sieci z wykorzystaniem transformatorów SN/nn wyposażonych w podobciążeniowe przełączniki zacze- pów z automatyką ARN

Grid development using onload tap changer transformers with au- tomatic voltage control

Bartosz Pawlicki, Franco Pizzutto, Michał Latosiński, Krzysztof Kluszczyński, Kamil Smejda

**Słowa kluczowe:** automatyczna regulacja napięcia, transformator SN/nn z PPZ, podobciążeniowy przełącznik zacze- pów, algorytm regulacji, generacja rozproszona

W artykule przedstawiono zagadnienie rozwoju sieci dystrybucyjnych SN i nn z wykorzystaniem transformatorów SN/nn z podobciążeniowymi przełącznikami zacze- pów. Pokazane zostało podejście alternatywne do klasycznej rozbudowy sieci. Prezentowane podejście umożliwia obniżenie kosztów i skrócenie czasu modernizacji sieci. W artykule przedstawiono przykład rozwiązania wdrożonego w 2019 r., w sieci jednego z operatorów sieci dystrybucyjnej. Zaprezentowane zostały możliwości układu oraz omówiono zrealizowany algorytm.

**Keywords:** automatic voltage regulation, MV/LV transformer, VRDT, on-load tap changer, regulation algorithm, distributed generation

Issues regarding to MV&LV grid development planning with application of Voltage Regulating Distribution Transformers (VRDT) were investiga- ted. The article presents an alternative approach to traditional network reinforcement. This approach enables the reduction of cost and time for grid upgrade. The described project has been developed in 2019 for a Polish Distribution System Operator. Opportunities of applied regulating algorithm are presented.

Operatorzy Sieci Dystrybucyjnych (OSD) stoją obecnie przed wieloma wyzwaniami związanymi z dynamicznymi zmianami w sieciach rozdzielczych. Wdrożona została regulacja jakościowa, która obecnie skupia się na skracaniu czasów i ograniczaniu częstości występowania przerw w dostawie energii elektrycznej – Urząd Regulacji Energetyki zbiera jednak informacje o innych aspektach jakościowych dostarczanej energii.

Równolegle obserwuje się wysyp generacji rozproszonej, jaką jest generacja z farm fotowoltaicznych przyłączana do sieci SN. Wszystko to powoduje potrzebę poszukiwania nowych sposobów rozwoju sieci dystrybucyjnych w sposób gwarantujący poprawę jakości usług i dostarczanej energii elektrycznej, a jednocześnie rozwiązania te muszą być zasadne ekonomicznie. W artykule przedstawiono możliwość zastosowania transformatorów SN/nn wyposażonych w podobciążeniowe przełączniki zacze- pów (PPZ) działające w układzie automatycznej regulacji napięcia (ARN) jako sposobu na obniżenie kosztów inwestycyjnych oraz skrócenie czasu inwestycji związanego z przyłączeniem nowych klientów lub poprawą parametrów jakościowych dostarczanej energii elektrycznej.

## TRANSFORMATORY SN/NN Z PODOBCIĄŻENIOWYMI PRZEŁĄCZNIKAMI ZACZE- PÓW (PPZ)

W sieciach dystrybucyjnych powszechnie stosuje się transformatory, które nie umożliwiają zmiany napięcia pod obciążeniem. Możliwości regulacyjne zapewniały dotychczas transformatory mocy WN/SN pracujące w stacjach GPZ (Główny Punkt Zasilający), gdzie za pomocą podobciążeniowych przełączników zacze- pów WN można było dostosowywać napięcie DN transformatorów, tak by zapewniać odpowiednie napięcia SN w sieciach zasilanych przez poszczególne GPZ-ty. Niestety obecnie ten sposób regulacji nie jest wystarczający. Aktualnie OSD odnotowują coraz częściej przypadki, gdzie w obrębie tego samego GPZ-u pojawiają się wahania napięć, których zrównoważenie nie jest możliwe dzięki zmianie napięcia w całym obszarze zasilanym z jednego transformatora mocy WN/SN. Przyczyną tych wahań są najczęściej źródła rozproszone, ale również wysokoprądowe odbiory, których coraz więcej instaluje się w sieciach dystrybucyjnych.

W Europie i na świecie istniały wcześniej rozwiązania, które można było nazwać transformatorami rozdzielczymi z podobciążeniowymi przełącz- nikami zacze- pów. Konstrukcje te były jednak wykonaniami specjalnymi,

Dr inż. Bartosz Pawlicki (bartosz.pawlicki@bael.pl) – BAEL Telemechanika i Automatyka, Warszawa, Dipl.-Ing. Franco Pizzutto – Maschinen- fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg, Germany, Michał Latosiński – SGB-SMIT Transformers Polska, Łódź, mgr inż. Krzysztof Kluszczyński, mgr inż. Kamil Smejda – Apator Elkomtech S.A., Łódź.

które dostosowywały przełączniki zacze- pów do współpracy z istnie- jącymi konstrukcjami transformatorów. Bardzo duże rozmiary i masy tych transformatorów ograniczały znacznie możliwości ich zastosowań, wymagały specjalnych stacji, co pociągało za sobą wysokie koszty inwestycyjne. Obecnie, ze względu na koszty, ale również dlatego, że problem nierównoważonych wahań napięcia dotyka często sieci znajdujących się w gęstej, miejskiej zabudowie te rozwiązania nie spełniają już swo- jego zadania. Problemy pojawiają się w miejscach sieci, gdzie istniejąca infrastruktura do tej pory była wystarczająca. Poszukiwane więc było rozwiązanie, które stanie się rozwiązaniem standardowym, łatwym do implementacji w istniejących warunkach, umożliwiającym rozwiązanie w szybki sposób nowo pojawiających się problemów w sieciach SN i nn.

Konstrukcja nowoczesnych transformatorów SN/nn wyposażonych w podobciążeniowe przełączniki zacze- pów (PPZ) opiera się na zmodyfi- kowanym projekcie typowego transformatora rozdzielczego. Projektan- ci zarówno przełącznika zacze- pów (PPZ), jak transformatora, skupili się aby zachować wymiary typowych jednostek, które mieszczą się w kom- paktowych stacjach transformatorowych. Transformatory z PPZ mają długość i szerokość nie większą niż typowe transformatory z regulacją beznapięciową pracujące masowo w polskim systemie energetycznym i są od nich trochę wyższe (o 250-350 mm). Pod pokrywą transformatora należało przewidzieć miejsce dla przełącznika zacze- pów, lecz wysokość nie ma akurat większego znaczenia dla lokalizacji w stacjach kompakt- wych, ponieważ jest tam zawsze przewidziana rezerwa miejsca na układ wentylacyjny i połączenia do transformatora.

TABELA 1. Porównanie wymiarów transformatora 400 kVA RONT z PPZ i trans- formatora 400 kVA z regulacją beznapięciową

Wymiar	Transformator RONT DOTULr 400 kVA AoBk przełącznik podobciążeniowy	Transformator DOTEŁ 400 kVA AoCk przełącznik beznapięciowy
Długość [mm]	1120	1350
Szerokość [mm]	780	900
Wysokość [mm]	1800	1450

Ze względu na możliwość prostej wymiany, nowoczesne transformato- ry z PPZ stają się rozwiązaniem standardowym w publicznych, przemy- słowych i prywatnych sieciach dystrybucyjnych. Kompensują wahania średniego napięcia i dynamicznie reagują na zmiany zasilania oraz obciąż- enia na poziomie sieci niskiego napięcia. Otwiera to nowe możliwości nie tylko dla operatorów sieci dystrybucyjnej, ale także dla przedsiębiorstw przemysłowych, którym operatorzy sieci dystrybucyjnej nie zapewniają odpowiedniej jakości zasilania. Rozwiązanie to może też być stosowane przez operatorów źródeł generacji rozproszonej, zapewniając dopasowa- nie napięcia źródła do lokalnych warunków sieciowych.

Transformatory SN/nn z PPZ mogą być z powodzeniem stosowa- ne w sieciach, gdzie wymagana jest regulacja (stabilizacja) napięcia ze względu na:

- dużą ilość rozproszonych źródeł energii przyłączonych do sieci ni- skiego napięcia [1],
- źródła rozproszone o mocy do 1 MW przyłączane do sieci średniego napięcia,
- duże rozpiętości sieci zasilającej odbiorów, powodujące znaczne spadki napięcia pomiędzy stacją a odbiorcą końcowym,
- potrzebę alternatywnego scenariusza rozwoju sieci do tradycyjnych metod inwestycyjnych polegających na rozbudowie sieci o nowe ele- menty (nowe stacje SN/nn, nowe linie SN, nowe linie nn),
- charakter odbiorów zasilanych z danej sieci, których pobór mocy cha- rakteryzuje się bardzo dużą rozpiętością pomiędzy minimalną i mak- symalną mocą pobieraną długotrwale,
- przyłączenie szybkich ładowarek samochodów elektrycznych do sieci nn,

- realizację automatyk Demand Side Response [7-9].

Aktualnie w polskich sieciach dystrybucyjnych pracuje 12 transfor- matorów SN/nn wyposażonych w podobciążeniowe przełączniki zacze- pów. Pierwsze 2 transformatory zostały zainstalowane w innogy Stoen Operator w 2016 r. [2, 7, 9]. Kolejne 10 również zainstalowano w War- szawie – na przełomie września i października 2019 r. W obu projektach zastosowano transformatory RONT 15/0,4 kV produkcji SGB należącej do grupy SGB-SMIT. Wyposażone są one w podobciążeniowe przełącz- niki zacze- pów produkcji Maschinenfabrik Reinhausen – w pierwszych 2 transformatorach zastosowano przełączniki iTAP, które wymagały stosowania dodatkowych dławików instalowanych wewnątrz transfor- matorów. W ostatnich 10 transformatorach wykorzystano przełączniki ECOTAP® VPD® III 30. ECOTAP® VPD® łączy know-how zgromadzone w ciągu dziesięcioleci przez Maschinenfabrik Reinhausen o przełącznikach próżniowych pracujących pod obciążeniem w technologii rezystorów o dużej prędkości z doświadczeniem producentów transformatorów i ope- ratorów sieci, uzyskanym na całym świecie od 2012 r., kiedy wprowadzono pierwszą generację podobciążeniowych przełączników zacze- pów (PPZ) GRIDCON®, iTAP® przeznaczonych do transformatorów dystrybucyjnych z regulacją napięcia VRDT (Voltage Regulating Distribution Transformers). Doświadczenie to posłużyło jako podstawa do opracowania następnej generacji ECOTAP® VPD® mającego od 9 do 17 pozycji podobciążeniowego przełącznika zacze- pów, co zapewnia duży zakres regulacji, jak również pozwala na zastosowanie do transformatorów o większej mocy. Roz- wiązanie ECOTAP® VPD® zostało wprowadzone na rynek w 2016 r. i jest drugim typem PPZ. Maschinenfabrik Reinhausen jest firmą o ugrunto- wanej i uznanej pozycji wśród elektroenergetyków, dzięki dostarczanym przełącznikom zacze- pów do jednostek najwyższych i wysokich napięć. Aktualnie na całym świecie pracuje już ok. 2000 transformatorów SN/nn wyposażonych w przełączniki Maschinenfabrik Reinhausen.

Dostępność oferty nowych urządzeń, takich jak transformatory SN/nn z podobciążeniowymi przełącznikami zacze- pów po stronie SN lub nn, stwarza nowe możliwości wykorzystania ich funkcjonalno- ści w różnych układach sterowania. Jednostki VRDT wyposażone są w PPZ bezprzerwowo przełączające kolejne zacze- py, bez konieczności wyłączenia odbiorców. Doświadczenie pokazuje, że częstość przełą- czeń VRDT zależy od charakteru sieci, w jakiej jest zainstalowany, jego konfiguracji (liczba zacze- pów, skok) oraz od nastaw regulatora. Liczba przełączeń wynosi od kilku [3] do ok. 15 [1, 5] dziennie. Pokrywa się do z obserwacjami autorów z jednostek zainstalowanych w Polsce, gdzie regulacja odbywa się od 3 do 8 przełączeń dziennie. Mając na uwadze powyższe dane oraz projektowaną trwałość przełączników na poziomie 500 000 przełączeń [6] można bez obaw założyć, że czas ich eksploatacji przekroczy kilkukrotnie oczekiwany przez OSD czas życia transformato- rów SN/nn, wynoszący 35-40 lat – więc jest to kolejna przesłanka, która powinna uspokoić obawy o żywotność produktu.

## UKŁAD STEROWANIA – PROJEKT 10 TRANSFORMATORÓW Z PPZ

Układ sterowania został zaprojektowany i zrealizowany przez Apator Elkomtech. Spółka ma wieloletnie doświadczenie w projektowaniu i reali- zacji elektronicznej aparatury zabezpieczeniowej i systemów automatyki sieci. W portfolio firma ma sterowniki realizujące automatykę regulacji napięcia. W omawianym projekcie realizacja została oparta na sterowniku z nowej rodziny microBEL, przeznaczonym do rozwiązań SN/nn.

W szafie ARN został również zabudowany sterownik podobciąże- niowego przełącznika zacze- pów ECOTAP® VPD®, który kontroluje pracę przełącznika zacze- pów, ustala tryb pracy (lokalny blokujący automatykę lub zdalny zezwalający na automatykę) i pełni rolę części wykonawczej dla automatyki microBEL\_ARN.

Sterownik microBEL\_ARN jest w pełni zintegrowany z systemami zdalnego nadzoru SCADA. Przesyła do niego w trybie zdarzeniowym in- formacje o zmianach stanu przełącznika zacze- pów, blokadach, alarmach,

aktualnym numerze przełącznika zaczepu, a także dane pomiarowe podstawowych wielkości elektrycznych (prądy, napięcia). Oprócz tego do systemu mogą być wysyłane następujące informacje, m.in.: licznik przełączeń, pomiar mocy czynnej, biernej, częstotliwość, przesunięcia fazowe, współczynnik mocy, asymetria prądu i napięcia, kierunek aktualnej odchyłki napięcia od wartości zadanej, procentowa wartość zadanego napięcia regulacji w  $U_n$ , sygnalizacja skrajnych położen przełącznika zaczepów, a także informacje dotyczące sterowania zaczepem, bieg motoru. Integracja z systemem SCADA jest możliwa bezpośrednio różnymi drogami łączności lub przez sterownik nadrzędny w stacji SN/nn.

Automatyka ARN może pracować w trybie lokalnym, zdalnym i automatycznym ustawianym za pomocą przycisków umieszczonych na szafie ARN. Z systemu SCADA jest oczywiście możliwość zablokowania lub odblokowania automatyki ARN jak również sterowania przełącznikiem zaczepów w górę i w dół. Automatyka ARN automatycznie blokuje się przy nadmiernym obniżeniu napięcia bądź w przypadku nadmiernego wzrostu napięcia. Istnieje możliwość ustalenia harmonogramu automatycznej zmiany wartości zadanej napięcia. Automatyka blokuje działanie w przypadku braku bądź błędnej reakcji przełącznika zaczepów. Zapewnia możliwość kompensacji prądowej w celu utrzymania odpowiedniego napięcia na końcu linii, a także zmienny czas przełączeń w zależności od stopnia odchyłki napięcia od wartości zadanej. Sygnalizuje przekroczenie zadanej liczby przełączeń jak również położenie skrajne podobciążeniowego przełącznika zaczepów.

Zainstalowana automatyka ma wbudowany dziennik zdarzeń z różnymi poziomami szczegółowości, rejestrator zakłóceń z funkcją rejestratora kryterialnego, rejestrator przebiegów wolnozmiennych oraz programowalne funkcje logiczne pozwalające użytkownikowi rozszerzyć funkcjonalność sterownika. Sterownik może być wyposażony w kanał inżynierski zapewniający możliwość zdalnej zmiany parametrów i oprogramowania, a także szczegółowej diagnostyki urządzenia. W przypadku połączeń sieciowych - ETH lub GPRS istnieje możliwość obsługi sterownika za pomocą przyjaznej strony www (http lub https).

Sterownik microBEL\_ARN wyposażony jest w wiele portów komunikacyjnych, które mogą posłużyć nie tylko do komunikacji z systemem SCADA ale i do odczytu sterowników podrzędnych. W opisanym rozwiązaniu sterownik microBEL\_ARN, oprócz realizacji algorytmu ARN, odczytuje temperaturę z czujnika, umieszczonego w transformatorze, za pomocą specjalnego układu produkcji Aparator Elkomtech i wysyła te dane do systemu SCADA.



Rys. 1. Wnętrze szafy ARN w stacji SN/nn

Fig. 1. ARN control cabinet - LV room in MV/LV station

## SENSORY NAPIĘCIA I KOMPENSACJA OBCIĄŻENIA

W pierwszym zrealizowanym projekcie (pierwsze 2 transformatory) do regulacji wykorzystano informacje o napięciu w stacji oraz w wybranych złączach zasilanych z tych stacji. Jeden z autorów niniejszego artykułu w 2018 r. [10] zaproponował, że układ można uprościć i zrezygnować z sensorów – obniżyć to koszt, podnieść niezawodność (mogą występować problemy z komunikacją z sensorami) [5], uprościć układ i przyspieszyć instalację. Taka propozycja została wykorzystana w ostatnim projekcie obejmującym instalację 10 sztuk transformatorów wyposażonych w PPZ. Zaimplementowany algorytm umożliwia kompensację napięcia w zależności od obciążenia transformatora – znając charakter sieci wyznaczono parametry najdłuższych i najbardziej obciążonych odcinków, co pozwala obliczyć spadek napięcia do ostatniego klienta w funkcji obciążenia i w ten sposób wyznaczyć oczekiwany poziom napięcia zadanego na szynach stacji, aby napięcia w sieci u wszystkich klientów - szczególnie tych na końcach obwodów nn – zawierały się w granicach wymaganych przez rozporządzenie systemowe [12].

Obecnie sterownik microBEL\_ARN mierzy bezpośrednio napięcia z sieci nn oraz prądy za pomocą cewek Rogowskiego CR3x630.1 mV. Cewka zapinana jest na przewody, co umożliwia bezproblemowy i szybki jej montaż. Istnieje możliwość zastosowania w sterowniku microBEL\_ARN innego układu pomiarowego prądu współpracującego z cewkami Rogowskiego o innym współczynniku przetwarzania, z przekładnikami małej mocy lub tradycyjnymi przekładnikami prądowymi po wcześniejszym uzgodnieniu z firmą Aparator Elkomtech. Firma wychodzi naprzeciw oczekiwaniom klienta i jest otwarta na wprowadzanie zmian i udoskonalanie sterownika w celu spełnienia wymagań inwestora.

## TRANSFORMATORY JAKO ALTERNATYWNA DROGA ROZWOJU SIECI

Jak wspomniano na wstępie artykułu, OSD w ramach prowadzonej działalności realizują inwestycje związane z rozwojem i modernizacją sieci. Inwestycje te mogą być wymuszone wieloma czynnikami. Mogą to być czynniki regulacyjne (nałożone np. przez URE), czynniki jakościowe (np. dotrzymanie parametrów jakościowych energii elektrycznej) czy też związane z przyłączeniem nowych klientów. Niezależnie jednak od przyczyny inwestycji poszukiwane są rozwiązania uzasadnione ekonomicznie oraz umożliwiające dostarczenie energii do klienta w założonym czasie. W obu przypadkach, jeżeli jest tylko taka możliwość, należy rozważyć instalację transformatora SN/nn z PPZ – będzie to z pewnością tańsze od budowy nowej stacji, w celu zasilenia pojedynczego klienta – jak również pozwoli szybciej zasilć klienta, żeby czas przyłączenia zmieścił się w ramach oczekiwanych przez URE.

Dla lepszego zobrazowania warto rozważyć 4 przypadki:

- zasilenie nowego klienta na końcu terenowej linii nn – bardzo częsty przypadek w sieciach terenowych,
- modernizacja istniejącej sieci ze względu na potrzebę dotrzymania parametrów jakościowych,
- przyłączenie ładowarki samochodu elektrycznego,
- pojawienie się generacji rozproszonej w sieci nn.

Rozważmy scenariusz, z którym powszechnie spotykają się pracownicy OSD - do OSD zgłasza się klient, który w ciągu 18 miesięcy oczekuje przyłączenia do sieci - niestety przyłączany obiekt znajduje się na końcu linii nn, która była już zmodernizowana, a pomimo to obliczenia pozwalają przypuszczać, że pojawienie się nowego odbiorcy w danej linii nn może spowodować wystąpienie niedotrzymania parametrów jakościowych energii elektrycznej w zakresie poziomów napięć, o których mowa w Rozporządzeniu [12]. OSD w takiej sytuacji stał do tej pory przed obliczem budowy nowej stacji, która pomoże podeprzeć sieć w rejonie bliżej miejsca przyłączenia klienta. Dziś można jednak rozważyć jedynie wymianę transformatora z tradycyjnego na nowy wyposażony w PPZ, który pozwoli automatycznie kształtować napięcie w stacji, aby wszyscy klienci otrzymywali napięcie w założonych granicach. W tab. II przedsta-



wiono zestawienie szacunkowych kosztów związanych z budową nowej stacji wraz z liniami kablowymi SN i nn, a w tab. III zestawienie kosztów wymiany transformatora w istniejącej stacji na nowy wyposażony w PPZ.

TABELA II. Zestawienie szacunkowych kosztów wybudowania nowej stacji SN/nn wraz z nawiązaniem do istniejącej sieci

Pozycja	Koszt minimalny [zł]	Koszt maksymalny [zł]
Stacja transformatorowa kompletna z posadowieniem	140 000,00	200 000,00
Rozbudowa sieci nn ~500-1000 m	60 000,00	140 000,00
Rozbudowa sieci SN ~500-1000 m	75 000,00	180 000,00
Projekt	30 000,00	50 000,00
<b>Suma</b>	<b>305 000,00</b>	<b>570 000,00</b>

TABELA III. Zestawienie szacunkowych kosztów wymiany tradycyjnego transformatora SN/nn na jednostkę wyposażoną w PPZ

Pozycja	Koszt minimalny [zł]	Koszt maksymalny [zł]
Transformator SN/nn z PPZ (z automatyką, projektem, wymianą)	100 000,00	130 000,00
Odzyskany transformator (zamortyzowany w 50%)	- 15 000,00	- 17 000,00
<b>Suma</b>	<b>85 000,00</b>	<b>113 000,00</b>

Porównując zestawienie w tab. II i III, ciężko zaprzeczyć uzasadnieniu finansowemu dla inwestycji polegającej na instalacji TR z PPZ, która jest od 3,5 do 5 razy tańsza od budowy nowej stacji. Nie bez znaczenia pozostaje różnica w czasie realizacji inwestycji – na budowę stacji z projektem i uzgodnieniami potrzeba od 2 do 5 lat (każdy OSD zna z pewnością przypadek, że nawet przez 10 lat nie udało się wybudować), a instalacja transformatora SN/nn z PPZ może zostać zrealizowana w 6 miesięcy. Należy podkreślić, że budowa kolejnych stacji podnosi również koszty eksploatacji związane z pojawieniem się kolejnego obiektu w majątku OSD. Będąc przy kosztach eksploatacji warto powiedzieć, że przy zastosowaniu transformatorów SN/nn z PPZ istnieje możliwość likwidacji części stacji (np. mała obciążonych lub o nieuregulowanym statusie prawnym)[11]. Dla pozostałych trzech przypadków, tj. modernizacji sieci ze względu na niedotrzymanie parametrów w istniejącej sieci czy też przyłączenie ładowarki samochodu elektrycznego lub instalacji PV – można sobie wyobrazić, że scenariusze byłyby podobne, więc nie ma potrzeby powtarzania obliczeń, bo dochodzi się do zbieżnych wniosków. Przy wymianie należy jedynie pamiętać, że transformator SN/nn z PPZ ECOTAP jest ok. 30 cm wyższy od jednostki tej samej mocy niewyposażonej w PPZ. Dla zobrazowania na rys. 2 przedstawiono zainstalowany na stanowisku transformator o mocy 400 kVA. Na rys. 3 w przybliżeniu jest widoczna głowica napędu pracownika zaczepów.

ECOTAP® VPD® jest dostarczany z jednostką sterującą, która pozwala na bezpieczne i niezawodne sterowanie PPZ. Sterownik ma zaimplementowany podstawowy algorytm regulacji opierający się na pomiarze napięcia na szynach nn stacji. Urządzenie ma dwustanowe styki sygnalizacyjne do łatwego zintegrowania w podstawowym zakresie z dowolnym innym, nawet istniejącym urządzeniem RTU w stacji. W celu realizacji bardziej zaawansowanych algorytmów regulacji oraz bardziej szczegółowej komunikacji, można układ rozbudować o moduł rozszerzeń MR ECOTAP® VPD® CONTROL PRO lub podłączyć do regulatora napięcia, takiego jak Apator Elkomtech microBEL\_ARN. Dzięki takiej możliwości rozbudowy układ można jeszcze bardziej dostosować do indywidualnych wymagań klienta w zakresie kształtowania poziomu napięcia w sieci.



Rys. 2. Transformator 15/0,5 kV 400 kVA z PPZ na stanowisku

Fig. 2. 15/0,4 kV 400 kVA OLTC transformer in station

### ZASTOSOWANIE DLA GENERACJI ROZPROSZONEJ

Firmy Apator Elkomtech jako dostawca rozwiązań w zakresie EAZ i telemechaniki oraz BAEL jako firma realizująca prace uruchomieniowe dla powstających lawinowo w kraju farm i instalacji PV dostrzegają problemy, z jakimi spotykają się OSD przyłączające ww. obiekty. Transformatory dystrybucyjne z regulacją pod obciążeniem (VRDT) pozwalają zwiększyć możliwość wykorzystania nie tylko istniejących sieci nn, ale także pozwalają uniknąć kosztów związanych z modernizacją sieci SN w celu dostosowania jej do nowych odbiorów lub źródeł. Sieci terenowe borykają się z problemami poziomów napięć w obliczu wzrostu obciążenia lub pojawienia się nowej generacji rozproszonej – problem występuje, pomimo że sieć z punktu widzenia obciążalności prądowej ma jeszcze rezerwę [14]. Problem leży oczywiście w spadku/wzroście napięcia po stronie nn, na który nakłada się jeszcze spadek/wzrost napięcia na linii SN. Transformatory VRDT regulują napięcie po stronie nn, utrzymując je w okolicy wartości nominalnej, niezależnie od napięcia w sieci SN, co zostawia większą rezerwę na spadek napięcia w sieci nn. To w efekcie pozwala również na wzrost możliwości przyłączania generacji PV w danej sieci nn [4].

Jak wcześniej wspomniano, jednostki VRDT pozwalają uniknąć dodatkowych nakładów na modernizację sieci nn, gdy stoimy w obliczu przyłączenia dodatkowego odbioru lub źródła – są one również w stanie zapobiec ogromnym inwestycjom w sieci SN. Instalując transformatory dystrybucyjne z PPZ można również pozwolić na zmianę napięcia sieci SN w szerszym zakresie niż OSD dopuszcza, nie mając takich jednostek w swojej sieci – transformatory VRDT w stacjach zasilanych z danej sieci, działając autonomicznie dostosują napięcie po stronie nn, żeby parametry jakościowe były zachowane [13]. Korzystając z VRDT osoba odpowiedzialna za przyłączenie lub planowanie rozwoju danego obszaru sieci może w procesie decyzyjnym w pełni wykorzystać +/-10% zakres napięcia w sieci SN i +/-10% zakres napięcia nn.

Wśród podstawowych problemów zgłaszanych przez przedstawicieli spółek dystrybucyjnych są zmiany napięcia w sieciach SN zależne od chwilowej produkcji energii elektrycznej w elektrowniach fotowoltaicznych. W ocenie autorów zastosowanie transformatora z PPZ wyposażonego w odpowiednią automatykę regulacji napięcia na stacji wyprowadzającej moc z farmy PV (np. o mocy do 1 MW) będzie racjo-



Rys. 3. Widok górnej części transformatora 15/0,5 kV 400 kVA z PPZ – widoczna głowica napędu pomiędzy przepustami SN i nn

Fig. 3. Top of 15/0,4 kV 400 kVA OLTC transformer – drive head between MV and LV bushings

nalnym rozwiązaniem pozwalającym pogodzić interesy producenta energii i dystrybutora, odpowiedzialnego za przyjęcie mocy do sieci. Układ takich stacji, aby realizować funkcje automatyki zabezpieczeniowej, dostępny jest pomiar napięcia po stronie SN, umożliwia to łatwe wykorzystanie go na potrzeby regulacyjne kolejnej automatyki, jaką jest ARN. Wydaje się, że i w tym przypadku instalacja transformatora SN/nn z PPZ jest kosztem pomijalnie małym w porównaniu z modernizacją związaną ze wzmocnieniem danego obszaru sieci terenowej SN.

## DOŚWIADCZENIA

Autorzy artykułu byli zaangażowani we wszystkie projekty dotychczasowej instalacji transformatorów SN/nn z PPZ, jakie są zainstalowane w sieciach dystrybucyjnych. Głównie pełny skład autorski pracował przy projekcie instalacji ostatnich 10 szt. w innogy Stoen Operator. Warto podkreślić, że doświadczenie dostawcy transformatorów (SGB-SMIT Transformers Polska), dostawcy podobciążeniowych przełączników zacze- pów (Maschinenfabrik Reinhausen), firmy odpowiedzialnej za projekt i uruchomienie (BAEL Bartosz Pawlicki) oraz dostawcy i integratora sterownika realizującego algorytm (Apator Elkomech) zaowocowało bardzo sprawną realizacją projektu. Przygotowanie merytoryczne i praktyczne przełożyło się na sprawne zrealizowanie dostawy i instalacji – od chwili podpisania umowy na dostawę do uruchomienia minęło jedynie 7 miesięcy. Był to okres, w którym:

- opracowano dokumentację projektową,
- wykonano uzgodnienia dokumentacji,
- wyprodukowano transformatory i zainstalowano w nich PPZ,
- przygotowano szafy sterowania z zaimplementowanymi algorytmami regulacji,
- wykonano dodatkowe testy komunikacji i poprawności działania dostarczonych urządzeń w siedzibie i w obecności przedstawiciela zamawiającego,
- wybrana przez OSD lokalna firma wykonawcza zainstalowała przy wsparciu BAEL dostarczone transformatory,
- dokonano uruchomienia 10 stacji – uruchomienie sterowników microBEL\_ARN z pełnymi testami działania algorytmów i zestawieniem komunikacji.

Urządzenie po instalacji pracują zgodnie z oczekiwaniami wszystkich stron, a wdrożony algorytm regulacyjny z kompensacją prądową wydaje się rozwiązaniem odpowiadającym potrzebom spółek dystrybucyjnych. Powyższy zakres i czas pokazuje, że powierzając zadanie doświadczonemu zespołowi inwestycję można zrealizować skutecznie i przede

wszystkim w bardzo krótkim terminie. Zrealizowany w innogy Stoen Operator projekt jest potwierdzeniem że opisany alternatywny scenariusz rozwoju sieci jest jak najbardziej możliwy do osiągnięcia w ciągu pół roku.

## PODSUMOWANIE

Stosowanie transformatorów SN/nn z PPZ jest bardzo interesującym rozwiązaniem, które jak wykazano może być nie tylko uzasadnione ze względów technicznych, ale może być również uzasadnione ze względów ekonomicznych. Z pewnością barierą przed stosowaniem transformatorów z PPZ był brak krajowych doświadczeń z technologią i obawa przed trudnościami ze znalezieniem wykonawców prac. Wydaje się, że obawy te już się zdezaktualizowały, bo zarówno w Polsce pierwsze przełączniki zacze- pów pracują już bezawaryjnie od 3 lat, jak również dostępne są firmy, których doświadczenie gwarantuje bezproblemową realizację inwestycji.

Artykuł recenzowany, wpłynęło 31.10.2019

## LITERATURA

- [1] Brückl O., R. Bäsman, A. Hinz. 2012. Regelbare Ortsnetztransformatoren (RONT) Fit für mehr erneuerbare Energien, ew, 111(1-2).
- [2] Dukat P., B. Pawlicki. 2017. Automatyka do kształtowania obciążeń w sieciach niskiego napięcia z zastosowaniem transformatorów z podobciążeniowymi przełącznikami zacze- pów. *Wiadomości Elektrotechniczne*, 6.
- [3] Frings R. et. al. 2016. Smart Area Aachen Report, Stadtwerke Aachen AG.
- [4] Haselbeck M., M. Sojer, T. Smolka, O. Brückl. 2012. *Mehr Netzanschlusskapazität durch regelbare Ortsnetztransformatoren*, 9.
- [5] Langstädtler J., J. Döll, B. Schowe-von der Brelie, T. Smolka, M. Sojer. 2014. Produktzertifizierung als valides Nachweisverfahren für das netzkonforme Verhalten von regelbaren Ortsnetztransformatoren (RONT) netzpraxis, 53(5).
- [6] Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR), karta katalogowa „ECOTAP® VPD® The Compact Class For Distribution Transformers”.
- [7] Pawlicki B. 2016. Innowacyjna metoda FBVR do zarządzania zapotrzebowaniem na moc i energię elektryczną. *Wiadomości Elektrotechniczne*, 3.
- [8] Pawlicki B. Rozprawa doktorska. 2015. Regulacja poziomu napięcia w zadaniu kształtowania zapotrzebowania na moc i energię elektryczną odbiorców końcowych w inteligentnych sieciach elektroenergetycznych. Warszawa: Politechnika Warszawska.
- [9] Pawlicki B. 2017. Transformatory SN/nn z podobciążeniowymi przełącznikami zacze- pów - możliwości zastosowania w sieciach dystrybucyjnych. PTPiREE - Warsztaty Nowoczesne Technologie w Energetyce „Nowe horyzonty w działaniach OSD”, Bielsko-Biała.
- [10] Pawlicki B. 2018. Transformatory SN/nn z podobciążeniowymi przełącznikami zacze- pów - doświadczenia praktyczne i możliwości zastosowania. Konferencja PTPiREE Stacje elektroenergetyczne WN/SN i SN/nn, Kołobrzeg.
- [11] Pizzutto F. 2018. Voltage Regulating Distribution Transformers - A Standard Asset Beyond Renewables In Lv Networks, EuroTech Con 2018, Cardiff, 12.
- [12] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (Dz.U. z dnia 29 maja 2007 r.).
- [13] Schmiesing J., H. Beck, T. Smolka, M. Sojer. 2013. Avoiding MV-network expansion by distributed voltage control. CIRED, Stockholm.
- [14] Sturm M. 2017. Auswirkung der Elektromobilität auf die Flächenetze. FNN-Fachkongress Netztechnik, Nürnberg.