

**Tomasz Kubera**  
PKN Orlen S.A., Płock

## WPLYW TOPOLOGII OBWODU WEJŚCIOWEGO PRZEMIENNIKA CZĘSTOTLIWOŚCI DUŻEJ MOCY NA PARAMETRY MOCY POBIERANEJ Z SIECI ZASILAJĄCEJ

### INFLUENCE OF THE HIGH POWER FREQUENCY CONVERTER INPUT PART ON CONSUMING POWER PARAMETERS

**Abstract:** Nowadays in Industry we observe commonly implemented 6, 12, 18 pulse topologies for input units of High Power Frequency Converters. Also more and more we can meet Active Front End solutions with active rectifier unit. In this article we show diagrams of recorded input currents and input voltages flows for 6,12,18 pulse and AFE input topologies of similar nominal power frequency converters (ca 800kW drives for water pumps). Recordings have been made in real industrial circumstances at different load steps to perform THDI distortion factor calculations. We expect, that results of these calculations will allow us to decide , what topology should be recommended for new High Power Variable Speed Drive solutions.

#### 1. Wstęp

W przemyśle powszechnie stosuje się obwody wejściowe przemienników dużej mocy w topologiach: 6-pulsowe, 12-pulsowe, 18-pulsowe. Coraz częściej stosuje się również przemienniki z aktywnym prostownikiem wejściowych (tzw. AFE). W artykule zostały przedstawione rejestracje przebiegów prądów i napięć zasilających przemienniki częstotliwości zbliżonych mocy (około 800kW) we wszystkich wymienionych powyżej topologiach układów wejściowych. Rejestracje dokonano w rzeczywistych warunkach przemysłowych przy różnych obciążeniach maszyn roboczych (we wszystkich przypadkach są to pompy wody). Na tej podstawie zostały wyliczone współczynniki odkształceń THDI.

Efekty tych badań i pomiarów miały dać odpowiedź na jaką topologię warto stawiać przy wyborze dalszych aplikacji napędów dużej mocy z regulowanymi obrotami.

Wszystkie pomiary wykonywane były w trzech fazach a podane w artykule wartości są uśrednione. Pomiary w poszczególnych fazach niewiele odbiegały od siebie i uśrednienie wyników nie ma wpływu na ocenę i porównanie rozwiązań.

Układy napędowe 6-cio pulsowy, 12-to pulsowy oraz PWM są zainstalowane i pracują w ruchu ciągłym na terenie PKN ORLEN SA, a układ 18-to pulsowy jest zainstalowany na innym obiekcie przemysłowym.

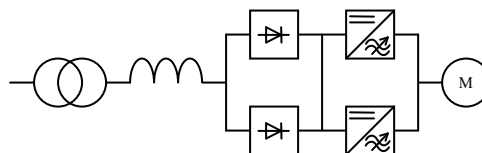
#### 2. Opis badanych układów napędowych

##### 2.1 Układ napędowy z prostownikiem 6-cio pulsowym

Powyższy układ składa się z:

- transformatora suchego żywicznego 1MVA 6/0,69kV,
- przemiennika częstotliwości 800kW, 690V,
- silnika 750kW, 690V.

Jest to stary układ napędowy pompy CO niedawno zmodernizowany ze względu na bardzo zawodny przemiennik częstotliwości. Zakres modernizacji ze względów ekonomicznych ograniczył się jedynie do wymiany przemiennika częstotliwości na nowy. Przemiennik składa się z dwóch modułów jednak ze względu na stary dwuuzwojeniowy transformator, oba moduły zasilane są z tego samego uzwojenia wtórnego transformatora. Producent tego przemiennika standardowo wyposaża je w dławiki AC na zasilaniu.



Rys. 1. Schemat układu napędowego przemiennika częstotliwości z 6-cio pulsowym układem wejściowym

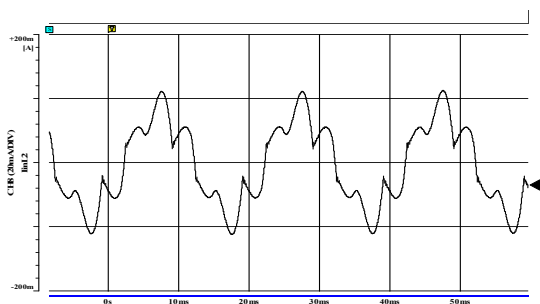
Jest to układ napędowy z najprostszym z badanych obwodem wejściowym. W związku z tym spodziewamy się najgorszych wyników pomiarów (największych odkształceń prądów pobie-

ranych z sieci). Dla układów 6-cio pulsowych bez dławików AC na zasilaniu THDI może znacznie przekraczać 100% przy małym obciążeniu.

W tabeli nr 1 zostały przedstawione wyniki pomiarów prądów i ich odkształcenia po stronie napięcia zasilającego (6kV) dla układu 6-cio pulsowego.

Tabela 1. Zależność odkształcenia prądu pobieranego z sieci od obciążenia przemiennika dla układu 6-cio pulsowego

Lp.	I [A]	THDI
1	16	59
2	23	60
3	38	47
4	50	38
5	63	33



Rys. 2. Oscylogram prądu pobieranego z sieci przez przemiennik z prostownikiem 6-cio pulsowym dla obciążenia 63A

Wyniki jak dla układu 6-cio pulsowego są dobre ze względu na stosowanie przez producenta w standardzie dławików AC na zasilaniu przemiennika.

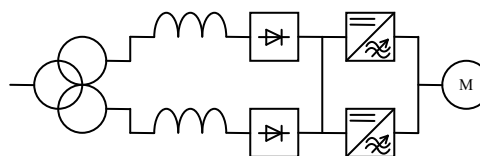
## 2.2 Układ napędowy z prostownikiem 12-to pulsowym

Badany układ 12-to pulsowy jest topologicznie bardzo podobny do wyżej omówionego układu 6-cio pulsowego. Jediną różnicą jest zasilanie dwóch modułów przemiennikowych z oddzielnych uzwojeń transformatora trójzwojowego. Układ napędza pompę wody na Bloku Wodnym. Producent przemiennika ten sam dla układu 6-cio i 12-to pulsowego, a w związku z tym również układ 12-to pulsowy był wyposażony w dławiki AC na zasilaniu.

Układ 12-to pulsowy składa się z:

- transformatora suchego żywicznego 1MVA 6/2x0,69kV,
- przemiennika częstotliwości 800kW, 690V,
- silnika 750kW, 690V.

Układ napędowy był modernizowany w całości. Przed modernizacją regulacja odbywała się na zasuwach.



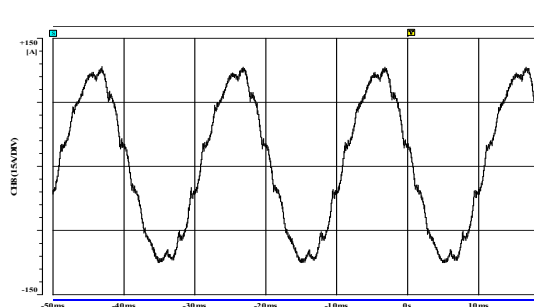
Rys. 3. Schemat układu napędowego przemiennika częstotliwości z 12-to pulsowym układem wejściowym

Dla układów napędowych 12-to pulsowych rozbieżności między producentami przemienników w odkształceniach prądów pobieranych z sieci są bardzo duże i wynikają m.in. z doboru transformatorów oraz doboru lub braku dławików wejściowych.

W tabeli nr 2 zostały przedstawione wyniki pomiarów prądów i ich odkształcenia po stronie napięcia zasilającego (6kV) dla układu 12-to pulsowego.

Tabela 2. Zależność odkształcenia prądu pobieranego z sieci od obciążenia przemiennika dla układu 12-to pulsowego

Lp.	I [A]	THDI
1	16	18
2	23	13,2
3	38	10,8
4	50	8,4
5	63	7,7
6	80	7,1



Rys. 4. Oscylogram prądu pobieranego z sieci przez przemiennik z prostownikiem 12-to pulsowym dla obciążenia 80A

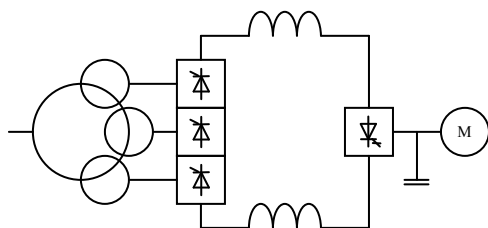
## 2.3 Układ napędowy z prostownikiem 18-to pulsowym [1]

Układ 18-to pulsowy jako jedyny z omawianych nie jest eksploatowany w PKN ORLEN SA lecz w Elektrociepłowni na terenie Polski. Ma też większą od innych omawianych w tym

artykule moc znamionową (moc silnika 1250kW). Przemiennik ten jest przemiennikiem z pośrednim obwodem prądowym (a nie jak w większości rozwiązań napięciowym) i falownikiem na napięciu 6kV. Półprzewodnikami mocy w tym przemienniku są tyrystory SCR.

Układ 18-to pulsowy składa się z:

- transformatora czterouzwojeniowego 6/3x2, 2kV,
- przemiennika częstotliwości 1250kW, 6kV,
- silnika 1250kW, 6kV.



Rys. 5. Schemat układu napędowego przemiennika częstotliwości z 18-to pulsowym układem wejściowym

Przedstawiony powyżej układ praktycznie zastosowała jedna firma na świecie (zarówno przemiennik prądowy jak i układ 18-to pulsowy). Większość producentów proponuje falowniki napięciowe, a ilość pulsów standardowo jest parzystą wielokrotnością sześciu (12, 24, 36)

Mimo, iż prezentowany układ jest bardzo specyficzny, to jest przez producenta produkowany od wielu lat i został dobrze dopracowany, co potwierdzają wyniki pomiarów odkształceń prądów pobieranych z sieci (tabela 3).

Tabela 3. Zależność odkształcenia prądu pobieranego z sieci od obciążenia przemiennika dla układu 18-to pulsowego

Lp.	I [A]	THDI
1	16	13,5
2	23	12,1
3	38	11,3
4	50	10
5	63	8,6

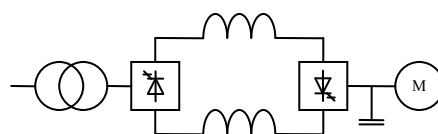
#### 2.4 Układ napędowy z prostownikiem 6-cio pulsowym PWM

Układ z prostownikiem PWM jest eksploatowany w Zakładzie Elektrociepłowni PKN ORLEN SA jako napęd pompy członu ciepłowniczego. Układ ten został wybrany z następujących przyczyn:

- brak konieczności wymiany silnika i kabli zasilających,
- bardzo małe gabaryty urządzenia,
- bardzo prosta sprzętowo konstrukcja urządzenia,
- napęd o niższej randze technologicznej umożliwia testowanie nowego rozwiązania z myślą o jego ewentualnym zastosowaniu do pomp wody zasilającej.

Układ z prostownikiem PWM składa się z:

- transformatora suchego żywicznego dwuuzwojeniowego 6/6,3kV separującego 1000kVA,
- przemiennika częstotliwości 800kW, 6kV,
- starego silnika 800kW, 6kV.

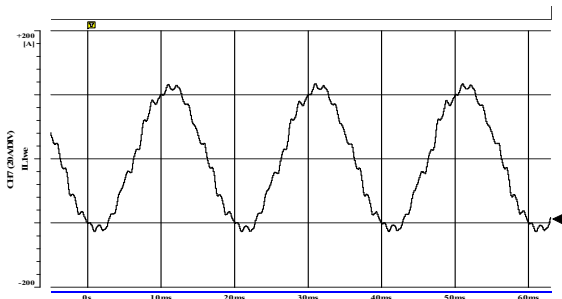


Rys. 6. Schemat układu napędowego przemiennika częstotliwości z układem wejściowym PWM

Przedstawiony powyżej układ jest wytwarzany wg wiedzy autora tylko przez jedną firmę na świecie (ten sam producent układu 18-to pulsowego i z prostownikiem PWM). Przedstawione na rysunku 4 rozwiązanie jest sprzętowo najprostsze ze wszystkich omawianych. Producent podaje również bardzo niską zawartość wyższych harmonicznych w prądzie pobieranym z sieci (THDI<5% dla 100% obciążenia). Deklarowane przez producenta odkształcenia są w zasadzie spełnione (wynik pomiarów THDI=5,3% dla 100% obciążenia) jednak charakterystyka THDI bardzo zależna od obciążenia w porównaniu do układów wielopulsowych. Przez to przy niewielkich obciążeniach odkształcenie prądu dla układu PWM jest dużo większe niż dla układów wielopulsowych, co zostało przedstawione w tabeli 4.

Tabela 4. Zależność odkształcenia prądu pobieranego z sieci od obciążenia przemiennika dla układu z prostownikiem PWM

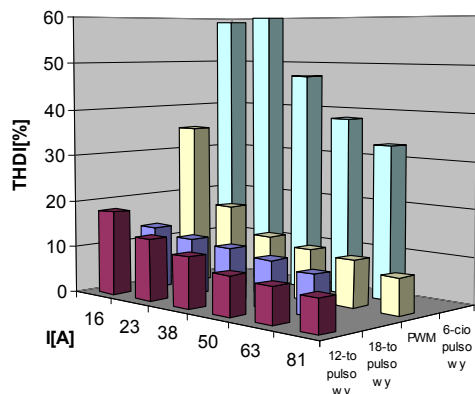
Lp.	I [A]	THDI
1	16	35
2	23	18
3	38	12,5
4	50	11
5	63	10
6	81	7,8



Rys. 7. Oscylogram prądu pobieranego z sieci przez przemiennik z prostownikiem PWM dla obciążenia 81A

### 3. Porównanie przedstawionych topologii

W porównaniu zdecydowanie najgorzej wypada układ 6-cio pulsowego prostownika diodowego. Wg nowych norm [2] rozwiązanie to nie będzie nadawało się do zastosowań dla mocy powyżej 100kVA. Rozwiązanie 12-to pulsowe i 18-to pulsowe wykazuje się bardzo zbliżonym poziomem odkształceń THD prądu pobieranego z sieci. Największym zaskoczeniem i powodem do długich dyskusji z producentem jest zachowanie prostownika PWM przy zmniejszaniu obciążenia. Tylko przy obciążeniu znamionowym układ z prostownikiem PWM ma niższe odkształcenia niż układy 12-to i 18-to pulsowe. Porównanie przeprowadzonych pomiarów najlepiej obrazuje rysunek 5.



Rys. 5. Charakterystyki odkształcenia prądu pobieranego z sieci 6kV przez napędy przekształtnikowe o różnej topologii układów wejściowych

### 4. Wnioski

- Układów prostowników 6-cio pulsowych nie należy stosować do napędów dużej mocy ze względu na bardzo wysoki poziom odkształceń prądu pobieranego z sieci.
- Układy prostowników wielopulsowych 12-to i 18-to pulsowe mają akceptowalny

poziom odkształceń dla zastosowań dużej mocy. Dla pomp wody zasilającej (moce 3-4MW) występują już rozwiązania z prostownikami 36-cio pulsowymi charakteryzujące się zdecydowanie niższymi odkształceniami od prezentowanych,

- Badany układ z prostownikiem PWM ma bardzo niski poziom odkształceń prądu pobieranego z sieci tylko dla obciążeń bliskich 100%. Dla mniejszych obciążeń odkształcenia te są zdecydowanie wyższe niż w układach wielopulsowych.
- Kupując układ napędowy przekształtnikowy do regulacji prędkości przewidujemy pracę głównie w obszarze obciążeń dużo mniejszych od 100%. Wybór przemiennika przy podanych jego parametrach tylko dla obciążenia 100% jest nieporozumieniem, ponieważ przy takich parametrach układ będzie pracował niezwykle rzadko lub nigdy. Należy żądać od producentów podania parametrów technicznych urządzenia w całym przewidywanym dla danej aplikacji zakresie regulacji mocy.

### 5. Literatura

- [1]. „Badanie eksploatacyjne przemiennika częstotliwości serii 1557 pod względem oddziaływania na sieć zasilającą i silnik oraz określenie napięcia i prądu wałowego silnika w układzie pompowym w Zespole Elektrowni OSTROŁĘKA S.A. w Ostrołęce”, Zbigniew Szulc, Jerzy Przybylski. Praca dla przemysłu ISEP-PW 2001.
- [2]. PN-EN 50160:1999.
- [3]. Pomiary eksploatacyjne napędów przekształtnikowych, Tomasz Kubera PKN ORLEN SA 2007-2008.

### Autor

Tomasz Kubera  
 Specjalista, Zakład Elektrociepłowni  
 Polski Koncern Naftowy ORLEN S.A.  
 tel.: (24) 365 23 96, fax: (24) 365 41 35,  
 tel. kom.: 0605 190 789  
 e-mail: Tomasz.kubera@orlen.pl