

System kompensacji mocy biernej dla biurowca – wyzwanie czy rutyna

Krzysztof Dąbrowski

Czy odbiorniki energii elektrycznej typowe dla biura jak xero, komputer, czajnik, radio czy faks mogą być źródłem opłat za nieskompensowaną energię bierną? Odpowiedź na ww. pytanie jest zdumiewająco prosta. Jeśli na rachunku za energię elektryczną biura pojawi się pozycja „Rozliczenie za energię bierną” i kwota do zapłaty z tym związana będzie większa niż 10% kwoty całego rachunku, to takie biuro powinno mieć swój układ kompensacji mocy biernej. A więc mogą, choć... Niniejszy artykuł udowodni, że zaprojektowanie takiego systemu nie jest wcale takie proste. Z moich ponad 30-letnich doświadczeń jednoznacznie wynika, że nie jest łatwo zaprojektować skuteczny system kompensacji mocy biernej biurowca. W proponowanym rozwiązaniu należy uwzględnić wiele aspektów technicznych i np. ekonomicznych.

Typowy biurowiec to setki, jak nie tysiące biur. Na każdym z nich komputer czy laptop z zasilaczem, UPS-em, lampka do punkтового oświetlenia. Poza urządzeniami na biurku są jeszcze tysiące źródeł światła, windy, systemy wentylacji, klimatyzacja, serwerownia, schody ruchome, systemy przeciwpożarowe. Wszystko to jest połączone pajęczyną kabli, przewodów i szyn, rozciągniętą na przestrzeni kilkunastu pięter.

Układ zasilania biurowca swoją wielkością, różnorodnością i skomplikowaniem, z wartością mocy umownej, liczbą zabezpieczeń i ich amperażem, przypomina układ zasilania dużego zakładu przemysłowego.



Rys. 1. Bateria kondensatorów z dławikami filtrującymi Hr

Ogromne zróżnicowanie odbiorników, zarówno pod względem zasilania: z jednej czy z trzech faz, liniowych czy nie, o charakterze indukcyjnym czy pojemnościowym, o szybkich czy wolnych zmianach w poborze mocy biernej, stawia przed projektantem systemu kompensacji mocy biernej o wiele większe wyzwanie niż wykonanie projektu układu kompensacji mocy biernej typowej fabryki. Mimo, że układ zasilania to z reguły jedna lub dwie dwusekcyjne rozdzielnice nN to ich amperaż dobitnie obrazuje rangę problemu. Moce umowne typowe dla biurowców to pojedyncze megawaty.



Rys. 2. Regulatory mocy biernej

Główne odbiorniki to systemy wentylacji i klimatyzacji, układ zasilania systemów obiegu wody. Duży udział w bilansie mocy mają też windy, schody ruchome, a zwłaszcza serwerownia, oświetlenie oraz pojedyncze gniazda sieciowe. Z tych gniazd sieciowych zasilane są kolejno tysiące kserografów, faksów, kalkulatorów, komputerów i innych urządzeń biurowych. Wszystkie te urządzenia pobierają energię elektryczną, której miesięczny koszt to kilkanaście a często i kilkadziesiąt tys. zł. Kwota za pobraną energię bierną zarówno indukcyjną, jak i pojemnościową to kilka lub nawet kilkanaście tys. zł na miesiąc. Instalowane teraz powszechnie elektroniczne liczniki energii elektrycznej liczą pobór energii bardzo precyzyjnie, rozliczając jednocześnie (jeden licznik) – zarówno energię czynną jak i oba rodzaje energii biernej. Analizując rachunki za energię elektryczną biurowca można jednoznacznie stwierdzić, że opłaca się zamontować w nim system do kompensacji energii biernej o dużej skuteczności działania, gdyż średni okres zwrotu inwestycji dla tego typu obiektów wynosi od 10 do 18 miesięcy.

Jednak aby system do kompensacji mocy biernej był skuteczny, trzeba znać zarówno problemy, jakie spotkamy w układzie zasilania biurowca jak i mieć odpowiednią wiedzę i duże doświadczenie w ich skutecznym rozwiązaniu. Głównym problemem do pokonania w projekcie systemu kompensacji mocy biernej biurowca jest brak wiedzy o przyszłych użytkownikach. Oferując powierzchnię tzw. open space w większości przypadków administrator nie wie, jakie rodza-

je odbiorników podłączy do sieci zasilającej nowy najemca. Razem z wynajmowaną powierzchnią oferuje się układ zasilania o określonej mocy czynnej, nie precyzując innych wymagań związanych z zasilaniem odbiorników. Podpisując umowę wynajmu nikt nie wnika w wielkości mocy biernej, jakie będą pobierać odbiorniki najemcy. A jest to przecież ogromna różnica w poborze mocy biernej oraz w jej charakterze, gdy podstawowymi odbiornikami jednego najemcy będą komputery, serwery i przewymiarowany UPS, a drugiego małoformatowe maszyny poligraficzne. Właściciel upewnia się tylko, czy nowo montowane urządzenia nie będą uciążliwe dla innych użytkowników i czy ich zapotrzebowanie na moc czynną mieści się w przyznanym limicie. Dokładnie kontroluje się poziom natężenia hałasu, bo jego wysokie natężenie może odstraszać innych potencjalnych najemców. Prawie nikt nie sprawdza, jakie moce bierne będą pobierały urządzenia nowego najemcy oraz jak ta wartość będzie się miała do wartości założonych w bilansie mocy robionym na potrzeby projektowe. Nikt też nie sprawdza, czy nowy najemca nie zasili całej masy urządzeń nieliniowych, które odkształcą napięcie zasilania tak, że wzrosną odkształcenia zarówno w napięciu jak i w prądzie, co może stać się powodem uszkodzenia, np. sterowników zainstalowanych zarówno w systemach biurowca jak i w innych urządzeniach należących do innych najemców. Będzie wówczas dochodzić do awarii, gdyż tych zagrożeń nie słycać, nie widać, trudno zlokalizować ich źródło i co najwyżej mając do dyspozycji dobry analizator parametrów sieci można je zmierzyć. Użytkownik z takimi odbiornikami może być równie uciążliwy jak ten, którego maszyny np. poligraficzne, hałasują (choć one pracują najczęściej nocą). Brak wiedzy o odbiornikach przyszłych najemców stwarza dwa zasadnicze problemy w doborze systemu kompensacji mocy biernej. Pierwszy – to jaką całkowitą moc powinno mieć pojedyncze urządzenie do kompensacji mocy biernej i w jakie człony wykonawcze powinno być ono wyposażone. Jeśli będą to kondensatory mocy, to pojawia się kolejny problem, czyli w jakie dławiki filtrujące powinna być wyposażona bateria konden-

satorów. Dobierając moc kompensatorów na podstawie bilansu mocy z reguły robimy to ze zbyt dużym zapasem, czyli postępujemy nieekonomicznie, gdyż system kompensacji mocy biernej nie należy do tanich. Trudno będzie wytłumaczyć właścicielowi biurowca, dlaczego dobrany przez nas kompensator nie załącza połowy posiadanych członów wykonawczych, bo tak naprawdę realne zapotrzebowanie na moc bierną jest znacznie mniejsze niż to, które sobie założyliśmy. Dlatego dobierając moce kompensatorów na podstawie bilansu mocy należy projektować mniejsze wartości mocy, ale przewidzieć konstrukcję kompensatorów umożliwiającą ich rozbudowę (zwiększenie mocy całkowitej) o ok. 20–30%. Zwiększenie mocy kompensatora może być realizowane na dwa sposoby. Pierwszy – najbardziej ekonomiczny sposób – to 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. Drugim sposobem zwiększenia mocy całkowitej kompensatora – jest wymiana na większe moce posiadanych już członów wykonawczych. Taka wymiana jest mniej opłacalna, gdyż projektując kompensator, musimy użyć w jego konstrukcji osprzętu i kabli o przekrojach dobranych do mocy maksymalnych dostępnych na rynku styczników przeznaczonych do załączania kondensatorów mocy. Pamiętajmy, że w temperaturze 50°C można załączyć kondensator o maksymalnej mocy 60 kvar. Druga metoda jest często stosowana, gdy mamy ograniczoną powierzchnię przeznaczoną na posadowienie urządzeń do kompensacji mocy biernej.

Uważny Czytelnik zauważył, że pisząc o mocach całkowitych nie używam popularnego określenia bateria kondensatorów, a używam określenia system kompensacji lub kompensator. Pod tymi pojęciami kryje się zarówno bateria kondensatorów mocy jak i bateria dławików kompensacyjnych C lub baterie LC czyli taka, której członami wykonawczymi są zarówno kondensatory mocy jak i dławiki kompensacyjne. Rodzaj członu wykonawczego będzie zależał od charakteru mocy biernej, którą należy kompensować. Kolejny problem w doborze kompensatorów mocy biernej stwarzają ci użytkownicy, którzy zasilac będą odbiorniki nieliniowe, np. urządzenia multimedialne, zwłaszcza urządzenia laserowe, wszelkiego rodzaju maszyny poligraficzne, sprzęt medyczny i diagnostyczny, mierniki i inne urządzenia badawczo-pomiarowe. Zasilanie odbiorników nieliniowych sprawia, że napięcie zasilania zostanie odkształcone i pojawią się wyższe harmoniczne. Zmianę tą najbardziej odczuwają kondensatory mocy zabudowane w bateriach. Prąd płynący przez kondensator zależy od częstotliwości, dlatego kondensator mocy jest bardzo narażony na szkodliwy wpływ wyższych harmonicznych. Dobierając wersję baterii kondensatorów dla układu zasilania biurowca trzeba założyć, że w czasie wieloletniego oferowania powierzchni pod wynajem na pewno znajdzie się taki najemca, który będzie miał odbiorniki nieliniowe, które tak odkształcą napięcie zasilania, że dobrane przez nas baterie kondensatorów bez dławików filtrujących ulegną uszkodzeniu. Aby taka sytuacja nie powstała, dla układów zasilania biurowca musimy projektować baterie Hr, czyli wyposażone w dławiki filtrujące o współczynniku $p=14\%$. Tylko takie dławiki umożliwiają prawidłową pracę baterii przy dowolnym (nie wiemy, jakie odbiorniki zainstaluje najemca) widmie wyższych harmonicznych. Tylko bateria kondensatorów Hr z dławikami o współczynniku $p=14\%$ jest na tyle uniwersalna, że umożliwia wynajem powierzchni najemcom z dowolnymi odbiornikami nieliniowymi. Projektując konkretny kompensator powinniśmy określić wartości zabezpieczeń umieszczonych w polu



Rys. 3. Dławiki filtrujące

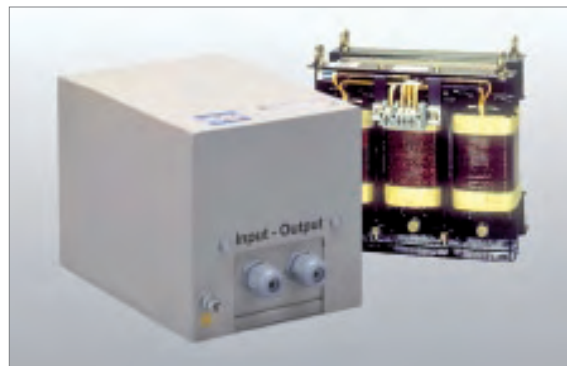


Rys. 4. Dławiki szybko rozładawcze

zasilającym kompensator oraz podać przekroje kabli zasilających. Jeśli dobierzemy przekroje kabli do mocy kompensatora „pod rozbudowę” przed jego rozbudową, to w projekcie musi być komentarz, aby przed każdym zwiększeniem mocy całkowitej kompensatora dokonywano weryfikacji obciążalności kabli zasilających kompensator. Tekst takiego zalecenia powinien być też umieszczony na elewacji drzwi zastosowanego kompensatora. W przypadku, gdy zakres rozbudowy będzie tak znaczny, że przekroje kabli będą za małe, to powinniśmy zaprojektować dołożenie dodatkowych kabli zasilających. Trzeba też pamiętać, że moc nominalna baterii Hr z dławikami filtrującymi o $p=7\%$ zmniejsza się o ok. 15% a z dławikami o $p=14\%$ o 5%, dlatego dobierając wartości zabezpieczeń i przekroje kabli powinniśmy uwzględnić to zmniejszenie. To zmniejszenie mocy nominalnej jest wynikiem zastosowania w baterii Hr dławików filtrujących.

Niestety producenci kondensatorów mocy o niskiej jakości (kategoria klimatyczna C) jako antidotum na szkodliwy wpływ wyższych harmonicznych na kondensator zalecają stosować w bateriach kondensatory na napięcie wzmacnione, czyli o podwyższonym napięciu nominalnym, ostatnio nawet do 525 V. Taki kondensator zasilony napięciem 400 V traci ok. 50% swojej mocy nominalnej (określana jest ona przy napięciu zasilania czyli 525 V), a więc moc całkowita baterii będzie o połowę mniejsza od projektowanej. Takie rozwiązanie nie jest racjonalne technicznie. Czynnikiem degradującym kondensator jest wyłącznie temperatura i podnoszenie napięcia nominalnego kondensatora nie ochroni go przed uszkodzeniem wywołanym przepływem prądów wyższych harmonicznych lub zbyt wysoką temperaturą otoczenia. Nie ważne jest, co będzie powodem wzrostu temperatury – czy źle wentylowane pomieszczenie rozdzielni, czy też przepływ przez kondensator zbyt dużego prądu, wywołany obecnością 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.

W temperaturze powyżej 75°C praktycznie przestaje ona być dielektrykiem i dochodzi do lawinowo przebiegającego zjawiska samoregeneracji, w efekcie czego dochodzi do zadziałania bezpiecznika antywybuchowego kondensatora, co trwale odłącza kondensator od zasilania. Zapewnienie optymalnej temperatury pracy kondensatora, ale także i dławika kompensacyjnego to zadanie dla producenta kompensatora ale także i dla projektanta systemu kompensacji mocy biernej. Trzeba wiedzieć, że nawet najbardziej wydajny system wentylacji zamontowany w kompensatorze nie obniży temperatury pracy członów wykonawczych jeśli temperatura w pomieszczeniu, gdzie będzie pracował kompensator będzie zbyt wysoka. Projektując system wentylacji pomieszczenia rozdzielni należy wiedzieć, że straty mocy kompensatorów to ok. 50–100 W/kvar. Gdy członem wykonawczym kompensatora będą dławiki kompensujące (kompensacja mocy biernej pojemnościowej), to dobierając im miejsce posadzenia trzeba uwzględnić fakt, że nagrzewają się one do temperatury 80–100°C. Istotne jest też uwzględnienie wagi takich dławików, np. dławik o mocy 20 kvar bez obudowy waży ok. 90 kg, a 40 kvar – ok. 160 kg. Trzeba pamiętać, że większość producentów osprzętu stosowanego w rozdzielnicach nN określa maksymalną temperaturę pracy na ok. 60–80°C i z tego powodu nie jest wskazane ustawianie szaf baterii kondensatorów z dławikami filtrującymi w jednym szeregu z innymi szafami rozdzielnic. Temperatura pracy dławików może dochodzić nawet do 120°C (powyżej zaczynają działać zabezpieczenia termiczne umieszczone wewnątrz dławika), co przy braku wewnętrznych przegród pomiędzy kolejnymi szafami rozdzielnic może mieć negatywny wpływ na trwałość i niezawodność



Rys. 5. Dławiki kompensacyjne

zabezpieczeń i urządzeń z rozbudowaną elektroniką. Z powyższych danych wynika, że pomieszczenie rozdzielni powinno być wentylowane a przy małych powierzchniach i/lub znacznych mocach kompensatorów nawet klimatyzowane. Kompensatory mocy biernej powinny być wykonane jako odrębne urządzenia. Kontynuując porady dla projektantów trzeba pamiętać, że dobierając przekroje kabli zasilających i wartości zabezpieczeń baterii kondensatorów należy stosować w obliczeniach współczynnik zwiększający na prądy pojemnościowe $\times 1,4$. Dla napięcia zasilania 400 V prąd baterii można obliczyć metodą inżynierską, stosując zależność $I(A) = 2,1 \times Q$ [kvar].

Jeśli już uporamy się z obliczeniem mocy całkowitej kompensatora, przekrojów kabli i wartością zabezpieczeń, to następnym krokiem będzie wybór rodzaju członów wykonawczych i wartości mocy pierwszego stopnia. Aby kompensacja była skuteczna, należy dobrać kompensator w zależności od specyfiki i charakteru obciążeń, z uwzględnieniem wartości i dynamiki zmian oraz z zawartością wyższych harmonicznych. O skuteczności prowadzonego procesu kompensacji mocy biernej decyduje moc kondensatora i dławika kompensacyjnego umieszczonego na pierwszym stopniu kompensatora. Im dokładniej dobierzemy tę moc do wartości minimalnych zmian w poborze mocy biernej, tym skuteczniejszy będzie proces kompensacji. Od skuteczności tego procesu zależy wielkość opłat za nieskompensowaną energię bierną. Projektując baterię trzeba pamiętać, że wartość mocy jej pierwszego stopnia nie tylko wpływa na dokładność kompensowania małych zmian poboru mocy biernej, ale określa również moce i liczbę kolejnych stopni kompensatora.

Według obowiązującej w procesach regulacji zasady moc każdego kolejnego stopnia kompensatora nie może być mniejsza od mocy stopnia poprzedniego (ciąg nie może być malejący) i większa niż dwukrotna wartość mocy stopnia poprzedniego. Warunek ten ma decydujący wpływ na liczbę członów wykonawczych a tym samym i na cenę kompensatora. Konsekwencją finansową stosowania ww. zasady będzie wyższa cena kompensatora, w którym moc pierwszego stopnia będzie dobrana do wartości minimalnych przyrostów mocy biernej. Takie dopasowanie spowoduje też większą liczbę członów wykonawczych, a tym samym większą liczbę stopni regulacji. Warto wiedzieć, że pojęcie stopień regulacji nie jest tożsame z pojęciem człon wykonawczy lub stopień kompensatora. Stopień kompensatora (człon wykonawczy) to komplet urządzeń i osprzętu elektrotechnicznego połączonych w jeden obwód (zazwyczaj podawana jest moc stopnia w kilowatach), które sterowane są z jednego wyjścia regulatora. Liczba stopni regulacji (sformułowanie podawane często w projektach) to liczba możliwych kombinacji wartości mocy biernej, jaką można uzyskać, łącząc w różnych konfiguracjach dostępne w kompensatorze człony wykonawcze (stopnie). Dobierając wartości poszczególnych członów wykonawczych musimy

uwzględnić charakter występujących poborów mocy biernej oraz wartości minimalne przyrostów. Różny charakter odbiorników, jakie możemy spotkać w biurowcu sprawia, że w jego układzie zasilania w długich odcinkach czasu utrzymuje się różny charakter sieci, co odróżnia układ zasilania biurowca od układu zakładu przemysłowego. W większości przypadków w godzinach pracy (dzień) sieć ma charakter indukcyjny, a w godzinach nocnych ma charakter pojemnościowy. Te dwa rodzaje mocy biernej kompensują się. W doborach baterii należy uwzględnić sezonowość obciążeń. Z reguły stała jest wartość mocy biernej pojemnościowej, którą pobiera oświetlenie energooszczędne (najbardziej ledowe), niedociążone UPS-y o dużych mocach. Te odbiorniki pracują z reguły w godzinach nocnych. Moc bierną indukcyjną pobierają odbiorniki związane z systemami wentylacji klimatyzacji, windy, schody ruchome oraz inne urządzenia biurowe. Te odbiorniki pracują wówczas, gdy w biurze przebywają pracownicy. Wykonując pomiary krzywych obciążeń, które będą podstawą obliczeń mocy całkowitej kompensatorów trzeba znać czasy pracy poszczególnych odbiorników, sprawdzić, czy w czasie 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 podane w rachunkach. Im dłuższy okres porównamy, tym przyjęte do obliczenia założenia będą bliższe rzeczywistym wartościom obciążeń. Z analizy rachunków wynika, że opłaty za energię bierną, jakie ponosi właściciel biurowca są znaczne (od kilku do kilkunastu tys. zł na miesiąc), co obliguje projektanta, by projektowany układ kompensacji był skuteczny w działaniu i to zarówno w kompensacji energii biernej pojemnościowej jak i indukcyjnej. Aby skutecznie skompensować obie moce bierne (redukcja opłat o ponad 95%), 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 umożliwi pomiary zarówno w 1. jak i w 4. 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 na pracowały „na siebie”.

Zastosowany regulator powinien mieć możliwość zdefiniowania w menu charakteru sieci, jaki będzie kompensował konkretny stopień wyjściowy. Kompensator mocy biernej z takim regulatorem jest zdecydowanie tańszy niż dwa o różnych członach wykonawczych. Oszczędności daje też mniejsza liczba użytych kabli i pół zasilających w rozdzielnicach nN. Niemożliwa jest też praca „na siebie” członów o różnym charakterze. Kolejnym problemem, jaki występuje w biurowcach, to kompensacja odbiorników niespokojnych o dynamicznych zmianach wartości pobieranej energii biernej, np. windy, schody ruchome. Jeśli moc tych odbiorników jest porównywalna z obciążeniami, jakie występują w poszczególnych porach doby, to w rozliczeniu dokonywanym elektronicznym licznikiem nadwyżkowym wystąpią opłaty za nieskompensowaną energię bierną. Dotyczy to zwłaszcza okresów, gdy nie pracuje klimatyzacja. Problem, jaki musimy rozwiązać w tym wypadku jest jasno określony w normach. Otóż nie wolno nam załączyć kondensatora nierozładowanego. Czas rozładowania kondensatora określa się wymogiem postawionym jego fabrycznym układom rozładowania, czyli napięcie na kondensatorze ma osiągnąć wartość 75 V po 3 min od jego wyłączenia (normy europejskie). W Polsce stosowana jest jeszcze dawna zależność, czyli układ rozładowania powinien zapewnić 50 V po 1 min od wyłączenia kondensatora. Oba te czasy są jednak zbyt długie, by skutecznie skompensować sekundowe zmiany poboru wartości mocy biernej, jakie stwarza np. winda lub zespół wind. Rozwiązaniem problemu jest zastosowanie w układzie rozładowania kondensatora dławików szyb-

korozładowczych, które rozładowują kondensator w czasie ok. 2 s. By zoptymalizować cenę projektowanego kompensatora należy zastosować regulator, który ma możliwości dokonywania nastawy czasu zwłoki na każdym członie wykonawczym indywidualnie. Liczba członów wykonawczych z dławikami szybko rozładowczymi zależy od stosunku wartości mocy obciążenia odbiorników niespokojnych (sekundowe czasy zmian) do mocy odbiorników spokojnych (minutowe i większe czasy zmian). Im ten udział jest większy, tym więcej członów baterii kondensatorów powinno być wyposażonych w dławiki szybko rozładowcze. Typowe wykonanie baterii kondensatorów ma dławiki szybko rozładowcze na dwóch, maksymalnie na trzech pierwszych stopniach. Niestety takie rozwiązanie podraża koszt kompensatora średnio o ok. 150 zł/stopień. Z doświadczeń jednak wynika, że dodatkowe koszty związane z montażem tych dławików zwracają się bardzo szybko, zwłaszcza przy rozliczaniu energii elektrycznej dokonywanej licznikami nadwyżkowymi.

W ostatnich latach w ramach zawieranych umów outsourcingowych właściciele lub zarządcy nieruchomości zlecają nadzór nad układami zasilania biurowca zewnętrznym firmom. Kwota za tego typu usługi zależy od stopnia zautomatyzowania układu zasilania oraz od liczby i funkcjonalności systemów monitorowania i kontroli zainstalowanych w biurowcu. Z reguły każdy biurowiec wyposażony jest w system BMS, który umożliwi bieżącą kontrolę prawidłowości działania podłączonych do niego systemów. Nowoczesne układy kompensacji mocy biernej też powinny być wyposażone w układy do zdalnego montowania poziomu skuteczności procesu kompensacji oraz kontroli warunków eksploatacji użytkowanych kompensatorów – zwłaszcza baterii kondensatorów.

Niezbędnym warunkiem, jaki powinien spełniać nowoczesny regulator mocy biernej to możliwość podłączenia go do systemu BMS lub do innego systemu transmisji danych np. MODBUS. Nowoczesne systemy monitorowania skuteczności kompensacji i kontroli poprawności pracy montowane w kompensatorach umożliwiają udzielanie gwarancji na zamontowany system kompensacji mocy biernej na okres 60 miesięcy. Gdy zamontowany w kompensatorze układ zdalnego monitoringu na bieżąco analizuje skuteczność procesu kompensacji, alarmuje natychmiast np. GSM w przypadku zadziałania zabezpieczeń lub pogorszenia się warunków eksploatacji, to jego dostawca powinien przyjąć na siebie zobowiązanie pokrywania opłat za nieskompensowaną energię bierną, jaka powstanie na skutek wadliwej lub nieefektywnej pracy dostarczonego systemu kompensacji biurowca. Wymiernym elementem tego zobowiązania będzie zdecydowanie mniejsza kwota przeznaczona dla firmy outsourcingowej za nadzór nad systemem monitorowania mocy biernej.

Mam nadzieję, że niniejszy artykuł udowodnił tezę, że dobór skutecznego systemu kompensacji mocy biernej biurowca nie jest prosty. Zróżnicowanie odbiorników, ich nieprzewidywalność oraz wartość ich sumarycznych mocy sprawia, że projektując układ kompensacji mocy biernej biurowca powinniśmy przewidzieć problemy, jakie mogą powstać w długim okresie jego eksploatacji. Im nasze rozwiązanie będzie bardziej uniwersalne, im da większe możliwości modyfikacji i modernizacji, tym zamontowany system kompensacji będzie działał dłużej i będzie skuteczny w całym okresie użytkowania.

W artykule pominięto problem kompensacji mocy biernej w obciążeniach niesymetrycznych, czyli nierównomiernego obciążenia w czasie poszczególnych faz. W dużych biurowcach jest to stan praktycznie niespotykany. W mniejszych obiektach, gdzie udział (mocowo) odbiorników jednofazowych jest porównywalny z mocą odbiorników trójfazowych, aby uzyskać skuteczny system kompensacji, należy stosować specjalne kompensatory przeznaczone do kompensacji obciążeń niesymetrycznych. Rozwiązanie takie było opisane w *Wiadomościach Elektrotechnicznych* (nr 9/2010) w artykule „Bateria na asymetrię – kompensacja mocy biernej ogranicza koszty i poprawia jakość energii”.