

Kompensacja mocy biernej

Rozliczenie pomiędzy odbiorcami a dostawcami energii elektrycznej jest realizowane w oparciu o pomiar ilości pobranej energii elektrycznej za pomocą liczników energii. Dawniej powszechnie stosowano klasyczne liczniki jedynie energii czynnej. Pomiar energii biernej nie był ogólnie realizowany i dotyczył z reguły wybranych dużych zakładów przemysłowych. Wraz z upowszechnieniem nowej generacji liczników energii tzw. inteligentnych lub smart – umożliwiających czterokwadrantowy pomiar przepływu mocy i energii zarówno czynnej jak i biernej, kwestia opłat z tym drugim rodzajem energii zaczyna dotyczyć coraz większego grona odbiorców i nabiera istotnego znaczenia. Zwłaszcza w przypadku udziału w kosztach prowadzenia działalności gospodarczej. Należy zaznaczyć, że wydatki na energię elektryczną stanowią istotną część kosztów wśród wielu przedsiębiorstw. Dodatkowo rosnące ceny energii znajdują negatywne odzwierciedlenie w obszarze konkurencyjności danego sektora usług czy nawet możliwościach produkcyjnych poszczególnych przedsiębiorstw. Przykładowo, od 1 lutego 2021 roku cena za ponadumowny pobór energii biernej wzrosła z 0,5829 zł netto za 1 kvarh na 0,73632zł netto za 1 kvarh dla taryfy G dla biznesu (dotyczy również części wspólnych wspólnot i spółdzielni mieszkaniowych) oraz dla taryfy C. Z kolei, dla taryfy B cena za 1 Mvarh wzrosła z 169,70zł netto do 245,44zł netto za 1 Mvarh.

Należy pamiętać, że przepływ zbyt dużej ilości energii biernej w sieci elektroenergetycznej powoduje zmniejszenie przepustowości sieci zasilających oraz zwiększenie strat energii czynnej w transformatorach, sieciach oraz instalacjach odbiorczych, a także powoduje spadki napięć w transformatorach i liniach zasilających. Dodatkowo wiąże się z koniecznością instalowania przewodów o większych przekrojach i dodatkowych urządzeń wspomagających prace sieci. Z tego też powodu ustawa Prawo Energetyczne zawiera przepisy ograniczające, niezależnie od poziomu napięcia zasilania z sieci (obowiązkowo średniego, wysokiego i najwyższego oraz opcjonalnie nie wyższym niż 1 kV), do których przyłączony jest odbiorca, ilość pobieranej mocy biernej. Z kolei, pobór mocy powyżej dopuszczalnego limitu (określany jako ponadumowny pobór energii biernej) może i często wiąże się z karami finansowymi (opłatami) naliczanymi przez operatorów sieci dystrybucyjnych OSD. Przez

ponadumowny pobór energii biernej przez odbiorcę należy rozumieć taką ilość energii elektrycznej biernej, która odpowiada:

- współczynnikowi mocy $\text{tg}\varphi$ powyżej umownego współczynnika mocy $\text{tg}\varphi_0$ (stanowiącego niedokompensowanie) i stanowiącego nadwyżkę energii biernej indukcyjnej ponad ilość odpowiadającą wartości współczynnika $\text{tg}\varphi_0$ lub
- indukcyjnemu współczynnikowi mocy przy braku poboru energii elektrycznej czynnej lub
- pojemnościowemu współczynnikowi mocy (przekompensowanie) zarówno przy poborze energii elektrycznej czynnej jak i przy braku takiego poboru.

W trakcie okresu rozliczeniowego opłacie podlega zarówno ponadumowny pobór jak i wprowadzenie energii biernej określane jako nadwyżka tej energii ponad ilość opowiadającą wartości współczynnika mocy $\text{tg}\varphi_0$, gdy $\text{tg}\varphi > \text{tg}\varphi_0$ (dla poboru) oraz $\text{tg}\varphi = 0$ (dla wprowadzenia).

Jako wartość współczynnika mocy $\text{tg}\varphi$ przyjmuje się iloraz energii biernej pobranej całodobowo lub w strefach czasowych, w których prowadzona jest kontrola poboru i wprowadzania tego rodzaju energii [Mvarh lub kvarh] (zależne od rodzaju zainstalowanego układu pomiarowo-rozliczeniowego, ale standardem są okresy 15 minut) i energii czynnej pobranej całodobowo lub w strefach czasowych [MWh lub kWh]. Istnieją uzasadnione przypadki występowania szybkozmiennych obciążeń mocą bierną, gdzie rozliczanie ponadumownego poboru energii biernej przeprowadzane jest na podstawie bezpośredniego pomiaru nadwyżki energii biernej.

Wartość współczynnika mocy $\text{tg}\varphi_0$ określana jest w warunkach przyłączeniowych lub w umowie i przyjmowana jest na ogół w wysokości $\text{tg}\varphi_0 = 0,4$. Jeżeli nie została określona to do rozliczeń przyjmuje się właśnie tę wartość. W przypadku gdy indywidualna ekspertyza uzasadnia wprowadzenie niższej wartości współczynnika mocy $\text{tg}\varphi_0$ to i tak wartość ta nie może być niższa niż 0,2.

Rozważania nad zasadnością stosowania współczynnika mocy $\text{tg}\varphi$ jako rzeczywistego obrazu efektywności przesyłania energii zostały skrótkowo przedstawione w artykule z poprzedniego wydania niniejszego periodyku.

W każdym przedsiębiorstwie, instytucji czy gospodarstwie

niezależnie od sektora i branży oraz bez przeciwwskazań w zakresie ich normalnego funkcjonowania możliwa jest jednak optymalizacja zużycia różnych form energii. Z tego powodu nadzorowanie i odpowiednie reagowanie na ilość pobieranej energii biernej stanowi element racjonalnego gospodarowania energią elektryczną. Czynności związane z taką optymalizacją są stosunkowo łatwo realizowane. Najprostszym sposobem zmniejszenia poboru energii biernej indukcyjnej pobieranej z sieci elektroenergetycznej jest przyłączenie po stronie odbiornika lub w centralnym punkcie instalacji odbiorczej, odpowiednio dobranej baterii kondensatorów. Z kolei, do kompensacji mocy biernej pojemnościowej oddawanej do sieci elektroenergetycznej stosowane są baterie dławików indukcyjnych. Zadaniem obu rodzajów baterii jest wytworzenie przeciwnej energii biernej w pobliżu odbiornika, dzięki temu nie występuje konieczność transportowania jej poprzez sieć elektroenergetyczną, a tym samym naliczeń przez układ pomiarowo-rozliczeniowy, czyli licznik. Po zainstalowaniu urządzenia kompensacyjnego energia bierna przepływa już tylko pomiędzy kompensatorem mocy biernej i odbiornikiem. Ten sposób optymalizacji nazywany jest kompensacją mocy.

Należy zaznaczyć, że wraz z ciągle rosnącymi cenami za energię elektryczną inwestycje poczynione w ramach systemów kompensacji mocy biernej zyskują na rentowności i skróceniu czasu zwrotu, na ogół od nawet pojedynczych miesięcy do maksymalnie kilkunastu miesięcy. Wspomniany wzrost cen energii elektrycznej powoduje upowszechnienie się inwestycji w systemy kompensacji mocy biernej, tak aby odbiorcy, którzy dotychczas ponosili stosunkowo niewielkie opłaty za energię bierną byli w stanie je wyeliminować lub chociaż znacząco zredukować. Istnieje kilka praktycznych reguł i możliwych porad, których uwzględnienie na etapie planowania i projektowania inwestycji znacznie ułatwia wybór dostawcy oraz dobór rozwiązań do kompensacji mocy biernej (np. urządzeń elektroenergetycznych). Dodatkowo instalacje tego typu powinny zapewniać niezawodność i skuteczność w swoim działaniu, a tym samym racjonalność poniesionych nakładów na ten cel. Aby osiągnąć taką funkcjonalność niezbędne jest rzetelne podejście do tematu i wiedza na temat instalacji, która poddana ma zostać pracy systemu kompensacji mocy biernej. Znane są przypadki złego doboru rozwiązań, które w przypadku pracy w warunkach niezgodnych z zalecanymi, powodowały szybkie (kilku miesięczne) wyeksploatowanie baterii i konieczność zakupu droższego, dedykowanego systemu. Przy prawidłowo dobranych rozwiązaniach czas życia baterii wynosi kilka lat bezawaryjnej pracy, a powstałe w jej wyniku oszczędności rekompensują nakłady poniesione na instalację oraz nierzadko finansują ewentualne modernizacje w przyszłości.

W ramach procedury doboru rodzaju i parametrów rozwiązania do kompensacji mocy biernej należy właściwie określić typowe warunki eksploatacji tego typu systemu. Inne podejście zostanie zastosowane w przypadku, gdy instalacja poddawana kompensacji jest już eksploatowana a inne, gdy dopiero taki układ zasilania jest projektowany. W przypadku już istnieją-

cych instalacji, gdzie układ zasilania pracuje na rzecz danej technologii i możliwe jest wykonanie pomiarów, dzięki którym można poznać zarówno moce poszczególnych odbiorników, dynamikę ich zmian, liniowość oraz moc zwarciovą układu zasilania, kwestia doboru rozwiązania znacząco się upraszcza. Z kolei, w przypadku gdy instalacja zasilająca jest dopiero projektowana podczas dobierania systemu kompensacji mocy biernej, w zasadzie jedyną możliwością jest korzystanie z dostarczonych przez producentów odbiorników i urządzeń wchodzących w skład instalacji technologicznych dokumentacji i specyfikacji technicznych, które nierzadko nie zawierają szczegółowych charakterystyk. Dlatego przy takim podejściu istotne jest również wykorzystanie doświadczenia z wykonania systemów kompensacji w zbliżonych obiektach, w których pracują podobne urządzenia. W ramach sporządzania precyzyjnego bilansu mocy odbiorników należy uwzględnić cosinus naturalny oraz współczynniki jednoczesności urządzeń. Dodatkowo należy określić czy dane urządzenie jest odbiornikiem liniowym czy nieliniowym oraz statycznym czy dynamicznym. W przypadku odbiorników nieliniowych, należy poznać ich widma wyższych harmoniczných i dynamikę zmian poboru mocy biernej oraz liczbę faz, z których zasilane jest urządzenie – jedna, trzy a może dwie. W kolejnym kroku należy opracować odrębne dla każdego rodzaju odbiorników zestawienia i obliczenia stosunku ich mocy. W tych czynnościach pomocne mogą być dedykowane do tego celu programy komputerowe, które pozwalają, po wpisaniu danych technicznych projektowanych lub posiadanych urządzeń technologicznych, ich charakteru obciążenia i dynamiki pracy, dobrać zarówno moc całkowitą, jak i stopniowanie baterii. Warto przeprowadzić analizę wyższych harmoniczných, mierząc ich rozkład widmowy na zaciskach kondensatora. Istotnym też jest sprawdzenie prądów płynących przez mierzony kondensator i czy ich wartości mieszczą się w podanej przez producenta tolerancji. Analiza tych wartości pozwoli podjąć decyzję dotyczącą typu baterii w projektowanym układzie kompensacji mocy biernej, co oznacza wybór pomiędzy zastosowaniem baterii standardowych, czy też baterii z dławikami wyższych harmoniczných lub baterii dynamiczných.

Stosunkowo niskie nakłady na wykonanie systemu kompensacji mocy biernej poniesie odbiorca energii, u którego możliwe jest zastosowanie standardowej baterii, której cena zakupu jest najniższa z dostępnych rozwiązań tego typu. Taki przypadek ma miejsce podczas posiadania instalacji zawierającej wyłącznie odbiorniki liniowe o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym o małej dynamice zmian poboru mocy biernej oraz gdy moce odbiorników rozłożone są symetrycznie na poszczególnych fazach, a dodatkowo w pomieszczeniu rozdzielni dostępna jest zarówno odpowiednia przestrzeń, zaś temperatura tam panująca nie przekracza 30° C. Bateria standardowa składa się z kilku członów złożonych z wyjścia regulatora, zabezpieczeń (bezpieczniki mocy), styczników i kondensatorów mocy. W zależności od wielkości układu zasilania dobierana jest moc całkowita baterii, od której z kolei zależy liczba czło-

nów i moc kondensatora na jej pierwszym stopniu. Do określenia wielkości baterii należy również poznać zarówno moce poszczególnych odbiorników, dynamikę ich zmian, liniowość oraz moc zwarciovą układu zasilania. W przypadku odbiorników nieliniowych, jeśli obliczone wartości stosunku mocy będą wynosić około 10 - 20 % mocy odbiorników liniowych, to w zależności od wartości mocy zwarciowej układu możliwe jest założenie, że układ zasilania spełnia wspomniane wcześniej warunki dla zastosowania standardowej baterii a dobierany system kompensacji będzie opierał się na standardowych bateriach kondensatorów. Z kolei, przy zastosowaniu odbiorników innych niż trójfazowe, należy tak zaprojektować rozkład obciążenia poszczególnych faz, by były one symetrycznie obciążone i to zarówno dla mocy czynnej, jak i biernej. Każda asymetria może powodować, znaczne obniżenie skuteczności systemu kompensacji mocy biernej.

W sytuacji, gdy w bilansie mocy udział odbiorników szybkozmiennych będzie znacznie większy niż 20%, należy wówczas wydzielić te odbiorniki i zapewnić im odrębne zasilanie. Należy zaznaczyć, że ten rodzaj odbiorników może być kompensowany jedynie bateriami dynamicznymi, w których użyte rozwiązania umożliwiają łączenie kondensatora bez zwłoki czasowej koniecznej na rozładowanie kondensatora, wymaganej normą PN-EN 60831-1:2014. W celu optymalizacji kosztów, które należy przeznaczyć na taki rodzaj systemu kompensacji warto stosować wydzielenie i zgrupowanie tego typu odbiorników i zasilanie ich z jednego transformatora. W przypadku baterii dynamicznych im mniejsza ich moc tym niższa cena. Celem stosowania baterii dynamicznej powinna być kompensacja tylko odbiorników szybkozmiennych. Z kolei, przy zasilaniu pojedynczych odbiorników o dużych mocach warto kompensować je indywidualnie.

Wspomniane w poprzednich akapitach przypadki można uznać za warunki typowe. Niestety w sytuacji wystąpienia każdorazowego odstępstwa od nich, należy podczas doboru systemu kompensacji mocy biernej uwzględnić wszelkie komplikacje i szczególne przypadki.

Najprostszą metodą doboru baterii kondensatorów do istniejącego już układu zasilania jest metoda „kalkulatorowa”. Metoda ta ma zastosowanie, gdy w systemie mamy jeden układ pomiarowo-rozliczeniowy i jeden transformator. Analizując dane zawarte na rachunku za energię elektryczną, przykładowo takie jak: moc umowna, opłata za energię bierną indukcyjną, energia elektryczna bierna oddana. Znając wartości mocy przyłączeniowej lub maksymalnej i wartości $\tan\varphi$ uzyskanego i zadanego można obliczyć moc całkowitą baterii ze wzoru:

$$Q_{\text{baterii}} = P_{\text{max}} \times (\tan\varphi_{\text{uzyskany}} - \tan\varphi_{\text{umowny}} + 0,1)$$

Jak już zaznaczono wcześniej procedurę projektu baterii kondensatorów dla danego przypadku, należy rozpocząć od obliczenia jej mocy całkowitej, a następnie od dobrania wartości mocy pierwszego stopnia tej baterii. Wartość tę, na podstawie obserwacji wskazań licznika, należy obliczyć mierząc minimalne przyrosty mocy biernej w układzie zasilania lub analizując zarejestrowane w czasie pomiarów przyrosty mocy. Oczywistym jest fakt, że moc pierwszego stopnia baterii zależy nie tylko od mocy całkowitej, ale również od minimalnego przyrostu mocy w układzie zasilania. Przykładowo dla mocy całkowitej 150 kvar, gdy przyrost mocy wynosiłby 50 kW możliwe jest zastosowanie na pierwszym stopniu kondensatora o mocy 20 kvar. Dla tej samej mocy całkowitej 150 kvar, gdy przyrost mocy wynosiłby 10 kW na pierwszym stopniu należy zamontować kondensator o mocy 5 kvar. Mimo tej samej mocy całkowitej, ale różnego minimalnego przyrostu mocy w układzie zasilania rozwiązanie z pierwszego przypadku jednak nie zapewniłoby wysokiej skuteczności procesu kompensacji dla drugiego przypadku. Różna moc kondensatora na pierwszym stopniu przy zadanej mocy całkowitej wpływa na liczbę stopni baterii, a to z kolei przekłada się w istotny sposób na cenę baterii. Z teorii sterowania i technik regulacji wiadomym jest, że dla zachowania ciągłości

procesu regulacji przy skokowej zmianie wartości parametru, który poddawany jest regulacji, wartość kolejnego członu nie może być większa niż dwukrotna wartość znajdująca się na poprzednim kroku. Zasada ta znajduje również zastosowanie w konstrukcji baterii kondensatorów. Ustawiając kondensatory w szereg regulacyjny należy zadbać, aby moc kolejnego stopnia nie była większa niż dwukrotna wartość mocy poprzedniego. Dodatkowym kolejnym warunkiem jest założenie, że szereg mocy zastosowanych w baterii kondensatorów nie może być malejący. Reguła ta znajduje swoje górne ograniczenie z uwagi na maksymalną moc dostępnych na rynku kondensatorów oraz możliwości łączeniowe stosowanego sprzętu. Ze względu na zdolność łączeniową styczników przeznaczonych do łączenia prądów pojemnościowych, moc maksymalna stosowanych kondensatorów dla zakresu temperatury pracy do 70°C to 50 kvar, a dla temperatury pracy do 30°C to 75 kvar.

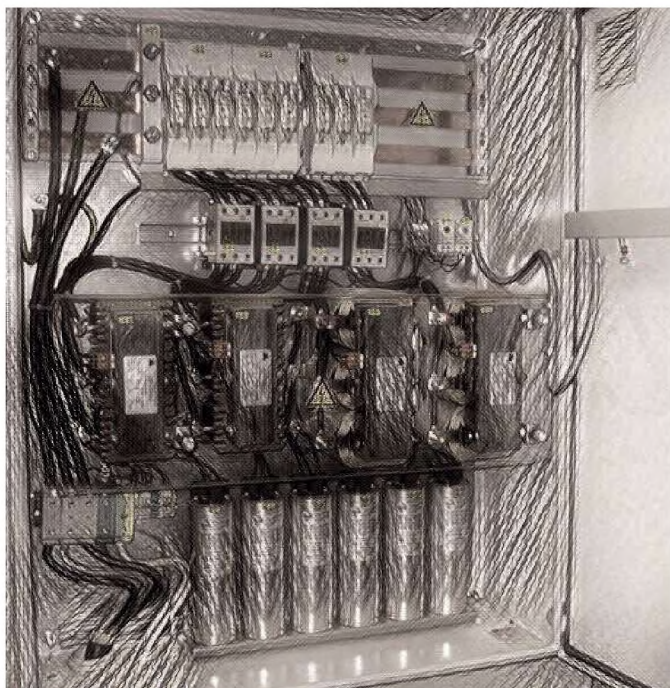
Uwzględniając wcześniej wspomniane reguły oraz podaną moc przykładowej rozważanej baterii 150 kvar, przy pierwszym stopniu 20 kvar możliwy jest do uzyskania następujący szereg kondensatorów: 20, 30, 50, 50. Jednak montując jako pierwszy stopień kondensator o mocy 5 kvar szereg przyjąłby postać: 5, 10, 20, 30, 40, 45. Należy zauważyć, że mimo jednakowej mocy całkowitej bateria czterostopniowa będzie zdecydowanie tańsza od tej sześciostopniowej. Istotne jednak jest to, że czas rentowności po zastosowaniu baterii ze skokiem 5 kvar, gdy wartość przyrostów mocy czynnej wynosi 10 kW, będzie znacznie krótszy od czasu spłaty baterii o minimalnym skoku regulacji 20 kvar. Z przedstawionego przykładu wynika, że koszt zakupu baterii sześciostopniowej będzie większy, mimo to w pewnym konkretnym przypadku okres zwrotu na takie rozwiązanie systemu kompensacji mocy biernej będzie krótszy. Jest to możliwe, gdyż skuteczność procesu kompensacji prowadzonego ze skokiem 5 kvar będzie większa, a tym samym opłata za nieskompensowaną moc bierną zostanie wyzerowana,

a przy regulacji ze skokiem 20 kvar opłaty w dalszym ciągu byłyby istotne.

Innym wartym omówienia przykładem jest zastosowanie systemu kompensacji mocy biernej dla biurowca. Układ zasilania biurowca z uwagi na swoją wielkość, różnorodność i skomplikowanie, z wartością mocy umownej, liczbą zabezpieczeń i ich amperażem, przypomina układ zasilania dużego zakładu przemysłowego. W tego typu obiektach występuje znaczące zróżnicowanie odbiorników, zarówno pod względem liczby faz (jedna lub trzy fazy), liniowych lub nieliniowych, posiadających charakter indukcyjny lub pojemnościowy, wolno lub szybko zmiennych w dynamice poboru mocy biernej. Chociaż układ zasilania w takich biurowcach bywa zrealizowany jako jedna rozdzielnica najniższego napięcia (nN) to moce umowne idące w megawaty obrazują skalę i istotność zagadnienia.

Do głównego rodzaju odbiorników typowego biurowca należy zaliczyć instalacje wentylacji i klimatyzacji oraz instalacje hydrauliczne (zwłaszcza pompy w ramach obiegu wody). Istotny udział w bilansie mocy posiadają też serwerownie (oprócz zapotrzebowania na moc infrastruktury komputerowej stosowana jest również instalacja klimatyzacji precyzyjnej), windy i/lub schody ruchome, oświetlenie oraz pojedyncze gniazda sieciowe. Do wspomnianych gniazd sieciowych podłączana jest ogromna liczba urządzeń biurowych, w tym: drukarek, kserokopiarek, komputerów, lampek itp. Miesięczna kwota za pobraną energię elektryczną przez wspomniane odbiorniki to kilkanaście a często kilkadziesiąt tysięcy złotych. Udział energii biernej indukcyjnej lub pojemnościowej może wynosić kilka do kilkunastu tysięcy złotych na miesiąc. Należy przypomnieć, że nowoczesne tak zwane inteligentne liczniki energii elektrycznej w sposób precyzyjny mierzą również pobór energii biernej indukcyjnej i pojemnościowej. Fakt ten jeszcze bardziej uzasadnia potrzebę stosowania systemu kompensacji mocy biernej.

Jednym z głównych wyzwań związanych z doborem systemu kompensacji mocy biernej, zwłaszcza dla nowo projektowanego obiektu jest brak wiedzy o przyszłych użytkownikach i odbiornikach przez nich stosowanych w ramach układu zasilania. Brak wiedzy o odbiornikach przyszłych najemców stwarza dwa zasadnicze problemy w doborze systemu kompensacji mocy biernej. Pierwszy z nich dotyczy wartości mocy całkowitej jaką powinno mieć pojedyncze urządzenie do kompensacji mocy biernej oraz rodzaju członów wykonawczych w jakie powinno być ono wyposażone. W zależności od rodzaju członów wykonawczych system kompensacji mocy biernej składa się z kompensatora w ramach, którego można stosować zarówno baterię kondensatorów mocy jak i baterię dławików kompensacyjnych C lub baterię LC - taką, której członami wykonawczymi są zarówno kondensatory mocy jak i dławiki kompensacyjne. Jeśli będą to kondensatory mocy, to pojawia się kolejny problem, czyli w jakie dławiki filtrujące powinna być wyposażona bateria kondensatorów. Często zdarza się, że projektując system kompensacji mocy biernej na pod-



stawie bilansu mocy, zakładany zostaje zbyt duży zapas, a realne zapotrzebowanie na moc jest znacznie mniejsze. Dlatego celowym jest podejście, które umożliwi dobór mniejszej mocy kompensatorów, ale z zachowaniem rezerwy – w celu umożliwienia dalszej rozbudowy systemu kompensacji (zwiększenie mocy całkowitej). Jednym ze sposobów na osiągnięcie takiego celu, w zasadzie najbardziej racjonalnym ekonomicznie, jest przewidzenie i pozostawienie w konstrukcji wolnej przestrzeni na dobudowanie dodatkowych członów wykonawczych (styczników, dławików filtrujących, kondensatorów mocy lub dławików kompensujących). Takie rozwiązanie nie generuje dużych kosztów na etapie zakupu kompensatora, jednak w razie zapotrzebowania na większą moc pozwala dobudować dodatkowe człony wykonawcze. Po wynajęciu całej powierzchni zakres rozbudowy będzie łatwy do określenia, gdyż znane już będzie zapotrzebowanie na moc bierną.

Kolejny problem w doborze kompensatorów mocy biernej związany jest ze stosowaniem odbiorników nieliniowych, przykładowo: urządzenia multimedialne, w tym urządzenia laserowe, wszelkiego rodzaju maszyny poligraficzne, sprzęt medyczny i diagnostyczny, mierniki i inne urządzenia badawczo-pomiarowe. Układ zasilania pracujący na rzecz odbiorników nieliniowych, pod wpływem których napięcie zasilania zostanie odkształcone cechuje się występowaniem wyższych harmonicznych. Fakt ten najbardziej będzie niekorzystnie dotyczył kondensatorów mocy zabudowanych w bateriach. Należy przypomnieć, że prąd płynący przez kondensator zależy od częstotliwości. Dlatego kondensator mocy jest bardzo narażony na szkodliwy wpływ wyższych harmonicznych. Podczas projektowania i doboru wersji baterii kondensatorów dla układu zasilania obiektu jakim jest biurowiec, należy założyć, że w czasie wieloletniego oferowania powierzchni pod wynajem na pewno znajdzie się taki najemca, który będzie wykorzystywał odbiorniki nieliniowe, które spowodują takie odkształcenie napięcia zasilania, że dobrane wcześniej baterie kondensatorów bez dławików filtrujących ulegną uszkodzeniu.

Należy zaznaczyć, że wyłącznym czynnikiem degradującym kondensator jest temperatura. Nie jest istotne, co będzie powodem wzrostu wspomnianej temperatury. Może to być źle wentylowane pomieszczenie rozdzielni, ale równie dobrze też przepływ przez kondensator zbyt dużego prądu, na przykład wywołany zawartością w napięciu zasilania wyższych harmonicznych. Jeśli temperatura pracy kondensatora trwale przekroczy wartość 55°C, to dojdzie w nim do zwarć międzyokładkowych, efektem których będzie powolna utrata pojemności (mocy) kondensatora. Zjawisko to nazywa się samoregeneracją, a jego źródłem jest zależność stałej dielektrycznej folii polipropylenowej (dielektryk w kondensatorach MKP) od temperatury. Z uwagi na fakt niekorzystnego wpływu temperatury, również podnoszenia napięcia nominalnego kondensatora nie należy traktować jako rozwiązania wspomnianego problemu. Dodatkowo w temperaturze powyżej 75°C, kondensator praktycznie przestaje pełnić rolę dielektryka, wskutek czego dochodzi do lawinowo przebiegającego zjawiska samoregene-

racji, w kolejności czego dochodzi do zadziałania bezpiecznika antywybuchowego kondensatora, co trwale odłącza kondensator od zasilania. Oczywistym jest fakt, że nawet najbardziej wydajny system wentylacji zamontowany w kompensatorze nie będzie w stanie obniżyć temperatury pracy członów wykonawczych, jeśli wartość temperatury w pomieszczeniu, gdzie będzie pracował kompensator będzie zbyt wysoka. W przypadku gdy członem wykonawczym kompensatora będą dławiki kompensujące (kompensacja mocy biernej pojemnościowej), to dobierając im miejsce instalacji należy uwzględnić fakt, że nagrzewają się one do temperatury 80–100°C. Należy zaznaczyć, że większość producentów aparatów i osprzętu stosowanego w rozdzielnicach budynkowych nN podaje maksymalną temperaturę ich pracy na ok. 60–80°C. Mając na uwadze ten fakt nie jest wskazane ustawianie szaf baterii kondensatorów z dławikami filtrującymi w jednym szeregu z innymi szafami rozdzielnic. Temperatura pracy takich dławików może osiągać nawet do 120°C (powyżej zaczynają załączać się zabezpieczenia termiczne umieszczone wewnątrz dławika), co przy braku wewnętrznych przegród pomiędzy kolejnymi szafami rozdzielnic może mieć negatywny wpływ na trwałość i niezawodność zabezpieczeń i urządzeń z rozbudowaną elektroniką.

Kolejnym istotnym krokiem jest wybór rodzaju członów wykonawczych i wartości mocy pierwszego stopnia. O skuteczności procesu kompensacji mocy biernej decyduje dobór kompensatora w zależności od specyfiki i charakteru obciążeń, z uwzględnieniem wartości i dynamiki zmian oraz z zawartością wyższych harmonicznych. Skuteczność ta w sposób bezpośredni wynika i zależy od dobranej mocy kondensatora i dławika kompensacyjnego umieszczonego na pierwszym stopniu kompensatora. Należy podkreślić, że dokładniejsze dobranie tej mocy do wartości minimalnych zmian w poborze mocy biernej, będzie odpowiedzialne za skuteczność działania systemu kompensacji. Od powodzenia tego procesu zależy wielkość opłat za nieskompensowaną energię bierną. Podczas projektowania baterii należy posiadać świadomość, że wartość mocy jej pierwszego stopnia nie tylko wpływa na dokładność kompensowania małych zmian poboru mocy biernej, ale określa również moc i liczbę kolejnych stopni kompensatora.

Różny charakter odbiorników spotykanych w biurach sprawia, że w ich układzie zasilania w długich odcinkach czasu utrzymuje się różny charakter sieci. Fakt ten odróżnia układ zasilania obiektu typu biurowego od zakładu przemysłowego. W większości przypadków w ramach godzin pracy przypadających na porę dnia sieć posiada charakter indukcyjny, a w godzinach nocnych zaś charakter pojemnościowy. Te dwa rodzaje mocy biernej kompensują się. Dodatkowo w procesie doboru kompensatora należy uwzględnić sezonowość obciążeń. Na ogół, wartość mocy biernej pojemnościowej jest stała. Najczęściej pobierają ten rodzaj mocy oświetlenie energooszczędne (zwłaszcza typu LED) czy pracujące jako niedociążone urządzenia UPS o dużych mocach. Te odbiorniki pracują z reguły w godzinach nocnych. Z kolei, moc bierną indukcyjną pobierają odbiorniki związane z instalacjami wentylacji i kli-

matyzacji, windy, schody ruchome oraz inne urządzenia biurowe. Odbiorniki te pracują w porach, gdy w biurze przebywają pracownicy. Wykonując pomiary krzywych obciążeń, które będą podstawą do przeprowadzenia obliczeń mocy całkowitej kompensatorów, należy określić czasy pracy poszczególnych odbiorników oraz sprawdzić, czy w czasie przeprowadzania pomiaru klimatyzacja była włączona i na ile skompensowały się nawzajem odbiorniki o różnych charakterach obciążenia. Warto wynik pomiarów krzywych obciążeń porównać z wielkościami przyrostów energii biernej indukcyjnej i pojemnościowej podanych w rachunkach. Wraz z wydłużeniem okresu porównania, przyjęte do obliczenia założenia będą bliższe rzeczywistym wartościom obciążeń. Analizy rachunków opłat za energię bierną wykorzystywaną w biurowcach pokazują, że są to wartości znaczące (od kilku do kilkunastu tysięcy złotych miesięcznie). Z tego powodu projektowany system kompensacji mocy biernej, aby był skuteczny w działaniu musi realizować proces kompensacji zarówno energii biernej pojemnościowej jak i indukcyjnej. W celu skutecznego (redukcja opłat o ponad 95%) skompensowania obu rodzajów mocy biernej (indukcyjna i pojemnościowa), należy przewidzieć kompensator, w którym człony wykonawcze będą stanowiły zarówno kondensatory mocy jak i dławiki kompensujące. Należy zastosować kompensator wyposażony w jeden regulator o funkcjonalności, która umożliwia pomiary zarówno w pierwszej jak i w czwartej ćwiartce układu 4-kwadrantowego oraz prowadzenie procesu kompensacji w zależności od pomierzonego charakteru sieci, aby nie dochodziło do pracy równoległej, czyli by człony o różnym charakterze nie pracowały w tym samym czasie wzajemnie się kompensując - „na siebie”.

Następnym zagadnieniem jakie występuje w obiektach typu biurowiec to kompensacja odbiorników niespokojnych, pracujących nieregularnie, o dynamicznych zmianach wartości pobieranej energii biernej, np. zespoły wind, schody ruchome. Jeśli moc tych odbiorników jest porównywalna z obciążeniami, jakie występują w poszczególnych porach doby, to w rozliczeniu dokonywanym elektronicznie, nowoczesnym licznikiem energii elektrycznej wystąpią opłaty za nieskompensowaną energię bierną. Kwestia ta jest zwłaszcza istotna w okresach, gdy nie pracuje klimatyzacja. Należy pamiętać, że zgodnie z normami nie wolno załączać kondensatora, który nie został rozładowany. W celu skutecznego skompensowania trwających sekundy zmian poboru mocy biernej należy w układzie rozładowania kondensatora stosować dławiki szybkorozładowawcze

W nowoczesnych obiektach klasy biurowej powszechne jest stosowanie systemów automatyki budynkowej i BMS. Z tego powodu system kompensacji mocy biernej również powinien oferować możliwość integracji z tego typu systemami automatyki zwłaszcza w celu monitorowania poziomu skuteczności procesu kompensacji oraz kontroli warunków eksploatacji użytkowanych kompensatorów – głównie baterii kondensatorów. Stosunkowo popularnym rozwiązaniem do realizacji wspomnianej integracji jest zastosowanie protokołu komunikacji Modbus. Kolejna istotna kwestia dotyczy wyposażania systemów kompensacji w rozwiązania zdalnego powiadamiania bazujące na technologii GSM. Jest to istotne w przypadku zadziałania zabezpieczeń lub pogorszenia się warunków eksploatacji.

dr inż. Jakub Grela