

**Andrzej Morawski, Robert Skarżyński**  
BIAP, Wrocław

## **PRZEMIENNIKI PRĄDOWE ŚREDNIEGO NAPIĘCIA W POMPOWNIACH DUŻEJ MOCY**

### **MV CURRENT SOURCE CONVERTERS APPLIED TO HIGH POWER PUMPING STATIONS**

**Abstract:** Selected applications of medium voltage frequency converter (MVFC) to pump drives are presented. Two examples of pumps drive application and one fan drive are shown. Type of applied current source frequency converters, basic parameters and main schemes are given. Some remarks and conclusions are enclosed.

#### **1. Rozwój technologii i aplikacji**

Wraz z rozwojem technologii energoelektroniki obszar zastosowania przemienników częstotliwości w napędzie elektrycznym ulega stalemu rozszerzeniu. Przemienniki na napięcie 6kV z modulacją PWM są produkowane od wielu lat, jednak dopiero w początkach obecnego wieku znacząco wzrosła liczba aplikacji tej technologii na świecie. W ciągu ostatnich kilku lat obszar ich zastosowań powiększył się znacznie o zakres średnich mocy od około 400-500kW. Jest to wynik rozwoju technologii przemienników średniego napięcia, zwłaszcza przemienników prądowych z kluczami SGCT, oraz znaczącego obniżenia ceny w stosunku do innych technik regulacji. Napędy regulowane z przemiennikami częstotliwości osiągają najwyższą sprawność energetyczną, co – poza wymaganiami technologicznymi - stanowi obecnie główny atut i powód stosowania tej technologii. Przemienniki średniego napięcia eliminują konieczność stosowania dodatkowych transformatorów i rozdzielnic niskiego napięcia. Wykonane w technice prądowej z kluczami SGCT nie wymagają ochrony elektromagnetycznej (ekranowane kable, silniki przystosowane do zasilania przemiennikowego) oraz, typowo, nie wprowadzają do sieci zasilającej istotnych składowych harmonicznych.

Obszar zastosowań przemienników średniego napięcia obejmuje w największym stopniu napędy pomp i wentylatorów średniej i dużej mocy. Poniżej przedstawiamy kilka przykładów zastosowań przemienników średniego napięcia (PSN) w wykonaniu prądowym do napędów

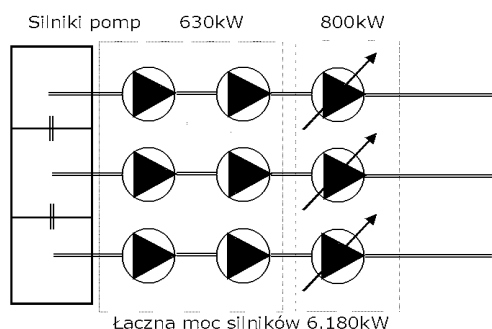
pomp i wentylatorów o mocach od 400 do ok. 800kW.

#### **2. Zastosowanie przemienników dużej mocy**

W pompowniach szlamów do regulacji wydatku pomp stosowano dotychczas przemienniki niskiego napięcia. Wraz ze wzrostem mocy napędów, analizy techniczne i ekonomiczne wykazują większą atrakcyjność przemienników średniego napięcia. Zarazem utrwaliła się tendencja stałego obniżania dolnej granicy mocy napędu opłacalnego stosowania technologii przemienników średniego napięcia, bez transformacji. Koszt budowy i wyposażenia pompowni jest mniejszy, a sprawność układu napędowego wyższa.

##### **2.1. Przykład 1**

Zmodernizowana pompownia szlamów jest wyposażona w trzy układy pompowe, z których dwa pracują ciągle, trzeci stanowi rezerwę. Każdy zestaw pompowy składa się z trzech pomp, dwie o mocy 630kW, jedna o mocy 800kW. Trzecia pompa od strony napływu z silnikiem o mocy 800kW jest regulowana przez przemiennik prądowy 6kV/105A, silniki dwóch następnych pomp o mocy 630kW każdy, są zasilane bezpośrednio z sieci. Łączna moc zainstalowanych napędów wynosi 6,18 MW. Schemat połączeń technologicznych pokazano na rysunku 1.

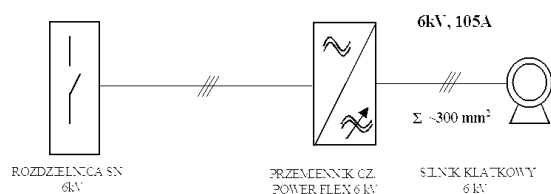


Rys. 1. Schemat połączeń technologicznych w pompowni szlamów

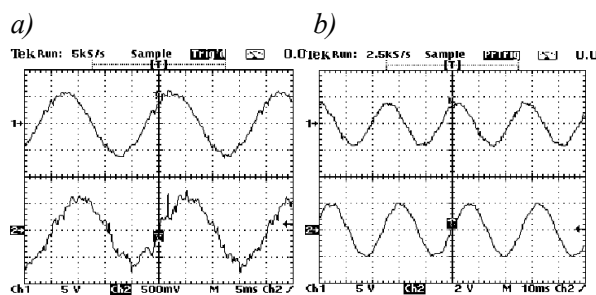
Zastosowano przemienniki prądowe z transformatorem separującym (6/6kV) od strony zasilania przemiennika, zasilane wprost z rozdzielni SN 6kV w sieci IT (rys.2).

Przemienniki w wersji Active Front End są wyposażone w prostowniki sterowane z modulacją PWM. Układ sterowania i zabezpieczeń przemiennika kontroluje stan izolacji przemiennika i zasilanego silnika. Powierzchnia zabudowy jednego przemiennika nie przekracza 2,7m<sup>2</sup>. Pomieszczenie z przemiennikami jest zamknięte i klimatyzowane. Pompownia pracuje ponad dwa lata.

W sieci SN zasilającej przemienniki i silniki pompowni występują widoczne zakłócenia harmoniczne, charakterystyczne dla napędów tyrystorowych dużej mocy, pochodzące od innych urządzeń. Porównując przebiegi napięcia i prądu silników zasilanych bezpośrednio z sieci i poprzez zastosowane przemienniki, stwierdzono, że przebiegi w układzie zasilania przemiennikowego są bliższe sinusoidy od przebiegów przy zasilaniu sieciowym. Typowy przebieg prądu i napięcia silnika pokazano na rys.3



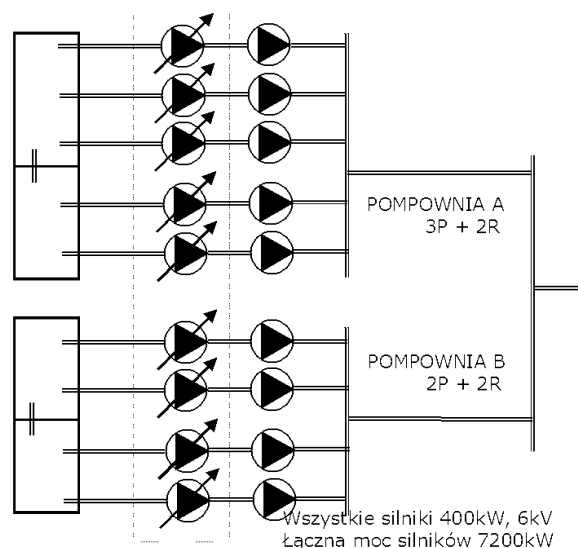
Rys. 2. Schemat układu zasilania silnika z przemiennikiem częstotliwości typu prądowego



Rys. 3. Przebiegi napięcia (1) i prądu (2) zasilania przemiennika (a) i silnika (b) w układzie jak na rys. 2

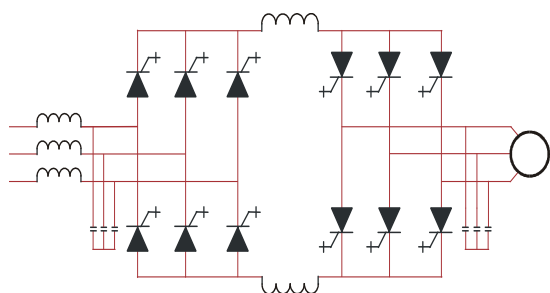
## 2.2. Przykład 2

Inna pompownia zawiera pięć zestawów pompowych podzielonych na dwie sekcje. Każdy zestaw pompowy składa się z połączonych szeregowo dwóch pomp, z których pierwsza w kolejności przepływu wyposażona jest w napęd regulowany z przemiennikiem prądowym średniego napięcia. Moc każdego silnika wynosi 400kW. Całkowita moc zainstalowanych napędów to 7,2MW. Układ połączeń pomp przedstawia rys. 4. Pompownia jest modernizowana w ruchu ciągłym etapami i obecnie znajduje się w fazie uruchamiania ostatnich zestawów pomp. Nie stwierdzono jakiegokolwiek oddziaływania pracy przemienników na sieć zasilającą i emisji zakłóceń elektromagnetycznych.



Rys. 4. Schemat połączeń technologicznych pompowni

Odwrotnie, uruchomione przemienniki prądowe, poprzez własne układy pomiarów i zabezpieczeń, wykryły szkodliwe zakłócenia w sieci zasilającej, które nie były dotąd znane. Usunięcie tych zakłóceń wpłynie na poprawę warunków pracy wielu urządzeń.



Rys 5. Schemat zastosowanego przemiennika prądowego

### 2.3. Przykład 3

Podobnym przykładem zastosowania przemienników częstotliwości średniego napięcia do napędu o zmiennym momencie jest napęd wentylatora dużej mocy. Modernizacja układu napędu i sterowania wentylatora ma na celu zastąpienie regulacji dławieniem strumienia przepływu powietrza przez regulację prędkości wentylatora. Wcześniej zaprojektowano nowy układ napędowy z przemiennikiem niskiego napięcia, zakładając budowę kontenera transformatorowego oraz wymianę silnika i kabli silnika. Po zmianie projektu w wyniku analizy techniczno-ekonomicznej, zastosowano przemiennik częstotliwości typu prądowego na napięcie 6kV do istniejącego silnika o prądzie znamionowym 83A. Zastosowany przemiennik prądowy zasila stary silnik poprzez dotychczas używane kable silnika. Wybrano wersję wykonania przemiennika z transformatorem separującym, jak w przykładzie 1. Wersja z transformatorem jest korzystna w tym zastosowaniu z powodu wymagania ciągłej pracy wentylatora przy ciągłym doziemieniu jednej fazy w sieci zasilającej przemiennik.

Modernizację ograniczono do przystosowania pomieszczenia rozdzielni 6kV do zabudowy przemiennika: zwiększenie wytrzymałości stropu (masa około 3,5t) oraz zwiększenia intensywności wentylacji rozdzielni.

Efektom modernizacji jest zaoszczędzenie dużej ilości energii oraz poprawa jakości regulacji przepływu przy minimalnych zmianach w modernizowanym układzie napędowym.

### 3. Zjawiska uboczne i sposób rozwiązania

Pomimo znanych właściwości przemienników prądowych, istniały obawy o wystąpienie efektów ubocznych w postaci wpływu na sieć zasilającą i inne urządzenia w efekcie łącznego oddziaływania wielu pracujących przemienników.

Wykonano monitorowanie przebiegów elektrycznych zasilania układów napędowych oraz przebiegów zasilania silnika i temperatury silnika oraz obserwowano ewentualne zakłócenia łączności. Nie stwierdzono żadnego niepożądanego wpływu zamontowanych przemienników na inne urządzenia zasilane z tej sieci, ani na urządzenia pracujące w pobliżu przemienników.

### 4. Technika prądowa i rozwiązanie problemów eksploatacji

Odmienność konstrukcyjna przemienników prądowych powoduje inny sposób ich serwisowania. Przemienniki te nie posiadają kondensatorów elektrolitycznych w pośredniczącym obwodzie prądu stałego które "wysychają" i muszą być wymieniane po kilku latach eksploatacji oraz muszą być formowane po dłuższych czasach postoju beznapięciowego. W przemienniku prądowym energia gromadzona jest w dławikach; dławiki nie zmieniają swoich parametrów w czasie i nie ma potrzeby ich obsługi i wymiany. Dławik w obwodzie pośredniczącym czyni przemiennik niewrażliwym na zwarcia po stronie silnikowej. Nie stwierdzono w uruchomionych układach napędowych występowania zakłóceń elektromagnetycznych, co jest wynikiem małej stromości zmian napięcia. Efekty większego grzania silnika i kabli są pomijalnie małe w wyniku małej zawartości harmonicznych w prądzie i napięciu w zastosowanych rozwiązaniach przemienników Active Front End, z prostownikiem z modulacją szerokości impulsów. Zastosowano zwykłe kable silnikowe bez efektu emisji zakłóceń. Długość kabli wynosi do 300m bez dodatkowego wyposażenia przemiennika i bez utraty sterowania wektorowego (długość kabli silnika w przemienniku prądowym jest nieograniczona).

## 5. Podsumowanie

Wszystkie wyżej wymienione cechy przemienników prądowych sprawiają, że skutecznie konkurują one z rozwiązaniami przemienników napięciowych w zastosowaniu do napędów dużej mocy. Coraz większe grono użytkowników oraz coraz szerszy zakres zastosowań powodują dynamiczny rozwój tej technologii. Aplikacje tych przemienników, w tym wymienione wyżej, potwierdzają spodziewane korzyści wyboru tej techniki wykonania napędów. Potwierdzono niską zawartość harmoniczných w prądzie silnika oraz nie zaobserwowano wzrostu strat mocy w silnikach. Nie stwierdzono obserwowalnego wzrostu zawartości harmoniczných w rozdzielniach zasilających pompownie. Nie wystąpiły zakłócenia elektromagnetyczne, pomimo stosunkowo długich połączeń kablowych kablami nieekranowanymi. Potwierdzono niezawodność pracy przemienników w trudnym środowisku przemysłowym.

### Autorzy

dr inż. Andrzej Morawski  
andrzej.morawski@biap.com.pl

inż. Robert Skarżyński  
robert.skarzynski@biap.com.pl

Centrum Napedowe  
BIAP Sp. z o.o.  
ul. Muchoborska 16  
54-424 Wrocław