

Kompensacja mocy biernej. Jak wyeliminować opłaty za pobór energii biernej?

III Podstawy teoretyczne

Większość odbiorników prądu przemiennego pobiera z sieci elektroenergetycznej lub innych źródeł zasilających energię czynną i bierną. Pierwsza z nich jest przetwarzana na pracę użyteczną i ciepło strat. Druga zaś, choć nie wykonuje żadnej pracy, jest niezbędna do poprawnego działania szeregu odbiorników energii elektrycznej (m.in. silników, transformatorów). Moc bierna Q [var] jest miarą energii pulsującej między elementem indukcyjnym (L) i pojemnościowym (C) odbiornika a źródłem energii elektrycznej. W znacznej mierze obciąża ona źródło prądu, co powoduje dodatkowe straty ciepła. Moc bierna jest równa iloczynowi wartości skutecznych napięcia i prądu oraz sinusa kąta przesunięcia fazowego między napięciem i prądem: Odbiorniki jednofazowe:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Odbiorniki trójfazowe:

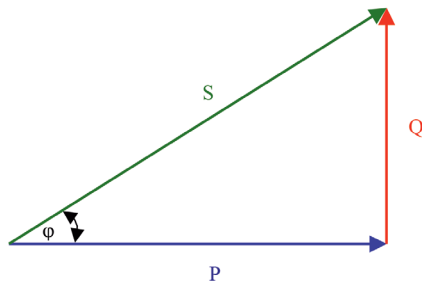
$$Q = 3U_f \cdot I_f \cdot \sin \varphi$$

gdzie:

U_f I_f – wartości skuteczne napięć i prądów fazowych,

U I – wartości skuteczne napięć i prądów przewodowych.

Zależność poszczególnych mocy została przedstawiona na rys. 1.



Rys. 1. Trójkąt mocy, gdzie:

P – moc czynna [W]; Q – moc bierna [var]; S – moc pozorna [VA] (geometryczna suma mocy czynnej i biernej)

Miarą składowej biernej prądu jest współczynnik mocy $\cos \varphi$, często wyrażany również jako $\operatorname{tg} \varphi$, podawany w warunkach technicznych przyłączenia do sieci elektroenergetycznej, taryfie za energię elektryczną i innych dokumentach stosowanych w energetyce zawodowej. Wartość współczynnika mocy $\operatorname{tg} \varphi$ można przeliczyć na $\cos \varphi$, korzystając ze wzoru:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \varphi + 1}}$$

Praca odbiorników przy małej wartości współczynnika mocy $\cos \varphi$ przyczynia się do zwiększenia poboru prądów roboczych w stosunku do pracy przy tej samej mocy czynnej i współczynnika mocy bliskim jednocy.



inż. Marek Iwanicki

ekspert

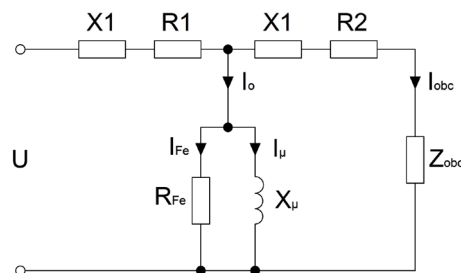
Niski współczynnik mocy ($\cos \varphi$) powoduje szereg skutków ujemnych:

- konieczność instalowania urządzeń wytwórczych i przetwórczych o większych mocach znamionowych,
 - wymusza stosowanie aparatów o większych prądach znamionowych oraz dopuszczalnych prądach zwarciovych,
 - konieczność wykorzystywania przewodów o większych przekrojach,
 - zmniejsza przepustowość sieci zasilających,
 - podnosi straty energii czynnej w transformatorach, sieciach oraz instalacjach odbiorczych,
 - zwiększa spadki napięć w transformatorach i liniach zasilających.
- W instalacjach elektrycznych odbiorców, gdzie nie występują odbiorniki indukcyjne współczynnik mocy $\cos \varphi$ jest bliski jednocy. Natomiast w zakładach przemysłowych i usługowych jego wartość może być znacznie mniejsza od jednocy. Wynika to głównie z urządzeń technologicznych wyposażonych w silniki lub inne odbiorniki o małym znamionowym współczynniku mocy.

Silnik elektryczny lub transformator pobiera moc bierną na magnesowanie (równną niemalże mocy pozornej przy pracy jałowej) oraz na pokrycie strat mocy biernej przy obciążeniu:

$$Q_{obc} = 3 \cdot I_{obc}^2 (X_1 + X_2)$$

Schemat zastępczy transformatora oraz silnika elektrycznego, na którym oznaczono rozplywy prądów przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Schemat zastępczy transformatora oraz silnika, gdzie:

I_m – prąd magnesowania; I_0 – prąd pracy jałowej; R , X – rezystancja i reaktancja uzwojenia pierwotnego i wtórnego; Z_{obc} – impedancja obciążenia dla silników; $Z_{obc} = R_1(1-s)/s$; s – poślizg; I_{obc} – prąd obciążenia

Przepływ energii biernej od źródła zasilania do odbiornika powoduje dodatkowe zużycie energii elektrycznej wskutek strat. W celu ich zmniejszenia trzeba dążyć do ograniczenia poboru mocy i energii biernej do wartości niezbędnych na magnesowanie i pokrycie strat w warunkach znamionowych.

Moc urządzeń kompensujących należy wyznaczyć ze wzoru:

$$Q_k = P \cdot k (\operatorname{tg} \varphi_n - \operatorname{tg} \varphi_k)$$

gdzie:

P – moc czynna odbiorników [kW],

k – (1, 1–1,3) współczynnik korekcji wynikający z bezwładności układu,

$\operatorname{tg} \varphi_n$ – naturalny wskaźnik mocy (bez kompensacji),

$\operatorname{tg} \varphi_k$ – wymagany przez dostawcę energii wskaźnik mocy.

Dobrana moc urządzeń do kompensacji mocy biernej indukcyjnej nie może spowodować przekompensowania, które objawi się ujemną wartością współczynnika $\cos\varphi_k$.

Sprawdzenie należy wykonać, korzystając ze wzorów:

$$\operatorname{tg}\varphi_k = \frac{Q_z - Q_k}{P_z} \quad \cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{tg}^2\varphi + 1}} > 0$$

gdzie:

P_z – moc czynna zapotrzebowana przez odbiorniki [kW],

Q_z – moc bierna zapotrzebowana przez odbiorniki [kvar],

Q_k – moc urządzeń przeznaczonych do kompensacji mocy biernej [kvar].

Ujemna wartość współczynnika mocy $\cos\varphi$ świadczy o przekompensowaniu, które jest szkodliwe dla odbiorników oraz sieci zasilającej, gdyż powoduje wzrost napięcia i wyższych harmonicznych (THD) w punkcie przyłączenia kompensatora.

Powyżej przedstawione zostały (od strony technicznej) negatywne skutki przepływu mocy biernej w sieci. Przekroczenie dopuszczalnych wartości $\operatorname{tg}\varphi$ niesie ze sobą również dodatkowe obciążenie finansowe. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego (DzU z 2007 nr 89, poz. 623) dopuszczalny pobór mocy biernej z systemu elektroenergetycznego określony jest przez $\operatorname{tg}\varphi$, którego wartość nie może być większa niż 0,4. Rozporządzenie to jednocześnie zezwala (w uzasadnionych przypadkach) na możliwość żądania przez Operatora Sieci Dystrybucyjnej (OSD) wartości mniejszej od 0,4 (w praktyce nie jest ona niższa niż 0,2).

Przekroczenie dopuszczalnego poziomu wskaźnika $\operatorname{tg}\varphi$ powoduje naliczanie dodatkowych opłat za pobór ponadnormatywnej mocy biernej, określonych w taryfie dla energii elektrycznej, zatwierdzonej przez prezesa URE. W celu zmniejszenia poboru mocy biernej indukcyjnej z systemu elektroenergetycznego stosuje się jej kompensację, polegającą na instalowaniu urządzeń, które lokalnie wytwarzają moc bierną (np. baterie kondensatorów).

Na przykładzie fragmentu z faktury za energię elektryczną (tab. 1) przeanalizowane zostaną pozycje, które występują u odbiorców rozliczających się w taryfach „B” i „C”. Na podstawie przeprowadzonej weryfikacji można będzie określić, jakie składowe są związane z mocą bierną i czy można je wyeliminować, tym samym obniżając wysokość miesięcznych kosztów energii elektrycznej.

Składowymi rachunku za energię są opłaty: dystrybucyjna, abonamentowa, sieciowa, za przekroczenie mocy umownej, za energię bierną (indukcyjną według $\operatorname{tg}\varphi$), za energię bierną oddaną (pojemnościową) – nie wszystkie składowe muszą występować w każdym z rachunków, zależy to od dostawcy energii, taryfy rozliczeniowej oraz charakteru odbioru. O ile opłaty abonamentowej oraz sieciowej nie można wyeliminować, to koszty energii biernej indukcyjnej oraz pojemnościowej – tak.

Miarą zużycia energii biernej indukcyjnej jest współczynnik mocy $\operatorname{tg}\varphi$ (tab. 1, poz. 1) i na jego podstawie następuje rozliczenie jej kosztów. Informuje on, jak dużo energii biernej zostało pobrane w stosunku do energii czynnej. W tym przypadku wymagany przez OSD $\operatorname{tg}\varphi$ wynosi 0,4 (tab. 1, poz. 2). Opłata naliczana jest w momencie, kiedy następuje przekroczenie tej wartości, czyli pobór energii biernej w stosunku do czynnej jest większy niż 40%.

Tab. 1. Przykładowe rozliczenie za energię elektryczną

Określenie	Wskazanie poprzednie	Wskazanie obecne	Mnożna	Zużycie [kW/kWh]	Cena [zł]	Wartość [zł]
Opłata stała za usługę dystrybucyjną						
Moc umowna		–	1,000	110	15,75	1 732,50
Moc pobrana maksymalna	–	2,88	30,000	86	–	–
Opłata przejściowa		–	1,00	110	1,22	134,20
Licznik energii czynnej nr 95308525						
Szczytowa	829,96	991,68	30,00	4 852	0,3448	1 672,97
Pozaszczytowa	3 271,96	3 759,95	30,00	14 640	0,2608	3 818,11
Licznik energii biernej nr 95308525						
Szczytowa	627,62	744,19	30,00	3 497	–	–
Pozaszczytowa	2 658,04	3 014,74	30,00	10 701	–	–
Licznik energii biernej pojemnościowej nr 95308525 poz. 5						
Szczytowa	386,24	429,22	30,00	1 289	0,5916	762,72
Pozaszczytowa	1 142,11	1 380,6	30,00	7 155	0,5916	4 232,90
Opłata dystrybucyjna zmienna						
Składnik sieciowy				–	–	–
Szczytowa				4 852	0,1432	694,81
Pozaszczytowa				14 640	0,0766	1 121,42
Składnik jakościowy				19 492	0,0070	136,44
poz. 1 Rozliczenie energii biernej według $\operatorname{tg}\varphi$ poz. 4						
Szczytowa	0,40	0,82	0,5105	4 852	0,1972	488,45
Pozaszczytowa	0,40	0,83	0,5272	14 640	0,1972	1 522,03
Opłata abonamentowa	poz. 2	poz. 3				21,50
Opłata handlowa	–	–	–	–	–	60,00
Sposób odczytu: zdalny						–
Rozliczenie VAT						
	Stawka VAT [%]	Wartość netto [zł]	Podatek VAT [zł]	Wartość brutto [zł]		
	23	16 398,05	3 771,55	20 169,60		

Urządzeniami mogącymi spowodować nadmierne zużycie energii biernej i wygenerować związane z tym opłaty są silniki napędów, układy wentylacji, klimatyzatory, oświetlenie, windy itp. W omawianym przykładzie $\operatorname{tg}\varphi$ rzeczywisty (faktycznie uzyskiwany na obiekcie) wynosi 0,83 (tab. 1, poz. 3) i jest znacznie większy od wartości 0,4 wymaganej przez OSD. W związku z tym przekroczeniem została naliczona opłata. Pozycję tę możemy wyeliminować poprzez zabudowę urządzeń kompensacyjnych. Według przykładowej faktury przyniesie to miesięcznie oszczędność w kwocie ponad 2000 złotych (tab. 1, poz. 4).

W przypadku energii biernej oddanej, rozliczenie nie następuje na podstawie współczynnika. Każde najmniejsze oddanie energii biernej do sieci powoduje naliczenie opłaty. Oddawanie wynika z zainstalowania w użytkowanym obiekcie urządzeń będących

kondensatorami z elektrycznego punktu widzenia, np. UPS-ów, komputerów, oświetlenia (ze starterami), rozległej sieci kablowej. Należy podkreślić, że stawka opłat za energię bierną pojemnościową jest kilkukrotnie wyższa niż za przekroczenie $\text{tg}\varphi$. W omawianym przykładzie kwota do zapłaty za energię bierną oddaną (pojemnościową) to prawie 5000 złotych (tab. 1, poz. 5). Stosując do kompensacji mocy biernej pojemnościowej dławiki indukcyjne, pozycję tę można również wyeliminować.

Z przeprowadzonych analiz, uwzględniających bieżący poziom cen urządzeń kompensacyjnych na naszym rynku (na podstawie cennika baterii kondensatorów PBW Olmex SA), wynika, że okres zwrotu instalacji układu kompensacji mocy biernej wynosi od 4 do 12 miesięcy (w zależności od mocy i parametrów sieci obiektu). Weryfikacja nie obejmuje obiektów, w których występują obciążenia szybkozmiennne (zgrzewarki, suwnice) oraz wysoki poziom wyższych harmonicznych (THDi i THDu). Podstawą prawidłowego doboru układu kompensacji mocy biernej jest przeprowadzenie analizy (pomiarów) parametrów energii elektrycznej w obiekcie, w którym ma on zostać zainstalowany. Taka weryfikacja pozwala uzyskać informację na temat szybkości i poziomu wahań mocy biernej, występowania wyższych harmonicznych czy asymetrii obciążeń. Na podstawie tych danych można zaprojektować i zbudować optymalny dla obiektu układ kompensacji, który będzie spełniał swoje funkcje techniczne. Usługi w zakresie pomiarów i doboru urządzeń są oferowane na naszym rynku przez podmioty zajmujące się kompensacją mocy biernej.

III Źródła mocy biernej

Do wytwarzania mocy biernej służą: generatory, kompensatory, silniki synchroniczne oraz baterie kondensatorów (kondensatory). Generatory synchroniczne zlokalizowane w elektrowniach są naturalnym źródłem mocy biernej o dużej mocy i niskich kosztach jej wytworzenia. Koncentracja elektrowni w pobliżu źródeł surowców naturalnych niezbędnych do ich zasilania powoduje, że moc bierna jest przesyłana na znaczne odległości do końcowych odbiorców, co jest nieekonomiczne i sprawia trudności techniczne.

Kompensatory synchroniczne zwykle mają mocy znamionową na poziomie od kilkunastu do kilkudziesięciu Mvar. Można je instalować w dużych centrach zapotrzebowania na moc bierną. Nakłady inwestycyjne związane z instalacją kompensatorów są zależne od ich mocy: im maszyna jest większa, tym jej koszt jednostkowy niższy. Jednakże duże straty mocy czynnej w kompensatorach synchronicznych powodują, że jednostkowe koszty wytworzenia energii biernej są znacznie wyższe w porównaniu z kondensatorami.

Silniki synchroniczne są ekonomicznie korzystniejszym źródłem mocy biernej. Warunkiem opłacalności jest wytwarzanie jej w czasie pracy silnika, a nie przy biegu maszyny bez obciążenia mechanicznego.

Spośród przedstawionych powyżej metod wytwórczych kondensatory są zwykle najbardziej ekonomicznym źródłem mocy biernej. Mają one przy tym wiele cennych zalet, np.:

- możliwość instalacji praktycznie w dowolnym punkcie sieci; przy czym kondensatory mogą być przyłączane zarówno do sieci niskiego oraz średniego napięcia, jak i sieci najwyższych napięć, a także instalowane w pomieszczeniach bądź na zewnątrz i nie wymagają specjalnych fundamentów;

- łatwość dostosowania wielkości instalacji do występującego zapotrzebowania: można zainstalować np. jeden kondensator o mocy poniżej 1 kvar lub baterię złożoną z wielu jednostek kondensatorowych o łącznej mocy nawet 100 Mvar;
- bardzo niskie straty mocy czynnej;
- prosty montaż i mało pracochłonna obsługa.

Wymienione zalety kondensatorów umożliwiają instalowanie ich w pobliżu odbiorów, jako źródeł dostosowanych wielkością do występującego zapotrzebowania mocy biernej w danym punkcie sieci. Zatem prawie unikając przesyłu mocy biernej, można zrealizować korzystną ekonomicznie ideę lokalnego wytwarzania tej mocy w dużej liczbie rozproszonych źródeł, którymi są kondensatory montowane zarówno w zakładach przemysłowych, jak i sieciach energetyki zawodowej.

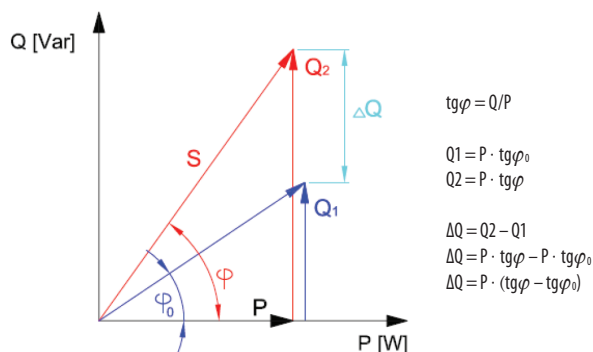
III Metody kompensacji

Kompensacja mocy biernej w sieci elektroenergetycznej polega na takim skojarzeniu odbiorników energii elektrycznej, by charakter sieci odpowiadał wymaganiom w zakresie utrzymania właściwych parametrów sieci. Najogólniej rzecz ujmując niekorzystny współczynnik mocy, wynikający z dużego udziału odbiorów o charakterze indukcyjnym, może być ograniczany (kompensowany) poprzez włączenie do sieci odbiorników o charakterze pojemnościowym (lub odwrotnie w przypadku dominacji odbiorów pojemnościowych). Ideę kompensacji mocy biernej w sieci elektroenergetycznej w sposób schematyczny przedstawia rys. 3.

W praktyce istnieją dwa sposoby kompensacji mocy biernej w sieciach elektroenergetycznych: naturalna metoda poprawy parametrów sieci oraz sztuczny sposób jej skompensowania.

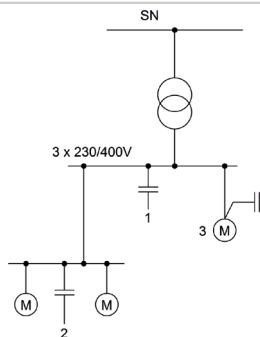
Dla sieci elektroenergetycznych z niewielką ilością odbiorów indukcyjnych metoda naturalna może okazać się wystarczająca do utrzymania określonych parametrów sieci, zwłaszcza gdy wymagania te są niewielkie. W dużych, rozległych i złożonych sieciach elektroenergetycznych ten sposób kompensacji jest już niewystarczający i konieczne jest stosowanie sztucznych metod poprawy parametrów sieci.

Do naturalnych sposobów kompensacji zaliczamy m.in.: dobór silników o właściwej mocy i zamiana silników niedociążonych na mniejsze, niedopuszczanie do pracy jałowej silników i transformatorów, wyłączanie odbiorów technologicznych (np. spawarek transformatorowych



Rys. 3. Schemat ideowy przedstawiający kompensację mocy biernej, gdzie: $\text{tg}\varphi_0$ – wymagany poziom współczynnika mocy; P – poziom mocy czynnej; Q_1 – poziom mocy biernej przy $\text{tg}\varphi_0$; Q_2 – poziom mocy biernej przy $\text{tg}\varphi$; S – poziom mocy pozornej; ΔQ – ilość mocy biernej potrzebnej do skompensowania mocy biernej do wymaganego poziomu $\text{tg}\varphi_0$

rys. M. Iwaniński



rys. M. Iwanicki

Rys. 4. Różne sposoby kompensacji mocy biernej indukcyjnej: 1) centralna; 2) grupowa; 3) indywidualna

podczas przerw w spawaniu), instalowanie silników synchronicznych zamiast indukcyjnych.

Do sztucznych sposobów kompensacji zalicza się: instalowanie baterii kondensatorów, wykorzystywanie kompensatorów wirujących oraz przewzbudzenie silników asynchronicznych.

Pod względem zasięgu działań kompensacyjnych i sposobu ich realizacji można wyróżnić trzy typy kompensacji: indywidualną, grupową, oraz centralną.

Kompensacja indywidualna ma odniesienie jedynie do pojedynczych urządzeń (odbiorników indukcyjnych) i nie może służyć kompensacji całej sieci. Teoretycznie byłoby to możliwe, lecz ze względu na mnogość wymaganych zespołów kompensujących musi być wykluczone. Dlatego zastosowanie tej metody ogranicza się jedynie do zrównoważenia mocy biernej dużych odpyłów indukcyjnych. Do tego rodzaju kompensacji stosowane są najczęściej baterie nieręgulowane.

Kompensacja grupowa dotyczy poprawy parametrów pewnych fragmentów sieci i odnosi się do grupy urządzeń (np. odbiory zasilane z jednej rozdzielni). Jest to metoda najczęściej stosowana przy wykorzystaniu baterii automatycznych sterowanych przy użyciu regulatorów mocy biernej.

Kompensacja centralna ma za zadanie doprowadzić do uzyskania właściwych parametrów sieci postrzeganej od strony zasilania (na przyłączach), nie służy jednak do poprawnego zrównoważenia całej sieci wewnętrznej. Polega na zastosowaniu jednego urządzenia kompensacyjnego dla całego zakładu lub stacji rozdzielczej. Dzięki temu minimalizuje się całkowitą moc bierną potrzebną do zainstalowania, natomiast poprzez wykorzystanie regulacji automatycznej wartość współczynnika mocy utrzymuje się na poziomie zbliżonym doadanego.

Każda z metod kompensacji może być zastosowana do zrównoważenia sieci elektroenergetycznej, lecz ich skuteczność jest różna. Dla realizacji poszczególnej z nich konieczne jest spełnienie pewnych uwarunkowań. O wyborze właściwej decydują m.in.: ilość odbiorów występujących w sieci i wymagających kompensacji, liczba przyłączy, dla których muszą zostać spełnione warunki umowne, wymagany poziom zrównoważenia sieci, stopień złożoności i rozległości sieci, możliwości lokalizacji urządzeń kompensujących, rodzaje odbiorów i ich charakter oraz występowanie wyższych harmonicznych w sieci elektroenergetycznej i ich poziom. Mając na uwadze poprawne skompensowanie całej sieci wewnętrznej, utrzymanie warunków przyłączy i ograniczenie strat przesyłowych, konieczne jest zastosowanie kompensacji mieszanej, także na różnych poziomach napięć.

Tab. 2. Grupy urządzeń kompensacyjnych przeznaczonych dla różnych profili obciążenia

Profil obciążenia	Proponowane urządzenia
Zmienne w czasie, symetryczne, niski poziom harmonicznych	stycznikowe baterie kondensatorów z automatyczną regulacją, 1-fazowym pomiarem prądu, bez ochrony dławikowej
Zmienne w czasie, symetryczne, wysoki poziom harmonicznych (THDi > 30%)	stycznikowe baterie kondensatorów z automatyczną regulacją, 1-fazowym pomiarem prądu, z ochroną dławikową (w przypadku dominacji piątej i wyższych harmonicznych stopień tłumienia dławików $p = 7\%$, przy dominacji trzeciej harmonicznej stopień tłumienia dławików $p = 14\%$)
Szybkozmiennie (zgrzewarki, suwnice, windy)	baterie wyposażone w łączniki tyrystorowe; ich minimalny czas reakcji wynosi 60 ms
Asymetryczne lub jednofazowe	przy niewielkich wartościach asymetrii baterie z regulatorem umożliwiającym pomiar prądu w 3 fazach; przy dużych lub stałych wartościach asymetrii obciążenia układy kompensacji 1-fazowe (każda faza jest kompensowana przez niezależny układ)
Pojemnościowe	w przypadku występującej wartości stałej statycznej/ automatyczna bateria dławików indukcyjnych; przy pojawianiu się obciążenia pojemnościowego czasowo można zastosować hybrydowy układ baterii pojemnościowo-indukcyjnej
Zmienne – bardzo wysoki poziom THDi konkretnej harmonicznej wpływający na pracę urządzeń	bateria w układzie filtra pasywnego dobranej do dominującej harmonicznej
Szybkozmiennie – bardzo wysoki poziom THDi (w szerokim spektrum) wpływający na pracę urządzeń	filtr aktywny dobrany do wartości odkształconej prądu, układu sieci (filtry 3- lub 4-przewodowe)

III Dobór typu urządzeń kompensacyjnych

W celu optymalnego doboru urządzeń kompensacyjnych dla obiektu lub grupy odbiorów (rozdzielni) niezbędne są, jak już wcześniej zostało wspomniane, informacje dotyczące profilu obciążenia oraz parametrów elektrycznych sieci.

W tab. 2. zostały przedstawione grupy urządzeń kompensacyjnych przeznaczonych dla różnych profili obciążenia i stanu sieci przy przekroczonym $\text{tg}\varphi$.

III Podsumowanie

Zmiana sposobu rozliczania nieskompensowanej mocy biernej oraz okresowe podwyżki cen energii elektrycznej sprawiły, że w ciągu ostatnich lat znacznie wzrosło zainteresowanie równoważeniem mocy biernej. Optymalizacja kosztów to nie jedyny powód, dla którego należy posiadać sprawny układ kompensacji. Utrzymanie zadanego współczynnika mocy $\text{tg}\varphi$ na poziomie poniżej 0,4 pozwala znacznie zmniejszyć straty związane z przesyłem energii oraz maksymalnie wykorzystać przepustowość transformatorów i kabli zasilających. Należy pamiętać, że skuteczna kompensacja eliminuje opłaty za moc bierną, a także zwiększa niezawodność układu zasilającego.

Literatura

1. Norma PN-EN 60831-1 „Kondensatory samoregenerujące do równoległej kompensacji mocy biernej w sieciach elektroenergetycznych prądu przemiennego o napięciu znamionowym do 1 kV włącznie”.
2. Nartowski Z., „Baterie kondensatorów do kompensacji mocy biernej”, WNT, Warszawa 1967.
3. „Poradnik Inżyniera Elektryka”, tom 2, WNT, Warszawa 1995, 1997.
4. „Poradnik Inżyniera Elektryka”, tom 3, WNT, Warszawa 1996.
5. Badania własne Przedsiębiorstwa Badawczo-Wdrożeniowego Ołmex SA.