

Kinga ZĘBALA¹

KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ SPOSOBEM NA OBNIŻENIE RACHUNKÓW ZA ENERGIĘ ELEKTRYCZNĄ

W niniejszym artykule podjęto temat energooszczędności w zakładach pracy, w których wykorzystywane są maszyny, a co za tym idzie, bardzo duże zużycie energii. Cena energii elektrycznej jest coraz wyższa, a kolejne regulacje prawne i wzrost kosztów paliw nie wróżą zmiany tej sytuacji, dlatego warto już dziś zastanowić się czy można obniżyć ilość zużywanej energii elektrycznej i jej koszty. Rozwiązaniem tego problemu mogą stać się baterie kondensacyjne, dzięki którym można będzie mocno ograniczyć opłaty za energię bierną. Moc bierną pobierają wszystkie urządzenia indukcyjne. Jednak najwięcej: silniki asynchroniczne (zwłaszcza te pracujące na biegu jałowym), słabo obciążone transformatory, spawarki, zgrzewarki. Niestety przepływ mocy biernej ma też ujemne skutki. Jej przepływ od źródła do odbiornika obciąża prądowo kable i linie, zmniejszając ich przepustowość, wywołując dodatkowe spadki napięć i powodując straty mocy czynnej. Dlatego też dostawcy energii elektrycznej wymagają ograniczania poboru mocy biernej.

Istotna jest również kompensacja mocy biernej polegająca na jej wytworzeniu w miejscu zapotrzebowania przy pomocy kompensatora synchronicznego lub baterii kondensatorów. Dzięki temu nie trzeba jej przesyłać od wytwórcy do odbiorcy, dzięki czemu tymi samymi liniami elektroenergetycznymi można przesłać większą moc czynną.

Najistotniejszą sprawą przy zakupie baterii jest jej właściwy dobór. Od właściwego doboru baterii zależy jak długo będzie ona prawidłowo pracować. Źle dobrana bateria szybko ulegnie awarii, a nawet może stanowić zagrożenie, dlatego ważne jest, aby doborem baterii zajęli się specjaliści. Aby prawidłowo dobrać baterię najpierw przeprowadzany jest pomiar profilu mocy oraz odkształceń. Na jego podstawie określa się moc urządzenia, typ i inne istotne parametry.

Słowa kluczowe: kompensacja, moc bierna, moc czynna, kondensator, energooszczędność

¹ mgr inż. Kinga Zębala, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej.

1. Wstęp

W ostatnich latach tematem przewodnim w budownictwie stało się budownictwo energooszczędne, pasywne czy wręcz zeroenergetyczne. Pojawiły się nowe technologie budowania domów. Idea ta znajduje również swoje odzwierciedlenie w przepisach prawnych. Wiele mówi się o tym jak powinny być skonstruowane ściany budynku, aby straty ciepła były jak najmniejsze, i aby jak najmniej energii zużyć na ogrzanie budynku. Niewiele jednak mówi się do tej pory o tym, w jaki sposób oszczędzać energię w zakładach pracy, zwłaszcza w tych, w których wykorzystuje się maszyny i dużo oświetlenia, a co za tym idzie, zużywa się bardzo dużo energii. Praktycznie w każdym przedsiębiorstwie, zakładzie produkcyjnym i biurcu możliwe jest ograniczenie zużycia energii elektrycznej bez szkody dla normalnego funkcjonowania obiektu. Cena energii elektrycznej jest coraz wyższa, a kolejne regulacje prawne i wzrost kosztów paliw nie wróżą zmiany tej sytuacji, dlatego warto już dziś zastanowić się czy można obniżyć ilość zużywanej energii elektrycznej i jej koszty. Warto, zatem poruszyć tu temat kompensacji mocy biernej.

2. Kompensacja mocy biernej [3] [4]

Moc, czyli energia bierna indukcyjna występuje tylko w obwodach prądu zmiennego. Przepływa ona między źródłem a odbiornikiem. Potrzebna jest do wzbudzania zmiennych pól magnetycznych silników, magnesowania rdzeni transformatorów oraz ładowania pojemności linii przesyłowych napowietrznych i kablowych. Energia bierna nie jest zamieniana na pracę, jednak jest ona często niezbędna do jej wykonania i urządzenia muszą ją pobierać.

Moc bierną pobierają wszystkie urządzenia indukcyjne. Jednak najczęściej: silniki asynchroniczne (zwłaszcza te pracujące na biegu jałowym), słabo obciążone transformatory, spawarki, zgrzewarki. Energię bierną mogą pobierać również urządzenia elektryczne zasilane napięciem przemiennym poza energią czynną. Energia bierna potrzebna jest do wytworzenia pola magnetycznego w silnikach, transformatorach, dławikach, lub pola elektrycznego w kondensatorach i innych pojemnościach, np. kabli. Pobierają ją również odbiorniki nieliniowe, np. świetlówki kompaktowe, których prąd przesunięty jest w czasie względem napięcia zasilającego lub nie jest sinusoidą.

Niestety przepływ mocy biernej ma też ujemne skutki. Jej przepływ od źródła do odbiornika obciąża prądowo kable i linie, zmniejszając ich przepustowość, wywołując dodatkowe spadki napięć i powodując straty mocy czynnej. Dlatego też dostawcy energii elektrycznej wymagają ograniczania poboru mocy biernej. Ponieważ zarabiają oni na dostarczonej do odbiorcy energii czynnej zależy im, aby mogli przesyłać jak największą ilość tej energii, przy jednocześnie jak najmniejszych jej stratach i zachowaniu wymaganych parametrów. O ilości strat decyduje prąd, jaki płynie przez elementy sieci, a jego wartość zależy od parametru zwanego mocą pozorną i oznaczanego jako S .

$$S = \sqrt{3} * U * I \quad (1)$$

gdzie:

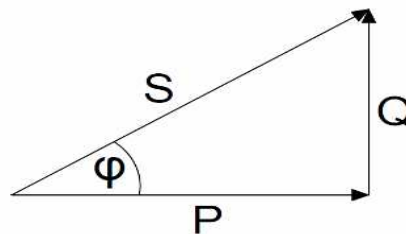
U - wartość skuteczna napięcia

I - wartość skuteczna natężenia prądu

Moc pozorna jest sumą geometryczną mocy czynnej P i mocy biernej Q:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

Na rysunku nr 1 pokazano graficzną interpretację zależności pomiędzy mocami, tzw. trójkąt mocy:



Q - moc bierna
S - moc pozorna
P - moc czynna
φ - kąt przesunięcia fazowego

Rys. 1. Trójkąt mocy [3]

Fig. 1. The triangle of powers [3] where:

Q - reactive power;

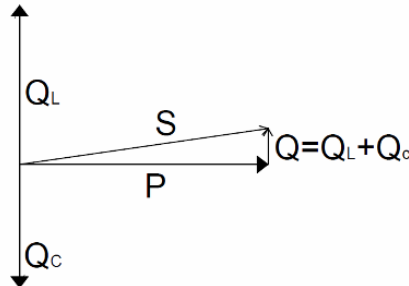
S - apparent power;

P - real power;

φ - the angle of difference (in degrees) between current and voltage

Optymalnie byłoby, gdyby moc pozorna S była równa mocy czynnej P, czyli moc bierna Q miałaby wartość 0. Aby to uzyskać stosuje się kompensację mocy biernej, polegającą na zrównoważeniu pobieranej przez odbiorniki mocy biernej, mocą bierną o tej samej lub zbliżonej wartości, lecz przeciwnym znaku.

Na rysunku nr 2 pokazano graficzną ilustrację kompensacji mocy biernej. W efekcie kompensacji, wypadkowa moc bierna pobierana z sieci jest o wiele niższa niż bez zastosowania kompensacji.



Q_L - moc bierna indukcyjna pobierana, np. przez silniki
 Q_C - moc bierna pojemnościowa pobierana przez kondensatory
 S - moc pozorna
 P - moc czynna

Rys. 2. Kompensacja mocy biernej [3]

Fig. 2. Reactive power compensation [3] where:

Q – reactive power;
 Q_L – induction reactive power consumed eg. by engines;
 Q_C – capacity reactive power absorbed by capacitor;
 S - apparent power;
 P – real power

W praktyce, nie ma konieczności kompensacji mocy biernej aż do zera, ponieważ przy małej wartości kąta przesunięcia fazowego φ wzrost prądu jest niewielki w stosunku do sytuacji, gdy pobierana byłaby tylko moc czynna. Straty mocy w liniach w tym przypadku rosną nieznacznie. Wraz ze wzrostem kąta prąd narasta coraz szybciej. Dlatego przyjęto umowną granicę, przy której straty są stosunkowo niewielkie i akceptowalne, i określono ją tangensem kąta przesunięcia fazowego φ równym 0,4 [1].

Ważne staje się ograniczenie poboru mocy biernej przez odpowiedni dobór obciążenia dla transformatorów, ograniczenie pracy silników na biegu jałowym, ograniczenie pracy spawarek i zgrzewarek na biegu jałowym oraz właściwy remont silników.

Istotna jest również kompensacja mocy biernej polegająca na jej wytworzeniu w miejscu zapotrzebowania przy pomocy kompensatora synchronicznego lub baterii kondensatorów. Dzięki temu nie trzeba jej przesyłać od wytwórcy do odbiorcy, dzięki czemu tymi samymi liniami elektroenergetycznymi można przesłać większą moc czynną.

3. Baterie kondensatorów [3]

Bateria kondensatorów jest urządzeniem służącym do kompensacji mocy biernej indukcyjnej. Zazwyczaj składa się ona z kilku członów kondensatorowych, regulatora oraz osprzętu pomocniczego. W zależności od zapotrzebowania na moc bierną regulator automatycznie załącza odpowiednią ilość członów, aby utrzymać współczynnik mocy cosinus ϕ (cos ϕ) na wymaganym poziomie. Człon kondensatorowy składa się z kondensatora energetycznego, stycznika, zabezpieczeń oraz dławika odstrajającego (w niektórych typach baterii).



Rys. 3. Człony kondensatorowe (o różnej pojemności), będące "sercem" każdej baterii do kompensacji mocy biernej.

Fig. 3. Modules of capacitors (with various capacity) which are the 'heart' of each battery used for reactive power compensation.

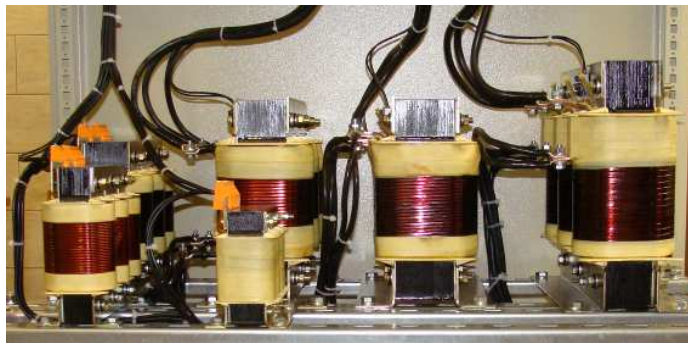
Baterie kondensatorów "wytwarzają" moc bierną pojemnościową (kompensującą moc bierną indukcyjną), której jednostką jest "kilowar" (kVAr).

Zastosowanie baterii kondensatorów jest sprawdzonym rozwiązaniem, jednak stosowanym do niedawna tylko w średnich i dużych zakładach przemysłowych, co wynikało z faktu, że tylko tacy odbiorcy byli rozliczani za ponad umowny pobór energii biernej. Pojawienie się nowoczesnych elektronicznych liczników energii elektrycznej spowodowało, że rozliczeniem za energię bierną indukcyjną zostali objęci również mniejsi odbiorcy. Skuteczność baterii jest w 100% sprawdzona, a warunkami sukcesu są prawidłowy dobór urządzenia i jego poprawna instalacja. Tak więc baterię kondensatorów (lub kompensator) może zastosować każdy odbiorca, który jest rozliczany za ponad umowny pobór energii biernej indukcyjnej i ponosi z tego tytułu opłaty. Należy jedynie sprawdzić, po jakim czasie inwestycja się zwróci i czy będzie to ekonomicznie opłacalne.

3.1. Rodzaje kondensatorów

Z uwagi na różną charakterystykę sieci i odbiorników w poszczególnych zakładach, stosuje się cztery podstawowe rodzaje baterii kondensatorów:

- Baterie zwykłe - baterie o najprostszej konstrukcji, które mogą być stosowane wyłącznie tam gdzie odkształcenia napięcia i prądu są niewielkie i nie występuje zjawisko rezonansu z siecią. W przypadku zastosowania tego typu baterii w środowisku gdzie te wymagania nie są spełnione bateria bardzo szybko ulega zniszczeniu.
- Baterie wzmocnione - baterie o podobnej konstrukcji jak baterie zwykłe jednak zastosowano w nich kondensatory o podwyższonej wytrzymałości. Dzięki temu można je stosować w środowisku o podwyższonym poziomie odkształceń, nie nadają się jednak do stosowania tam gdzie występuje rezonans baterii z siecią.
- Baterie z łącznikami tyrystorowymi - baterie, w których w miejsce styczników zastosowano łączniki tyrystorowe, dzięki czemu reagują one bardzo szybko na zmiany obciążenia. Ze względu na ich znaczny koszt stosowane wyłącznie tam, gdzie następują bardzo duże zmiany mocy biernej w krótkim czasie i baterie tradycyjne nie dają zadowalających efektów.
- Baterie dławikowe (z dławikami odstrajającymi) - baterie z dodatkowymi dławikami, które chronią kondensatory przed zniszczeniem na skutek odkształceń prądu i napięcia. Można je stosować wszędzie tam gdzie występują znaczne odkształcenia prądu i napięcia oraz istnieje ryzyko wystąpienia rezonansu z siecią.



Rys. 4. Dławiki odstrajające, podłączone w szafie baterii, zmniejszają ilość odkształceń prądu wpływających do poszczególnych członów baterii.

Fig. 4. Batteries with additional glands which protect capacitors from destruction due to deformation of current and voltage

3.2. Dobór baterii

Najistotniejszą sprawą przy zakupie baterii jest jej właściwy dobór. Istnieje wiele rodzajów baterii, przeznaczonych do pracy w różnych warunkach, które różnią się zarówno konstrukcyjnie jak i cenowo. Od właściwego doboru baterii zależy jak długo będzie ona prawidłowo pracować. Źle dobrana bateria szybko ulegnie awarii, a nawet może stanowić zagrożenie, dlatego ważne jest, aby do-

borem baterii zajęli się specjaliści. Aby prawidłowo dobrać baterię najpierw przeprowadzany jest pomiar profilu mocy oraz odkształceń. Na jego podstawie określa się moc urządzenia, typ i inne istotne parametry.

Wykonanie pomiaru jest jedyną metodą gwarantującą, że urządzenie będzie pracować bezawaryjnie przez wiele lat i jego moc będzie dobrana optymalnie do potrzeb konkretnego zakładu. Faktura za energię elektryczną może służyć jedynie do określenia orientacyjnych kosztów urządzenia. Nie uzyskamy natomiast na jej podstawie żadnych informacji odnośnie odkształceń prądu, napięcia, zagrożenia rezonansem oraz wymaganego stopniowania.

Zainstalowanie baterii nie wymaga zgody dostawcy energii elektrycznej. Nie ma żadnego wymogu informowania dostawcy o montażu urządzenia. Baterie są całkowicie legalne i nie zaburzają pomiaru energii elektrycznej.

Baterie są całkowicie zautomatyzowane i nie wymagają obsługi. Regulator na podstawie pomiaru łączy człony kondensatorowe o odpowiedniej mocy w taki sposób, aby zapewnić utrzymanie wymaganego współczynnika mocy $\cos \varphi$ (regulator baterii operuje cosinusem, natomiast fakturze za energię elektryczną podaje się tangens φ [tg φ], ze względu na łatwiejsze jego wyliczenie i większą obrazowość). Konieczna jest oczywiście okresowa konserwacja urządzenia polegająca na wymianie filtrów w nawiewach szafy.

Zainstalowanie baterii nie zwiększy poboru energii czynnej. Bateria wytwarza jedynie energię bierną pojemnościową, kompensując tym samym energię bierną indukcyjną pobieraną przez urządzenia odbiorcy. Bateria pobiera niewiele energii czynnej, jednocześnie zmniejszając straty energii w przewodach i transformatorach. Należy więc oczekiwać ze zużycie energii czynnej nie zmieni się lub nieznacznie zmaleje.

W większości przypadków zastosowanie baterii kondensatorów całkowicie eliminuje opłaty za energię bierną indukcyjną. W pozostałych przypadkach uzyskuje się redukcję tych opłat o około 90%.

Wydatki poniesione na zakup i montaż takiej baterii zwracają się często już po kilku miesiącach. Biorąc pod uwagę, że żywotność prawidłowo dobranego urządzenia wynosi co najmniej kilkanaście lat jest to pewna i świetna inwestycja, która w ciągu swojej pracy zwróci się nawet 20-krotnie.

4. Kary za ponad umowny pobór mocy biernej [1] [2]

W przypadku ponad umownego poboru energii biernej indukcyjnej podstawą do obliczenia kary jest wartość rzeczywistego współczynnika mocy $\operatorname{tg} \varphi$ (tangens φ) obliczonego jako iloraz energii biernej do czynnej pobranej w okresie rozliczeniowym. Jeżeli współczynnik mocy jest wyższy niż wymagany współczynnik $\operatorname{tg} \varphi_0$ (najczęściej 0,4) wówczas opłatę za ponad umowny pobór mocy biernej indukcyjnej oblicza się z następującej zależności [2]:

$$O_b = k \times C_{rk} \times \sqrt{\frac{1 + tg^2\varphi}{1 + tg^2\varphi_0}} - 1 \times A \quad (3)$$

gdzie:

O_b - opłata za nadwyżkę energii biernej w złotych

k - ustalona w taryfie krotność ceny C_{rk} . Dla odbiorców zasilanych z niskiego napięcia wynosi ona najczęściej 3, a dla odbiorców zasilanych średnim napięciem 1.

C_{rk} - średnia cena sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym na dzień zatwierdzenia taryfy operatora

$tg \varphi_0$ - umowny współczynnik mocy (najczęściej 0,4) [1]

$tg \varphi$ - współczynnik mocy wynikający z pobranej energii biernej

A - energia czynna pobrana całodobowo lub dla strefy czasowej, w której jest prowadzona kontrola poboru energii biernej w okresie rozliczeniowym.

Opłaty za nadmierny pobór energii biernej:

- zwiększają koszty usług dystrybucyjnych energii elektrycznej powodując wzrost średniej ceny;
- mają skłonić odbiorców do podjęcia działań mających na celu skompensowanie pobieranej energii biernej indukcyjnej;
- mając na uwadze szczególnie wysokie opłaty dla odbiorców przyłączonych do sieci nN oraz coraz niższe ceny liczników elektrycznych, które dokonują pomiaru energii biernej indukcyjnej, opłaty za energię bierną będą ponosić coraz mniejsi odbiorcy. (U odbiorców tych dominują odbiorniki indukcyjne jednofazowe, lamy chłodnicze, wentylatory, klimatyzatory itp.).

5. Faktyczne oszczędności

Baterie kondensatorów stosuje się w prawie wszystkich rodzajach obiektów. Niegdyś były to urządzenia stosowane wyłącznie w przemyśle, dzisiaj są powszechne w większych sklepach, budynkach komunalnych, biurach, hotelach, oczyszczalniach ścieków itd. - ogólnie mówiąc wszędzie tam, gdzie dystrybutor energii rozlicza za ponadumowny pobór energii biernej, a odbiorca posiada znaczącą ilość silników, pomp, starego typu oświetlenia wyładowczego etc. Przykładem takich odbiorców mogą być firmy produkujące podeszwy do butów, doniczki, zajmujące się obróbką metali, produkcją mebli. W każdym przypadku po montażu urządzeń kontrolujemy efekt, jaki uzyskuje klient i w 90% opłaty za energię bierną są eliminowane, a w 10% pozostała do zapłaty kwota nie przekracza 10% kwoty płaconej za energię bierną przed montażem urządzenia. Większość baterii zwraca się w okresie 6-10 miesięcy. Na podstawie informacji uzyskanych od jednej z firm zajmującej się doбором i montażem

baterii, jako przykład można podać basen miejski na Śląsku, gdzie opłaty przed zamontowaniem baterii wynosiły 1800 zł netto miesięcznie. Po zastosowaniu baterii kondensatorów (w tym wypadku dławikowej, gdyż pomiary wykazały rezonans z falownikami zasilającymi pompy) opłaty całkowicie wyeliminowano. Koszt urządzenia z montażem i dobozem wyniósł 9600 zł netto. Tak, więc koszt inwestycji zwrócił się po niespełna 6 miesiącach. Jak wspomniano powyżej z zasady prawidłowo dobrane baterie eliminują opłatę za energię bierną. Wysokość takiej opłaty zależy od współczynnika mocy i stanowi od 10% do 60% opłaty za dystrybucję, co biorąc pod uwagę cały rachunek za energię może stanowić od 5% do 30% łącznej kwoty płaconej za energię.

6. Wnioski

1. Zainstalowanie baterii nie wymaga zgody dostawcy energii elektrycznej.
2. Baterie są całkowicie zautomatyzowane i nie wymagają obsługi. Konieczna jest tylko wymiana filtrów.
3. Zainstalowanie baterii nie zwiększy poboru energii czynnej.
4. Zastosowanie baterii kondensatorów całkowicie eliminuje opłaty za energię bierną indukcyjną lub redukuje je o około 90%.
5. Dzięki zastosowaniu baterii nie ma zagrożenie kary za ponad umowny pobór mocy biernej.

Prezentowana praca zrealizowana w ramach tematu nr L-1/115/2013/DS. pt. „Budownictwo spełniające warunki zrównoważonego rozwoju”, została sfinansowana z dotacji na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 sierpnia 2011 r. Dz.U. nr 189 w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 kwietnia 2012 r. Dz.U. nr 535 zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną
- [3] <http://www.korporacjasystem.pl/> [dostęp 15.04.2014 r.]
- [4] <http://www.elektroinstalacje.info/> [dostęp 15.04.2014 r.]
- [5] Materiały Vattenfall
- [6] Zdjęcia i konsultacja *Syntra.pl*

COMPENSATION OF REACTIVE POWER WAY TO DECREASE THE ACCOUNTS FOR ELECTRICITY.

Summary

Subject of energy savings in the workplaces, where the machines requiring high energy consumptions are used, were described in this article. Prices of electric energy are higher and higher, further legal acts and the increase of fuel costs are not going to change this situation, which is why we must consider all ways of lowering the quantity of electric energy use and its costs. Usage of the condensing batteries could significantly reduce the reactive power losses and solve the problem. All induction machines consume reactive power. But, these that use the most are: asynchronous engines (especially those working on the idling), not much burdened convertors, welders. Unfortunately, the flow of reactive power has also disadvantages. Its flow from the source to the receiver burdens electrically cables and lines, lowering their flow capacity and leading to additional voltage fall and loss of real power. That is why the suppliers of electrical energy require limitation of reactive power consumption.

Reactive power compensation plays also an important role. Where necessary, it is created by means of synchronic capacitor. Thanks to it there is no need of sending it from the supplier to the receiver, which is why greater real power can be sent by the same electrical power lines.

While buying batteries it is important to know which one to choose. When chosen properly, it will work correctly, but badly chosen the one will suffer from destruction very quickly, and it may also set danger, which is why only specialists should be responsible for choosing batteries. In order to choose a battery properly, the power profile and any deformation must be measured at first. When it is done the power of device and other parameters are taken into consideration. Only above mentioned measurement guarantee proper and long work of the device. On the basis of the invoice for electrical power we may only approximately assess the cost of device, but it will not give us any information about deformation of current and voltage, danger of resonance and required gradation.

Keywords: Compensation, reactive power, active power, energy efficiency

DOI:10.7862/rb.2014.121

Przesłano do redakcji: 21.05.2014 r.

Przyjęto do druku: 22.12.2014 r.