

# Kompensacja mocy biernej pojemnościowej z zastosowaniem dławików indukcyjnych

Mirosław Łukiewski

**Zagadnienie kompensacji mocy biernej pojemnościowej występuje najczęściej w przedsiębiorstwach, w których istnieją rozległe sieci kablowe. Instalując dławik lub baterię dławików kompensacyjnych, można ograniczyć koszty związane z oddawaniem do systemu elektroenergetycznego energii biernej pojemnościowej. W artykule przedstawiono parametry techniczne dławików typu ED3K przeznaczonych do kompensacji mocy biernej pojemnościowej.**

## Kompensacja

Kompensacja mocy biernej jest konieczna. Transportowanie energii biernej od generatora, poprzez sieć elektroenergetyczną i urządzenia pośredniczące, do odbiorników w sieci niskiego napięcia jest skrajnie niekorzystnym działaniem. Przesył energii biernej wywołuje powstawanie dodatkowych strat mocy czynnej. Jest zatem powodem dodatkowego obciążenia generatorów i wszystkich elementów systemu elektroenergetycznego. Zwiększenie ilości wydzielanego ciepła (strat czynnych) wymusza przewymiarowanie elementów systemu.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \quad (1)$$

gdzie:  $\Delta P$  – generowane straty mocy czynnej;  $P, Q$  – moc czynna i bierna przesyłana linią energetyczną;  $U$  – napięcie pracy linii;  $R$  – rezystancja linii [2].

Ilość strat mocy czynnej powstającej w elementach systemu na skutek transportu jednostki mocy biernej obrazuje energetyczny równoważnik mocy biernej  $k_E$  [kW/kVAR]. Wartość współczynnika w sytuacji, gdy moc bierna dostarczana jest do odbiornika zainstalowanego na obrzeżach sieci niskiego napięcia, może wynosić  $k_E = 0,25$  [2]. W zakładach przemysłowych o typowym profilu eksploatowanych maszyn i urządzeń zainstalowana moc bierna pojemnościowa

jest mniejsza od mocy biernej indukcyjnej. Głównymi odbiornikami mocy biernej są transformatory i silniki asynchroniczne, wykorzystujące moc bierną indukcyjną do wytwarzania pola elektromagnetycznego, które jest warunkiem ich działania. W takich zakładach może dojść do konieczności kompensacji mocy biernej indukcyjnej. Realizuje się ją najczęściej, stosując odpowiednie baterie pojemnościowe.

Przedsiębiorstwa, w których pracują rozbudowane sieci kablowe, przy jednoczesnym niedoborze obciążenia indukcyjnego ponoszą dodatkowe koszty związane z przekompensowaniem sieci. Oznacza to, że mocy biernej pojemnościowej, której źródłem są odbiorniki o charakterze pojemnościowym (linie kablowe), jest w sieci zakładowej więcej od mocy biernej indukcyjnej. W efekcie na przyłączy elektrycznym zarejestrowana zostanie energia bierna pojemnościowa oddawana do systemu.

$$Q_{POJ} = \sum Q_{KAB} - \sum Q_{IND} \quad (2)$$

gdzie:  $Q_{POJ}$  – moc bierna oddawana do systemu;  $Q_{KAB}$  – moc bierna wytwarzana przez linię kablową;  $Q_{IND}$  – moc bierna wytwarzana przez odbiornik o charakterze indukcyjnym.

Po przekroczeniu zadanego przez zakład energetyczny współczynnika  $tg\phi$  zostanie naliczona opłata zgodnie ze wskazaniem licznika energii biernej i założeniami taryfikatora.

Moc bierną  $Q_{KAB}$ , wytwarzaną przez poszczególne linie kablowe w zakładzie, można wyznaczyć, korzystając z poniższych zależności.

$$Q_K = C_K \cdot U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

$$Q_{KAB} = \sum Q_K \cdot l_K \quad (4)$$

gdzie:  $C_K$  – jednostkowa pojemność kabla [ $\mu F/km$ ];  $U$  – napięcie sieci;  $f$  – częstotliwość napięcia sieciowego;  $l_K$  – długość linii kablowej.

Teoretyczny dobór mocy baterii dławikowej oparty na szacunkach długości oraz danych katalogowych kabli może być obarczony znacznym błędem. Należy w tej sytuacji wykorzystać dane rejestrowane przez zakłady energetyczne. W ten sposób można przeanalizować kilkumiesięczne wskazania liczników energii biernej. Na podstawie zarejestrowanych przepływów energii biernej można określić konieczną do optymalnej kompensacji moc bierną oraz zdecydować o rodzaju zastosowanego urządzenia kompensującego. Alternatywą dla dławika lub baterii dławikowej o stałej mocy biernej [3] jest kilkustopniowa nadążna bateria dławikowa sterowana regulatorem mocy biernej [5].

## Dławiki kompensacyjne

Wynikiem analizy wskazań liczników energii biernej na przyłączach energetycznych jest moc bierna  $Q_L$ , jaką powinna dostarczyć bateria dławikowa. Znając wielkość mocy (np. 100 kvar), możemy przystąpić do określenia parametrów znamionowych dławika lub kilku dławików, jeśli zapotrzebowana moc jest zbyt duża.

Uzwojenia dławików typu ED3K skojarzone są w gwiazdę. Napięcie fazowe  $U_f$  panujące na cewce dławika wynosi 230 V. Reaktancję indukcyjną oraz indukcyjność jednej cewki dławika wyznaczmy, korzystając z poniższych zależności:

$$X_L = \frac{U_f^2}{1/3 \cdot Q_L} = 1,6 \Omega \quad (5)$$

$$L = \frac{U_f^2}{1/3 \cdot Q_L \cdot \omega} = 5,1 mH \quad (6)$$

Wykonując obliczenia prądu w obwodzie, można pominąć rezystancję gałęzi dławikowej, która jest niewielka w odniesieniu do reaktancji:

$$I = \sqrt{\frac{Q_L}{3 \cdot X_L}} = 144,3 A \quad (7)$$

W tabeli 1 zestawiono parametry techniczne szeregu trójfazowych dławików kompensacyjnych pracujących przy znamionowym napięciu 400 V.

Poprawny dobór poszczególnych elementów obwodu kompensacyjnego (kabel, rozłącznik lub stycznik i zabezpieczenia) wymaga wykonania dokład-

Tabela 1. Parametry techniczne dławików kompensacyjnych, niskonapięciowych typu ED3K [4]

typ dławika	Ln	In	Qn	$\Delta P$	L	B	H	d	e	f	Q
	[mH]	[A]	[kvar]	[W]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
ED3K – 2,5/400	203,7	3,6	2,5	95	240	190	210	190	95	11x15	14
ED3K – 3,75/400	136	5,4	3,75	120	265	200	230	215	100	11x15	18
ED3K – 5/400	101,9	7,2	5	140	300	210	270	240	120	11x15	26
ED3K – 7,5/400	67,9	10,8	7,5	200	360	220	310	310	125	11x15	42
ED3K – 10/400	50,9	14,4	10	220	360	230	310	310	125	11x15	46
EDK3 – 15/400	34	21,7	15	310	420	260	360	370	151	11x15	75
ED3K – 20/400	25,5	28,9	20	425	480	320	410	430	183	13x18	108
ED3K – 25/400	20,4	36,1	25	545	540	340	480	490	200	13x18	125
ED3K – 30/400	17	43,3	30	550	540	360	480	490	220	13x18	132
ED3K – 40/400	12,7	57,7	40	575	540	390	480	490	250	13x18	207
ED3K – 50/400	10,2	72,2	50	865	690	420	550	590	190	17x25	220
ED3K – 60/400	8,5	86,6	60	870	690	440	550	590	200	17x25	240
ED3K – 80/400	6,4	115,5	80	1325	870	460	800	560	230	17x25	425
ED3K – 100/400	5,1	144,3	100	1330	870	460	800	560	230	17x25	445
ED3K – 120/400	4,2	173,2	120	1430	870	480	800	560	240	17x25	515

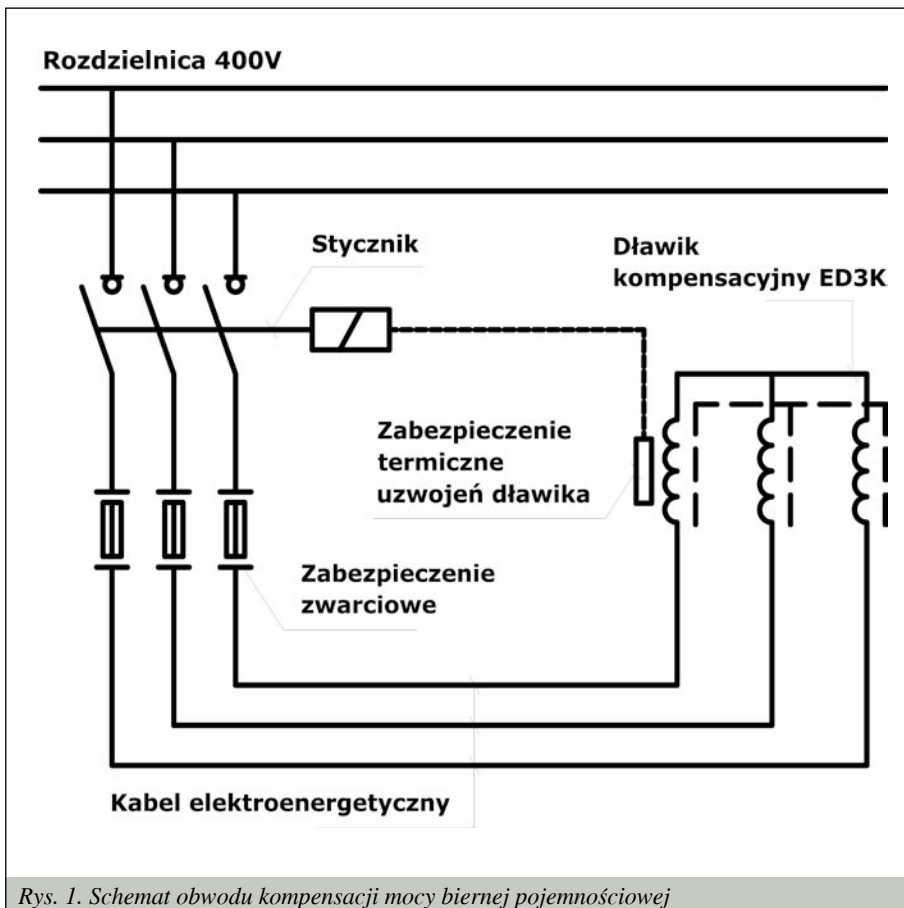
nych obliczeń zwarciovych. Przy doborze łącznika należy zwrócić uwagę, by był przystosowany do łączenia obciążeń o dużej indukcyjności generujących silne przepięcia w czasie operacji łączeniowych – odpowiednia kategoria użytkowania, np. AC23 [1].

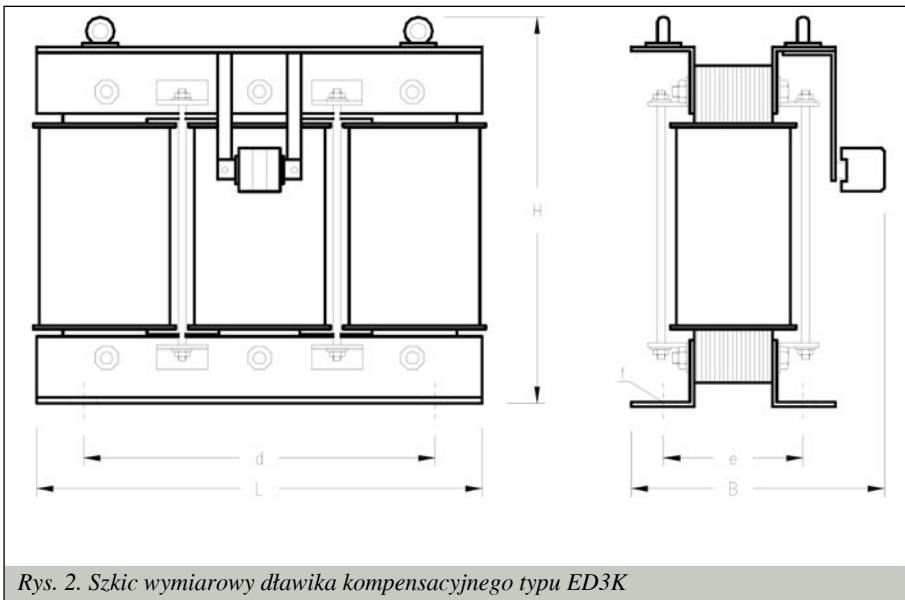
Dławiki kompensacyjne łączone są równolegle z szynami rozdzielni, na których dokonuje się kompensacji mocy

bierniej. Na cewkach dławika występuje zatem pełne napięcie sieciowe. Zmienność wartości napięcia na szynach rozdzielni oraz poziom zawartości wyższych harmonicznych napięcia są ważnymi parametrami sieci, które mają decydujący wpływ na prawidłową pracę dławików kompensacyjnych. Wartość maksymalna napięcia jest proporcjonalna do gęstości strumienia magnetycz-

nego w rdzeniu dławika. Indukcja, przy której pracuje rdzeń dławika, określa tak zwany punkt pracy na charakterystyce magnesowania rdzenia. Przekroczenie wartości znamionowych napięcia sieci (np. 400 V) w miejscu zainstalowania dławików powoduje zwiększenie wartości indukcyjności, przy której pracuje rdzeń, a tym samym niekorzystne przesunięcie punktu pracy dławika w kierunku nasycenia. W skrajnym przypadku taka sytuacja doprowadzi do znacznego zwiększenia prądów płynących w gałęzi kompensacyjnej oraz wywoła dodatkowe straty w samym rdzeniu, co z pewnością spowoduje uszkodzenie termiczne dławika. W celu zabezpieczenia przed takim mechanizmem uszkodzenia przede wszystkim projektuje się dławiki kompensacyjne przy indukcji w rdzeniu dobranej tak, by zapewnić odporność na okresowe wahania napięcia sieci.

Dodatkowym zabezpieczeniem przed skutkami występowania nadmiernych strat jest zastosowanie łącznika bimetalicznego umieszczonego w uzwojeniach dławika. Łącznik dostosowany jest do klasy temperaturowej materiałów izolacyjnych wykorzystanych przy produkcji dławika. Styk bimetaliczny można umieścić szeregowo w obwodzie zasilania cewki stycznika, tworząc proste zabezpieczenie termiczne. Zabezpieczenie takie odłączy dławik kompensacyjny od szyn rozdzielni, gdy temperatura uzwojeń przekroczy dopuszczalną wartość. Łącznik można również umieścić w obwodzie sygnalizacji. Umożliwi to obsłudze rozdzielni usunięcie przyczyn





Rys. 2. Szkic wymiarowy dławika kompensacyjnego typu ED3K

powodujących niekorzystne warunki pracy dławików. Dławiki kompensacyjne typu ED3K wyposażone są w łączniki bimetaliczne.

Rdzeń dławika zbudowany jest z pakietowanych anizotropowych blach transformatorowych M111-35N lub M097-30N. Kolumna rdzenia podzielona jest na kilka segmentów szczelinami powietrznymi. Pozwala to na wymuszenie w miarę równomiernego rozkładu indukcji na całej wysokości kolumny oraz ogranicza straty dodatkowe występujące w uzwojeniach w pobliżu szczelin. Uzwojenia dławików typu ED3K wykonuje się z drutów okrągłych lub profilowych miedzianych, z uwagi na bardzo dobre własności elektryczne i mechaniczne miedzi.

Producentem dławików typu ED3K jest ELHAND TRANSFORMATORY. Dokładnych informacji na temat produkowanych urządzeń udziela dział techniczny firmy. Zamówienia i zapytania techniczne można kierować

do działu obsługi klienta, korzystając z formularzy umieszczonych na stronie internetowej [www.elhand.pl](http://www.elhand.pl) lub telefonicznie. Po uzgodnieniu parametrów technicznych możliwe jest wykonanie dławików kompensacyjnych o dowolnej wartości mocy, dla innych napięć sieciowych oraz umieszczenie ich w obudowie o dowolnym stopniu ochrony.

#### Literatura

- [1]. MAKSYMIAK J.: *Aparaty elektryczne*, WNT, Warszawa 1992.
- [2]. HORAK J.: *Sieci elektryczne – Elementy sieci rozdzielczych*, WPCz, Częstochowa 1992.
- [3]. ŁUKIEWSKI M.: *Dławiki kompensacyjne – „Napędy i Sterowanie”*, nr 06/2001, s. 44–45.
- [4]. *Projekty techniczne dławików ED3K* – Elhand Transformatory.
- [5]. *Kompensacja mocy biernej*, katalog 2001 – Olmex.

## Wydarzenia w firmach

- Grupa LOTOS wprowadziła nowy program LOTOS BIZNES, który obejmuje przede wszystkim duże i średnie firmy posiadające własny transport. Program opiera się na współpracy oraz indywidualnej analizie potrzeb w zakresie optymalizacji kosztów zakupu. Pozwala to na pełną kontrolę kosztów oraz wydatków związanych zarówno z kupnem paliwa, jak i towarów, za co spółka dwa razy w miesiącu wystawi fakturę zbiorczą. Nowo wprowadzona mikroprocesorowa Karta LOTOS BIZNES początkowo będzie akceptowana na stacjach własnych i partnerskich, a w najbliższym czasie ma też zostać wprowadzona na niedawno przejętych stacjach ESSO. Karta jest zabezpieczona specjalnym, poufnym kodem PIN, znanym tylko i wyłącznie jej właścicielowi. Po podpisaniu umowy klient otrzyma kartę kurierem lub osobiście, potwierdzając jej odbiór. Do korzyści płynących z nowego przedsięwzięcia Grupy LOTOS można wliczyć m.in. bezgotówkowy sposób rozliczania transakcji.

dzona mikroprocesorowa Karta LOTOS BIZNES początkowo będzie akceptowana na stacjach własnych i partnerskich, a w najbliższym czasie ma też zostać wprowadzona na niedawno przejętych stacjach ESSO. Karta jest zabezpieczona specjalnym, poufnym kodem PIN, znanym tylko i wyłącznie jej właścicielowi. Po podpisaniu umowy klient otrzyma kartę kurierem lub osobiście, potwierdzając jej odbiór. Do korzyści płynących z nowego przedsięwzięcia Grupy LOTOS można wliczyć m.in. bezgotówkowy sposób rozliczania transakcji.



**wyróżnia nas jakość**

**elhand**   
TRANSFORMATORY

ELHAND TRANSFORMATORY  
PL 42-700 Lubliniec, ul. PCK 22  
tel. +48 34 353 17 10  
tel. +48 34 351 32 20  
fax +48 34 356 40 03  
info@elhand.pl  
www.elhand.pl