

Krzysztof Kolano
Politechnika Lubelska, Lublin

PRACA UKŁADU NAPĘDOWEGO DRZWI KABINOWYCH Z SILNIKIEM SYNCHRONICZNYM PRZY ZASILANIU AWARYJNYM

CABIN DOOR DRIVE SYSTEM WITH SYNCHRONOUS MOTOR POWERED BY EMERGENCY BATTERY

Streszczenie: W artykule przedstawione zostały podstawowe założenia techniczne pracy układu napędowego drzwi kabinowych dźwigu osobowego przy zasilaniu ze źródła rezerwowego. Podstawowym wymogiem jest umożliwienie otwarcia drzwi dźwigu po wykonaniu zjazdu awaryjnego z możliwie jak najmniejszą mocą przy wykorzystaniu tylko jednego akumulatora rezerwowego. Aby umożliwić poprawną pracę układu przy obniżonych parametrach zasilania konieczne jest opracowanie specjalnego algorytmu sterowania uwzględniającego charakterystykę pracy silnika synchronicznego. Opracowana procedura została przetestowana w laboratorium Katedry Napędów i Maszyn Elektrycznych i zostanie wdrożona do praktyki przemysłowej w nowym układzie napędowym drzwi kabinowych.

Abstract: The article presents the basic assumptions of technical operation of the propulsion system of a passenger elevator cabin door powered by emergency battery. It is highly recommended for electric drive system of the lift doors, to open and close several times when supplying by the emergency battery. It is necessary to develop a control algorithm of synchronous motor operation to provide proper operation of the system performance at lower power. The developed procedure has been tested in the laboratory of the Department of Electrical Machines and Drives, and will be implemented into industrial practice in the new cabin door drive system.

Słowa kluczowe: silnik synchroniczny, zasilanie awaryjne, przekształtnik

Keywords: synchronous motor, emergency power, inverter.

1. Wstęp

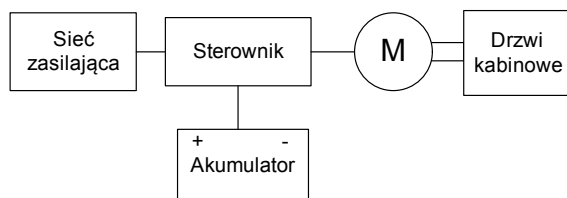
Zapewnienie możliwości uwolnienia pasażerów przy zaniku napięcia zasilania dźwigu osobowego jest często warunkiem koniecznym stawianym przez inwestora firmom produkującym urządzenia dźwigowe. W większości tego typu rozwiązań elementem kluczowym jest zasilacz awaryjny wyposażony we własne akumulatory, który w przypadku braku napięcia sieciowego przejmuje rolę źródła energii, informując jednocześnie układ sterowania dźwigu o zaistniałej sytuacji nadzwyczajnej. Napęd główny dźwigu powinien rozpocząć wtedy specjalną procedurę jazdy ze zmniejszoną prędkością na najbliższy przystanek w celu uwolnienia pasażerów. Napęd drzwi kabinowych powinien otworzyć drzwi umożliwiając pasażerom opuszczenie kabiny, po czym zablokować możliwość wejścia do kabiny do momentu pojawienia się zasilania głównego. Energia do działania napędu drzwi jest również pobierana z zasilacza awaryjnego i dostarczana za pośrednictwem przewodu z maszynowni dźwigu do jego kabiny.

Zastosowanie nowoczesnych struktur sterowania drzwiami kabinowymi zawierającymi układy przekształtnikowe, które mają za zadanie optymalizację procesu otwierania i zamykania drzwi umożliwia realizację tego procesu przy wykorzystaniu własnego akumulatora rezerwowego. Wpływa to bardzo korzystnie na żywotność zasilania awaryjnego napędu głównego, jak również znacznie unifikuje schemat elektryczny dźwigu i umożliwia rezygnację z kosztownej aparatury przełączającej źródło zasilania w głównej szafie sterowniczej. Niestety stosowane często układy napędowe wymagają znamionowej amplitudy napięcia zasilania, co wiąże się z koniecznością użycia dużej liczby akumulatorów podnoszących koszt rozwiązania. Do pracy z baterią dwóch akumulatorów nadają się natomiast urządzenia napędowe drzwi, których znamionowe napięcie zasilania zostało obniżone do 24V. Zestaw 2 akumulatorów umożliwia pracę takiego napędu

przez kilkadziesiąt cykli, co jest wartością więcej niż wystarczającą.

2. Proponowane rozwiązanie

Chęć zmniejszenia nakładów finansowych sprawia, że prowadzone są badania nad możliwością wykorzystania tylko 1 akumulatora do zapewnienia możliwości pracy drzwi w stanach awaryjnych. Zasilenie silnika połową znamionowego napięcia zasilania niesie ze sobą ryzyko zarówno wytworzenia zbyt małego momentu napędowego do otwarcia drzwi, jak również niebezpieczeństwo nieprawidłowej pracy inwertera sterującego pracą silnika. Sprawia to, że aby móc wykorzystać jedynie 1 akumulator do pracy układu napędowego drzwi kabinowych w stanach zaniku zasilania, należy od podstaw zaprojektować układ inwertera tak, aby mógł on pracować przy obniżonym napięciu zasilania rys. 2.

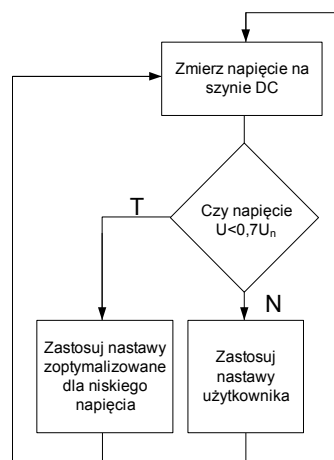


Rys. 1. Schemat blokowy układu napędowego drzwi kabinowych z akumulatorem rezerwowym

Przy budowie sterownika drzwi będącego tak naprawdę układem przekształtnikowym z dodatkowym zestawem wejść/wyjść należy wziąć pod uwagę zakres napięć przy jakich układ musi poprawnie pracować. Dla pojedynczego akumulatora jest to zakres od 10,6 V.

Aby uprościć układ połączeń elektrycznych zdecydowano, że o zastosowaniu nastaw zoptymalizowanych do pracy przy obniżonym napięciu zasilania będzie decydował sam sterownik drzwi na podstawie napięcia zasilania na szynie DC inwertera rys. 2. Sposób taki sprawia, że liczba elementów dodatkowych przy wykorzystaniu opcji zasilania awaryjnego została zredukowana do minimum. Zasilenie przekształtnikowego układu napędowego obniżonym napięciem wymusza na konstruktorach przyjęcia odmiennych od tradycyjnych kryteriów budowy inwertera i algorytmu jego pracy. Ponieważ graniczna wartość napięcia akumulatora, przy której możliwa jest jeszcze jego eksploatacja to ok. 10,6 V, należy tak dobrać elementy półprzewodnikowe przekształtnika, aby możliwa była jego poprawna praca z napię-

ciem stanowiącym około 40% napięcia znamionowego.



Rys. 2. Dobór nastaw inwertera w zależności od napięcia zasilania

Podstawowym problemem jest dobór elementów samego falownika – tranzystorów wyjściowych i ich drivera. Dobór pozostałych elementów układu sterującego jest uzależniony jedynie od potrzeb aplikacji sterowania, gdyż są one zasilane napięciem 5V. Aby zapewnić poprawną pracę układu falownika zdecydowano się wykorzystać tranzystory MOSFET IPD035080-D oraz drivera typu: IRS2101SPBF. Minimalne napięcie pracy drivera to 10V, a napięcie V_{GS} tranzystora to 4,5 V przy rezystancji na poziomie 3,5 m Ω . Optymalizacji wymaga również tor prądowy przekształtnika, który został zaprojektowany tak, aby powstałe spadki napięć nie doprowadziły do znacznego obniżenia prądu silnika, co wiązałoby się z wytworzeniem zbyt małego momentu napędowego i w konsekwencji niemożnością otwarcia drzwi.

3. Umieszczenie akumulatora

Z punktu widzenia uproszczenia budowy i ułatwienia okresowej obsługi najlepszym rozwiązaniem byłoby umieszczenie akumulatora w szafie sterowej urządzenia dźwigowego. Niestety znaczna odległość pomiędzy szafą sterowniczą dźwigu, a napędem drzwi kabinowych, wynosząca nawet kilkadziesiąt metrów, sprawia, że podczas pracy układu napędowego spadek napięcia na przewodach zasilających uniemożliwiłoby poprawną pracę układu napędowego, wzór 1.

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I_n \cdot l}{\delta \cdot s} \quad (1)$$

Dla założonych typowych wartości dźwigu 11-przystankowego (zakładany pobór prądu ok. 4A, odległość l ok. 60m, konduktywność $\delta=58 \text{ S}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$, przekrój przewodu s to maksymalnie dla przewodu zwisowego $2\cdot 0,75\text{mm}^2$) spadek napięcia wynosi 5,5 V, co uniemożliwia pracę układu napędowego:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 4A \cdot 60m}{58 \frac{\text{S} \cdot \text{m}}{\text{mm}^2} \cdot 1,5 \text{mm}^2} = 5,5V \quad (2)$$

Zdecydowano, że akumulator rezerwowy będzie umieszczony tuż przy sterowniku napędu tak, aby zminimalizować straty związane ze spadkiem napięcia na przewodach zasilających. Wymusiło to wyposażenie sterownika w układ kontrolujący ładowanie i stan akumulatora.

4. Parametry pracy

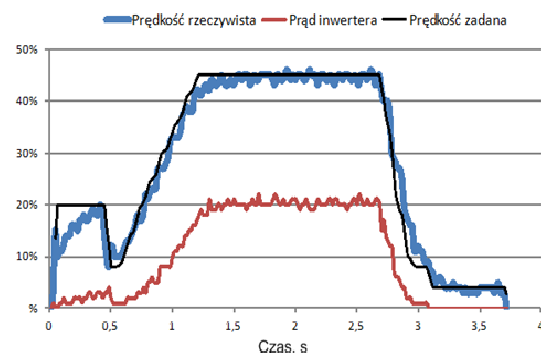
Zastosowanie enkodera inkrementalnego w torze obserwacji położenia wału silnika sprawia, że po załączeniu napięcia zasilania, potrzebna jest praca układu napędowego przez maksymalnie 1 obrót z dużym prądem silnika, zapewniającym ruch wirnika przy nieznanym jego położeniu. Po napotkaniu znacznika enkodera inkrementalnego sterownik może już realizować sterowanie FOC z parametrami pozyskanymi w procesie autotuningu przeprowadzonego przy pierwszym włączeniu układu napędowego. Aby proces ustalania położenia wału względem stojana po zaniku napięcia zasilania mógł być przeprowadzony konieczne jest wytworzenie przez silnik momentu napędowego, który jest w stanie pokonać opory maszyny roboczej. Przy nieznanym położeniu wału silnika optymalne sterowanie jego momentem jest niezmiernie trudne, toteż zastosowano procedurę jego uruchomienia z niską prędkością obrotową (ok. 5% prędkości znamionowej) i momentem równym połowie momentu maksymalnego. Taka procedura umożliwia ruch wirnika przy nieznanym jego położeniu, aż do momentu napotkania na znacznik „I” enkodera inkrementalnego, który w sposób jednoznaczny określa położenie wału. Od tego momentu możliwe jest już sterowanie połowo-zorientowane FOC silnika synchronicznego z magnesami trwałymi z wysoką wydajnością.

5. Badania laboratoryjne

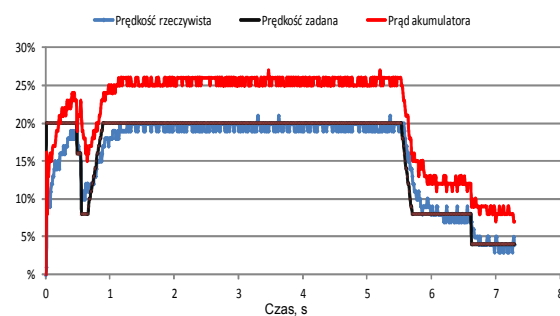
Do przeprowadzenia badań możliwości realizacji pracy układu napędowego drzwi kabinowych przy zasilaniu z jednego akumulatora

rezerwowego, wykorzystano opracowany w ramach projektu INNOTECH, ścieżka Hi-Tech napęd drzwi kabinowych SDK-2 produkcji Lift Service S.A. Dostęp do kodu źródłowego zarówno bloku inwertera, jak również algorytmu kontroli pracy drzwi, umożliwił optymalizację procesu ich pracy dla obniżonych parametrów zasilania.

Podczas normalnej pracy układu napędowego użytkownik może konfigurować parametry w zakresie 5-100%. W przypadku zasilania z akumulatora rezerwowego przyjęto założenie, że maksymalna prędkość otwierania drzwi to 20% prędkości znamionowej, a zamykania 40%. Jeśli parametry ustawione przez użytkownika mają niższą wartość, to pasażerowie nie zauważą żadnej różnicy pomiędzy pracą układu napędowego zasilanego z baterii rezerwowej, a normalnym stanem pracy.



Rys. 3. Przebiegi prędkości zadanej, rzeczywistej oraz prądu inwertera dla parametrów pracy przy zasilaniu sieciowym.



Rys. 4. Przebiegi prędkości zadanej, rzeczywistej oraz prądu inwertera dla parametrów pracy przy zasilaniu rezerwowym

Na rysunkach nr 3 oraz 4 przedstawiono zarejestrowane przez system pomiarowy przebiegi wartości zadanej prędkości, jak również wartości rzeczywiste prędkości obrotowej wału napędowego oraz prądu inwertera i akumulatora. W znamionowych warunkach pracy

(rys. 3.) dla standardowych drzwi charakteryzujących się niską masą własną prąd dla prędkości otwierania równej 45% prędkości znamionowej, wynosił około 20% wartości prądu znamionowego, czyli ok. 1,7 A. Przy zaniku napięcia zasilania - dla przebiegów przedstawionych na rys. 4. prędkość otwierania po zaniku napięcia zasilania została automatycznie obniżona do 20% wartości prędkości znamionowej, a pobór prądu z akumulatora był na poziomie 26% wartości prądu znamionowego inwertera, czyli ok. 2,2 A. W obu przypadkach drzwi osiągnęły prędkość zadaną i poprawnie realizowana była krzywa jazdy uwzględniająca zmniejszenie prędkości przed osiągnięciem pozycji pełnego otwarcia drzwi.

6. Podsumowanie

Wykorzystanie niskonapięciowego silnika z magnesami trwałymi do napędu drzwi kabinowych dźwigu osobowego znacząco obniża ilość energii zużywanej przez napęd w całym cyklu jego pracy. Obniżone zużycie energii w stosunku do tradycyjnych rozwiązań z silnikiem indukcyjnym lub silnikiem prądu stałego umożliwia łatwiejszą realizację pracy urządzenia przy zasilaniu z akumulatora rezerwowego. Poprzez zastosowanie odpowiednich algorytmów sterowania możliwe jest wykorzystanie jedynie jednego akumulatora rezerwowego do zasilania napędu drzwi, co znacząco obniża cenę i ułatwia późniejszą obsługę urządzenia przy niemal niezmiennych parametrach eksploatacyjnych. Możliwość zastosowania jednego akumulatora o małej pojemności umożliwia jego umiejscowienie we wspólnej obudowie z układem zasilania sieciowego i inwerterem, co przyspiesza i znacząco ułatwia montaż tego urządzenia. Opracowane rozwiązanie zostało pomyślnie przetestowane i jest na etapie wdrażania do produkcji seryjnej.

7. Literatura

- [1]. Glinka T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [2]. K. Kolano: *Napęd drzwi kabinowych dźwigu osobowego z wysokowydajnym silnikiem BLDC*. Przegląd Elektrotechniczny Numer: 11b/2012, s. 348.
- [3]. K. Kolano, Z. Goryca: *Bezprzekładniowy napęd drzwi windy*. Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy KOMEL Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 90/2011. Katowice – maj 2011r.

- [4]. Goryca Z.: *Niskonapięciowy, wolnoobrotowy napęd z bezszczotkowym silnikiem prądu stałego*, XV Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń 17-19 maj, 2006.

Informacje dodatkowe

Prace prowadzone były w ramach projektu HT-189362 „Opracowanie sterownika mikroprocesorowego bezreduktorowego napędu drzwi kabinowych z silnikiem BLDC” – projekt dofinansowany przez NCBiR w ścieżce Hi-Tech programu INNOTECH.

Autor

dr inż. Krzysztof Kolano – Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych, Politechnika Lubelska, e-mail: k.kolano@pollub.pl