

Krzysztof Kolano
Politechnika Lubelska, Lublin

WYKORZYSTANIE BATERII SUPERKONDENSATORÓW W UKŁADZIE NAPĘDOWYM DRZWI KABINOWYCH Z SILNIKIEM BLDC

THE USE OF SUPERCAPACITOR BATTERY IN THE CABIN DOOR DRIVE SYSTEM WITH BLDC MOTOR

Streszczenie: W artykule rozważono możliwość zastosowania baterii superkondensatorów w obwodzie pośredniczącym falownika napędu drzwi kabinowych. Jej zadaniem jest dostarczenie niezbędnej energii koniecznej do uwolnienia pasażerów w stanie awarii zasilania, jak również zmniejszenie szczytowego poboru prądu. W opracowanym układzie stwierdzono znaczące obniżenie prądu maksymalnego pobieranego przez układ napędowy, co umożliwiło wykorzystanie istniejącego, ale znacznie oddalonego źródła napięcia zasilania – w szafie sterowej w maszynowni dźwigu. Określone zostały kryteria doboru pojemności superkondensatora w zależności od liczby koniecznych do wykonania cykli pracy po zaniku napięcia zasilania. Opracowana koncepcja zapewnia znaczną poprawę parametrów eksploatacyjnych napędu drzwi kabinowych, ograniczenie obsługi serwisowej przy niższym koszcie inwestycyjnym.

Abstract: The article presents the application possibility of using supercapacitors in the DC link of the inverter controlling car doors in lift drive. Its use is both to provide the energy required to release the passengers in the state of power failure, as well as to reduce the peak power consumption. Limitation of current amplitude allows the use of existing power source in the engine room, which, due to the considerable distance and a large drive inrush current, has not been used until now. Developed structure provides a significant improvement of operating parameters of the cabin door drive, reducing maintenance at a slightly lower cost investment. Reducing costs, despite the expensive supercapacitor battery has been possible by the use of the existing power supply and resignation of acid battery as a source of energy during the power outage.

Słowa kluczowe: silnik BLDC, bateria superkondensatorów, prąd rozruchowy

Keywords: BLDC motor, supercapacitor battery, inrush current

1. Wstęp

Wymagania rynkowe dotyczące ograniczenia obsługowości urządzeń napędu elektrycznego, przy jednoczesnym poprawieniu parametrów ich pracy, skłania konstruktorów do sięgnięcia po nowoczesne struktury układów napędowych przy projektowaniu nowych, bądź modernizowaniu już istniejących rozwiązań. Tendencję taką można zauważyć w systematycznym zastępowaniu silników prądu stałego małej mocy przez silniki BLDC. Wykorzystanie silników BLDC w miejsce silników prądu stałego pozwala na znaczne polepszenie parametrów eksploatacyjnych takich rozwiązań, a zastąpienie wymagającego konserwacji komutatora mechanicznego – komutatorem elektronicznym oprócz ograniczenia obsługowości urządzenia, podnosi znacząco sprawność całego układu napędowego. Cechy powyższe skłaniają do stosowania zaawansowanych struktur układów napędowych tam, gdzie do tej pory wystarczające były proste układy oparte o połączone z prze-

kładnią silniki DC lub bezprzekładniowe napędy z silnikami indukcyjnymi. Przykładem takiego rozprzestrzeniania technologii jest zastosowanie wolnoobrotowego silnika BLDC w układzie napędu drzwi kabinowych dźwigu osobowego.

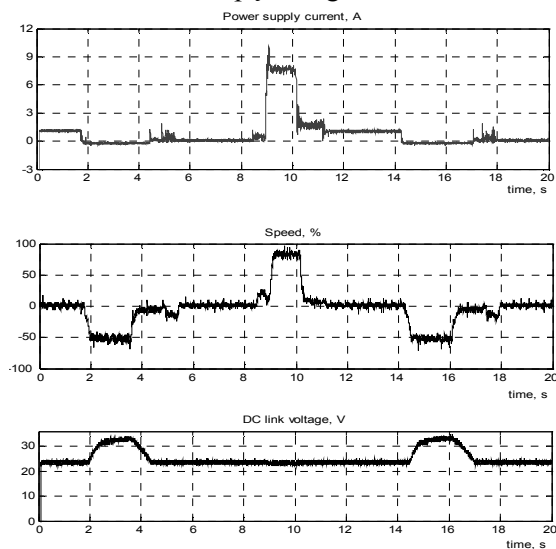
2. Problematyka

Wykorzystanie wysokowydajnej struktury układu napędowego zaowocowało bardzo niskim zużyciem energii i średnim zapotrzebowaniu mocy na poziomie $P_a=12$ W w cyklu znormalizowanym 160 jazd na godzinę. Pomimo niskiej wartości średniej mocy układu napędowego maksymalna moc chwilowa dochodzi podczas rozruchu do 200 W, co powoduje konieczność zaprojektowania bloku zasilającego o odpowiedniej wydajności prądowej. Konieczność zapewnienia pracy w stanie braku zasilania głównego sprawia, że układy napędowe stosowane w dźwigach osobowych wyposaża się

w dedykowane baterie chemiczne, których zadaniem jest dostarczenie energii niezbędnej do uwolnienia pasażerów w czasie zaniku zasilania głównego. Cechą charakterystyczną baterii chemicznej jest konieczność jej kontroli i cyklicznej wymiany, aby spełniała ona wymagania konieczne do poprawnej pracy układów napędowych. Stosowanie dodatkowego źródła energii wymaga wykorzystania rozbudowanego o układ kontroli procesu ładowania systemu zasilającego. Zwiększa to koszt urządzenia i komplikuje jego budowę i eksploatację.

3. Praca układu z tradycyjnym blokiem zasilającym

Drzwi kabinowe dźwigu osobowego, a w szczególności ich estetyka i jakość działania są ważne w postrzeganiu przez użytkowników produktu, jakim jest winda. W opinii ekspertów panuje przekonanie, że to właśnie ten element jest kluczowy w procesie ewaluacji jakości wykonania i funkcjonowania ponieważ poprzez obserwację ich działania pasażerowie formułują opinie o działaniu całego urządzenia dźwigowego. Konieczność zapewnienia dużej wydajności transportowej oraz dużej liczby cykli pracy urządzenia coraz częściej skłania producentów do sięgania po zaawansowane układy napędowe zapewniające odpowiednią dynamikę pracy. Duża dynamika umożliwiająca osiągnięcie pożądanego wydajności dźwigu i niesie konieczność zapewnienia odpowiednich parametrów zasilania układu napędowego.



Rys. 1. Przebiegi prądu zasilacza, prędkości oraz napięcia na szynie DC przy prędkości zamykania = $425^{obr}/min$ ($85\% V_{max}$) oraz prędkości zamykania = $250^{obr}/min$ ($50\% V_{max}$)

Pomimo niskiej wartości mocy uśrednionej w cyklu pracy, konieczne jest wykonanie dedykowanego układu zasilającego o dużej wydajności prądowej mogącego zapewnić wystarczającą moc w chwili rozpędzania i otwierania drzwi, a jednocześnie mogącego znieść wzrost napięcia przy pracy rekuperacyjnej napędu podczas ich zamykania (rys. 1). Na rysunku 1 można zaobserwować znaczną amplitudę prądu rozruchowego podczas otwierania drzwi, jak również znaczny (do ok. 35V) wzrost napięcia na szynie DC falownika podczas hamowania rekuperacyjnego podczas zamykania drzwi. Hamowanie rekuperacyjne jest w układzie drzwi kabinowych zjawiskiem normalnym i wiąże się ściśle z ich konstrukcją mechaniczną. Norma dźwigowa, z uwagi na bezpieczeństwo pasażerów, zakłada konieczność samoistnego zamknięcia się drzwi w przypadku rozsprzęglenia się ich części szybowej i kabinowej. Siła potrzebna do realizacji tej funkcji, wywierana jest przez układ z napinaną sprężyną bądź ciężarkiem podnoszonym podczas otwierania drzwi.

W wykorzystanym do badań układzie napędowym drzwi kabinowych, koszt bloku zasilającego stanowi około 20% kosztów całego napędu, co skłoniło producenta do podjęcia prac nad alternatywnym rozwiązaniem układu zasilania urządzenia.

Ponieważ szafa sterowa windy, jest zawsze wyposażona w zasilacz o odpowiednim zakresie napięciowym, to najtańszym i jednocześnie najprostszym sposobem dostarczenia energii do układu napędu drzwi kabinowych byłby właśnie ten element układu sterowania. Niestety na przeszkodzie staje konstruktorom odległość pomiędzy szafą sterową, a kabiną dźwigu osobowego, na której napęd drzwi pracuje. Odległość ta jest zbliżona do długości szybu dźwigowego i dla przeciętnego urządzenia wynosi około 40 m. Zarówno sygnały sterujące, jak i zasilanie elementów kabiny dźwigu doprowadzone są specjalnym, elastycznym kablem, zwanym przewodem zwisowym, którego przekrój najczęściej wynosi $0,75-1,5 \text{ mm}^2$. Sprawia to, że przy przepływie większych wartości prądów, pojawia się na nim znaczny spadek napięcia. Pomimo bardzo niskiej, średniej mocy urządzenia wynoszącej około 12W w cyklu znormalizowanym 160 jazd na godzinę, prąd rozruchu układu napędowego drzwi kabinowych z silnikiem BLDC sięga 8A (rys. 1). Pobór tak znacznego prądu spowodowałoby wy-

stąpienie spadku napięcia na przewodzie o przekroju $1,5\text{mm}^2$ (wz. 1) równego około 30,7%, co jest wartością nie do zaakceptowania (rys. 2).

$$\frac{\Delta U}{U_n} = \frac{2 \cdot I_n \cdot l}{\sigma \cdot U_n \cdot s} \cdot 100\% = 30,7\% \quad (1)$$

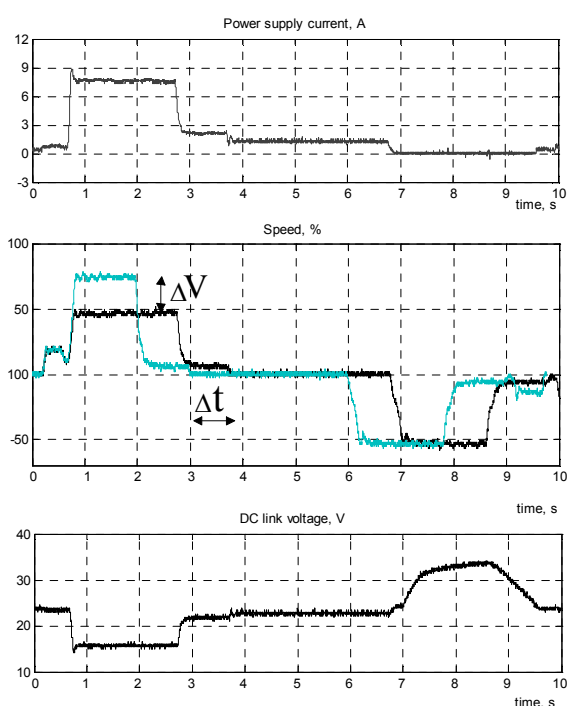
I_n – prąd znamionowy [A],

l – długość linii [m],

σ – konduktywność, dla miedzi 58 [$\text{S} \cdot \text{m} / \text{mm}^2$],

U_n – napięcie znamionowe [V],

s – pole przekroju poprzecznego kabla zasilającego [mm^2].



Rys. 2. Przebiegi prądu, prędkości (kolor jaśniejszy to przebieg prędkości bez uwzględnienia spadku napięcia na przewodach) oraz napięcia na szynie DC falownika z uwzględnieniem spadku napięcia na przewodach zasilających

Zaistniały podczas rozruchu spadek napięcia znacznie pogarsza właściwości dynamiczne (w porównaniu do pierwotnego znaczny spadek prędkości otwierania ΔV , a co za tym idzie wydajności całego dźwigu) układu napędowego i uniemożliwia jego poprawną pracę w układach z drzwiami pożarowymi lub drzwiami o dużej masie własnej.

Pobór dużego prądu podczas rozruchu układu napędowego, jak również konieczność zapewnienia możliwości uwolnienia pasażerów pod-

czas pracy przy braku zasilania głównego powoduje, że układ zasilania sterownika drzwi kabinowych jest skomplikowanym i mocno wpływającym na koszt elementem systemu. Jednocześnie obecność baterii chemicznej rodzi dodatkowe koszty obsługowe związane z jej cykliczną kontrolą i wymianą.

Aby wykorzystać istniejący na dźwigu układ zasilania tak, aby obniżyć koszty inwestycyjne należałoby zrealizować element buforujący energię pobieraną z zasilacza w szafie sterowej i umożliwiający znaczny pobór prądu przez układ napędowy drzwi kabinowych zwłaszcza podczas jego rozruchu. Taką możliwość daje bateria chemiczna, ale jej eksploatacja w ten sposób zwiększyłaby dodatkowo jej i tak dużą obsługowość.

Ponieważ zaprojektowane urządzenie może pracować w dość szerokim zakresie napięć zasilających możliwe jest użycie baterii superkondensatorów w obwodzie pośredniczącym DC falownika będącego integralnym elementem sterownika drzwi i tym samym umożliwienie magazynowania energii potrzebnej do pracy napędu. Superkondensatory ze względu na swe właściwości są często stosowane w układach rekuperacji energii pojazdów elektrycznych, ale ich stosunkowo wysoki koszt stanowi barierę w upowszechnieniu się tego rozwiązania na skalę masową. W omawianej aplikacji parametry źródła buforowego konieczne do uzyskania (stosunkowo niskie napięcie i małe pojemności energetyczne) sprawiają, że zastosowanie superkondensatorów w miejsce rozbudowanego układu zasilania może oprócz technicznego mieć również sens ekonomiczny.

4. Minimalizacja prądu pobieranego z zasilacza 24 V

Ponieważ średnia moc układu napędowego drzwi kabinowych zmierzona za pomocą analizatora jakości energii KEW 6310 w cyklu 160 otwarć/zamknięć na godzinę dla drzwi o masie 140 kg wynosi 12W, a prąd szczytowy 8A, właśnie te parametry powinny zostać uwzględnione przy doborze pojemności źródła buforowego i pozostałych parametrów jego zasilania.

Założenia:

- prąd pobierany z zasilacza szafy sterowej dźwigu: max 0,5 A, przy napięciu zasilania 24V,
- akceptowalny spadek napięcia 2V (z $U_1=24\text{V}$ do $U_2=22\text{V}$),
- maksymalna liczbajazd na godzinę $L_{j\text{max}}=160$.

$E_{1h} = 12W \cdot 3600s = 43200J$,
 $L_j = 160$ – maksymalna liczbajazd na godzinę.
 Energię potrzebną do jednego pełnego cyklu pracy drzwi kabinowych obliczymy z równania:

$$E_{1j} = \frac{E_{1h}}{L_j} = \frac{43200J}{160} = 270J \quad (2)$$

Ponieważ na wartość maksymalną prądu i moc chwilową, kluczowy wpływ mają nastawy parametrów pracy sterownika, a pobór energii ze źródła następuje głównie w chwili startu, bezpieczną metodą doboru parametrów superkondensatora jest założenie, że cała energia podczas otwarcia/zamknięcia drzwi będzie pobrana ze źródła buforowego z pominięciem energii pobranej w cyklu pracy z zasilacza.

Jeśli założymy, że akceptowalny spadek napięcia w cyklu pracy wynosi 2V (spadek z 24 do 22V), to pojemność buforowego źródła energii składającego się z superkondensatorów C_b powinna wynosić:

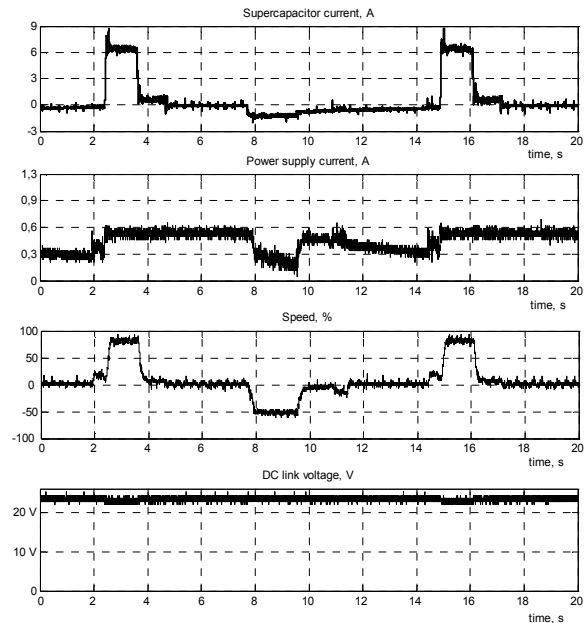
$$C_b = \frac{2 \cdot E_{1j}}{(U_1^2 - U_2^2)} = \frac{2 \cdot 270}{(24^2 - 22^2)} = 5,87F \quad (3)$$

Ponieważ parametry typowego superkondensatora umożliwiają prostą budowę źródła buforowego o pojemności 5 F i napięciu znamionowym 27 V, właśnie takie źródło zostało wykorzystane do badań laboratoryjnych. W związku z nieco niższą od obliczeniowej pojemnością bufora energetycznego, należy liczyć się ze spadkiem napięcia nieco poniżej zakładanej wartości 22 V.

Badania opracowanego układu przeprowadzone zostały na stanowisku składającym się m.in. z rzeczywistego układu napędu drzwi kabinowych dźwigu osobowego produkcji CMM Mezzago z wolnoobrotowym silnikiem BLDC. Dla dobranego w ten sposób źródła buforowego przeprowadzone zostały pomiary w znormalizowanym cyklu pracy układu napędowego drzwi kabinowych. Przebiegi zarejestrowane na stanowisku badawczym przedstawiono na rysunku 3.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzić można, że opracowany układ spełnił swoje założenia. Napęd drzwi pracował poprawnie dla prądu pobieranego z zasilacza równego 0,5 A, a brakująca podczas rozruchu energia dostarczona była z baterii superkondensatorów. Dodatkowym atutem takiego układu zasilania jest brak wzrostu napięcia na szynie

DC podczas hamowania rekuperacyjnego rozrządzonych drzwi kabinowych.



Rys. 3. Przebiegi: prądu superkondensatora, prądu zasilacza, prędkości oraz napięcia na szynie DC przy prędkości zamykania = 85% V_{max} oraz prędkości zamykania = 50% V_{max} z wykorzystaniem buforowego zasobnika energii

Na podstawie pomiarów można stwierdzić, że pomimo dość znacznej odległości pomiędzy źródłem zasilania, a układem napędowym napięcie na szynie DC nie ulega znacznym zmianom zarówno podczas przyspieszania, jak i hamowania rekuperacyjnego. Wyraźnie można zauważyć, że niedostatki energii z zasilacza są pokrywane energią pobraną z buforowego źródła zasilania, a podczas hamowania rekuperacyjnego przyjmuje ono nadwyżkę energii zapobiegając nadmiernemu wzrostowi napięcia na szynie DC. Jednocześnie ograniczony prąd zasilacza jest na tyle niewielki, że spadek napięcia na nawet dość długich przewodach zasilających jest akceptowalny i nie powoduje zakłócenia pracy napędu.

5. Praca podczas zaniku napięcia zasilania

Wymagania stawiane nowoczesnym układom napędowym drzwi kabinowych dźwigu osobowego zakładają możliwość uwolnienia pasażerów po zaniku napięcia zasilania i wykonaniu zjazdu awaryjnego dźwigu. Ponieważ dla ograniczonej dynamiki pracy drzwi umożliwiono działanie napędu przy nawet 12V napięcia za-

silającego (tylko w celu uwolnienia pasażerów) energia zgromadzona w źródle buforowym również powinna być wystarczająca do zrealizowania otwarcia awaryjnego drzwi. Zakładając awaryjny spadek napięcia źródła buforowego z $U_n=24V$ do $U_{min}=14V$ obliczona zostanie energia w nim zgromadzona E_c .

$$E_c = \frac{C_b \cdot (U_n^2 - U_{min}^2)}{2} = \frac{5,87 \cdot (24^2 - 14^2)}{2} = 1115J \quad (4)$$

Ponieważ zmierzona energia na 1 cykl pracy wynosi około 270J, to przy braku napięcia zasilania i pełnym naładowaniu źródła buforowego możliwe będzie wykonanie 4 pełnych cykli pracy drzwi. Ponieważ wymóg uwolnienia pasażerów jest spełniony już w pierwszym cyklu pracy, buforowe źródło energii zaprojektowane dla normalnego stanu pracy jest wystarczające również w sytuacji zaniku napięcia zasilania.

6. Podsumowanie

W opracowanym układzie stwierdzono znaczące obniżenie prądu maksymalnego pobieranego przez układ napędowy, co umożliwiło wykorzystanie istniejącego, ale znacznie oddalonego źródła napięcia zasilania. Określone zostały kryteria doboru pojemności superkondensatora w zależności od liczby koniecznych do wykonania cykli pracy, podczas zaniku napięcia zasilania. Opracowana koncepcja zapewnia znaczne poprawienie parametrów eksploatacyjnych napędu drzwi kabinowych, ograniczenie obsługi serwisowej przy nieco niższym koszcie inwestycyjnym. Ograniczenie kosztów pomimo zastosowania baterii superkondensatorów możliwe było dzięki wykorzystaniu istniejącego źródła zasilania i rezygnacji z baterii chemicznej będącej źródłem energii w czasie zaniku napięcia zasilania. Obecnie trwają prace nad wdrożeniem opracowanego układu do praktyki przemysłowej

7. Literatura

- [1]. Lisowska-Oleksiak A., Nowak A. P., Wilamowska M.: Superkondensatory jako materiały do magazynowania energii. Acta Energetica numer 1/2010.
- [2]. Chłodnicki Z., Koczara W.: : Supercapacitor storage application for reduction drive negative impact on supply grid Compatibility in Power Electronics, 2005. Page(s): 78 - 84.

[3]. Deskur J., Kaczmarek T., Zawirski K.: Automatyka napędu elektrycznego. Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej 2012.

[4]. Glinka T.: Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

[5]. Kolano K., Goryca Z.: Bezprzekładniowy napęd drzwi windy. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, Nr 90/2011. Katowice – maj 2011r.

Autor

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