

MODEL I BADANIA SYMULACYJNE MODUŁOWEGO 12-PULSOWEGO PROSTOWNIKA PODSTACJI TRAKCYJNEJ Z 6-PULSOWYMI PROSTOWNIKAMI DIODOWYMI STOSOWANYMI W PRZEMYSŁOWYCH PRZEMIENNIKACH CZĘSTOTLIWOŚCI.

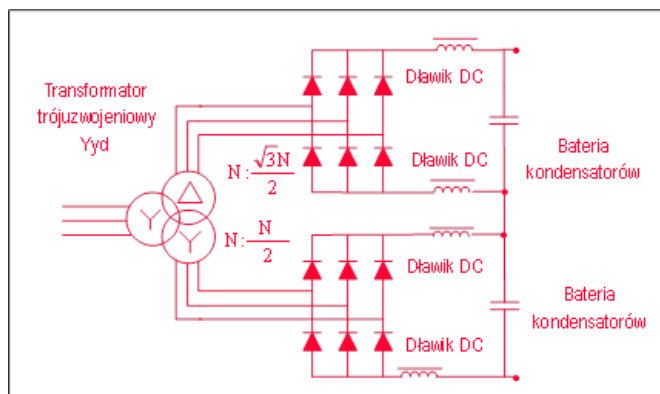
Streszczenie

W artykule przedstawione są wyniki badań symulacyjnych modelu nowego typu prostownika 12 pulsowego dla podstacji trakcyjnej napięcia stałego 3kV. W zaproponowanych prostowniku wykorzystywane są moduły diodowych prostowników 6 pulsowych z baterią kondensatorów, które są stosowane w napędowych przemiennikach częstotliwości. Nowy typ prostownika trakcyjnego cechuje się małą wartością zastępczą impedancji wyjściowej. Przeprowadzone badania komputerowe modelu prostownika trakcyjnego wykazały dużą stabilność uzyskanego napięcia stałego i pomijalnie małą zawartość przemiennego napięcia zaburzającego w napięciu stałym prostownika

1. MODUŁOWY PROSTOWNIK 12 PULSOWY DLA PODSTACJI TRAKCYJNEJ

Szybki rozwój energoelektroniki przemysłowej daje możliwości zastąpienia tradycyjnych rozwiązań nie tylko w napędach elektrycznych, lecz także w elektroenergetyce. Propozycja modułowego prostownika dla podstacji trakcyjnej jest pomysłem, w którym wykorzystywane są niskonapięciowe diodowe prostowniki 6 plusowe z baterią kondensatorów i układem ich wstępnego ładowania. To rozwiązanie diodowych prostowników 6 plusowych jest powszechnie stosowane jako wejściowy układ mocy w przemysłowych przemiennikach częstotliwości do napędu silników prądu przemiennego.

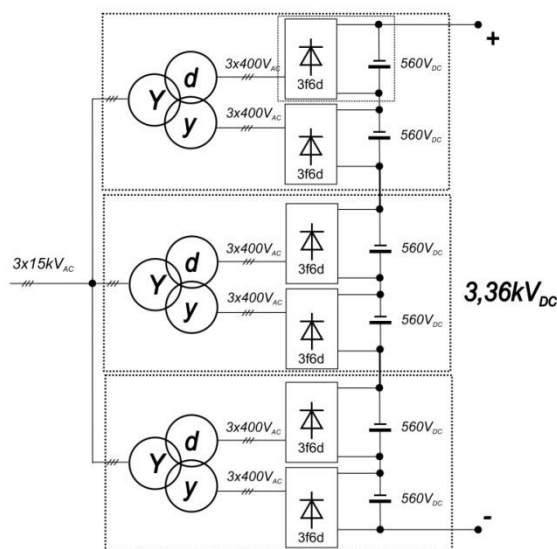
Idea budowy modułowego prostownika 12 plusowego podstacji trakcyjnej napięcia stałego 3kV polega na wykorzystaniu prostowników wejściowych przemysłowych przemienników częstotliwości, które zgodnie ze schematem na z rys. 1.1, mają szeregowo połączone baterie kondensatorów i są zasilane z transformatorów trójzwojennych typu Yyd. Do zasilania przekształtników zwykle stosuje się bezobsługowe transformatory suche dostosowane do zwiększonych start cieplnych, natomiast w tradycyjnych podstacjach trakcyjnych są stosowane energetyczne transformatory olejowe.



Rys.1.1. Moduł prostownika 12 pulsowego z biegunem dodatnim i ujemnym baterii kondensatorów połączonymi z prostownikami 6 pulsowymi.

Wykorzystując prostowniki wejściowe przemienników częstotliwości o mocy jednostkowej 500kW i napięciu zasilania 3x400V/50Hz,

które można połączyć jak na schemacie wg rys.1.2, uzyskamy prostownik 12 pulsowy o napięciu nominalnym 3,36kV i mocy nominalnej 3MW [1].



Rys.1.2. Prostownik trakcyjny 12 pulsowy zbudowany z modułów prostowniczych występujących w przemysłowych przemiennikach częstotliwości [1].

2. MODEL OBWODOWY MODUŁU PROSTOWNIKA 12-PULSOWEGO DO BADAŃ SYMULACYJNYCH

Model prostownika 12 pulsowego zbudowano wykorzystując moduły 6 pulsowe prostowników stosowanych w napędowych przemiennikach częstotliwości [2] i jest przedstawiony na rys.2.1. Dwa trójfazowe źródła napięciowe 3x400V/50Hz odwzorowują uzwojenia y i d transformatora Yyd.

Wypadkowy spadek napięcia fazowego ΔU_{fN} na zaciskach zasilania prostowników podstacji nie zależy od wartości indukcyjności L dławików DC. Spadek napięcia fazowego ΔU_{fN} na zaciskach prostowników zależy jedynie od indukcyjności fazowej transformatora (w modelu z rys. 2.1 przyjęto $L_T = 12,5\mu H$) i dla nominalnej wartości skutecznej harmonicznej podstawowej prądu fazowego transformatora wynosi [3,4]:

$$\begin{aligned} \Delta U_{fN} &= I_{LN} \times X_L \cong 880A \times 314 \times 25 \times 10^{-6}H \\ &= 6.9V \approx 3\%U_{fN} \end{aligned} \quad (2.1)$$

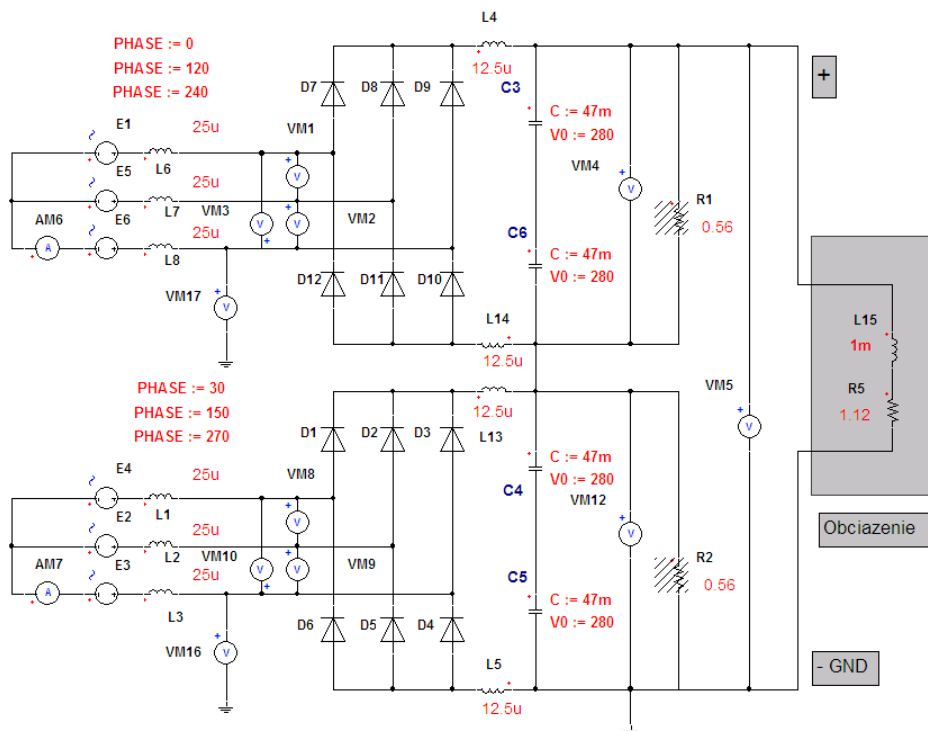
Przy przyjętej wartości indukcyjności fazowej transformatora $L_{AC} = 25\mu H$ i indukcyjności dławików DC po stronie napięcia stałego prostownika $L_{DC} = 2 \times 25\mu H = 50\mu H$, otrzymujemy odpowiednio $L_{AC} = 3\%$ i $L_{DC} = 6\%$, dla takich indukcyjności występuje tłumienie harmonicznych prądu w uzwojeniach dolnych transformatora Yyd do wartości ok. 31% dla nominalnych obciążeń prostowników 6 pulsowych [3].

Pojemność baterii kondensatorów dla prostowników 6 pulsowych C_{Bi} została dobrana wg zaleceń stosowanych dla napędowych przemienników częstotliwości o napięciu zasilania $3 \times 400V$ [2], tj. $C_{Bi} = I_N \times 53\mu F/A = 880A \times 53\mu F/A \approx 47mF$. Stąd wypadkowa pojemność baterii kondensatorów dla 12 pulsowego prostownika o napięciu $3,36kV$ wynosi: $C_{p12} = C_{Bi} : 6 = 7,8mF$.

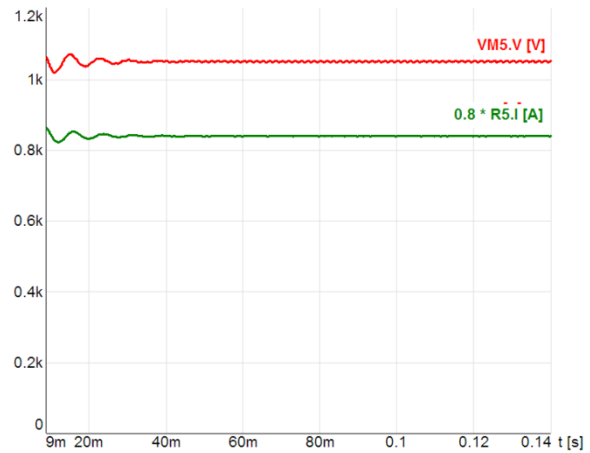
Układ wstępnego ładowania kondensatorów nie jest odwzorowany w badanym modelu z rys.2.1. W modelu symulacyjnym przyjęto, że baterie kondensatorów 6 pulsowych prostowników są wstępnie naładowane do napięcia początkowego o wartości $280V$. Układ wstępnego ładowania baterii kondensatorów nie jest analizowany w tym artykule.

3. BADANIA SYMULACYJNE MODUŁU PROSTOWNIKA 12 PULSOWEGO

W komputerowych badaniach symulacyjnych zastosowano specjalistyczne oprogramowanie Simplerer [5]. Przy przyjętych wartościach elementów elektrycznych w modelu prostownika trakcyjnego przedstawionego na rys.2.1, napięcie modułu 12 pulsowego z uwzględnieniem stanów przejściowych występujących po dołączeniu prostownika do sieci zasilania przedstawiono na rys.3.1.



Rys. 2.1. Model modułowego trakcyjnego 12 pulsowego prostownika trakcyjnego o małej impedancji zwarciowej i wstępnie naładowanym kondensatorami elektrolitycznymi.

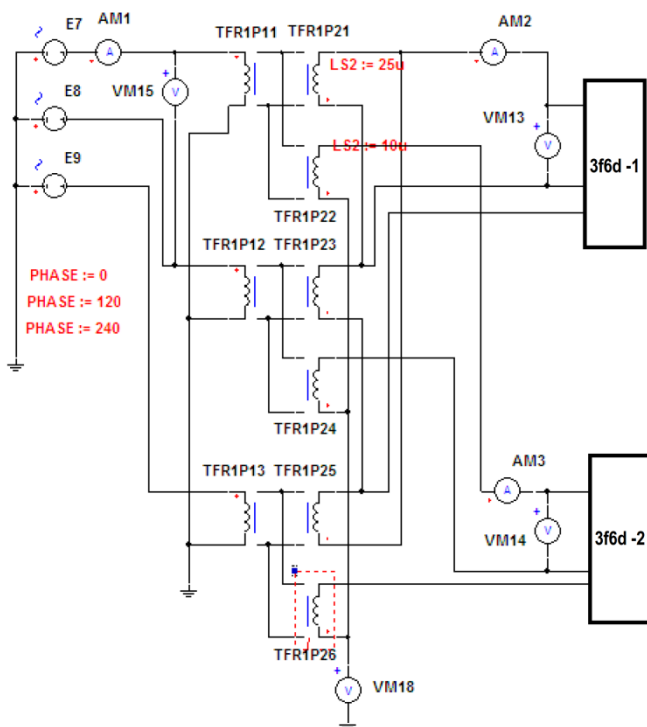


Rys.3.1. Przebiegi napięcia wyprostowanego U_{Ni-DC} i prądu modułu prostownika 12 pulsowego obciążonego nominalnie $I_{Ni-DC} = 1kA$

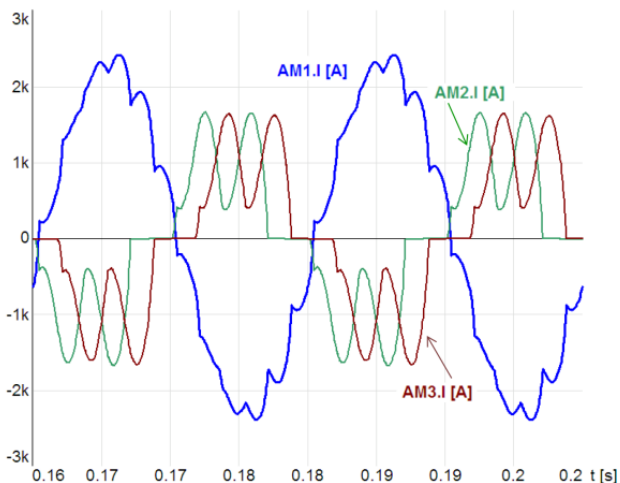
Napięcie wyprostowane w stanie quasi ustalonym zawiera składową przemienną o amplitudzie mniejszej do niż $2,6V$, co spełnia najbardziej rygorystyczne zalecenia dla napięcia sieci trakcyjnej, w tym zalecenia normy PN EN 50163 określającej wartości napięć granicznych i czasy ich trwania w systemie trakcji $3kV$ DC. W stanie przejściowym, po dołączeniu modułu prostownika 12 pulsowego do sieci zasilania powstają oscylacje tłumione przebiegi o wartości maksymalnej mniejszej od 15% wartości ustalonej napięcia wyprostowanego, a oscylacje zanikają po czasie ok. 30ms.

Po zastąpieniu źródeł napięć trójfazowych w modelu z rys.2.1 transformatorem trójuzwojeniowym Yyd, którego model przedstawiono na rys.3.2, wyznaczono przebiegi prądów w jego uzwojeniu górnym Y i dolnych y i d, które są przedstawione na rys. 3.3a. Zgodnie z oczekiwaniami prądy uzwojeń dolnych (y i d) transformatora Yyd zawierają harmoniczne nieparzyste niepodzielne przez 3, przy czym THDi tych prądów wynosi 37.5% . Przez uzwojenie górne (Y) płynie prąd o harmonicznych rzędu $12n \pm 1$. Amplitudy i fazy harmonicznych

niskich rzędów prądu uzwojenia Y przedstawiono w tabeli na rys.3.3b, natomiast THDi tego prądu wynosi 7.78%



Rys.3.2. Model transformatora trójuzwojeniowego Yyd zastosowanego do badań symulacyjnych prądu w uzwojeniu górnym i w uzwojeniach dolnych.



a)

	f [Hz]	AM1.I [A]	Phi [deg]	%I(Max)
Minimum	50	34.129	0.21223k	1.4664
Maximum	1.25k	2.3275k	0.34817k	0.1k
0	50	2.3275k	0.34817k	0.1k
1	0.55k	0.14377k	0.29677k	6.1773
2	0.65k	84.812	0.33491k	3.644
3	1.15k	45.844	0.21223k	1.9697
4	1.25k	34.129	0.21928k	1.4664

b)

Rys.3.3. Prądy transformatora Yyd (rys.3.2) zasilającego nominalnie obciążony prostownik 12 pulsowy o schemacie symulacyjnym z rys.2.1:

a) prądy uzwojeń wtórnych transformatora: AM2 – dla uzwojenia d, AM3 – dla uzwojenia y, prąd uzwojenia pierwotnego Y – AM1

(prąd AM1 jest powiększony 40 krotnie dla zapewnienia czytelności rysunku),

b) Amplitudy i fazy harmonicznych niskich rzędów prądu uzwojenia górnego transformatora AM1.

PODSUMOWANIE

Zaproponowany układ prostownika 12 pulsowego można zbudować wykorzystując wejściowe obwody prostownicze przemysłowych przemienniki częstotliwości. Zastosowane niskonapięciowe moduły prostowników 6 pulsowych wytwarzają napięcie sieci trakcyjnej pozbawione przepięć i można je także wykorzystać do zasilania napędów falownikowych, np. w układach magazynowania energii oddawanej przez pojazdy trakcyjne. Podstacje trakcyjne zbudowane według zaproponowanej w artykule koncepcji nie będą źródłem przepięć w napięciu trakcyjnym, co ma miejsce w tradycyjnych rozwiązaniach.

THDi prądu w sieci zasilania jest tu znacząco ograniczone, tj. w uzwojeniu Y transformatora Yyd, i ma wartość poniżej 10% niezależnie od stopnia obciążenia transformatora, podobnie jak w rozwiązaniu tradycyjnym prostownika podstacji.

Zaproponowane rozwiązanie prostownika 12 pulsowego napięcia sieci trakcyjnej cechuje się małą impedancją wyjściową, co wpływa na stabilizowanie napięcia wyprostowanego (napięcia trakcyjnego) w pełnym zakresie obciążeń. Zastosowanie układów wstępnego ładowania praktycznie eliminuje powstawanie chwilowego przepięcia w napięciu prostownika. Nie występuje tu też potrzeba stosowania dodatkowych filtrów rezonansowych LC dla ograniczania zawartości napięcia zaburzającego w napięciu podstacji.

BIBLIOGRAFIA

1. High Power Drives Preview. Division of Danfoss Inc. 4401 N. Bell School Road, Loves Park IL 6111 USA, 2012.
2. Service manual VLT 5000/ 6000. Nr MS.56.A1.02, Danfoss, 2006.
3. Hansen S., Asiminoaei L., Blaabjerg F.: Simple and advanced methods for calculating six-pulse diode rectifier line-side harmonics. Industry Applications Conference, 38th IAS Annual Meeting, 2003.
4. Szymański J. Harmoniczne prądu i napięcia w sieci zasilającej wprowadzane przez prostowniki wejściowe napędowych przemienników częstotliwości. ElektroInfo, Nr 9, 2007.
5. Simplorer. Komputerowy program symulacji komputerowych urządzeń energoelektronicznych - <http://simplorer.software.informer.com/7.0/>, 2013.

MODEL AND SIMULATION SEARCHING OF MODULAR 12-PULSE DIODE RECTIFIERS FOR TRACTION SUBSTATION WITH 6 PULSE RECTIFIER USED IN INDUSTRY FREQUENCY DRIVES CONVERTERS

Abstract

Simulation results of new type 12 pulse rectifier for railway substation are presented here. In new 12 pulse

rectifier are used the low voltage 6 pulse diode rectifiers with capacitors battery which are known from industry frequency drives. New type traction 3kV DC rectifier has a small output internal impedance. Results of rectifier model simulations show a big DC voltage stability aside from load and disregarded low contents of alternative distortions voltage.

Autorzy:

dr inż. **Jerzy Szymański** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. Tel: + 48 48 361-77-64, j.szymański@uthrad.pl