

Kompensacja mocy biernej – asymetria, obciążenia pojemnościowo-indukcyjne, pomiary oraz naliczanie opłat

W ciągu ostatnich 20 lat zmienił się znacząco profil odbiorców zainteresowanych kompensacją mocy biernej. W latach 90. był to przede wszystkim przemysł (grupa taryfowa A i B), gdzie dominowały duże odbiory indukcyjne (silniki, piece indukcyjne, maszyny wyciągowe). Początek XXI w. przyniósł zmiany gospodarcze, które uwolniły rynek energii elektrycznej – przedsiębiorcy, szukając oszczędności, zaczęli również obniżać koszty związane z energią. To spowodowało, że odbiorcy taryfowi grupy C (drobny przemysł, usługi, handel) zwrócili uwagę na usługi związane z kompensacją mocy biernej. Obecnie największe zainteresowanie tym procesem dotyczy grupy taryfowej C i G (odbiorcy komunalni, wspólnoty mieszkaniowe, obiekty handlowe i usługowe, biurowce, szkoły itp.).

Zgodnie z obowiązującymi przepisami, za pobór energii biernej rozliczani są odbiorcy zasilani z sieci średniego i wysokiego napięcia, a w uzasadnionych przypadkach także z niskiego, zatem Ci którzy użytkują odbiorniki o charakterze indukcyjnym, o ile zostało to określone w technicznych warunkach przyłączenia lub w umowie. Ponieważ wytyczne nie definiują „uzasadnionego przypadku”, a urządzenia o charakterze indukcyjnym (silniki, lodówki, chłodziarki, oświetlenie wydławowe) znajdują się w każdym domu, dlatego rozliczeniem za ponadumowny pobór energii biernej może zostać objęty praktycznie każdy odbiorca zasilany napięciem poniżej 1 kV. W praktyce, poza zakładami przemysłowymi, warsztatami i biurowcami, w pierwszej kolejności rozliczeniami zostają objęte osoby, które zmieniają dostawcę energii elektrycznej (w związku z modernizacją układu pomiarowego).

Wartość współczynnika mocy $\text{tg}\varphi_0$ określa się w warunkach przyłączenia lub w umowie o świadczenie usług przesyłania czy dystrybucji energii elektrycznej bądź umowie kompleksowej. Jeżeli $\text{tg}\varphi_0$ nie został wskazany w ww. dokumentach, do rozliczeń przyjmuje się wartość 0,4 ($\cos\varphi_0 = 0,927$), chyba że indywidualna ekspertyza uzasadnia wprowadzenie niższej wartości.

III Smart metering

W dobie liczników elektromechanicznych każdy rodzaj energii elektrycznej (czynna, bierna pobrana i oddana) był rejestrowany przez niezależne urządzenie, co na dostawcy (obecnie OSD – Operator Sieci Dystrybucyjnej) wymuszało duże nakłady finansowe związane z wykonaniem układu pomiarowego. Dlatego u odbiorców o mocy zamówionej poniżej 40 kW raczej rzadko instalowano układy pomiarowe dotyczące mocy biernej. Jeśli zakładano dodatkowy licznik, to mierzył on energię bierną indukcyjną w celu kontroli zadanego $\text{tg}\varphi$. Z uwagi na znikomy udział odbiorników o charakterze pojemnościowym rejestracja energii biernej pojemnościowej nie była prowadzona.



inż. Marek Iwanicki

Przyjęte przez Polskę dyrektywy Parlamentu Europejskiego nakładają obowiązek przekazania odbiorcom takich informacji, które pozwolą ocenić sposób zużywania energii i przyczynią się do poprawy efektywności energetycznej. Należy im zapewnić możliwość rozliczania w oparciu o rzeczywiste zużycie energii, co wymusza wymianę dotychczasowych liczników elektromechanicznych na zaawansowane urządzenia elektroniczne.

Najnowsza generacja systemów pomiarowych energii elektrycznej, pozwalająca na dwustronną, zdalną transmisję danych z liczników, to tzw. technologia smart metering. Inteligentne liczniki umożliwiają komunikację między odbiorcą a sprzedawcą energii w czasie rzeczywistym – gwarantuje przesył danych z licznika do sprzedawcy i odwrotnie. Dzięki temu automatycznie można dokonać konfiguracji licznika, odłączenia lub podłączenia zasilania czy analizy rzeczywistych danych o poziomie zużycia energii bądź zanikach zasilania. Polska jako państwo członkowskie UE, zgodnie ze wspomnianą dyrektywą, jest zobligowana do zainstalowania inteligentnych liczników u 80% odbiorców do końca 2020 roku. Modernizacja układów pomiarowych będzie również konieczna w przypadku zmiany dostawcy energii elektrycznej, co wiąże się z koniecznością zastosowania układu TPA (z ang. *Third-part Access pol*), który pozwoli właścicielowi lub operatorowi udostępnić infrastrukturę sieciową sprzedawcy zewnętrznemu (osobom trzecim), aby mógł on dostarczyć usługi swoim odbiorcom.

Klienci często błędnie sądzą, że za zmianę dostawcy energii zostali ukarani dodatkowymi opłatami, których wcześniej nie ponosili. Faktycznie na fakturze za przesył bardzo często pojawiają się nowe składowe, np. opłata za moc bierną, co jednak jest związane ze zmianą układu pomiarowego, który pozwala na rejestrację niezbędnych danych do rozliczania ww. opłat. Brokerzy sprzedający energię elektryczną przedstawiają oferty zawierające ceny za energię czynną, a te z reguły są niższe o kilka lub kilkanaście procent w stosunku do tych, ponoszonych przez odbiorcę. Należy jednak pamiętać, że faktura ze energią elektryczną zawiera kilka elementów składających się na kwotę końcową (energia czynna oraz bierna indukcyjna i pojemnościowa, moc zamówiona, opłata za stawkę jakościową, składniki zmienne stawki sieciowej, opłata handlowa, opłata OZE, abonament itd.). Przy niewielkim poborze energii czynnej pozostałe opłaty mogą stanowić od 40 do 60% wszystkich kosztów, dlatego, analizując zmianę dostawcy energii, należy zwrócić uwagę, czy obecny nalicza opłaty za energię bierną, czy w warunkach przyłączeniowych lub umowie znajduje się zapis mówiący o dotrzymaniu zadanego $\text{tg}\varphi_0$ i jaka jest jego naturalna wartość na obiekcie. Po wymianie układu pomiarowego, w przypadku przekroczenia $\text{tg}\varphi$, może się zdarzyć, że opłaty z tego tytułu będą znacznie wyższe niż oszczędności wynikające z obniżenia cen za energię czynną. Zmiana dostawcy energii, wbrew powszechnemu przekonaniu, nie zawsze w końcowym rozliczeniu jest korzystna finansowo.

III Pomiar i naliczanie opłat

W przypadku liczników elektromechanicznych ponadumowny pobór energii biernej określono jako ilość energii elektrycznej biernej odpowiadającą:

- współczynnikowi mocy $\text{tg}\varphi$ wyższemu od umownego współczynnika $\text{tg}\varphi_0$ (niedokompensowanie), stanowiącą nadwyżkę energii biernej indukcyjnej,
- indukcyjnemu współczynnikowi mocy przy braku poboru energii elektrycznej czynnej,
- pojemnościowemu współczynnikowi mocy (przekompensowanie) zarówno przy poborze energii elektrycznej czynnej, jak i przy jego braku.

W praktyce rozliczenia ponadumownego poboru mocy określane są na podstawie średnich wartości współczynnika mocy obliczanych za okres rozliczeniowy, dlatego do naliczania opłat nie są brane pod uwagę chwilowe przekroczenia zadanego współczynnika $\text{tg}\varphi_0$.

W przypadku liczników elektronicznych pomiar i rejestracja energii czynnej i biernej realizowany jest w czterech kwadrantach. Natomiast w zależności od typu licznika oraz wykonanej konfiguracji przez OSD sposób sumowania energii biernej dla poszczególnych faz czy metody jej wyliczania mogą być różne. Przykładowo moc czynna i pozorna są mierzone, a moc bierna wyliczana z trójkąta mocy lub metodą z przesunięciem przebiegu napięcia o 90° , pozwalającą uzyskać wynik zbliżony do mocy biernej składowej podstawowej. Im wyższa zawartość harmonicznych, tym większa różnica w odczytach, a w konsekwencji inne opłaty za energię bierną. Na rynku dostępne są liczniki, w których suma wypadkowa z trzech faz dla mocy biernej jest zapisywana w danej chwili jako pobór energii biernej lub jej oddawanie. W takim przypadku, nawet przy występującej asymetrii obciążenia, zastosowanie układu kompensacyjnego z pomiarem 3-fazowym pozwoli na pełne skompensowanie odbiorcy. Jednak istnieją również rozwiązania naliczające każdą fazę osobno, co umożliwia jednoczesny zapis poboru i oddawania energii biernej w poszczególnych fazach. Przy tak skonfigurowanym układzie pomiarowym jedyną skuteczną metodą kompensacji jest montaż baterii, gdzie każda faza będzie kompensowana niezależnie. Obecnie nie ma jednoznacznych przepisów dotyczących sposobu rejestracji energii biernej i w dużej mierze zależy od typu licznika (oprogramowania fabrycznego) oraz konfiguracji wykonanej przez właściwego OSD.

Podczas prowadzonych analiz dla odbiorców ponoszących opłaty za energię bierną, można spotkać się z sytuacją, w której OSD nalicza należność za wszystkie chwilowe przekroczenia zadanego współczynnika $\text{tg}\varphi_0$ w danym okresie rozliczeniowym, pomimo dotrzymania jego średnich wartości. Jest to przewidziane w taryfie tylko przy występowaniu szybkozmiennych obciążeń mocą bierną. Rozliczanie poboru energii biernej ponad wartość współczynnika $\text{tg}\varphi_0$ przeprowadza się na podstawie bezpośredniego pomiaru nadwyżki energii biernej. Wówczas opłata w okresie rozliczeniowym naliczana jest zgodnie z uwzględnieniem współczynnika $\text{tg}\varphi$, ustalonego według następującego wzoru:

$$\text{tg}\varphi = \frac{\Delta E_b}{A} + \text{tg}\varphi_0,$$

gdzie:

$\text{tg}\varphi_0$ – umowny współczynnik mocy,

ΔE_b – nadwyżka energii biernej wykazana przez urządzenie pomiarowe w okresie rozliczeniowym, w [MVarh] lub [kVarh],

A – energia czynna pobierana całodobowo lub dla strefy czasowej, w której prowadzona jest kontrola poboru energii biernej, w [MWh] lub [kWh].

Opłatę za nadwyżkę energii biernej pobranej ponad ilość wynikającą ze współczynnika $\text{tg}\varphi_0$ w okresie rozliczeniowym, całodobowo lub dla stref czasowych, w których prowadzona jest kontrola poboru tej energii, oblicza się według poniższej zależności:

$$Q_b = k \cdot C_{rk} \cdot \left(\sqrt{\frac{1 + \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi_0}} - 1 \right) \cdot A,$$

gdzie

Ob – opłata za nadwyżkę energii biernej, w [zł],

k – krotność ceny C_{rk} ,

C_{rk} – cena energii elektrycznej, obowiązująca w dniu zatwierdzenia taryfy, wyrażona w [zł/MWh] lub [zł/kWh],

$\text{tg}\varphi$ – współczynnik mocy wynikający z pobranej energii biernej,

$\text{tg}\varphi_0$ – umowny współczynnik mocy,

A – energia czynna pobrana całodobowo lub dla strefy czasowej, w której prowadzona jest kontrola poboru energii biernej, w [MWh] lub [kWh].

Przy czym współczynnik krotności k jest uzależniony od poziomu napięcia, do którego przyłączony jest odbiorca i wynosi odpowiednio:

- $k_{WN} = 0,50$ – dla odbiorców przyłączonych do sieci WN,

- $k_{SN} = 1,00$ – dla odbiorców przyłączonych do sieci SN

- $k_{nn} = 3,00$ – dla odbiorców przyłączonych do sieci nn.

Koszt ponoszony za energię bierną u odbiorcy przyłączonego do sieci 0,4 kV (taryfa C i G) jest trzykrotnie większy niż przy sieci SN (taryfa B). Ponadto zastosowanie współczynnika $k = 3$ w taryfach G i C powoduje że opłata za moc bierną wyliczana z powyższej zależności, przy $\text{tg}\varphi = 1$, zrównuje się z opłatą za energię czynną (pomimo że moc bierna w składowej pozornej nie przekracza 30%).

III Źródła mocy pojemnościowej

Odbiorniki energii w zakładach produkcyjnych mają zazwyczaj charakter rezystancyjno-indukcyjny (a zatem pobierają energię czynną oraz bierną indukcyjną, związaną głównie z funkcjonowaniem maszyn elektrycznych, transformatorów i innych urządzeń zawierających uzwojenia). Obecnie działa wiele obiektów, których odbiorniki są rezystancyjno-pojemnościowe (czyli obciążają sieć zasilającą również energią bierną pojemnościową). Należą do nich m.in. centra przetwarzania danych, placówki handlowe, biura, banki, hale magazynowe, czyli obiekty, w których funkcjonuje dużo sprzętu komputerowego, oświetlenia energooszczędnego i innych urządzeń zawierających filtry, układy prostownicze, elektroniczne regulatory mocy czy stabilizatory.

W budynkach wyposażonych w systemy zasilania gwarantowanego (UPS), stosowane do zabezpieczenia wrażliwych odbiorników (o znaczeniu priorytetowym) przed określonymi nieprawidłowościami bądź niekontrolowanym zanikiem napięcia zasilającego, odbiorniki również mają charakter pojemnościowy. W zasilaczach



Fot. 1. Statyczna bateria dławików BDI



Fot. 2. Automatyczna bateria dławików typu BDA



Fot. 3. Bateria kondensatorów z modułami jednofazowymi

UPS obwody wejściowe zawierają kondensatory, których zadaniem jest ograniczenie (filtracja) wyższych harmonicznych. Urządzenia te ze względu na swe przeznaczenie są przyłączone do sieci i pracują w sposób ciągły, co sprawia, że nawet nieduża moc – na poziomie 2–3 kVAR, generowana przez zasilacze, w ciągu miesiąca (ok. 720 h) spowoduje oddanie do sieci ponad 2000 kVARh. Przy średniej stawce 0,5 zł/1 kVARh koszt przekompensowania będzie wynosił 1000 zł miesięcznie.

W przypadku braku innych odbiorów indukcyjnych, które mogłyby „skonsumować” nadmiar energii pojemnościowej na tego typu obiektach, należy stosować urządzenia kompensacyjne w postaci baterii dławików indukcyjnych. W zależności od zmienności obciążenia mocą bierną wykorzystuje się układy statyczne (dławiki przyłączone na stałe bez regulacji – fot. 1) oraz z automatyczną regulacją (baterie dławików wielostopniowo sterowane regulatorem mocy biernej – fot. 2).

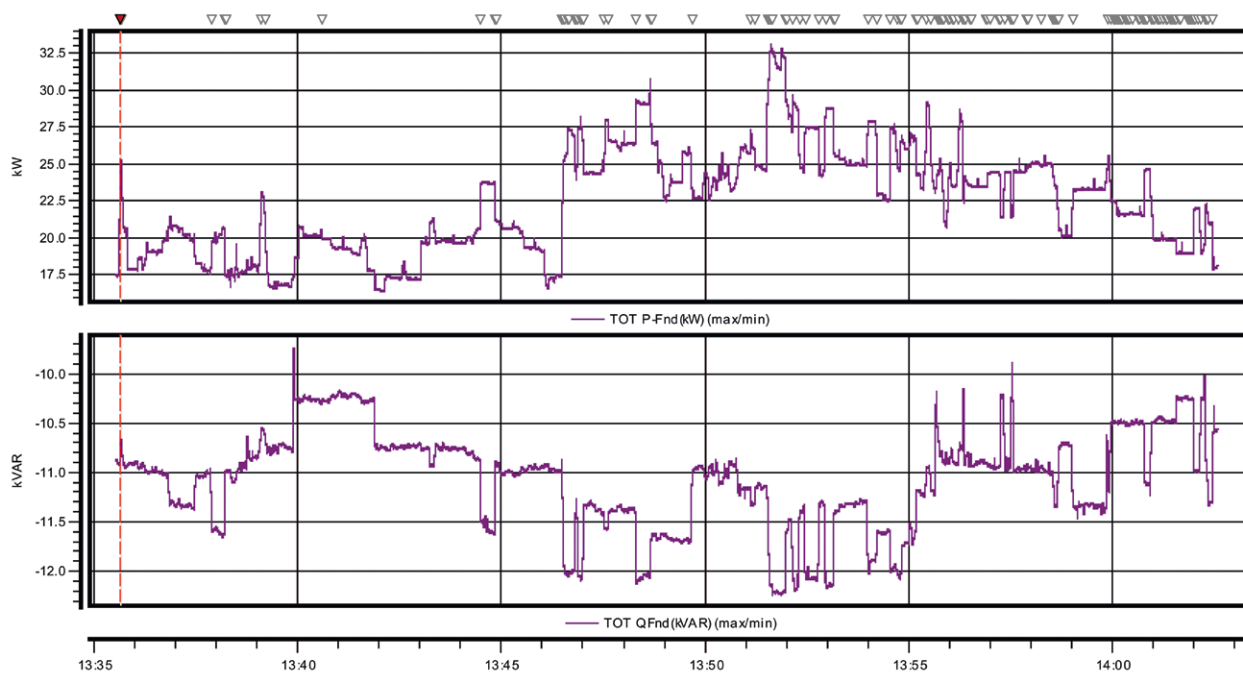
Na rys. 1. zostały przedstawione przebiegi mocy czynnej i biernej zasilania hali magazynowej, w której standardowe oświetlenie zostało wymienione na LED-owe. Po modernizacji instalacji odbiorca zaczął ponosić opłaty z tytułu energii biernej pojemnościowej (moc oddawana ok. 11,5 kVAR). Zastosowano baterię dławików z automatyczną regulacją typu BDA 12,5/2,5 kVAR, co pozwoliło na całkowitą eliminację dodatkowych kosztów. Okres zwrotu inwestycji wyniósł 4 miesiące.

Na rys. 2. pokazano przebieg pracy baterii kondensatorów z pomiarem 1-fazowym, przyłączanej do obwodów administracyjnych wielorodzinnego budynku mieszkalnego. Odbiory 1-fazowe: oświetlenie garaży i klatek, wentylacja. W tym przypadku widać bardzo dużą asymetrię obciążenia: moc czynna od 3 do 8 kW, moc bierna od 0 do 10 kVAR. Na fazie A, gdzie zainstalowano przekładnik prądowy do sterowania baterii kondensatorów, pobór mocy biernej wynosi 10 kVAR, na fazie B – 1 kVAR, a faza C ma charakter pojemnościowy. Regulator mocy biernej, odnosząc się pomiarowo do fazy A, łączy do pracy stopnie kondensatorów w celu uzyskania zadanego t_{gr} , niestety pozostałe fazy są przekompensowane, co skutkuje oddawaniem do sieci OSD 10 kVAR.

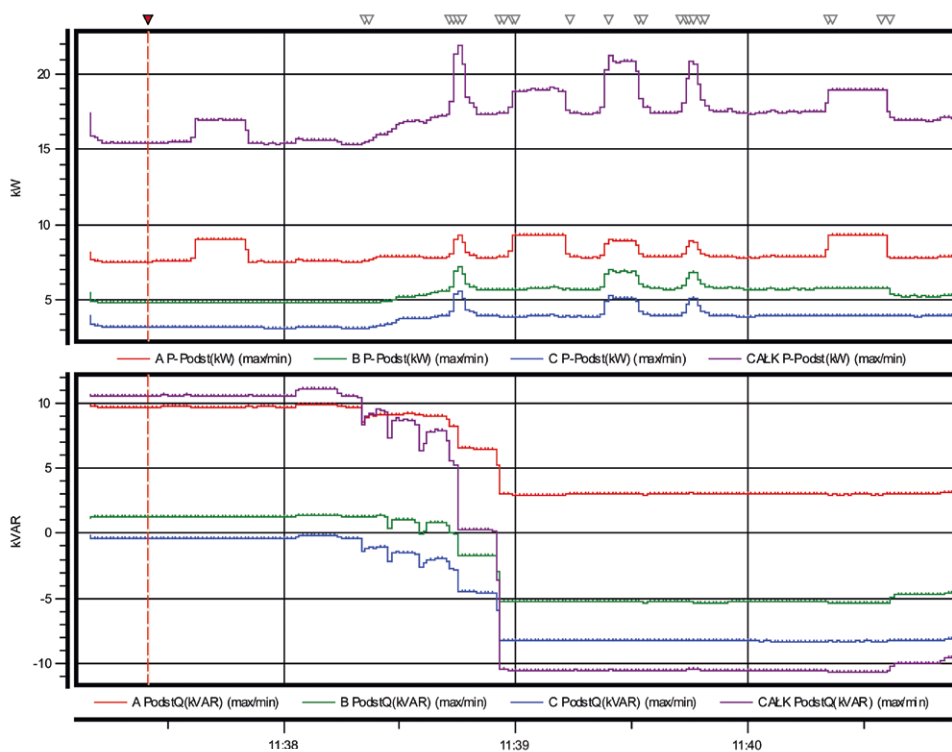
W przypadku sieci, w której występują asymetrie obciążenia należy stosować regulatory z trójfazowym pomiarem prądu, uśredniające wypadkową wartość i kierunek przepływu mocy biernej (jak układy licznikowe). Takie rozwiązanie wymaga użycia odpowiedniego regulatora oraz przeznaczonych do współpracy z nim trzech przekładników prądowych, jednak w większości przypadków pozwala na całkowitą eliminację opłaty za energię bierną.

W przypadku dużych asymetrii oraz układów pomiarowych, gdzie każdą fazę nalicza się osobno, skutecznym sposobem skompensowania mocy biernej jest zastosowanie baterii złożonej z trzech niezależnych modułów jednofazowych, pracujących niezależnie na każdej fazie (fot. 3). Użyte jednofazowe łączniki tyrystorowe umożliwiają łączenie kondensatorów jednofazowych w każdej fazie. Procesem dodawania lub odejmowania poszczególnych kondensatorów sterują trzy indywidualne moduły sterowniczo-pomiarowe, odpowiadające za swoją fazę (czas włączenia i wyłączenia wynosi dwie sekundy). Dzięki łącznikom tyrystorowym szybkość reakcji baterii jest natychmiastowa, a ponowne łączenie kondensatorów nie wymaga ich rozładowania, co powoduje, że bateria jest cały czas gotowa do pracy. Takie rozwiązanie doskonale sprawdza się na obiektach z bardzo dużą dynamiką (liczoną w sekundach) zmienności obciążenia.

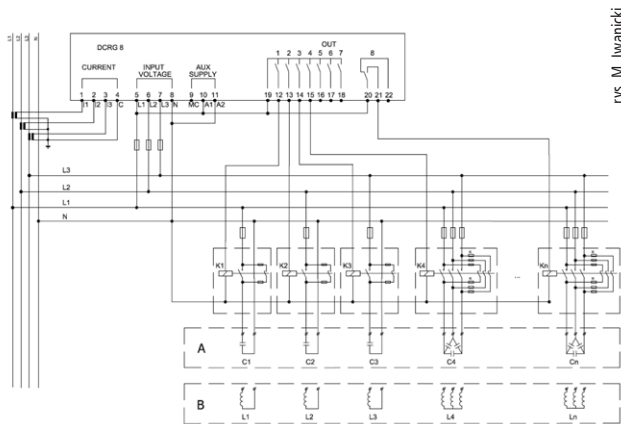
Na obiektach, gdzie zmienność obciążenia nie jest tak szybka i występują odbiory mieszane (jedno- i trójfazowe), można użyć baterii kondensatorów MIX, zbudowanych zarówno z kondensatorów jedno-, jak i trójfazowych. Na rys. 3a został pokazany układ połączeń regulatora mocy biernej w omawianej aplikacji. Dokonuje on pomiaru prądu w trzech fazach i w zależności od ich obciążeniaysterowuje kondensatory jednofazowe. W przypadku nałożenia się pracy odbiorników jednofazowych w poszczególnych fazach bądź urządzenia trójfazowego, regulator wykorzysta kondensator trójfazowy. Dzięki takim rozwiązaniom można budować baterie o większej mocy (do kilkuset kVAR) przeznaczone dla obiektów, w których obciążenie jest asymetryczne. Przy jednostkach jednofazowych istnieje ograniczenie mocy poszczególnych członów ze względu na prąd roboczy, jaki występuje przy napięciu 230 V oraz elementy łączeniowe (brak na rynku styczników jednofazowych do łączenia kondensatorów).



Rys. 1. Przebiegi mocy P i Q na hali z oświetleniem LED

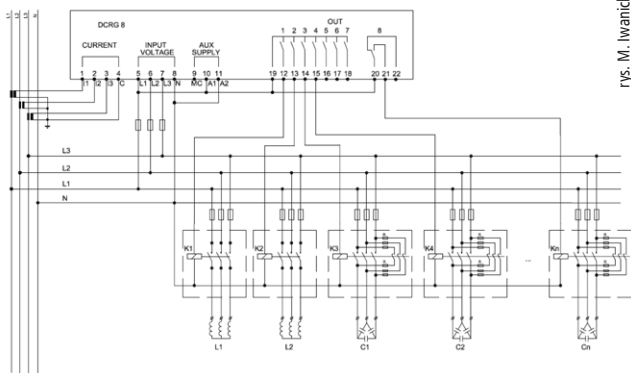


Rys. 2. Praca baterii z jednofazowym pomiarem w sieci z asymetrią obciążenia



rys. M. Iwanicki

Rys. 3. Układ do poprawy współczynnika mocy dla pojedynczej fazy z zastosowaniem: A – kondensatorów jednofazowych i trójfazowych; B – dławików jednofazowych i trójfazowych



rys. M. Iwanicki

Rys. 4. Układ dławikowo-kondensatorowy do poprawy współczynnika mocy z pomiarem trójfazowym

Na rys. 3 (obszar B) przedstawiono analogiczny układ pracy przy wykorzystaniu elementów indukcyjnych. Dla układu pojemnościowego sieci zasada pracy regulatora jest taka sama, jak opisana w poprzednim przypadku. Podczas konfiguracji sterownika wprowadza się informację o charakterze indukcyjnym członów wykonawczych baterii. Źródłem asymetrii pojemnościowej najczęściej jest oświetlenie i zasilacze dla sprzętu biurowego. Ponadto istnieją także układy mieszane – dławikowo-kondensatorowe (rys. 4). W budynkach biurowych, urzędach itp. w porze nocnej lub podczas dni świątecznych, gdzie obciążenie stanowi oświetlenie (np. LED) czy serwerownia z UPS-ami, występuje energia bierna pojemnościowa. Natomiast podczas normalnej pracy obiektu pojawiają się obciążenia indukcyjne: windy, wentylacja, centrale klimatyzacyjne itp., które powodują przekroczenie zadanego $tg\varphi_0$. W obu przypadkach odbiorca ponosi koszty związane z energią bierną, zarówno pojemnościową, jak i indukcyjną. Aby temu zapobiec można użyć baterii złożonej częściowo z członów indukcyjnych (dławików) oraz pojemnościowych (kondensatorów). W tego typu układach kompensacyjnych stosuje się specjalne regulatory mocy biernej, uniemożliwiające jednoczesną pracę

kondensatorów i dławików. Podczas programowania sterownika określa się wielkość i charakter elementu wykonawczego na poszczególnych wyjściach. Gdy podczas pracy baterii regulator rozpozna charakter pojemnościowy w sieci, w pierwszej kolejności wyłączy wszystkie stopnie pojemnościowe (kondensatory), a jeśli stan się nie zmieni, zacznie włączać stopnie indukcyjne (dławiki) aż do momentu, gdy osiągnie zadany $tg\varphi$.

Podobnie układ zadziała w drugą stronę – przy niskiej wartości indukcyjnej $tg\varphi$, najpierw odłączy dławiki, a następnie (w razie potrzeby) włączy kondensatory.

Na rys. 4. został pokazanych schemat połączeń układu, w których pierwsze dwa stopnie stanowią dławiki indukcyjne, a pozostałe kondensatory.

III Podsumowanie

Postęp i rozwój technologiczny, a także coraz wyższe wymagania samych odbiorców niosą ze sobą znacznie większe zużycie nie tylko energii czynnej, ale również i biernej. Urządzenia, takie jak: klimatyzacja, chłodziarki, komputery, urządzenia elektroniczne, wentylacja mechaniczna w blokach mieszkalnych, wyciągi spalin z podziemnych garaży, szeroko stosowane „oszczędne” oświetlenie fluorescencyjne i LED-owe, są źródłami energii biernej. Przeprowadzana modernizacja układów pomiarowych pozwala OSD na jej kontrolę u nowych odbiorców, którzy następnie mogą być obciążani związanymi z nią kosztami. Taki rozwój sytuacji stawia nowe wyzwania przed producentami urządzeń do kompensacji. Aby ich urządzenia mogły wyeliminować opłaty za energię bierną u odbiorcy, muszą być dostosowane do warunków sieciowych, w których będą pracować – uwzględniać możliwość występowania asymetrii, wyższych harmonicznych czy zmiany charakteru obciążenia z indukcyjnego na pojemnościowy i odwrotnie. Ale przede wszystkim logika ich działania musi być zgodna z logiką układu pomiarowego i sposobu rozliczania $tg\varphi$ przez OSD.

Właściwego doboru urządzeń nie da się obecnie zrealizować tylko na podstawie analizy faktur. Niezbędna jest weryfikacja parametrów sieci, profili mocy oraz układu pomiarowego, dopiero wówczas zaproponowane rozwiązanie może skutecznie wyeliminować opłaty za energię bierną.

Literatura

1. A. Kielerz, „Smart metering – korzyści i zagrożenia”, materiały z XXVII konferencji z cyklu „Zagadnienia surowców energetycznych i energii w gospodarce krajowej”, Zakopane 2013.
2. M. Kurkowski, T. Poptawski, J. Mirowski „Energia bierna a przepisy Unii Europejskiej”, „Rynek Energii” 2/2014.
3. PN-EN 62053-23:2006 „Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego). Wymagania szczegółowe. Część 23: Liczniki statyczne energii biernej (klas 2 i 3)”.
4. Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną (DzU 2011 nr 189, poz. 1126 z późn. zm.)
5. www.elektromontex.com
6. www.energa-operator.pl
7. www.lovatoelectric.pl
8. Badania własne Przedsiębiorstwa Badawczo-Wdrożeniowego OLMEX SA.