

Daniel Lewandowski, Politechnika Łódzka, Łódź
Przemysław Łukasiak, ABB, Warszawa

ANALIZA STANÓW NIEUSTALONYCH GRUPOWEGO NAPĘDU TRAKCYJNEGO Z SILNIKAMI ASYNCHRONICZNYMI

TRANSIENT STATE ANALYSIS FOR THE GROUP TRACTION DRIVE WITH ASYNCHRONOUS MOTORS

Abstract: Modern traction drives mostly use asynchronous motors fed from voltage inverter. Very often one carrier of traction vehicle has two independent motors. Most of drives use one inverter feeding one motor and very often this inverters have one DC-link circuit. The main purpose of this article is to show the new concept that one bigger inverter can be able to feed two asynchronous motors connected in parallel, what can lower the price of inverters up to 30%. However the main problem is the behavior of the motors during dynamic state (for example during passing through the crossroads) when one of two motors is changing its angular velocity because of changing wheel radius (from main part to the wheel flange) what introduces the instability into its electromagnetic state. The natural behavior of motors is to balance their electromagnetic states which leads to the very big current ripples. This article describes mathematical model of group traction drive, test stand to study of dynamic state created at the Technical University of Łódź and results from simulation.

1. Wstęp

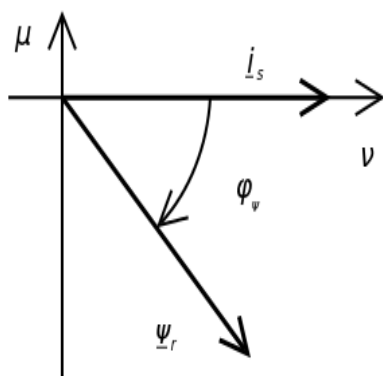
Nowoczesne napędy trakcyjne w zdecydowanej większości wykorzystują silniki asynchroniczne zasilane z falowników napięciowych. Zazwyczaj na jednym wózku pojazdu trakcyjnego znajdują się dwa silniki napędzające dwie niezależne osie, przy czym każdy silnik kontrolowany jest przez osobny falownik. Ze względów ekonomicznych pożądanym byłoby układ wymagający tylko jednego przekształtnika, który nawet w przypadku zastosowania kluczy tranzystorowych o większych prądach przewodzenia, pozwoliłby na redukcję kosztów nawet do 30% [5]. Takie podejście wydaje się całkowicie uzasadnione, bowiem nawet w przypadku niewielkiej rozbieżności prędkości kątowych osi na wózku trakcyjnym, silniki indukcyjne dzięki swojej konstrukcji w sposób naturalny dopasowałyby się do tej samej częstotliwości fali napięcia stojana. Jednakże ważnym aspektem takiego napędu grupowego jest konieczność rozważenia stabilności pracy w przypadku pojawienia się gwałtownej różnicy prędkości kątowych wałów silników, wynikającej z różnej prędkości kątowej kół osi pędnych [4]. Takie zjawisko jest powszechne np. w trakcji tramwajowej, w trakcie przejazdu przez tzw. krzyżak, czyli miejsca skrzyżowania dwóch niezależnych linii. W tym szczególnym miejscu koła tramwajowe muszą poruszać się na swoich obrzeżach, podczas gdy na normalnie przemieszczają się na swoich powierzchniach to-

cznych [1]. Powstająca w trakcie przejazdu przez krzyżak gwałtowna różnica prędkości kątowych skutkuje prądami wyrównującymi stany elektromagnetyczne silników, co może doprowadzić do uszkodzenia kluczy tranzystorowych falownika. Wyzwaniem dla układu sterowania jest zatem ochrona przekształtnika oraz zachowanie kontroli nad pracą napędu.

W artykule omówiono zarówno model matematyczny grupowego napędu z silnikami asynchronicznymi, jak i przedstawiono zbudowane na Politechnice Łódzkiej stanowisko do badania stanów nieustalonych pracy napędów trakcyjnych.

2. Model matematyczny grupowego napędu trakcyjnego

Dynamikę pojedynczego silnika indukcyjnego można opisać na wiele sposobów, których różnorodność jest wynikiem swobodnego wyboru dwóch z czterech dostępnych zmiennych stanów. Jedną z możliwości jest przedstawienie równań matematycznych dla prądu stojana i_s i strumienia wirnika ψ_r określonych w układzie $\alpha - \beta$ wirującym synchronicznie z wektorem prądu stojana, co przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wektor prądu stojana i wektor strumienia wirnika w przyjętym układzie współrzędnych

W tym wypadku wygodnie jest opisać zależność pomiędzy wektorami strumienia i prądu stojana w postaci biegunowej, posługując się terminem tzw. kąta obciążenia - φ_{ψ} [6]. Moment elektromagnetyczny wytwarzany przez silnik opisuje w takim układzie równanie

$$m = -\frac{l_m}{l_r} \psi_r i_s \sin \varphi_{\psi} \quad (1)$$

gdzie

l_m - indukcyjność główna

l_r - indukcyjność wirnika

Przy założeniu, że silnik jest pobudzany z falownika umożliwiającego wymuszenie prądu w uzwojeniach stojana, dynamikę napędu można opisać za pomocą następującego układu równań (opisanego w jednostkach względnych)

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_r &= -\frac{r_r}{l_r} \psi_r + \frac{r_r}{l_r} l_m i_s \cos \varphi_{\psi} \\ \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \varphi_{\psi} &= -\frac{r_r}{l_r} l_m i_s \frac{1}{\psi_r} \sin \varphi_{\psi} - \omega_r \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie

r_r - rezystancja wirnika

ω_b - wielkość bazowa prędkości kątowej

ω_s - prędkość wirowania układu odniesienia

ω - chwilowa prędkość kątowa wału silnika

$\omega_r = \omega_s - \omega$ - pulsacja poślizgu.

Wielkościami pobudzającymi przedstawionego modelu prądowego jest wektor prądu stojana i_s i pulsacja poślizgu ω . Poprzez odpowiedni dobór tych wielkości możliwe jest niezależne sterowanie wielkością momentu elektromagnetycznego (1) i wzbudzeniem silnika [6].

Z równania (2) wynika również istotna informacja o stałej czasowej, determinującej wła-

ściwości dynamiczne strumienia wirnika. Dla napędów średniej mocy, stosowanych powszechnie w napędach tramwajowych, jest ona równa ok. 0.5 s. Wielkość ta ma znaczenie, gdy zachodzi konieczność szybkiej zmiany stopnia wzbudzenia silnika, np. w trakcie hamowania nagle czy niekontrolowanego poślizgu kół pojazdu trakcyjnego [3]. Jak również gwałtowna zmiana kąta położenia wału powoduje obrót wektora strumienia wirnika, właśnie wskutek tak dużej stałej czasowej, której nie są w stanie skompensować regulatory prądu. W takim wypadku celowe jest również wykorzystanie w opisie dynamiki silnika indukcyjnego równania napięciowego obwodu stojana [7].

$$\begin{aligned} w \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} i_{s\mu} &= -\left(r_s l_r + \frac{r_r}{l_r} l_m^2\right) i_{s\mu} + w \omega_s i_{sv} \\ &+ l_m \psi_r \left(\frac{r_r}{l_r} \cos \varphi_{\psi} + \omega \sin \varphi_{\psi}\right) + l_r u_{s\mu} \\ w \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} i_{sv} &= -\left(r_s l_r + \frac{r_r}{l_r} l_m^2\right) i_{sv} - w \omega_s i_{s\mu} \\ &+ l_m \psi_r \left(\frac{r_r}{l_r} \sin \varphi_{\psi} - \omega \cos \varphi_{\psi}\right) + l_r u_{sv} \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie:

$w = l_s l_r - l_m^2$ - współczynnik rozproszenia

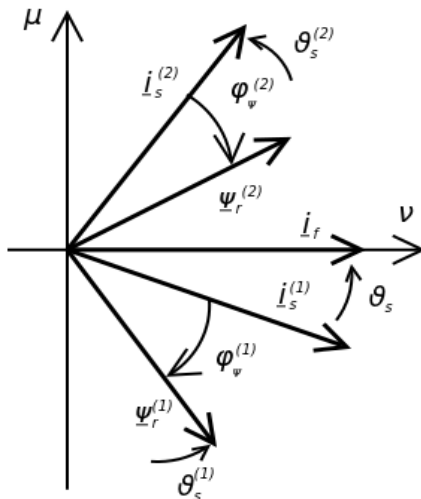
$i_{s\mu}, i_{sv}$ - składowe wektora prądu stojana

$u_{s\mu}, u_{sv}$ - składowe wektora napięcia stojana

Po wykonaniu odpowiednich przekształceń może być ono wykorzystane do wyznaczenia wartości oczekiwanej napięcia, która w praktycznych zastosowaniach wspomaga działanie kontrolera typ feed-forward [6].

W powyższym opisie zakłada się, że kąt położenia ϑ_s układu odniesienia wynika z sumarycznej prędkości kątowej wału silnika ω i prędkości kątowej pulsacji ω_r , co można wyrazić następująco

$$\vartheta_s = \int_0^t (\omega_r + \omega) dt \quad (4)$$



Rys. 2. Wzajemne położenie wielkości opisujących stan napędu (silników i falownika)

Trakcyjny napęd grupowy złożony z dwóch silników zasilanych z jednego falownika można z kolei opisać jako modele silników indukcyjnych, opisanych powyższymi równaniami, sprzęgnięte ze sobą częścią elektryczną i mechaniczną. Wielkościami opisującymi stan elektromagnetyczny są w takim wypadku wektory prądów stojana $i_s^{(1)}$, $i_s^{(2)}$ i wektory strumieni wirników $\psi_r^{(1)}$, $\psi_r^{(2)}$. Z kolei od strony elektrycznej wielkością pobudzającą jest wektor napięcia stojana u_s , wspólny dla obu silników, a wielkością wynikową pobudzenia jest sumaryczny prąd falownika $i_f = i_s^{(1)} + i_s^{(2)}$. Natomiast od strony mechanicznej silniki napędu grupowego nie posiadają sztywnego połączenia. Ze względu na występowanie zjawiska poślizgu oraz możliwość pojawienia się różnicy średnic kół tramwajowych (wskutek eksploatacji) nie jest dopuszczalne opisanie napędu, np. modelem zastępczym, dokonując zwykłego uśrednienia parametrów silników. Zamiast tego część mechaniczną można opisać jako kąty położenia $\theta_s^{(1)}$, $\theta_s^{(2)}$ układów odniesienia dla poszczególnych modeli dynamiki określonych równaniem (4). Natomiast prędkości kątowe silników, a w zasadzie kąty położenia wałów, stanowią dodatkowe wielkości pobudzające (rysunek 2) wpływające na położenie układów odniesienia związanych z odpowiednimi silnikami. Impulsowa zmiana kąta położenia wału pociąga za sobą również zmianę kąta położenia układu odniesienia, co ma znaczące skutki dla stabilności oraz kontroli wartości momentu rozwijanego przez silnik [8].

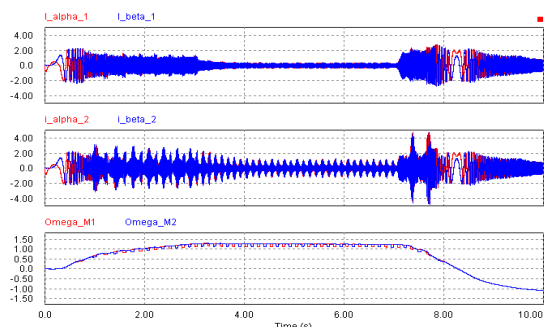
Zasadniczą trudnością w opracowaniu sterowania dla napędu grupowego jest właśnie zaburzenie pochodzące od gwałtownej zmiany kąta położenia jednego z wałów. W takim wypadku dochodzi do szybkiej zmiany położenia wektora strumienia wirnika, co w konsekwencji prowadzi do zmiany przepływu prądów w uzwojeniach stojanów. Jest to szczególnie widoczne w miarę wzrostu prędkości kątowej silnika, czyli wraz ze zwiększaniem się siły elektromotorycznej (równanie (3)). Ostatecznym wynikiem takiego zaburzenia jest niekontrolowany wzrost natężenia prądów falownika i jego awaryjne wyłączenie, prowadzące do utraty kontroli nad całym napędem.

3. Model symulacyjny

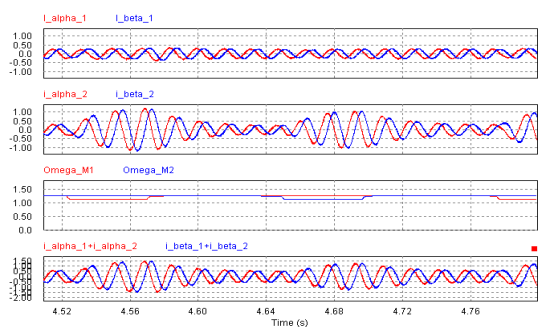
Dla przedstawionego napędu grupowego opracowano model symulacyjny w programie PSIM, a uzyskane wyniki porównano z modelem referencyjnym opracowanym dla napędu trakcyjnego tramwaju „Tatra” [6]. Zastosowano w nim metodę prądowo-napięciowego, pośredniego sterowania stanem elektromagnetycznym silnika indukcyjnego, która jest stosowana w napędach tramwajowych od ponad 10 lat [4], [9]. Celem tej części prac było określenie jakie parametry napędu grupowego mają istotny wpływ na charakter zmian wielkości charakterystycznych: prądów i strumieni magnetycznych. W jej wyniku opracowano metodę pozwalającą na odwzorowanie dynamiki napędu grupowego dla typowego wagonu tramwajowego w mniejszej skali na projektowanym stanowisku badawczym. Wyznaczone parametry zastępcze pozwoliły również na określenie oczekiwanego zachowania laboratoryjnego napędu grupowego.

W ramach badań symulacyjnych określono wpływ przejazdu przez krzyżak na stan napędu grupowego, przy czym rozpatrywano głównie zaburzenia pracy dla jazdy na wybiegu (przejazd przez krzyżak powinien odbywać się na wybiegu przy prędkości nie wyższej niż 10 km/h). Na rysunku 3 przedstawiono przebiegi dla przypadku, gdy kontroli podlega tylko pierwszy silnik, a drugi pracuje jako nadążny. Napęd pracuje z rozruchem, wybiegiem i hamowaniem, natomiast zmiana prędkości w trakcie przejazdu wynosi ok. 10% i odpowiada dwukrotności poślizgu znamionowego, co odpowiada wartościom rzeczywistego napędu (zmiana prędkości 3% przy poślizgu znamionowym 1,5%). Nietrudno za-

uważyć, że w takiej konfiguracji układu sterowania w drugim silniku widoczne są przetężenia prądu, które przedstawiono w powiększeniu na rysunku 4.



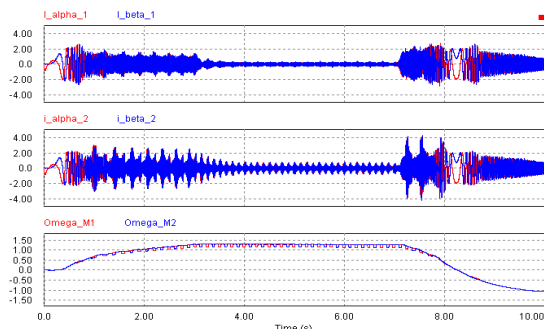
Rys. 3. Przebiegi prądów silników i ich prędkości kątowych przy kontroli prądu w pierwszym silniku



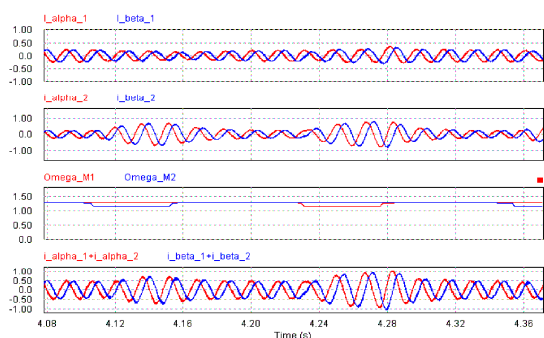
Rys. 4. Powiększenie przebiegów prądów dla przypadku z rysunku 3

Dla silnika nadążającego zmiana amplitudy prądu jest prawie trzykrotna, co jest w praktycznej aplikacji nieakceptowalne. Wymaga bowiem przynajmniej czterokrotnego przewymiarowania kluczy tranzystora, co niweczy zysk ekonomiczny związany z redukcją ilości elementów elektroenergetycznych.

Przyczyną przedstawionej niestabilności jest gwałtowna zmiana prędkości kątowej drugiego silnika względem pierwszego. Prowadzi to do powstania znaczącej różnicy pomiędzy układami odniesienia skojarzonymi z układem sterowania i prądem drugiego silnika $\vartheta_s - \vartheta_s^{(2)}$, przy zerowej różnicy kątów $\vartheta_s - \vartheta_s^{(1)}$. Zmiana siły elektromotorycznej wywołana jest niekontrolowanym obrotem wektora strumienia magnetycznego, co pociąga za sobą powstanie przedstawionej niestabilności.

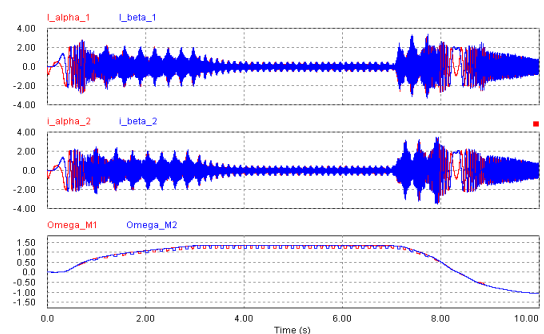


Rys. 5. Przebiegi prądów silników i ich prędkości kątowych przy kontroli prądu falownika

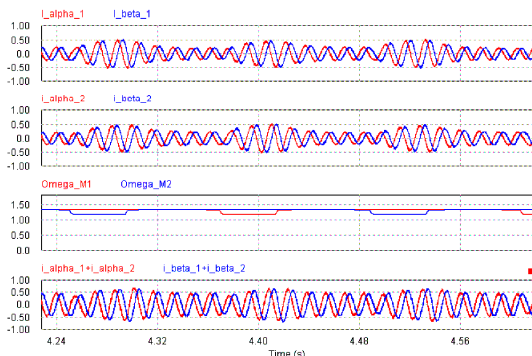


Rys. 6. Powiększenie przebiegów prądów dla przypadku z rysunku 5

Zmniejszenie przetężeń uzyskano realizując algorytm sterowania w układzie zorientowanym względem uśrednionego prądu obu silników – rysunek 5 i 6. Dla tego przypadku przyjęto jako prędkość kątową napędu prędkość kątową pierwszego silnika. W trakcie przejścia przez krzyżak zaburzenie w przebiegach prądów zachowuje swój charakter, ale jego energia jest znacznie mniejsza niż przy przypadku kontroli prądu tylko dla pierwszego silnika. W tym przypadku różnica kątów położenia układów odniesienia dla poszczególnych silników względem układu sterowania jest taka sama co do wartości, ale z przeciwnymi znakami.



Rys. 7. Przebiegi prądów silników i ich prędkości kątowych przy kontroli prądu średniego w układzie odniesienia o prędkości kątowej napędu równej prędkości średniej silników



Rys. 8. Powiększenie przebiegów prądów z rysunku 7

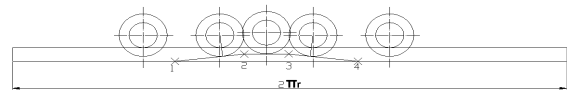
Dla porównania na rysunkach 7 i 8 przedstawiono przebiegi sygnałów dla przypadku kontroli prądu średniego falownika przy założeniu, że prędkość kątowna napędu jest równa wartości średniej prędkości silników. W tym wypadku zmniejszenie amplitudy oscylacji prądów wynika z rozłożenia zaburzenia na oba silniki. Z punktu widzenia napędu jest to sytuacja gorsza niż dla dwóch poprzednich przypadków, kiedy to następowała utrata kontroli tylko nad jednym silnikiem. Jednakże zostaje zachowana kontrola nad całym napędem, a w szczególności ograniczony jest maksymalny prąd falownika (nawet podczas hamowania pełnym momentem w trakcie przejazdu przez krzyżak), co ostatecznie pozwala uniknąć awaryjnego wyłączenia układu wskutek zadziałania zabezpieczenia nadprądowego.

4. Stanowisko badawcze

Klasyczne podejście do konstrukcji stanowiska do badania napędów polega na wzajemnym połączeniu silnika i prądnicy sztywnym wałem. Jednakże w takim układzie nie jest możliwe badanie napędu grupowego wraz z charakterystycznymi dla niego stanami dynamicznymi, w których następuje gwałtowna zmiana prędkości kątowej jednego z nich, dlatego niezbędnym było stworzenie specjalnego stanowiska umożliwiającego takie badania. Zaprojektowane stanowisko odwzorowuje przejazd przez krzyżak, podczas którego tramwaj przestaje poruszać się po powierzchni tocznej koła, a zaczyna poruszać się na obrzeżu. Powoduje to zmianę średnicy koła, a co za tym idzie gwałtowną zmianę prędkości kątowej koła, przy niezmiętej prędkości liniowej wskutek znacznej bezwładności pojazdu.

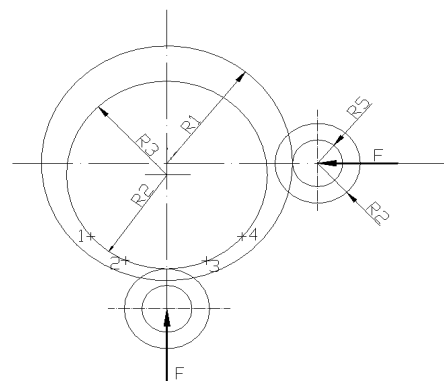
Ze względu na bardzo duże wymiary, moce oraz masy rzeczywistych układów napędowych stanowisko zostało zbudowane w skali, w której

jako współczynnik skali został wykorzystany iloraz masy pojazdu do jego mocy przeliczony na stronę silników - ze względu na prawidłowe odwzorowanie zjawisk nie powinien być mniejszy niż 8 kg/kW. W stanowisku została przede wszystkim odwrócona sytuacja w stosunku do rzeczywistego napędu - silniki z kołami pędnymi są elementami nieruchomymi, natomiast ruchome są szyny. Dodatkowo, aby można było przeprowadzać wielokrotne ciągłe badanie zjawiska przejazdu przez krzyżak, szyny zostały wykonane w postaci kół (zagięte na promieniu), co zostało przedstawione na rysunku 9. Takie podejście umożliwia właśnie nieustanne wytrącanie układu napędowego ze stanu równowagi.



Rys. 9. Rozwinięcie koła masowego (szyny) oraz idea symulacji przejazdu przez krzyżak

Koła masowe (szyny) mają średnicę 800 mm, oraz masę po 130 kg rozłożoną głównie na zewnętrznej części kół, tak aby maksymalnie zwiększyć moment bezwładności. Szerokość koła wynosi 50 mm, z czego 40 mm odpowiada głowce szyny, natomiast 10 mm podtoczeniu, modulującemu przejście z szyny o podwyższonej prowadnicy na szynę o obniżonej prowadnicy, co ilustruje rysunek 10. Podtoczenie nie jest wykonane jednolitym promieniem ze względu na konieczność odwzorowania jazdy po zwykłym torze, wjazd na krzyżak, jazdę po krzyżaku, zjazd z krzyżaka i powrót do jazdy po zwykłym torze (rysunek 9).



Rys. 10. Budowa koła masowego (szyny) i położenie kół napędowych względem siebie

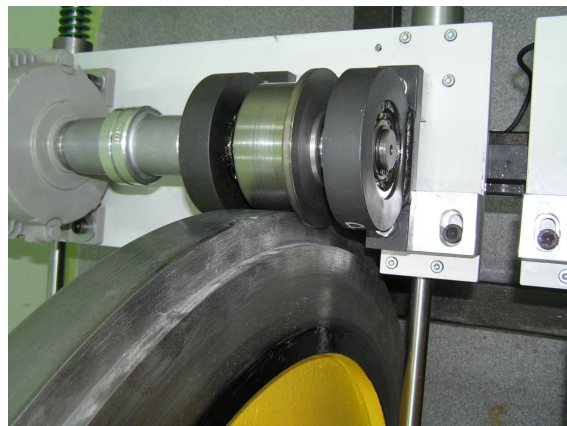
Tak przygotowane „szyny” zostały ze sobą połączone sztywnym wałem, przy czym ich „krzyżaki” są obrócone względem siebie o kąt 90°, odwzorowujący przesunięcie osi napędowych

w wózku (rysunek 9). Takie podejście wiernie odwzorowuje rzeczywistość, w której najpierw jedno koło wjeżdża na krzyżak, następnie drugie koło wjeżdża na krzyżak, pierwsze koło zjeżdża z krzyżaka i na koniec drugie koło zjeżdża z krzyżaka.

Na podstawie masy szyn oraz współczynnika masy do mocy można obliczyć, iż moc każdego z silników powinna wynosić nie mniej niż 2 kW - ostatecznie zastosowano silniki o mocy 2,2 kW każdy. Do wału każdego z silników zostało przymocowane miniaturowe koło tramwajowe, w którym powierzchnia toczna ma średnicę 100 mm i szerokość 40 mm, natomiast obrzeże średnicę 122 mm i szerokość 10 mm. Koła napędowe napędzają koła masowe (szyny). Ze względu na fakt, iż podczas przejazdu przez krzyżak koło tramwajowe przechodzi z pracy powierzchnią toczną na pracę obrzeżem zwiększa się również odległość pomiędzy promieniem szyny i koła napędowego, a zatem niezbędne było umieszczenie silnika wraz kołem napędowym na ruchomej podstawie mogącej poruszać się wzdłuż promienia szyny. Każda podstawa (wraz silnikiem i kołem napędowym) dociskana jest niezależnie za pomocą dwóch sprężyn, których siłę docisku można regulować. Zastosowanie możliwości zmiany docisku kół do siebie od zera do ponad 700 kg pozwala zbadać zjawisko przejazdu przez krzyżak w szerokim zakresie np. warunków pogodowych, w których ze względu na oblodzenie czy deszcz jedno koło lub oba wpadają w niekontrolowany poślizg. Dodatkowo zamontowaniu kół napędowych bez obrzeża pozwala na wymuszenie pracy na powierzchni tocznej, czyli normalną jazdę po prostym torze, symulację poślizgu i wykonanie badań nad układem ABS dla pojazdu szynowego. Wygląd stanowiska został przedstawiony na rysunkach 11 i 12.



Rys. 11. Stanowisko do odwzorowywania stanów niustalonych grupowego napędu trakcyjnego



Rys. 12. Wygląd koła napędowego i koła masowego stanowiska

5. Wnioski

W artykule przedstawiono zagadnienie grupowego napędu trakcyjnego, w którym z jednego falownika napięciowego zasilane są dwa silniki indukcyjne. Taki napęd od strony elektrycznej pobudzany jest napięciem stojana, wspólnym dla obu silników. Natomiast od strony mechanicznej jest on pobudzany prędkością kątową wałów osi pędnych. Krytycznym momentem dla takiego napędu jest przejazd przez krzyżak, w trakcie którego koło tramwajowe przechodzi z pracy powierzchnią toczną na pracę obrzeżem. Skutkuje to gwałtowną zmianą prędkości kątowej, zmieniającej kąty obciążenia w silnikach oraz wzajemne kątowne położenie stanów elektromagnetycznych.

W celu odwzorowania zjawisk zachodzących w grupowym napędzie tramwajowym opracowano model symulacyjny, który pozwolił na określenie zachowania napędu przy różnych celach i sposobach orientacji układu sterowania. Wyniki symulacyjne pozwoliły również na określenie parametrów stanowiska badawczego, w którym pomimo zmiany skali i mocy napędu, zostanie zachowany charakter zjawisk i przebiegów wielkości opisujących pracę silników. Natomiast zastosowanie odwróconego modelu tramwaju pozwoliło na zaprojektowanie kompaktowego stanowiska do badania napędów trakcyjnych, możliwego do budowy w warunkach laboratoryjnych. Jego konstrukcja odwzorowuje szereg zjawisk zachodzących w rzeczywistym napędzie: przejazd przez krzyżak, poślizg kół pędnych czy też zróżnicowanie średnic kół pędnych wskutek eksploatacji.

Zaproponowany model matematyczny będzie stanowił podstawę do dalszych badań nad opra-

cowaniem algorytmu sterowania, poprawiającego stabilność pracy napędu. Działania algorytmu zostaną sprawdzone w sterowniku mikroprocesorowym sterującym pracą falownika napięciowego na stanowisku napędów trakcyjnych.

6. Literatura

- [1]. Romaniszyn Z. „*Podwozia wózkowe pojazdów szynowych*” Wydawnictwo pojazdów szynowych Politechniki Krakowskiej.
- [2]. Dębowski A., Chudzik P., "An adaptive method of averaging the space-vectors location in DSP controlled drives", Proceedings International Conference on Electrical Machines ICEM'2000, Espoo, Finlandia, 2000.
- [3]. Dębowski A., Chudzik P., "Control of rotor flux in AC tram drive during sudden braking operation", Proc. of the 13th Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC'2008, Poznań
- [4]. Dębowski A., Chudzik P., Lewandowski D., "Napęd asynchroniczny ze sterowaniem momentu". Miesięcznik Napędy i Sterowanie, 4 / 2009.
- [5]. Dębowski A., Chudzik P., Kobos W., "Osłabianie strumienia magnetycznego w trakcyjnych silnikach indukcyjnych", Maszyny elektryczne, Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, BOBRME KOMEL, Katowice, Nr 80/2008.
- [6]. Dębowski A., Lewandowski D. „Napęd trakcyjny o obniżonej częstotliwości przełączeń”, Materiały konferencji SENE 2011.
- [7]. Dębowski A., Łukasiak P., "Design of current controller in an AC drive using a state stimulator concept", Proc. of the 12th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'2007, Aalborg, 2007.
- [8]. Chudzik P., Radecki A, "Eliminacja oscylacji w układzie zasilania pojazdu trakcyjnego", Przegląd Elektrotechniczny 2/2010.
- [9]. Lewandowski D., "Bezpośrednia regulacja momentu napędu skalarne", Materiały Konferencji SENE 2009, Łódź 2009.

Autorzy

Daniel Lewandowski
daniel.lewandowski@p.lodz.pl
Instytut Automatyki Politechniki Łódzkiej
ul. Stefanowskiego 18/24, 94-924 Łódź

Przemysław Łukasiak
przemyslaw.lukasiak@pl.abb.com
ABB sp. z o.o.
ul. Żegańska 1 04-713 Warszawa

Badania zostały przeprowadzone w ramach grantu badawczego: N N510 679740.

W ramach przedstawionych prac został zgłoszony wniosek patentowy:

- Stanowisko do odwzorowywania zjawisk nieustalonych grupowego napędu trakcyjnego.