Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 67

Konferencja „Jakość Dostawy Energii Elektrycznej – wspólna odpowiedzialność wytwórców, dystrybutorów, konsumentów i prosumentów”

Częstochowa, 28-29 listopada 2019

doi: 10.32016/1.67.28

MODEL HYBRYDOWEGO ENERGOELEKTRONICZNEGO UKŁADU ZASILANIA WIELOSYSTEMOWYCH ZESPOŁÓW TRAKCYJNYCH (EZT)

Dariusz KOTERAS[1,3], Marek ADAMOWICZ[2,3]

1. Politechnika Opolska, Katedra Elektrotechniki i Mechatroniki, tel.: 774498027
   e-mail: d.koteras@po.edu.pl
2. Politechnika Gdańska, Katedra Automatyki Napędu Elektrycznego i Konwersji Energii, tel.: 58 347 18 53
   e-mail: marek.adamowicz@pg.edu.pl
3. H. Cegielski -Energocentrum Sp. z o.o.
   e-mail: m.adamowicz@hcp.com.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono model układ hybrydowy energoelektronicznego układu zasilania wielosystemowych zespołów trakcyjnych - EZT. Istota proponowanego rozwiązania zawiera się w zastosowaniu do obniżenia napięcia sieci trakcyjnej, zamiast tradycyjnego ciężkiego transformatora trakcyjnego (chłodzonego olejem) - suchego autotransformatora pracującego z częstotliwością sieci kolejowej oraz izolacji galwanicznej od sieci trakcyjnej. Izolacja ta jest realizowana za pomocą wielopoziomowego kaskadowego przekształtnika napięcia skonstruowanego z tranzystorów SiC MOSFET. W swojej strukturze zawiera on izolowane dwumostkowe przetwornice DC-DC z transformatorami pracującymi z częstotliwością 30 kHz. Układ jest przeznaczony do napędów oraz pokładowych systemów zasilania elektrycznych zespołów trakcyjnych (EZT). Układ może być zasilany z dwóch systemów: prądu stałego - 3 kV DC oraz prądu przemiennego - 15 kV, 16,7 Hz. W referacie pokazano wyniki analizy modelowania autotransformatora trakcyjnego 16,7 Hz o mocy 30 kVA, przeznaczonego do badań laboratoryjnych oraz wyniki badań laboratoryjnych izolowanej celki przekształtnikowej AC-DC-DC-AC z tranzystorami SiC MOSFET wraz ze specjalnie zaprojektowanym transformatorem 30 kHz. Do modelowania autotransformatora trakcyjnego wykorzystano Metodę Elementów Skończonych (MES).

Słowa kluczowe: Energoelektroniczny system napędowy, Elektryczne Zespoły Trakcyjne (EZT), Tranzystory SiC, Autotransformatory suche.

1. WSTĘP

Transport osób oraz towarów jest bardzo ważnym elementem dzisiejszej gospodarki. Szybko rozwijający się transport kolejowy może stanowić alternatywę dla przewozów samochodowych. Jedną z jego największych zalet jest mniejszy niekorzystny wpływ na środowisko naturalne.

Rosnące wymagania dotyczące warunków w przewozach kolejowych stawiają przed producentami konieczność poszukiwania nowych rozwiązań technicznych, zwłaszcza rozwiązań zapewniających zmniejszenie zużycia energii, m.in. poprzez zmniejszenie oporów ruchu pojazdów trakcyjnych. W elektrycznych zespołach trakcyjnych (EZT) zasilanych napięciem przemiennym, najcięższym i najbardziej masywnym komponentem napędu trakcyjnego jest transformator trakcyjny np. 15 ton o mocy 6,4 MVA. Tak duża masa transformatora jest źródłem szeregu problemów, m.in. ze względu na ograniczoną dopuszczalną wartość nacisku na pojedynczą oś pojazdu trakcyjnego. Ze względu na relatywnie duże straty histerezowe oraz, straty mocy na rezystancjach uzwojeń transformatory trakcyjne osiągają sprawność 90% stanowią najmniej efektywny komponent układów napędowych.

Aktualnie, przewoźnicy kolejowi stawiają wymóg jak największej przestrzeni pasażerskiej w kupowanych nowych pojazdach EZT. Z tego względu producenci napędów trakcyjnych prowadzą prace mające na celu zmniejszenie wymiarów gabarytowych transformatorów trakcyjnych. Umożliwiłoby to ich montaż na dachu pojazdów trakcyjnych - podobnie jak to ma miejsce w przypadku pozostałych urządzeń elektrycznych np. falowników trakcyjnych, przetwornic zasilających urządzenia pokładowe i klimatyzatorów [1].

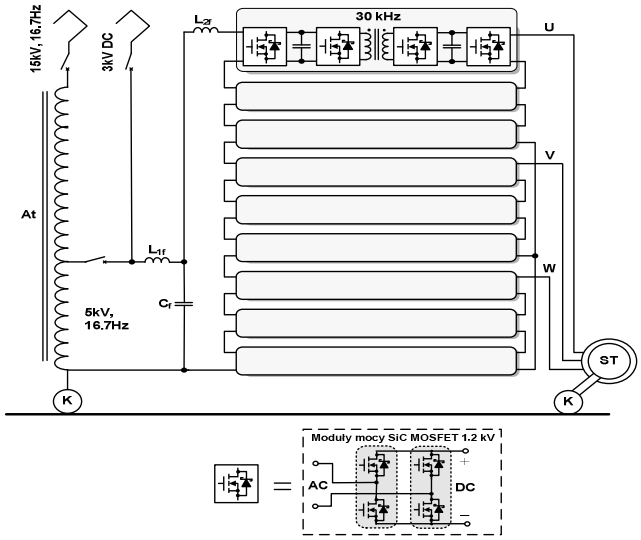
Jednym z kierunków rozwoju napędów trakcyjnych jest również opracowanie wysokonapięciowych przekształtników energoelektronicznych, skonstruowanych z tranzystorów mocy i posiadających wbudowaną izolację galwaniczną wejść wyjść, które mogłyby zastąpić klasyczne transformatory trakcyjne. Urządzenia takie są nazywane energoelektronicznymi transformatorami trakcyjnymi (ang. Power Electronic Traction Transformer) [2], [3]. Jednym z wymagań jest to, że przekształtnik musi być przyłączony do sieci wysokiego napięcia. Produkowane obecnie tranzystory nie są w stanie blokować pełnego napięcia trakcji prądu przemiennego – stąd wymagane jest łączenie szeregowe modułów tranzystorowych.

2. REALIZACJA HYBRYDOWEGO ENERGOELEKTRONICZNEGO TRANSFORMATORA TRAKCYJNEGO

2.1. Koncepcja hybrydowego układu zasilania napędu trakcyjnego EZT z autotransformatorem oraz kaskadowego przekształtnika

Na rysunku 1. przedstawiono schemat proponowanego rozwiązania układu zasilania. Układ ten składa się z autotransformatora obniżającego napięcie i ze zintegrowanego energoelektronicznego przekształtnika trakcyjnego z transformatorem zwymiarowanym na napięcie

strony wtórnej autotransformatora [5]. W proponowanym rozwiązaniu, w odróżnieniu od podobnego opisanego w [3], możliwe jest bezpośrednie zasilanie trójfazowego silnika trakcyjnego – dzięki zastosowaniu izolowanych celek przekształtnikowych AC-DC-DC-AC w liczbie będącej wielokrotnością liczby 3. Proponowane urządzenie jest przeznaczone do elektrycznych zespołów trakcyjnych zasilanych z trakcji prądu stałego 3 kV oraz trakcji prądu przemiennego 15 kV, 16,7 Hz. W rozwinięciu, proponowane rozwiązanie może być skonfigurowane jako przetwornica pomocnicza do zasilania urządzeń pokładowych pojazdu trakcyjnego.



Rys. 1. Schemat proponowanego rozwiązania hybrydowego transformatora energoelektronicznego z autotransformatorem obniżającym napięcie sieci trakcyjnej

Układ z rysunku 1 składa się z odbieraka prądu przemiennego połączonego, za pośrednictwem pierwszego wyłącznika prądu przemiennego, z uzwojeniem pierwotnym autotransformatora obniżającego napięcie. Uzwojenie wtórne autotransformatora jest połączone, za pośrednictwem dodatkowego łącznika oraz filtru LCL, z wejściem izolowanego, trójfazowego, wielopoziomowego, kaskadowego przekształtnika napięcia zasilającego silnik trakcyjny. Ponadto, układ zawiera zestyk napięcia stałego 3 kV połączony, z odbierakiem prądu za pośrednictwem wyłącznika prądu stałego Zasilanie to jest połączone z filtrem wejściowym LCL iz wejściem izolowanego trójfazowego wielopoziomowego kaskadowego przekształtnika napięcia. Wyłączniki prądu przemiennego i prądu stałego oraz dodatkowy łącznik na wyjściu autotransformatora są sterowane za pomocą systemu wyboru napięcia zasilania – (pominięty na rysunku). Uzwojenie wspólne autotransformatora, a także dolny zacisk filtra wejściowego LCL oraz dolny zacisk wejściowy izolowanego trójfazowego wielopoziomowego kaskadowego przekształtnika napięcia są połączone za pośrednictwem koła jezdnego z siecią powrotną.

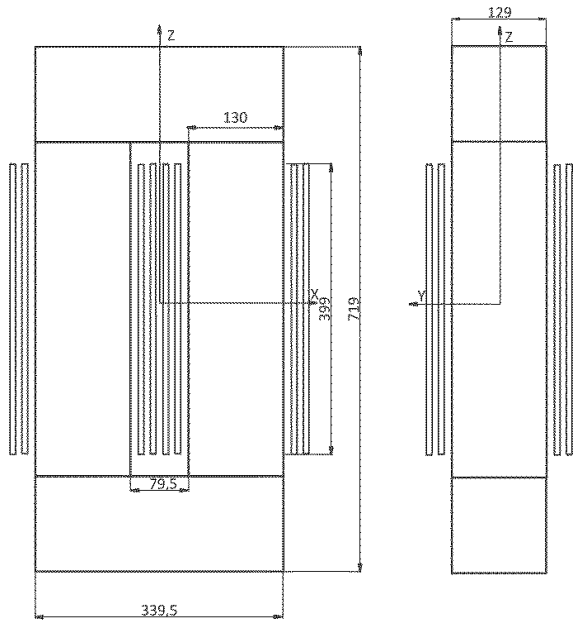
Izolowany trójfazowy wielopoziomowy kaskadowy przekształtnik napięcia zasilający silnik trakcyjny składa się (w każdej fazie) z 3 szeregowo połączonych celek AC-DC-DC-AC i łącznie zawiera 9 jednakowych celek AC-DC-DC-AC. Każda celka składa się z wejściowego mostka tranzystorowego typu H pełniącego rolę czterokwadrantowego przekształtnika aktywnego typu active-front-end (4QC AFE), izolowanej dwumostkowej przetwornicy DC-DC (z transformatorem wysokiej częstotliwości) oraz z wyjściowego mostka tranzystorowego typu H, po stronie zasilanego silnika trakcyjnego. Po stronie odbieraków prądu, wejścia wszystkich celek są połączone ze sobą szeregowo.

System wyboru napięcia zasilania decyduje, czy filtr wejściowy LCL jest połączony bezpośrednio z odbierakiem prądu stałego czy, za pośrednictwem autotransformatora, z odbierakiem prądu przemiennego. W przypadku zasilania z odbieraka prądu przemiennego, mostki tranzystorowe 4QC AFE zapewniają, poprzez autotransformator, synchronizację przekształtnika z siecią prądu przemiennego oraz regulację prądu pobieranego z sieci trakcyjnej i pracę przekształtnika z zadanym współczynnikiem mocy. W przypadku zasilania z odbieraka prądu stałego, mostki tranzystorowe 4QC AFE bezpośrednio zapewniają regulację prądu pobieranego z sieci 3 kV DC. Po stronie silnika trakcyjnego celki są skonfigurowane do pracy jako trójfazowy 7-poziomowy przekształtnik DC-AC. Tym samym, proponowany układ hybrydowy energoelektroniczny układ zasilania może pełnić rolę falownika napędowego umożliwiając sterowanie momentem i wzbudzeniem silnika trakcyjnego. Konstrukcja 7-poziomowa zapewnia generowanie napięcia PWM zasilającego silnik trakcyjny o korzystnie obniżonej zawartości wyższych harmonicznych - w porównaniu z konwencjonalnymi 2-poziomowymi falownikami trakcyjnymi.

2.2. Opis autotransformatora

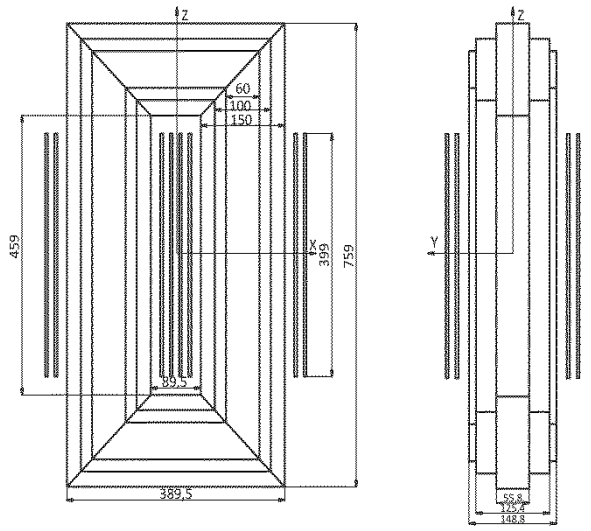
W ramach pracy modelowano również 1-fazowy autotransformator trakcyjny przeznaczony do badań laboratoryjnych i weryfikacji pomiarowej obliczeń całego urządzenia. Założono, iż ma to być transformator pracujący przy częstotliwości f=16,7 Hz, o następujących danych: moc znamionowa S_n=30 kVA, napięcia odpowiednio dla strony pierwotnej U_{1n}=1,5 kV oraz dla strony wtórnej U_{3n}=0,6 kV. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wariantów (W1, W2) przekroju rdzenia autotransformatora trakcyjnego suchego. Pierwszy dotyczył przekroju prostokątnego, natomiast drugi wariant obejmował przekrój schodkowany o trzech stopniach. Rzuty prostokątne obu obiektów przedstawiono na rysunkach 2a oraz 2b. Dodatkowo na tych rysunkach podano podstawowe wymiary rdzeni i uzwojeń.

a)



MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

b)



Rys. 2. Rzuty prostokątne modelowanych autotransformatorów
a) z rdzeniem prostokątnym (W1),
b) z rdzeniem schodkowanym (W2)

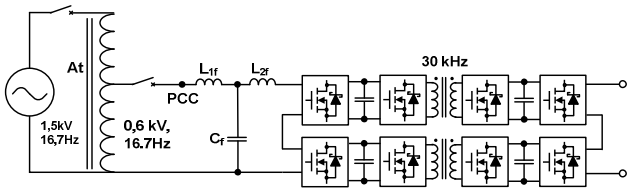
Uzwojenia obu autotransformatorów składają się z dwóch połączonych szeregowo, jednakowych sekcji, z których każda jest nawinięta na jednej kolumnie. Liczba zwojów każdej z sekcji uzwojenia szeregowego strony pierwotnej wynosi N_{11}=N_{12}=225 zwojów. Analogicznie dla strony wtórej (uzwojenia wspólnego) liczba zwojów pojedynczej sekcji ma wartość N_{31}=N_{32}=150 zwojów. Szerokości odpowiadających sobie uzwojeń w obydwu obiektach są jednakowe. Szerokość uzwojenia szeregowego wynosi b_1=5,25 mm a dla uzwojenia wspólnego b_3=4,5 mm. Wysokość każdej sekcji uzwojeń jest jednakowa i wynosi h=399mm, a szerokość kanału międzyuzwojeniowego jest równa δ=12 mm.

2.3. Opis hybrydowego, energoelektronicznego transformatora trakcyjnego do współpracy z autotransformatorem

Przygotowanie docelowej konstrukcji hybrydowego energoelektronicznego transformatora trakcyjnego w skali 1:1 wymaga przeprowadzenia szeregu badań na modelu w małej skali, między innymi w celu wykluczenia możliwości występowania niekorzystnych zjawisk, które przykładowo uniemożliwiają stosowanie trójfazowych autotransformatorów jako autotransformatorów rozdzielczych w sieciach średniego napięcia.

Przy zastosowaniu autotransformatora jednofazowego, w proponowanym układzie hybrydowego energoelektronicznego układu zasilania, szereg problemów może być wyeliminowanych dzięki zastosowaniu zaawansowanej ochrony przepięciowej na pojeździe EZT, a także dzięki unikalnej specyfice obciążenia w postaci sterowanego przekształtnika energoelektronicznego przyłączonego do zacisków uzwojenia wtórnego. W układzie występuje możliwość bardzo szybkiego wyłączenia tranzystorów energoelektronicznego transformatora częstotliwości f =30 kHz, praktycznie w ciągu mikrosekund oraz możliwość precyzyjnej regulacji prądu w punkcie PCC przyłączenia sterowanego przekształtnika energoelektronicznego do zacisków strony wtórnej autotransformatora. Dzięki możliwościom precyzyjnego sterowania tranzystorami przekształtnika istnieje możliwość zastosowania algorytmów predykcyjnych do synchronizacji napięcia przekształtnika z napięciem sieci trakcyjnej, co daje możliwość podłączenia więcej niż jednego napędu trakcyjnego do uzwojenia wtórnego autotransformatora.

Na rysunku 3 przedstawiony został proponowany schemat układu laboratoryjnego z autotransformatorem 1,5 kV/0,6 kV, 16,7 Hz współpracującym z izolowanym wielopoziomowym przekształtnikiem energoelektronicznym z tranzystorami SiC MOSFET, które zapewniają wzrost częstotliwości pracy [4].



Rys. 3. Proponowany schemat układu laboratoryjnego z autotransformatorem 16,7Hz oraz izolowanym przekształtnikiem energoelektronicznym z tranzystorami SiC MOSFET

Podstawowym układem pozwalającym na zbadanie funkcjonalności transformatora energoelektronicznego są dwie połączone kaskadowo izolowane celki AC-DC-DC-AC. W ramach realizowanego przez zespół autorów projektu [6], zrealizowano konstrukcję podstawowej izolowanej celki AC-DC-DC-AC z tranzystorami SiC MOSFET 1,2 kV oraz transformatorem 30 kHz, która została pokazana na rysunku 4.

Rys. 4. Izolowana celka AC-DC-DC-AC z tranzystorami SiC MOSFET oraz transformatorem pracującym z częstotliwością 30 kHz [6]

Transformator zaprojektowany do pracy przy częstotliwości 30 kHz posiada uzwojenie pierwotne i wtórne nawinięte licą jako uzwojenie planarne, o kształcie prostokątnym. Uzwojenia umieszczono współosiowo jedno nad drugim. Cechą charakterystyczną izolowanych dwumostkowych przetwornic DC-DC z transformatorami wysokiej częstotliwości jest konieczność stosowania określonych indukcyjności sprzęgających transformator z mostkami tranzystorowymi typu H strony pierwotnej i wtórnej, szeregowo połączonych z uzwojeniami pierwotnym i wtórnym transformatora. Praca dwumostkowej izolowanej przetwornicy DC-DC z transformatorem sprzęgniętym z indukcyjnościami szeregowymi polega na

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

uzyskaniu przesunięcia fazowego pomiędzy napięciami strony pierwotnej i wtórnej. Wartość indukcyjności sprzęgających jest bardzo ważnym parametrem wpływającym na zdolność regulacji mocy przetwornicy oraz o zakresie uzyskiwanych przesunięć fazowych pomiędzy napięciami strony pierwotnej i wtórnej.

W zaprojektowanym transformatorze z rysunku 4 uzyskano określoną wysoką wartość indukcyjności rozproszenia umożliwiającą wyeliminowanie dodatkowych indukcyjności sprzęgających – co pozwoliło zmniejszyć całkowity wymiar celki przekształtnikowej.

3. OPIS MODELI NUMERYCZNYCH I WYNIKI OBLICZEŃ

Do trójwymiarowego modelowania w/w autotransformatorów wykorzystano komercyjny pakiet obliczeniowy Opera 3D, który bazuje na MES [7]. Ze względu na symetrię analizowanych obiektów modelowano jedynie ¼ obszaru. Do przedstawionych obliczeń w niniejszym artykule użyto moduł obliczeniowy Tosca. Algorytm obliczeniowy oparty jest na metodzie dwóch potencjałów skalarnych: całkowitego ψ oraz zredukowanego ϕ. W podobszarach modelu, których występują prądy wzbudzające pole magnetyczne rozwiązywane jest poniższe równanie różniczkowe cząstkowe zredukowanego potencjału skalarnego ϕ

$$div[\mu\, grad(\phi)] - div\left(\mu\vec{H}_S\right) = 0 \qquad (1)$$

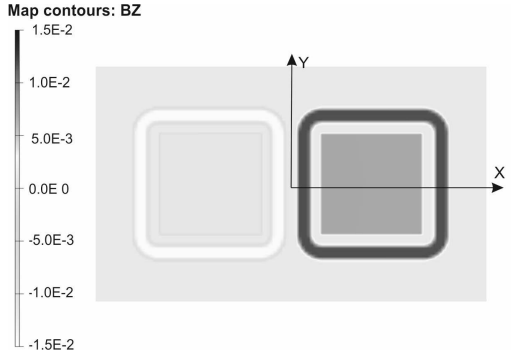
gdzie: μ – przenikalność magnetyczna środowiska, $\vec{H}_S$ – natężenie pola magnetycznego wynikające z wymuszeń pola.

Ze względu na występujące w EZT transformatory o znacznych mocach znamionowych (rzędu MVA), na modelowych autotransformatorach pierwszej kolejności analizowano stan zwarcia obu obiektów. Wyznaczenie rozkładu pola magnetycznego oraz wartości reaktancji zwarcia X_z pozwala na określenie wartości maksymalnych prądów mogących płynąć w uzwojeniach w stanach awaryjnych pracy układu zasilania EZT. Prądy te mają znaczący wpływ na wartości sił elektrodynamicznych działających na uzwojenia.

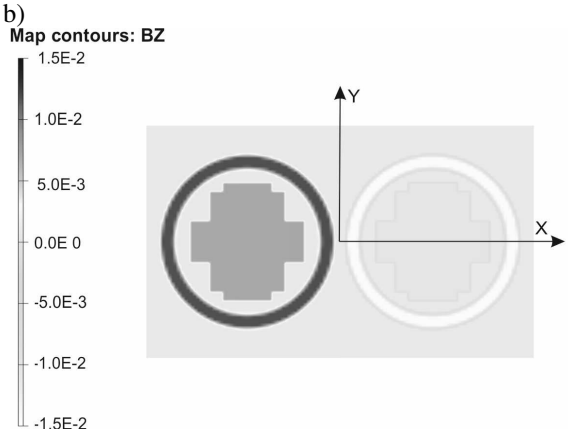
Na poniższych rysunkach 2.5a i 2.5b przedstawiono rozkłady pola magnetycznego w postaci map bitowych dla analizowanych obiektów. Rozkłady te wykreślono w punktach płaszczyzny *XY*.

Otrzymano zbliżone wartości indukcji w kanale międzyuzwojeniowym, w obu przypadkach. Tak, więc w obu przypadkach otrzymano niemal takie same wartości reaktancji zwarcia w obu przypadkach X_z = 0,33 Ω dla wariantu W1 oraz X_z = 0,32 Ω dla wariantu W2.

a)



b)



Rys. 5. Rozkłady indukcji magnetycznej w płaszczyźnie XY
a) dla autotransformatora z rdzeniem prostokątnym (W1),
b) dla autotransformatora z rdzeniem schodkowanym (W2)

Na podstawie wyznaczonych wartości reaktancji zwarcia i danych znamionowych obliczono maksymalne chwilowe wartości prądów które odpowiednio dla W1 i dla W2 wynoszą: i_{1M} = 551,3 A, i_{3M} = 826,95 A i_{1M} = 562,6 A, i_{3M} = 843,9 A. Korzystając z zależności podanych w [8] wyznaczono siły promieniowe F_r i osiowe F_o działające na uzwojenia, których wartości podano w tabeli 2.1.

Tablica 2.1. Wyznaczone siły w [N] działające na poszczególne sekcje uzwojeń

Typ Autotransformatora	Siły promieniowe		Siły osiowe	
	Uzw. Szer.	Uzw. Wsp.	Uzw. Szer.	Uzw. Wsp.
W1	2352	2776	564	666
W2	2410	2811	578	675

Odpowiadające sobie wartości dla analizowanych obiektów są zbliżone . Dla analizowanych modelowych autotransformatorów otrzymane wartości sił nie powodują przekroczenia dopuszczalnych wartości naprężeń dla uzwojeń nawiniętych przewodami miedzianymi.

4. WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH IZOLOWANEJ PRZETWORNICY DWUMOSTKOWEJ DC-DC

Przedmiotem przeprowadzonych badań były straty wydzielające się w postaci ciepła w transformatorze wysokiej częstoliwości oraz w modułach tranzystorowych SiC MOSFET, które będą miały wpływ na wybór i potencjalną konstrukcję układów chłodzenia. Na rysunku 6 pokazano wynik pomiaru temperatury kamerą termowizyjną, dla izolowanej celki przekształtnikowej pracującej z mocą 34 kW. Pomimo uzyskanej wymaganej w projekcie wysokiej indukcyjności rozproszenia rzędu 10 μH, uzyskano wysoką sprawność transformatora pracującego z częstotliwością 30 kHz. Temperatura transformatora nie przekroczyła 83,5°C w stanie ustalonym, pomimo braku chłodzenia wymuszonego.

Transformator składa się z rdzeni E. W docelowej konstrukcji urządzenia przewidziane jest chłodzenie wymuszone transformatora powietrzem przepływającym przez kanał wentylacyjny, w którym zostanie umieszczony transformator. W trakcie badań, nie zauważono nagrzewania blachy obudowy, co mogłoby świadczyć o indukowaniu

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

prądów wirowych w elementach konstrukcyjnych kanału wentylacyjnego.

Rys. 6. Pomiar temperatury (kamerą termowizyjną) izolowanej celki przekształtnikowej obciążonej mocą 34 kW
Na pierwszym planie transformator

5. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule omówiono koncepcję i wybrane zagadnienia hybrydowego energoelektronicznego układu przeznaczonego do zasilania pojazdów EZT z sieci napięcia przemiennego. Urządzenie o docelowej mocy rzędu megawatów zostanie w całości wykonane w najnowszej technologii tranzystorów z węglika krzemu (SiC). Budowa modułowa urządzenia zapewnia obniżenie całkowitych kosztów utrzymania i przeglądów.

W referacie zaproponowano schemat modelu laboratoryjnego małej skali, niezbędnego do zbadania funkcjonalności i właściwości proponowanego urządzenia. W zaprojektowanej izolowanej celce przekształtnikowej, która stanowi rdzeń konstrukcji hybrydowego układu zasilania EZT, uzyskano dobre parametry pracy transformatora pracującego przy częstotliwości 30 kHz oraz tranzystorów SiC MOSFET.

W przeprowadzonej analizie wykazano, że zastąpienie transformatora autotransformatorem może spowodować znaczne zmniejszenie zużycia miedzi (ok. 40 %) oraz dodatkowo niewielkie zmniejszenie zużycia blach elektrotechnicznych.

Projekt finansowany ze środków Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, Poddziałanie 1.2 Programy Sektorowe, nr umowy POIR.01.02.00-00-0193/16-00

6. BIBLIOGRAFIA

1. Falco M., Desportes G., Piton M., „Innovative Railway Traction System", Proc. 7th Transport Research Arena TRA 2018, April 16-19, 2018, Vienna, Austria, ss. 1– 10.
2. Tremong J-F., Vulturescu B., Chamaret A.-P., "Evaluation of the energy saving potential of a Power Electronic Transformer for rolling stock under 25kV, 50Hz", Proc. 7th Transport Research Arena TRA 2018, April 16-19, 2018, Vienna, Austria, ss. 1 – 9.
3. C. Zhao, Dujic D., Mester A., Steinke J.K., i inni: „Power Electronic Traction Transformer– Medium Voltage Prototype", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 61, nr 1, ss. 3257–3268. Brak roku wydania.
4. Soltau N., Wiesner E., Hatori K., Uemura H., 3.3 kV Full SiC MOSFETs – Towards High-Performance Traction Inverters, Bodo´s Power Systems, January 2018, ss. 22-24.
5. Adamowicz M., Krzemiński Z., „System zasilania lokomotywy wielosystemowej", Patent nr PL 226553 B1.
6. Adamowicz M., Szewczyk J., Pietryka J., Giziewski S., Kruk P., Krzemiński Z., Wielopoziomowy przekształtnik trakcyjny SiC z izolacją od sieci 3kV DC realizowaną za pomocą transformatorów 30 kHz do napędów EZT, Materialy XIV Konf. Nauk. Sterowanie w Energoelektronice i Napędzie Elektrycznym "SENE 2019", Łódź, 20-22 listopada 2019
7. Opera 3D, version 19, Kidlington, UK, 2019
8. Jezierski E.: Transformatory, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1983.

HYBRID POWER ELECTRONIC TRACTION TRANSFORMER FOR ELECTRIC MULTIPLE UNITS (EMU)

The paper presents a system of hybrid power electronic supplying system. The main advantage of the proposed solution is in the application of dry traction autotransformer to reduce the voltage of the traction network, instead of the traditional heavy oil-cooled traction transformer. Galvanic isolation from the catenary is implemented by means of an insulated multi-level cascade voltage converter constructed of SiC MOSFET transistors and incorporating in its structure double active bridge DC-DC converters with transformers operating at 30 kHz. The system is designed for traction drives and on-board auxiliary power supply systems for electric multiple units (EMU) supplied from two power systems: 3 kV DC and 15 kV, 16.7 Hz. The paper presents the results of analysis of a 16.7Hz hybrid supplying system consisted of the autotransformer model with 30 kVA power and the isolated AC-DC-DC-AC converter cell with SiC MOSFET transistors and a specially designed 30 kHz transformer. The Finite Element Method (FEM) was used to model the traction autotransformer.

Keywords: Electric Multiple Unit (EMU), SiC MOSFET, dry transformer.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl