

Kompensacja mocy biernej jako jeden z elementów poprawy efektywności energetycznej

Streszczenie: W artykule zaprezentowano możliwość poprawy efektywności energetycznej przez zastosowanie kompensacji mocy biernej. Zagadnienie kompensacji mocy biernej uznano za tak ważny problem, że umieszczono je w przepisach prawnych i należy ją stosować w odpowiednich rozwiązaniach praktycznych. Zastosowanie kompensacji mocy biernej może przynieść również odpowiednie korzyści ekonomiczne. Właściwy dobór urządzeń do kompensacji mocy biernej nie jest zagadnieniem prostym i wymaga bardzo często podejścia indywidualnego wynikającego z różnorodności krzywych obciążenia elektrycznego odbiorców energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: kompensacja mocy biernej, krzywa obciążenia elektrycznego, rejestracja energii elektrycznej, efektywność energetyczna

Wprowadzenie

Wzrost efektywności energetycznej to jeden z priorytetów nowej polityki energetycznej Unii Europejskiej. Wyrazem tego było ogłoszenie **Dyrektywy 2006/32/WE** w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych. Pełna kontynuacja tych trendów ma swoje odzwierciedlenie w nowej Dyrektywie 2012/27/UE z 25 października 2012 roku. Dostosowaniem prawa polskiego, do prawa unijnego, było uchwalenie **Ustawy o efektywności energetycznej w dniu 15 kwietnia 2011 r. (DzU nr 94, poz. 551, z późn. zm.)**, która określa cele w zakresie oszczędności energii, z uwzględnieniem wiodącej roli sektora publicznego, ustanawia mechanizmy wspierające oraz system monitorowania i gromadzenia niezbędnych danych. Przepisy ustawy weszły w życie z dniem 11 sierpnia 2011 r.

Zgodnie z **art. 5 Ustawy o efektywności energetycznej**, osoby fizyczne, osoby prawne oraz jednostki organizacyjne nieposiadające osobowości prawnej, zużywające energię, podejmują działania w celu poprawy efektywności energetycznej. Celem białych certyfikatów jest zmotywowanie obywateli i przedsiębiorstw do działań przyśpieszających poprawę efektywności energetycznej polskiej gospodarki oraz redukcję zużycia energii końcowej. Istotne jest założenie wykorzystania potencjalnych oszczędności energii w sposób efektywny ekonomicznie, czyli przynoszący oszczędności finansowe po uwzględnieniu niezbędnych nakładów inwestycyjnych.

Do przedsięwzięć służących poprawie efektywności energetycznej należą między innymi:

Przedsięwzięcia służące poprawie efektywności energetycznej w zakresie ograniczeń strat:

- 1) **związanych z poborem energii biernej przez różnego rodzaju odbiorniki energii elektrycznej, w tym poprzez zastosowanie lokalnych i centralnych układów do kompensacji mocy biernej (baterie kondensatorów, dławiki oraz maszynowe i elektroniczne układy kompensacyjne),**
- 2) sieciowych związanych z przesyłaniem lub dystrybucją energii elektrycznej,
- 3) na transformacji w transformatorach poprzez:
 - a) zastosowanie **układów kompensacyjnych** w stanach niskiego obciążenia i pracy jałowej,
 - b) wymianę transformatorów na jednostki charakteryzujące się wyższą efektywnością energetyczną (sprawnością) lub dostosowane do zapotrzebowania mocy.

Kompensacja mocy biernej

Energia bierna jest niezbędna do prawidłowej pracy urządzeń i może być pobierana z sieci. Jeżeli jej ilość nie przekracza dopuszczalnej ilości ustalonej w warunkach technicznych przyłączenia odbiorca nie ponosi żadnych dodatkowych opłat za energię elektryczną. Jednak znaczna część urządzeń używanych w zakładach produkcyjnych, biurach czy innych obiektach użyteczności publicznej potrzebuje o wiele więcej energii biernej, co skutkuje przekraczaniem dopuszczalnego limitu. Tego typu odbiornikami są np. silniki elektryczne, klimatyzacja, oprawy świetlówkowe bez kompensacji i inne odbiorniki nieliniowe.

Naliczane z tytułu ponadumownego poboru mocy biernej opłaty, stanowią nierzadko 30% całego rachunku za energię elektryczną. Przykład rachunku za energię elektryczną, na którym występuje opłata za energię czynną, energię bierną indukcyjną i za energię bierną pojemnościową pokazano na rysunku 1.

ROZLICZENIE										
Opis	PKWiU		j. m.	Data	Ilość	Ilość	Współczynniki	Cena	Należność	Stawka
Strefa	tg φ op.	tg φ os.	tg φ nak.			m-cy		netto (zł)	netto (zł)	VAT (%)
moc pobrana	35.13.10									
całodobowa				28/05/2011	0,033					
opłata stała sieciowa	35.13.10		MW/mc	28/05/2011	0,036	1,0	1,000	9.987,8200	359,56	23
opłata przejściowa	35.13.10		kW/mc	28/05/2011	36,0	1,0		1,2200	43,92	23
opłata zmienna sieciowa	35.13.10		MWh	28/05/2011	4,257			91,0600	387,64	23
całodobowa				28/05/2011	4,257			6,9800	29,71	23
opłata jakościowa	35.13.10		MWh	28/05/2011	4,257			283,8400	1.208,31	23
całodobowa				28/05/2011	4,257					
za energię czynną	35.11.10		MWh	28/05/2011	4,257					
całodobowa				28/05/2011	4,257					
za energię bierną induk.	35.13.10		MVArh	28/05/2011	4,257	0,4220	3,00	197,2100	1.062,84	23
całodobowa	0,40	1,00		28/05/2011	4,257	0,4220	3,00	197,2100	1.062,84	23
za energię bierną pojemn.	35.13.10		MVArh	28/05/2011	0,000			197,2100	0,00	23
całodobowa				28/05/2011	0,000			197,2100	0,00	23
opłata abonamentowa	35.13.10		mc	28/05/2011		1,0		14,2600	14,26	23

Rys.1. Widok przykładowego rachunku za energię elektryczną, na którym występuje opłata za energię czynną, energię bierną indukcyjną i za energię pojemnościową

Na rysunku 1 zaznaczono na czerwono elementy rachunku, za które odbiorca energii nie musi płacić jeśli zastosuje odpowiednie urządzenia, które pozwolą skompensować moc bierną indukcyjną i/lub zlikwidować przekompensowanie.

Rozwiązaniem problemu i zarazem uzyskanie odpowiednich korzyści ekonomicznych jest zastosowanie tzw. kompensacji mocy biernej, która zmniejszy ilość pobieranej z sieci energii biernej, a co za tym idzie wyeliminuje opłaty za jej nadwyżkę. Aby kompensacja działała prawidłowo i służyła przez wiele lat musi zostać odpowiednio dobrana. Nie jest to zagadnienie proste i często wymaga indywidualnego podejścia ponieważ każdy obiekt charakteryzuje się przeważnie odmiennymi warunkami zapotrzebowania na energię elektryczną, które można przedstawić za pomocą krzywych obciążenia. Koszt prawidłowo dobranego układu kompensacji zwraca się najczęściej w czasie od 4 do 12 miesięcy.

W niektórych przypadkach zdarza się, że naliczana jest opłata za tzw. przekompensowanie, czyli wprowadzanie do sieci energii biernej pojemnościowej. Ponieważ odbiorcy nie wolno wprowadzać tej energii do sieci, dlatego za każdą jej ilość naliczane są znaczące opłaty. Przyczyn przekompensowania może być wiele: niedociążony UPS, nieprawidłowo działająca bateria kondensatorów, zastosowanie urządzeń wprowadzających moc pojemnościową, (np. filtrów wejściowych do niektórych urządzeń) oraz długie linie kablowe zasilające obiekt. Jeżeli ponosi się opłaty z tytułu energii biernej pojemnościowej (oddanej), należy w pierwszej kolejności określić źródło tej energii, a następnie dobrać najlepszy sposób eliminacji przekompensowania. Jeżeli źródła problemu nie można zlikwidować, konieczne jest dobranie odpowiedniego dławika kompensacyjnego. W tym celu również pomocne jest przeprowadzenie pomiarów profilu mocy (krzywych obciążenia).

VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Urządzenia wykorzystywane do kompensacji mocy biernej w zależności od różnych warunków można podzielić na następujące grupy:

- kondensatory energetyczne jedno i trójfazowe niskiego napięcia
- automatyczne baterie kondensatorów niskiego napięcia
- automatyczne baterie kondensatorów niskiego napięcia z dławikami ochronnymi.
- filtry wyższych harmonicznych z kompensacją mocy biernej pochodzącej od elementów nieliniowych (moc bierna odkształcona),
- baterie kondensatorów ŚN
- regulatory mocy biernej

Automatyczne baterie kondensatorów nn z dławikami ochronnymi typu FH przeznaczone są do kompensacji mocy biernej w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia gdzie występują wyższe harmoniczne. Duża zawartość wyższych harmonicznych powoduje uszkodzenie kondensatorów w baterii oraz innych urządzeń pracujących w sieci. Jedynym skutecznym zabezpieczeniem samej baterii jest zastosowanie automatycznej baterii kondensatorów wraz z dławikami ochronnymi.

Filtry wyższych harmonicznych. W dobie wzrostu obciążeń nieliniowych istotnym elementem kompensacji mocy biernej są filtry wyższych harmonicznych (aktywne lub pasywne).

Regulatory mocy biernej (np. 8BGA) to mikroprocesorowe i nowoczesne urządzenia pełniące wiele funkcji w sieciach energetycznych. Rola ich nie ogranicza się już tylko do kontroli współczynnika mocy – nadzór nad prawidłową pracą baterii kondensatorów, ale mogą być również wykorzystywane jako: analizatory podstawowych parametrów sieci, rejestratory zdarzeń, komunikatory stanów alarmowych itp. Dzięki zastosowaniu procesora regulatory posiadają nieograniczoną skalę algorytmów, co pozwala na dowolny dobór wartości kondensatorów w sekcji. Regulatory poprzez swoją budowę modułową mogą być dowolnie konfigurowane zarówno co do rodzaju załączanych stopni (styczniki, tyrystory) jak i sposobu komunikacji (moduły Wi-Fi, GSM, ETHERNET itp.).

Optymalny dobór urządzeń do kompensacji mocy biernej

Tylko kompleksowe pomiary wszystkich parametrów sieci, dostosowane indywidualnie do każdego odbiorcy pozwalają na zminimalizowanie ryzyka awarii, kosztów i racjonalizację zużycia energii. Ocena wyników pomiarów nie może odbywać się tylko na zasadzie sztywnego porównania z normami, lecz musi wynikać z dogłębnej analizy przyczyn powstawania zjawisk w sieci i jej struktury.

Czas trwania pomiarów powinien być zależny od specyfiki odbiorcy (powtarzalności cyklu produkcji i czasu jego trwania) i tak:

- Dla odbiorców, których cykl produkcji jest zmienny, długość pomiarów powinna być tak dobrana aby obejmowała wszystkie rodzaje produkcji. Zazwyczaj wykonuje się pomiar w okresie 3-4 dni.
- Dla średnich i dużych odbiorców ze stałym cyklem produkcji pomiar powinien trwać co najmniej dobę, jednak nie krócej niż pełny cykl produkcji.
- Dla obiektów biurowych i budynków komunalnych pomiar powinien trwać co najmniej dobę.
- Dla małych odbiorców (poniżej 40kW) czas trwania pomiaru zależny jest od rodzaju obiektu, ilości odbiorników i cyklu produkcji. W tego typu obiektach pomiar może trwać od kilku godzin do doby.

Podczas pomiarów należy mierzyć nie tylko profil mocy biernej i czynnej, ale również odkształcenia prądu i napięcia, które to decydują o tym czy bateria musi być wyposażona w dławiki odstrajające (ochronne). W tym przypadku ważne jest, aby wykonać pomiar nie tylko odkształceń sieci, lecz również sprawdzić jakie będą odkształcenia po podłączeniu specjalnego kondensatora imitującego pracę baterii. W ten sposób można ocenić czy wystąpi zjawisko rezonansu. Niewykonanie powyższego testu

sprawia, że istnieje duże ryzyko wystąpienia rezonansu nowej baterii (bez dławików) z siecią zasilającą i jej całkowitego zniszczenia już po kilku miesiącach od zainstalowania. Brak odkształceń w sieci nie gwarantuje, że nie wystąpi rezonans. **Odporność baterii kondensatorów na tego typu zjawiska część producentów zaczęła już określać w swoich katalogach jako parametr THDI_C.**

Przykładowa praktyczna realizacja kompensacji mocy biernej

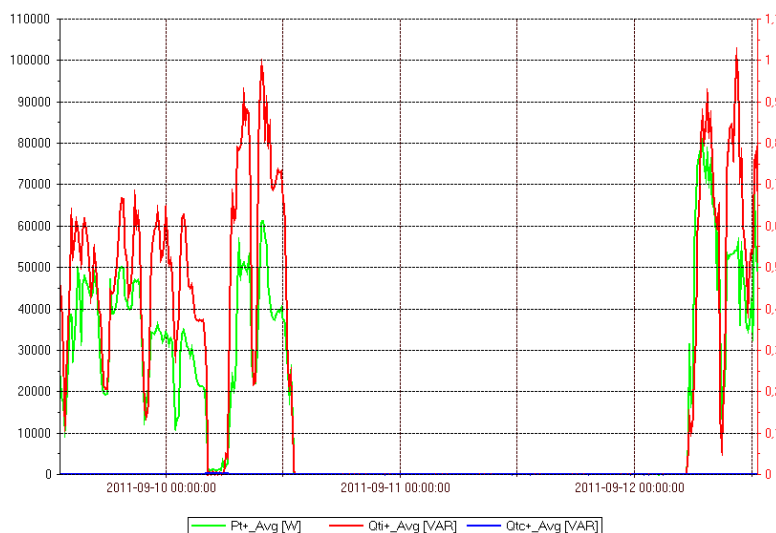
Jako przykład praktycznej realizacji kompensacji mocy biernej wybrano rozdzielnicę oddziałową R8 w zakładzie FASING w Katowicach. Zakład FASING zasilany jest z 12 transformatorów, których moce wahają się w granicach od 630 do 2000 kVA, a całkowita moc zainstalowanych transformatorów wynosi 14 MVA. Moc zamówiona zakładu jest różna w ciągu roku i kształtuje się na poziomie 5-6MVA. W zakładzie były zainstalowane baterie kondensatorów, które miały ok. 7-10 lat, a mimo to po przeprowadzonych pomiarach określono, że występują niedobory energii biernej pojemnościowej na poziomie 1 Mvar. Stwierdzono również brak kompensacji biegów jałowych transformatorów.

Kompensację mocy biernej przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie zamontowano kompensację biegu jałowego transformatorów w ilości 12 szt. o łącznej mocy 175 kvar. W drugim etapie zaproponowano i zrealizowano kompensację grupową na poziomie głównych rozdzielni oddziałowych. Kompensacja została zrealizowana przy pomocy automatycznych baterii kondensatorów. Zainstalowano następujące typy baterii:

1. klasyczną w oparciu o kondensatory wzmocnione na napięciu 460V, serii HP 20 o THDI < 18% - o łącznej mocy 1,3 Mvar
2. z dławikami ochronnymi 7% serii FH 20 THDI<60 - o łącznej mocy 1,1 Mvar
3. z dławikami ochronnymi 7% serii FH /S (tyrystorowe) 20 THDI<60 - o łącznej mocy 0,6 Mvar
4. z dławikami ochronnymi 14% serii FH 30 THDI>60 - o łącznej mocy 0,8 Mvar

Łączna wartość mocy biernej zainstalowana w zakładzie to 3,8 Mvar + 0,175 Mvar – kompensacja biegu jałowego transformatorów.

Na rysunku 2 pokazano przebieg mocy czynnej oraz mocy biernej indukcyjnej wyznaczony w rozdzielnicy oddziałowej R8 zakładu FASING w Katowicach przed ostatnią modernizacją układu kompensacji w przykładowych 3 dobach od g. 12.00 w piątek 9.09.2011 do g. 12 w poniedziałek 12.09.2011.

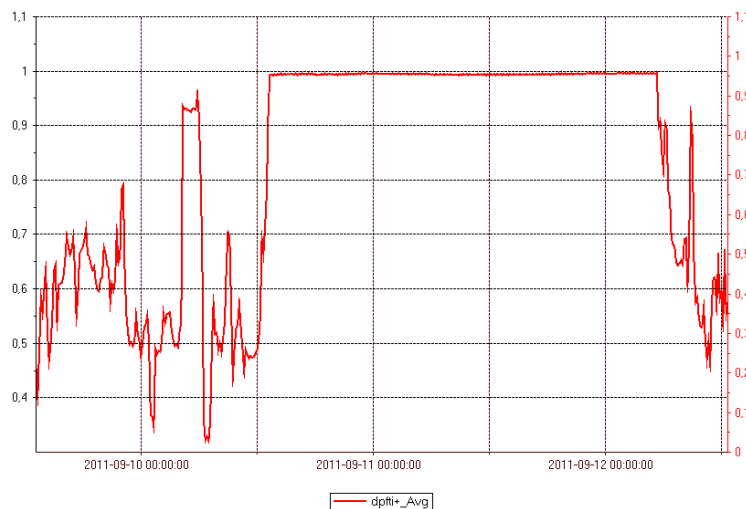


Rys.2. Przebieg mocy czynnej oraz mocy biernej indukcyjnej wyznaczony w rozdzielnicy oddziałowej R8 zakładu FASING w Katowicach przed kompensacją

VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Zakład pracował do g. 12 w sobotę, nie pracował do godziny 5.00 w poniedziałek, po której ponownie rozpoczął prace. Dla ilustracji wybrano taki przedział czasowy aby pokazać jak zachowuje się obiekt badany zarówno przy pracy ciągłej jak i w sytuacjach wyłączenia jak i załączenia obciążenia na rozdzielnicę. Na rysunku 2 przebieg mocy czynnej ilustruje krzywa zielona, a przebieg mocy biernej indukcyjnej krzywa czerwona.

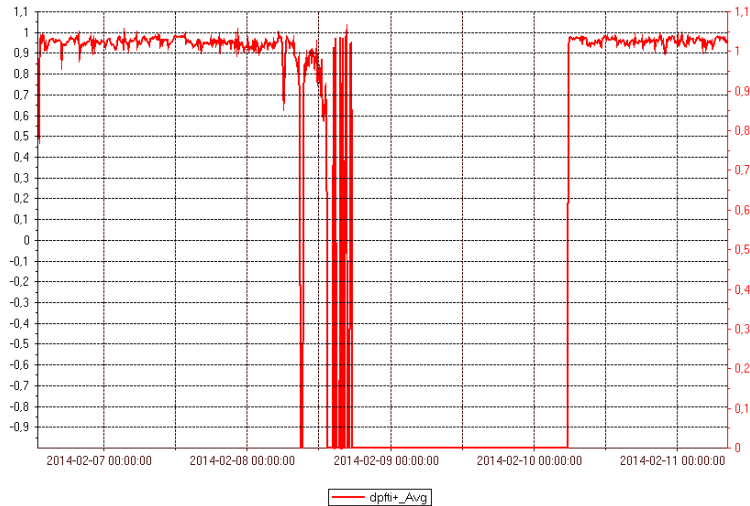
Współczynnik mocy dla opisanego przebiegu mocy czynnej i biernej przed kompensacją pokazano na rysunku 3.



Rys.3. Przebieg współczynnika mocy wyznaczony w rozdzielnicę oddziałowej R8 zakładu FASING w Katowicach przed kompensacją

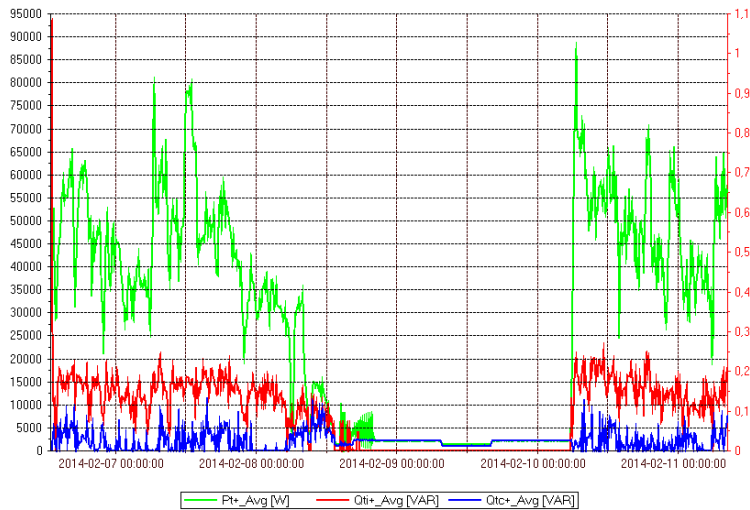
Jak widać na rysunku 3 współczynnik mocy w czasie pracy wahał się w granicach od 0.32 do 0.94 co świadczy, że przekroczony był dopuszczalny poziom mocy biernej indukcyjnej, za który zakład musiał płać znaczne kwoty.

W celu poprawy zaistniałej sytuacji, po przeprowadzeniu odpowiednich pomiarów w opisywanej rozdzielnicę zainstalowano automatyczną baterię kondensatorów serii HP 20 o mocy 180 kvar przy 400 V. $THDI_R < 18\%$, $THDI_C < 70\%$, kondensatory jednofazowe o $U_N = 460$ V, co pozwoliło zdecydowanie poprawić współczynnik mocy. Układ do kompensacji mocy biernej zainstalowano w 2012 roku, a na rysunku 4 pokazano przebieg współczynnika mocy w okresie od 6.02.2014 (czwartek) g. 12 do 11.02.2014 (wtorek) g.12. W okresie tym przeprowadzono przegląd pogwarancyjny. Dla ilustracji wybrano podobny przedział czasowy tzn od dnia roboczego przez weekend, kiedy zakład nie pracuje po kolejne dni robocze aby pokazać wyłączenie i załączenie obciążenia na rozdzielnicę



Rys.4. Przebieg współczynnika mocy wyznaczony w rozdzielnic oddziałowej R8 zakładu FASING w Katowicach po kompensacji – przegląd pogwarancyjny

Na rysunku 5 pokazano przebiegi mocy czynnej i biernej indukcyjnej po kompensacji oraz mocy biernej pojemnościowej urządzenia kompensującego (przebieg niebieski).



Rys.5. Przebieg mocy czynnej, mocy biernej indukcyjnej oraz mocy biernej pojemnościowej urządzenia kompensującego wyznaczony w rozdzielnic oddziałowej R8 zakładu FASING w Katowicach po kompensacji

Uwagi końcowe

Pierwszym krokiem, który może spowodować odpowiednie działanie mające na celu uzyskanie odpowiednich korzyści to analiza płaconych faktur za energię elektryczną, z której wynika czy odbiorca obciążony jest opłatami za moc bierną. Niektóre opłaty na fakturze naliczane są tylko wówczas, gdy odbiorca przekracza określone w umowie dystrybucji limity. Większość odbiorców nie wie jednak, że w ogóle takie opłaty ponosi.

VIII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2014

Dzieje się tak gdyż duża ilość składników faktury ze energią sprawia, że staje się ona niejasna dla osób nie znających się na tego typu rozliczeniach.

Niezależnie od wielkości odbiorcy należy pamiętać, że faktura nie dostarcza żadnych informacji na temat odkształceń w sieci i możliwości wystąpienia rezonansu. W związku z tym może się okazać, że dobrana bateria w ogóle nie będzie działać (regulator wyłączy baterie ze względu na zbyt duże odkształcenia napięcia) lub bardzo szybko ulegnie uszkodzeniu (zniszczenie kondensatorów na skutek przeciążenia lub rezonansu).

W celu optymalnego doboru urządzeń do kompensacji mocy biernej niezbędne jest przeprowadzenie prawidłowych pomiarów. Należy pamiętać, że straty jakie możemy ponieść na nieprawidłowym doborze, prawdopodobnie będą kilkakrotnie wyższe niż profesjonalny dobór baterii kondensatorów.

Im dokładniejsze pomiary tym bardziej optymalnie można dobrać urządzenie do kompensacji mocy biernej. Czas pomiarów musi umożliwić analizę zmian obciążenia w danym zakładzie czy obiekcie. Pomiary należy przeprowadzić odpowiednim sprzętem, najlepiej odpowiedniej klasy rejestratorami podstawowych parametrów sieci.

Dobór baterii kondensatorów na podstawie wartości współczynnika $\tan \varphi$ (tangens φ) znajdującego się na fakturze za energię elektryczną jest metodą bardzo niedokładną i może służyć jedynie do oszacowania kosztu baterii.

Bibliografia

1. Efektywne wykorzystanie energii w firmie – poradnik, red. M. Pyka, J. Kulawik, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa 2009.
2. Skoczkowski T., Wprowadzenie do efektywności energetycznej, KAPE, Konferencja
3. Ustawy o efektywności energetycznej w dniu 15 kwietnia 2011 r. (DzU nr 94, poz. 551, z późn. zm.)
4. www.rebud.pl

Autorzy: dr inż. Kazimierz Herlender; Instytut Elektroenergetyki Politechniki Wrocławskiej, wyb. St. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: kazimierz.herlender@pwr.wroc.pl
mgr inż. Maciej Żebrowski, REBUD Sp. z o.o, Nowa Sól, e-mail: zebrowski@rebud.pl, www.rebud.pl