

Dydaktyczny zespół napędowy sterowany komputerowo

Sławomir Judek
Krzysztof Karwowski
Marcin Prus

Dydaktyczny zespół napędowy

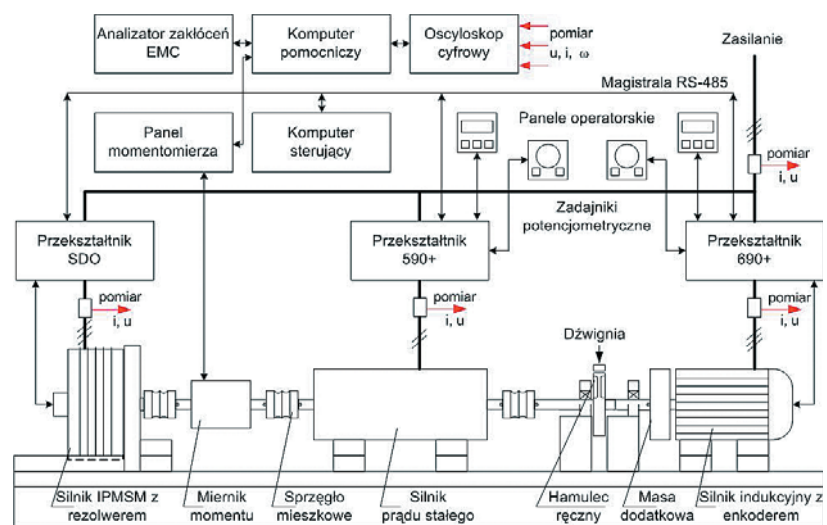
Stan rozwoju energoelektronicznych układów napędowych sterowanych cyfrowo osiągnął etap, w którym autonomiczny system mikroprocesorowy sterujący pracą przekształtnika może współpracować z nadrzędną jednostką sterującą lub wieloma stacjami połączonymi w sieć komputerową. Tego typu rozwiązanie umożliwia reakcję napędu w czasie rzeczywistym połączoną z dużymi możliwościami wizualizująco-sterującymi charakterystycznymi dla komputerów klasy PC [1].



Fot. 1. Stanowisko laboratoryjne [1, 2, 5]

Mgr inż. Sławomir Judek jest doktorem, dr hab. inż. Krzysztof Karwowski kierownikiem Katedry Trakcji Elektrycznej Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej a mgr inż. Marcin Prus pracownikiem Philips Lighting Poland SA.

W artykule przedstawiono nowoczesny, sterowany komputerowo, laboratoryjny zespół przeznaczony do badań napędów z silnikami prądu stałego, asynchronicznymi oraz synchronicznymi z magnesami trwałymi. Opisano budowę układu oraz możliwości dedykowanego oprogramowania sterująco-rejestrującego. Pokazano wybrane wyniki rejestracji oraz wskazano na istotne cechy dydaktyczne stanowiska.



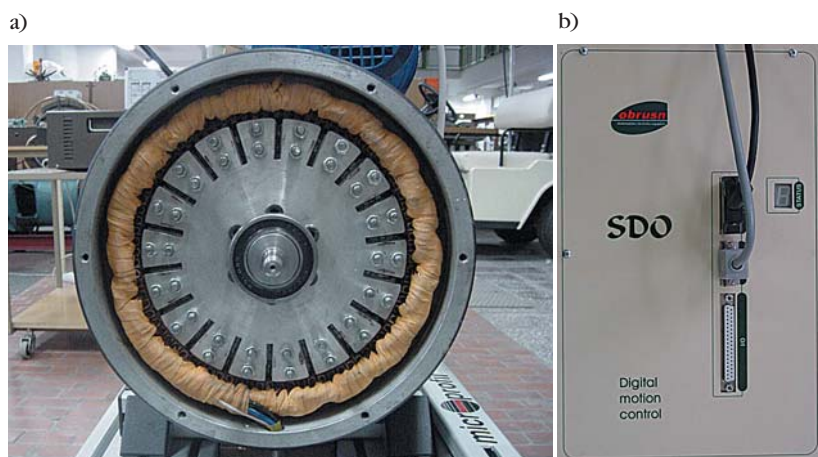
Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego

W skład zestawu napędowego wchodzi: przekształtnik prądu przemiennego 690+ zasilający silnik indukcyjny, czterokwadrantowy przekształtnik prądu stałego 590+ współpracujący z silnikiem prądu stałego z obustronnie wyprowadzonym wałem oraz przekształtnik SDO i silnik synchroniczny z magnesami trwałymi IPMSM (rys. 1) [5].

Zestaw uzupełniają komputery PC oraz przetworniki pomiarowe. Układ prądu stałego umożliwia – oprócz pracy napędowej – sterowalne obciążanie pozostałych maszyn stanowiska wraz ze zwrotem energii hamowania do sieci zasilającej. Walory dydaktyczne zestawu są poszerzone o możliwość zmiany momentu bezwładności układu [1, 2].

Szczególnie interesującym podzestosem systemu napędowego jest zespół silnika synchronicznego z magnesami trwałymi zasilany z tranzystorowego przekształtnika napięcia. Zastosowano silnik z zagłębionymi magnesami wewnątrz wirnika – IPMSM (*Interior Permanent Magnet Synchronous Motor*), którego widok przedstawia fot. 2a. Sterowanie wektorowe za pośrednictwem mikrokontrolera DSP i sprzężeń zwrotnych od: prądów silnika, napięcia obwodu pośredniego, prędkości kątowej i położenia kątowego z rezolwera zapewnia pracę napędową w trybie regulacji momentu, prędkości i położenia (fot. 2b) [7].

Przekształtniki z serii 690+ są uniwersalnymi urządzeniami do regulacji prędkości obrotowej silników indukcyjnych [3, 5]. Oparte na 32-bitowym procesorze gwarantują odpowiednią dynamikę napędu również dla wymagających użytkowników. Opcjonalne wyposażenie – pulpit sterowania



Fot. 2. Układ napędowy z silnikiem synchronicznym z magnesami trwałymi: a) widok wnętrza silnika IPMSM; b) przekształtnik napięcia

i specjalizowane moduły komunikacyjne – stwarza dużą elastyczność w ustalaniu strategii sterowania. Możliwa jest konfiguracja przekształtnika do pracy w trzech trybach:

- sterowanie w otwartej pętli – tryb według charakterystyki u/f , tzw. sterowanie skalarne
- sterowanie wektorowe bezczujnikowe (*Sensorless Vector*) – zapewnia precyzyjną kontrolę prędkości dzięki algorytmowi sterowania MRAS (*Model Reference Adaptive System*)
- sterowanie wektorem strumienia w zamkniętej pętli sprzężenia (*Closed Loop Vector*) – tryb wraz z enkoderem zapewnia pracę z zerową prędkością obrotową przy momencie znamionowym oraz stabilizację prędkości przy zmianach obciążenia.

Obcowzbudny silnik prądu stałego jest zasilany poprzez przekształtnik 590+, którego główny obwód mocy jest zbudowany na bazie dwóch sterowalnych mostków tyrystorowych. Algorytmy sterowania układu umożliwiają rozruch, hamowanie oraz regulację prędkości i momentu obrotowego dla obu kierunków wirowania wału [2, 5].

Sterowanie pracą przekształtników 590+ oraz 690+ jest możliwe przez: zadajniki potencjometryczne, panele operatorskie oraz przy użyciu komputera. Do wymiany danych pomiędzy komputerem a przekształtnikami można użyć magistrali transmisji szeregowej RS-485 [1, 2].

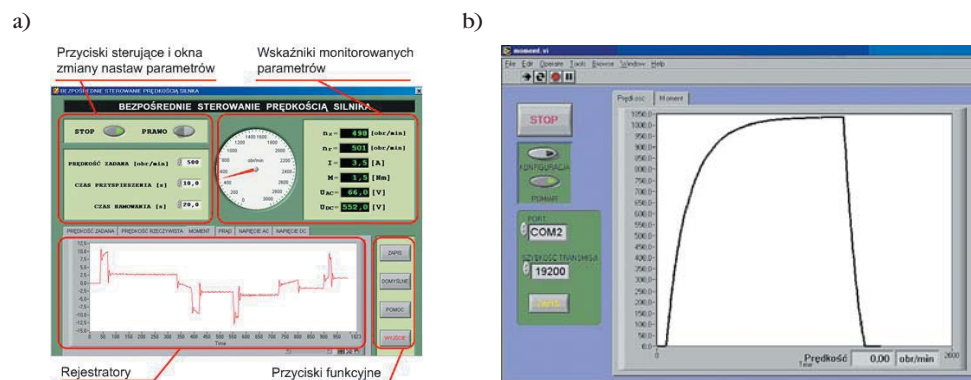
Oprogramowanie sterujące i rejestrujące

Istotną cechą układów 590+ oraz 690+ jest możliwość ich programowania, tj. zmiany konfiguracji diagramu blokowego (tzw. makra) przechowywanego w pamięci. Makro, w postaci powiązanych ze sobą bloków funkcyjnych, ma bezpośredni wpływ na pracę przekształtnika oraz strategię sterowania napędem. Do modyfikacji makra służy program *ConfigEd Lite* [4]. Pozwala on, w ograniczonym zakresie, na zmianę nastaw parametrów. Możliwość wymiany danych wykorzystano do wykonania dydaktycznego oprogramowania interfejsów komputerowych układu napędowego ułatwiającego proces

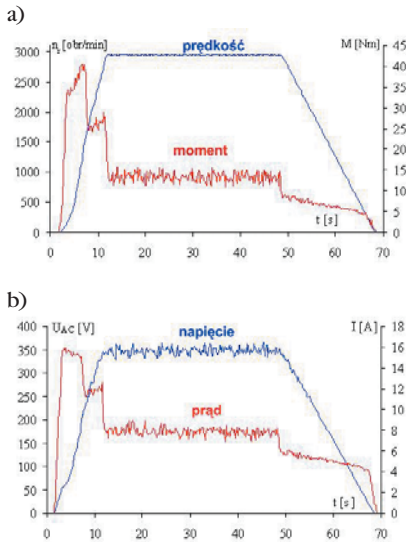
parametryzacji nastaw poszczególnych przekształtników oraz pozwalającego na pomiar i wizualizację wybranych parametrów elektryczno-mechanicznych [1]. Aby ułatwić zagadnienia związane z oprogramowaniem portów komunikacyjnych, okien dialogowych, wykresów itp., na rzecz zwiększenia możliwości użytkowych programu wybrano środowisko programistyczne LabVIEW [6].

Oprogramowanie przeznaczone do współpracy z zespołem napędowym składa się z trzech głównych, autonomicznych aplikacji: interfejsu sterującego pracą przekształtnika 590+, przekształtnika 690+ oraz aplikacji współpracującej z momentomierzem Magtrol 6400.

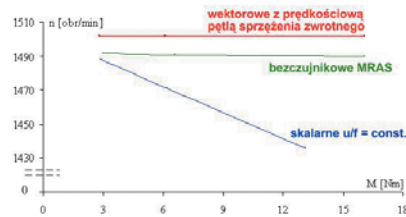
Jednym z pięciu podprogramów dostępnych z menu głównego aplikacji sterującej przekształtnikiem 690+ jest program *Bezpośredniego sterowania prędkością silnika*. Głównym celem tego podprogramu było pokazanie możliwości zdalnego odczytu i rejestracji parametrów charakteryzujących układ napędowy. Wykorzystując go, można sterować silnikiem na zasadach podobnych do pracy napędu z użyciem zadajnika potencjometrycznego (tj. start, stop, regulacja prędkości). Na panelu programu (rys. 2) można wyróżnić trzy grupy elementów. Pierwsza z nich to przyciski sterujące i okna zmiany nastaw parametrów. Drugą grupę elementów stanowią wskaźniki monitorowanych parametrów opisujących pracę silnika. Wielkości te są wizualizowane w czasie za pomocą rejestratorów graficznych. Ostatnią grupę stanowią kontrolki: ZAPIS – zachowuje serię danych po-



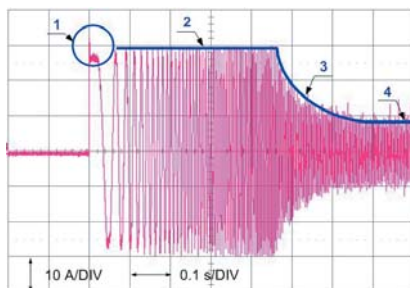
Rys. 2. Widok panelu programu kontrolno-pomiarowego: a) programu sterowania przekształtnikiem 690+; b) rejestracji sygnałów pomiarowych z momentomierza Magtrol 6400



Rys. 3. Przebieg wielkości mechanicznych i elektrycznych silnika podczas rozruchu i hamowania przy sterowaniu skalarnym, prędkości nominalnej oraz 80-procentowym obciążeniu: a) prędkości i momentu; b) napięcia i prądu silnika



Rys. 4. Charakterystyki mechaniczne $n = f(M)$ dla prędkości zadanej 1500 obr/min i trzech różnych trybach sterowania



Rys. 5. Przebieg prądu fazowego silnika podczas rozruchu w trybie regulacji momentu, gdzie: 1 - przeregulowanie prądu, 2 - stała amplituda prądu - tryb regulacji momentu, 3 - obszar pracy wynikający z ograniczenia napięcia zasilającego, 4 - punkt pracy ustalonej

miarowych w pliku tekstowym, Domyślne - zadaje domyślne wartości parametrów, POMOC - wywołuje opis funkcji programu, WYJŚCIE - kończy pracę podprogramu i powoduje przejście do programu głównego.

Kolejne podprogramy: *Krzywa trapezoidalna*, *Krzywa S*, *Protokół komunikacyjny* nie różnią się znacząco w sposobie użytkowania od aplikacji opisanej powyżej. Pierwszy z nich prezentuje pracę silnika, którego prędkość zmienia się w czasie według funkcji zwanej rampą trapezoidalną. W drugim prędkość silnika zmienia się według krzywej przypominającej literę S. Taki tryb sterowania umożliwia wpływ na przyspieszenie czy szarpnięcia, co jest to szczególnie ważne w tych zastosowaniach, w których jest wymagany płynny rozruch bądź hamowanie silnika, np. windy, rozlewnie. Ostatni z dostępnych podprogramów - *Demo* realizuje cyklicznie zestaw komend sterujących silnikiem [1].

Zaletą programu jest możliwość zapisania danych pomiarowych do pliku. Mogą one posłużyć do odtworzenia przebiegów wybranych wielkości w czasie i ich dalszą analizę. Przykładowe przebiegi wielkości obrazujących pracę silnika przedstawiono na rys. 3.

Zgromadzone dane pomiarowe oraz uniwersalność zastosowanego przekształtnika umożliwiają ocenę jakości napędu w zależności od wykorzystywanego trybu sterowania silnikiem. Na rys. 4 pokazano statyczne charakterystyki mechaniczne przy stałej prędkości zadanej i różnych trybach sterowania.

Na rys. 5 pokazano przebieg prądu fazowego silnika IPMSM w trybie regulacji momentu. Zadano stałą wartość momentu napędowego bez dodatkowego momentu obciążenia. Po rozruchu, ze względu na zbyt mały moment obciążenia, następuje ustalenie punktu pracy silnika przy znacznej prędkości ograniczonej napięciem zasilania. Widoczne jest niewielkie przeregulowanie przy szybkim narastaniu prądu silnika. W strefie regulacji momentu jest utrzymywana stała wartość amplitudy prądu. W układzie kaskadowej regulacji parametrów ruchu jest możliwa zmiana nastaw regulatorów PID. Wykorzystywane są także różne algorytmy sterowania, np. sterowanie wektorowe silnika oparte na trajektorii maksymalizacji momentu lub sterowanie z odmagnesowaniem strumienia silnika [7].

Aspekty dydaktyczne

Przedstawiony przykład zestawu napędowego umożliwia zapoznanie wielu odbiorców z nowoczesną techniką napędową. Studenci odbywający zajęcia laboratoryjne mogą badać różne maszyny elektryczne pod względem właściwości ruchowych, zaznajomić się ze sposobami sterowania silnikami z użyciem energoelektronicznych przetworników energii oraz poznać najnowsze trendy sterowania przekształtnikami poprzez nadzórne jednostki komputerowe. Stanowisko jest wykorzystywane na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki podczas zajęć laboratoryjnych z wielu przedmiotów, zwłaszcza z: Elektroniki przemysłowej, Trakcji elektrycznej, Kompatybilności elektromagnetycznej. Zaprezentowane oprogramowanie umożliwia przeprowadzenie szeregu różnorodnych zajęć dydaktycznych bez konieczności zaznajomienia słuchaczy z wieloma szczegółowymi aspektami związanymi z obsługą przekształtników 590+, 690+ czy SDO [1, 2, 5]. Kolejnym etapem rozwoju przedstawionego oprogramowania jest możliwość sterowania napędem poprzez Internet. Wykorzystane środowisko programistyczne umożliwia realizację tego zadania z wykorzystaniem standardowej przeglądarki stron internetowych [6].

Zaprezentowane stanowisko powstało w ramach współpracy Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej z Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym Urządzeń Sterowania Napędów w Toruniu, OBRUSN Toruń, który wykonuje projekty i dostarcza instalacje i wyposażenie dla automatyzacji stanowisk i linii produkcyjnych według określonych przez klientów zadań technicznych, ma również w swojej ofercie prezentowany

dydaktyczny zespół napędowy sterowany komputerowo. Konstrukcja stanowiska i oprogramowanie przekształtnika do zasilania silnika synchronicznego powstały w ramach wspólnych prac naukowo-badawczych. Oprogramowanie standardowych zespołów napędowych zostało wykonane w zakresie studenckich prac dyplomowych [1, 2].

Bibliografia

1. S. Judek, M. Prus, *Projekt oprogramowania interfejsu komputerowego dla układu napędowego z silnikiem indukcyjnym*, Praca dyplomowa PG, Gdańsk 2003.
2. A. Andrysiewicz, T. Świętoń, *Projekt oprogramowania interfejsu komputerowego dla układu napędowego prądu stałego*, Praca dyplomowa PG, Gdańsk 2002.
3. SSD, *690+ Series Frequency Inverter – Software Product Manual*, 2003.
4. SSD, *ConfigEd Lite – Product Manual*, 2002.
5. OBRUSN, *Technika napędowa*, www.obrusn.torun.pl
6. P. Lesiak, D. Świsulski, *Komputerowa technika pomiarowa w przykładach*. PAK, Warszawa 2002.
7. J. Czucha, A. Kamonciak, K. Karwowski, M. Mizan, *PM Motor Controller for an Electric Vehicle with Separate Wheel Drives*, 6th International conference „Modern Electric Traction in Integrated XXI Century Europe MET’2003”, Warszawa – Pułtusk 2003. ■

REKLAMA

WORTAL BRANŻOWY www.energoelektronika.pl

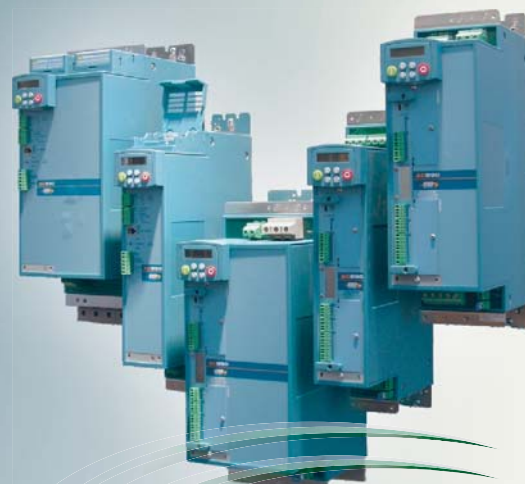


- nowości z branży
- porady specjalistów
- przegląd prasy branżowej
- katalogi firm i producentów
- opisy urządzeń i podzespołów
- kalendarium ważnych wydarzeń

REKLAMA

wszystko możliwe.

- ❖ falowniki
- ❖ napędy DC
- ❖ serwo AC
- ❖ silniki
- ❖ sterowniki PLC
- ❖ systemy sterowania



- ★ sprzedaż
- ★ aplikacje
- ★ serwis
- ★ szkolenia
- ★ konsultacje



Ośrodek Badawczo Rozwojowy
Urządzeń Sterowania Napędów
87-100 Toruń, ul. Batorego 107