

Dławiki współpracujące z energooszczędnymi przemiennikami częstotliwości – cz. I

Igor Morozow, Mirosław Łukiewski

W ostatnim dziesięcioleciu oszczędzanie energii elektrycznej jest jednym z priorytetowych kierunków polityki ekonomicznej wielu krajów. W związku z tym w przedsiębiorstwach przemysłowych szerokie zastosowanie znalazły energooszczędne przemienniki częstotliwości (dalej zwane EPC), które często wykorzystywane są w charakterze regulatorów wydajności siłowni (pomp, wentylatorów, kompresorów itp.). Dla otrzymania maksymalnego energooszczędnego efektu przemienniki częstotliwości trzeba wyposażyć w dławiki. W praktyce przemysłowej często występuje pytanie: kiedy należy zastosować dodatkowe dławiki?

Niniejszy artykuł uogólnia publikacje [1–4], jest również wynikiem 19-letniego doświadczenia autorów we wdrażaniu i eksploatacji przemienników częstotliwości w przedsiębiorstwach przemysłowych. ELHAND TRANSFORMATORY jest producentem dławików, które współpracują z energooszczędnymi przemiennikami częstotliwości. System zarządzania jakością, zgodny z normą ISO-9001, wprowadzony w ELHAND TRANSFORMATORY, gwarantuje najwyższą jakość i powtarzalność parametrów technicznych wytwarzanych dławików.

Rysunek 1 przedstawia typowy schemat układu napędowego (przebiegnik częstotliwości EPC – silnik asynchroniczny SA) z dławikami. W strukturze zestawu napędowego na bazie przebiegnika częstotliwości zwykle znajdują się dławiki: sieciowy ED3N, wygładzający ED1W i silnikowy ED3S.

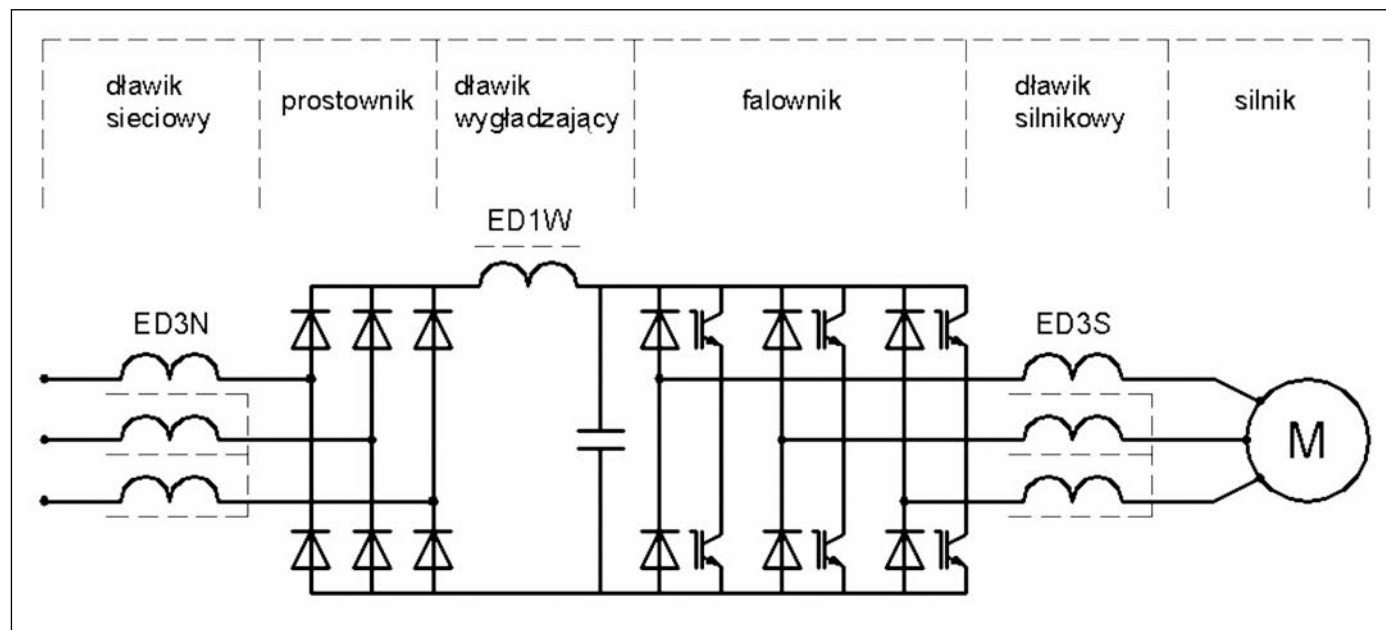
Dławiki sieciowe

Dławik sieciowy typu ED3N jest podłączony do wejścia EPC i stanowi dwustronny bufor między siecią zasilającą a przebiegnikiem częstotliwości. Do podstawowych zadań dławików sieciowych należą:

- poprawa efektu energooszczędności po zastosowaniu przebiegnika częstotliwości drogą powiększenia współczynnika mocy układu napędowego przebiegnik EPC – silnik asynchroniczny SA;
- tłumienie wyższych harmonicznych prądu wejściowego EPC, generatorem których jest niesterowany prostownik przebiegnika częstotliwości;
- wyrównywanie napięć liniowych na wejściu EPC przy zniekształceniach napięcia zasilania;
- tłumienie szybkich zmian napięcia na wejściu EPC (przebiegnia burzowe, komutacja baterii statycznych kondensatorów etc.);
- obniżenie prędkości narastania prądu zwarcia na wyjściu przebiegnika.

Poprawa efektu energooszczędności po zastosowaniu przebiegnika częstotliwości EPC

Przy zasilaniu silników asynchronicznych z sieci przemysłowej jego współczynnik mocy (PF) jest równy $\cos\phi_1$. Sytuacja istotnie pogarsza się, kiedy zasilanie silnika realizuje się przez przebiegnik częstotliwości. Współczynnik mocy (PF) układu napędowego EPC – SA zmniejsza się w porównaniu z $\cos\phi_1$



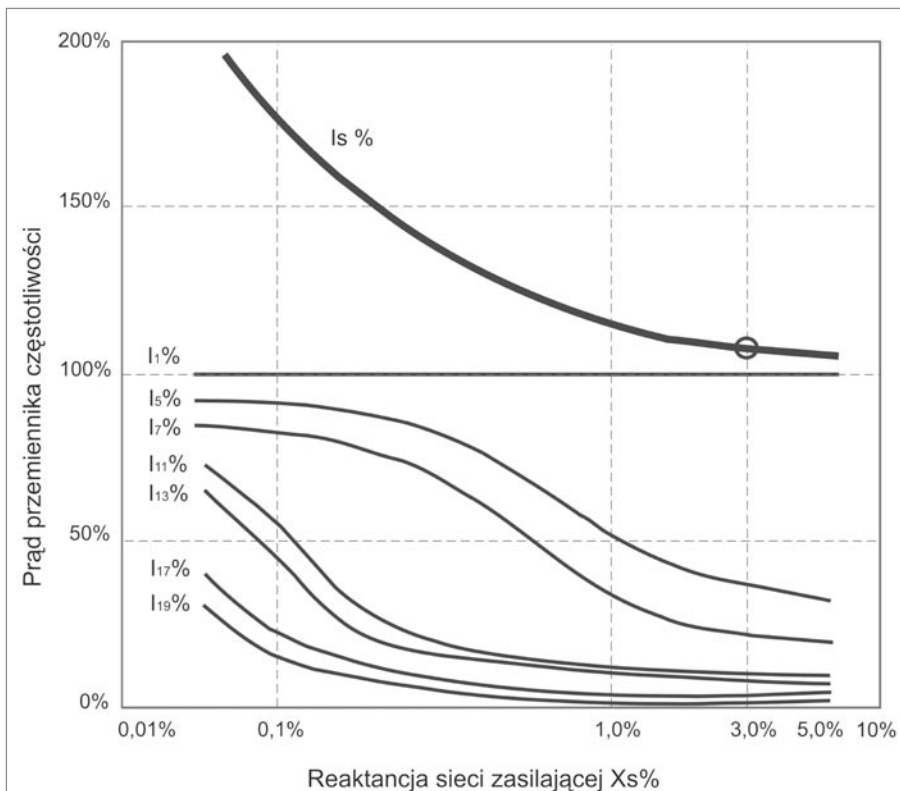
Rys. 1. Schemat przyłączenia energooszczędnego przebiegnika częstotliwości

samego silnika, a to znaczy, że powiększa się moc bierna (Q, kVar) i odpowiednio moc pozorna (S, kVA), pobierana przez układ EPC – SA z sieci zasilania energią elektryczną. Przyczyną tego zjawiska są wyższe harmoniczne prądu, a mianowicie 5, 7, 11, 13, 17, 19 harmoniczne, wytwarzane przez niesterowany prostownik wchodzący w skład przemiennika częstotliwości. To oznacza, że w sieci będą cyrkulować oprócz prądu o częstotliwości podstawowej 50 Hz prądy o częstotliwościach 250, 350, 550, 650, 850, 950 Hz. Zależności (1) i (2) ilustrują negatywny wpływ opisanego zjawiska.

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1}{U_1 \cdot I_S} = \frac{I_1}{I_S} \cdot \cos\varphi_1 \quad (1)$$

$$I_S = \sqrt{\sum_{n=1}^N I_n^2} = \sqrt{I_1^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_{11}^2 + I_{13}^2 + \dots} \quad (2)$$

gdzie:
 PF – współczynnik mocy układu napędowego przemiennik – silnik (EPC – SA);
 P – moc czynna, pobierana z sieci przez układ napędowy EPC – SA;
 S – moc pozorna, pobierana z sieci przez układ napędowy EPC – SA;
 U_1 – wartość skuteczna pierwszej harmonicznej napięcia;
 I_1 – wartość skuteczna pierwszej harmonicznej prądu;
 $\cos\varphi_1$ – współczynnik mocy przy zasilaniu silnika z sieci przemysłowej;
 I_S – wartość skuteczna prądu sumarycznego;
 I_n – wartość skuteczna n-tej harmonicznej prądu.



Rys. 2. Zależność sumarycznego prądu EPC oraz jego harmonicznych składowych od oporności indukcyjnej sieci zasilającej

Z zależności (1, 2) widać, że im większe są wartości skuteczne harmonicznych wyższych, tym gorszy jest współczynnik mocy. Istotnie tłumi wyższe harmoniczne oporność bierna sieci zasilającej, której podstawową składową jest oporność indukcyjna transformatora mocy zasilającego system EPC – SA. Na rys. 2 jest przedstawiona uogólniona zależność wartości składowych harmonicznych i sumarycznego prądu wejściowego układu napędowego EPC – SA od oporności indukcyjnej sieci zasilającej, sprowadzonej do mocy EPC.

Z wykresu widać, że przy oporności indukcyjnej 3% tłumione są w znacznym stopniu wyższe harmoniczne, a wartość skuteczna prądu sumarycznego dąży do wartości prądu podstawowej harmonicznej. W razie przyłączenia do sieci układu napędowego EPC – SA bez dławika sieciowego indukcyjność sieci zasilającej oblicza się z zależności

$$X'_{Tr} \% = u_k \% \cdot \frac{S_{EPC}}{S_{Tr}} \quad (3)$$

gdzie:

$X'_{Tr} \%$ – sprowadzona oporność bierna transformatora (%);
 $u_k \%$ – napięcie zwarcia transformatora (%);
 S_{EPC} – pozorna moc przemiennika częstotliwości, (kVA);
 S_{Tr} – pozorna moc transformatora, (kVA).

Jak widać, im większa moc transformatora zasilającego, w porównaniu z mocą przemiennika częstotliwości, tym niższa jest reaktancja w obwodzie EPC, a zatem tym większe są amplitudy wyższych harmonicznych. Zasilanie systemów napędowych EPC – SA, zwykle realizuje się ze stacji transformatorowych o typowych mocach 1000 kVA lub 1600 kVA. Dla oceny wartości sprowadzonej oporności indukcyjnej tych transformatorów wykorzystamy zależność (3) z uwzględnieniem tego, że napięcia zwarcia równe są 5,05% i 5,09% odpowiednio dla transformatorów 1000 i 1600 kVA. Moce przemienników częstotliwości równe, na przykład, 45 kVA i 69 kVA.

$$X'_{Tr} \% = 0,348\%$$

dla transformatora 1000 kVA

$$X'_{Tr} \% = 0,220\%$$

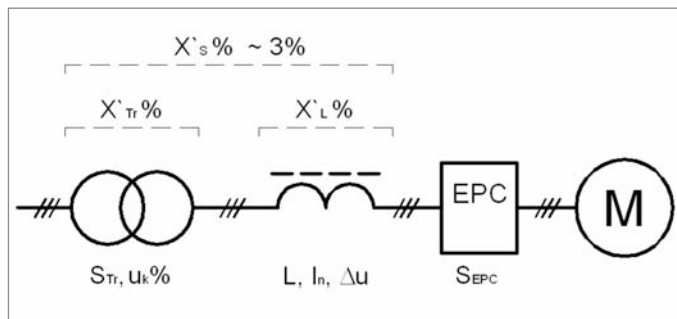
dla transformatora 1600 kVA

Z wykresu 2 możemy odczytać, że przy takich reaktancjach wartości wyższych harmonicznych mają istotne znaczenie oznacza to, że dla ich stłumienia obowiązkowo trzeba wykorzystać dławik sieciowy typu ED3N.

Z ostatnich zależności można wnioskować, że przy niewspółmiernej dużej mocy źródła zasilania układu napędowego EPC – SA oporność bierna transformatora słabo tłumi wyższe harmoniczne. W takich układach obowiązkowe jest wykorzystanie dławików sieciowych. Sumaryczna sprowadzona do mocy EPC oporność bierna transformatora i dławika sieciowego powinna być na poziomie 3%. Dla spełnienia tego warunku trzeba poprawnie wybrać indukcyjność dławika sieciowego.

Obliczanie indukcyjności dławika sieciowego

Aby zrozumieć istotę omawianego zjawiska, zwróćmy się do schematu obliczeniowego, przedstawionego na rys. 3.



Rys. 3. Schemat obliczeniowy dla wyznaczenia sprowadzonej oporności indukcyjnej sieci zasilającej

Sprowadzoną oporność indukcyjną transformatora $X'_{Tr} \%$ wyznaczamy zgodnie z zależnością (3). Sprowadzoną oporność indukcyjną dławika sieciowego $X'_L \%$ określimy następująco (4):

$$X'_L \% = X'_S \% - X'_{Tr} \% = 3\% - X'_{Tr} \% \quad (4)$$

Wartość równoważnej indukcyjności dławika wyrażoną w [mH] można obliczyć wg (5):

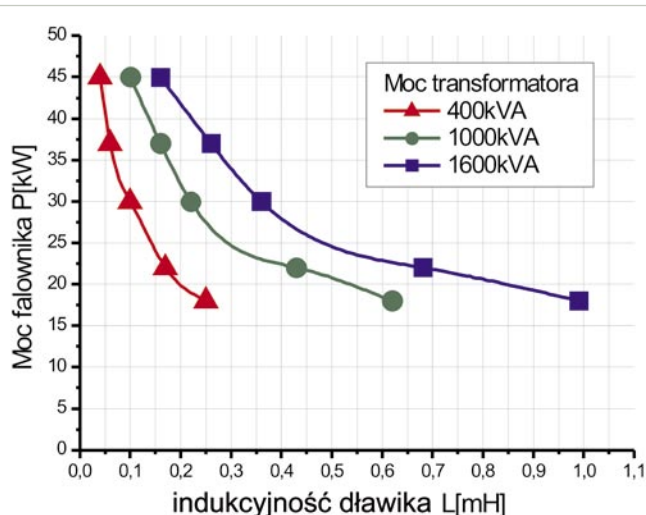
$$L = \frac{X'_L \%}{100} \cdot \frac{\Delta U_L}{\sqrt{3} \cdot I_n} \cdot \frac{1}{314} \cdot \frac{S_{Tr}}{S_{EPC}} \cdot 1000 \quad (5)$$

gdzie:

L – indukcyjność dławika;

ΔU_L – spadek napięcia na oporze indukcyjnym dławika sieciowego przy prądzie znamionowym (3-5% U_n);

I_n – prąd znamionowy przemiennika częstotliwości;



Rys. 4. Wybór indukcyjności sieciowego dławika w zależności od mocy przekształtnika i transformatora

Spadek napięcia na dławiku zaleca się dobierać: dla normalnych sieci – 3%; dla sieci o podwyższonych wymogach – 5%. Na podstawie przedstawionej wyżej metodyki wyboru indukcyjności dławika sieciowego zbudowano poniższe wykresy (rys. 4 i rys. 5).

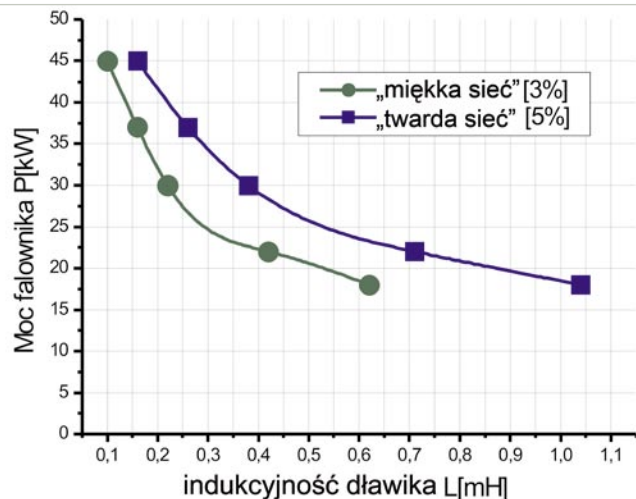
Krzywe na wykresie 4 przedstawiają wymaganą indukcyjność dławika sieciowego, która – jak widać – zmienia się radykalnie w zależności od mocy transformatora.

Literatura

1. Электромгазин, Минск, № 4 (25) от 25 апреля 2003 г., с. 15.
2. Электромгазин, Минск, № 9 (18) от 25 сентября 2002 г., с. 25.
3. Электромгазин, Минск, № 3 (24) от 25 марта 2003 г., с. 17.
4. Новости приводной техники, Москва, №6 (26) июнь 2003.
5. Toshiba inverter VF-P7 series. Instruction manual. Tokyo 105-8001, Japan.
6. Hitachi inverter L300P series. Instruction manual. Tokyo, Japan.
7. Hitachi inverter. Technical guide book. Tokyo, Japan.
8. Mitsubishi transistorized inverter FR-E500. Instruction manual. Japan.
9. Omron 3G3FV/HV – CE inverters. Instruction manual. Japan

Dr inż. Igor Morozow – dyrektor ООО „Optima”
 przedstawiciel ELHAND TRANSFORMATORY,
 na terytorium Republiki Białoruś i Rosyjskiej Federacji
 E-mail: optima@mail.gomel.by
[http:// www.optima.by](http://www.optima.by)

Mirosław Łukiewski – projektant
 w ELHAND TRANSFORMATORY
 E-mail: m.lukiewski@elhand.pl
<http:// www.elhand.pl>



Rys. 5. Wybór indukcyjności dławika sieciowego w zależności od mocy przekształtnika i stabilności sieci zasilającej; moc transformatora 1000 kVA