

JAN GRUDZIECKI<sup>1</sup>, PIOTR MALENTA<sup>1</sup>, JERZY UCIŃSKI<sup>1</sup>

## BADANIA DYNAMIKI DOŚWIADCZALNEGO NAPĘDU FALOWNIKOWEGO

Słowa kluczowe: dynamika, automatyzacja, napęd, sterowanie.

Streszczenie. W referacie przedstawiono stanowisko i wyniki badań doświadczalnych falownikowych napędów elektromechanicznych. Sterowany programowo napęd zasilano kolejno z trzech typów falowników różniących się parametrami oraz metodą sterowania. Pozwoliło to na ocenę jakości procesów sterowania oraz własności dynamicznych badanych układów. Dokonano wstępnej oceny wpływu zastosowanego typu falownika i metody sterowania falownikiem na jakość procesu sterowania.

### 1. WSTĘP

Przykładem napędów dźwignic, gdzie najszybciej wprowadzono napędy falownikowe są mechanizmy jazdy suwnic pomostowych. Możliwość ciągłego sterowania prędkością jazdy, dojazd suwnicy do miejsca zatrzymania z dużą dokładnością, eliminacja ukosowania mostu suwnicy na torze w czasie jazdy czy też możliwość wyeliminowania wahań ładunku po zatrzymaniu maszyny to najważniejsze zalety nowego napędu. Pierwsze zastosowanie napędu falownikowego to na ogół modernizacja istniejącego układu napędowego. Do elektromechanicznego napędu wyposażonego w silnik klatkowy wprowadzano zasilanie poprzez przetwornicę częstotliwości zmieniając przy tym układ sterowania napędem.

Kolejny etap to projektowanie i montowanie na suwnicach nowych elektromechanicznych układów napędowych – na ogół już motoreduktorów z silnikami klatkowymi zasilanymi z odpowiednio dobranych falowników i wyposażonych w układy sterowania z ciągłą regulacją prędkości w całym cyklu roboczym.

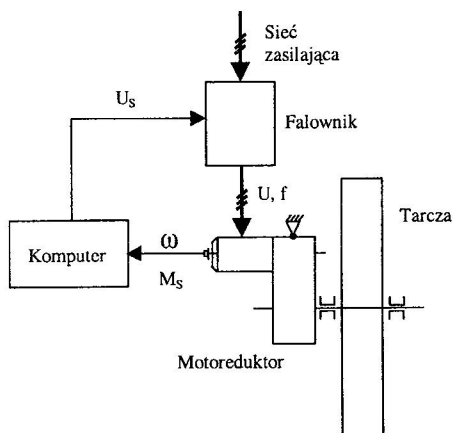
W nowo projektowanych układach zasilania istnieje też możliwość zastosowania coraz nowszej generacji falowników umożliwiających, między innymi, sterowanie wektorowe. Dzięki temu rozwiązaniu uzyskuje się bezpośredni wpływ na moment wyjściowy silnika, także przy jego zerowej prędkości.

---

<sup>1</sup> Politechnika Łódzka

## 2. STANOWISKO BADAWCZE

Do badań napędów falownikowych, ich własności dynamicznych, jakości procesów sterowania służy stanowisko badawcze, którego schemat wraz z blokowym układem sterowania przedstawiono na rys. 1. Osadzona na wale wolnobieżnym tarcza o dużym, regulowanym masowym momencie bezwładności napędzana jest wymiennymi elektromechanicznymi układami napędowymi. Tarcza odwzorowuje napędzany człon końcowy układów napędowych dźwigni, np. most suwnicy pomostowej – dla mechanizmu jazdy. W przedstawianym schemacie stanowiska napęd stanowi motoreduktor z silnikiem klatkowym z wbudowanym hamulcem firmy SEW Eurodrive osadzony na wale tarczy i zabezpieczony przed obrotem.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Silnik zasilany jest poprzez falownik, a układ sterowania zapewnia płynną regulację prędkości w całym cyklu pracy napędu.

Charakterystyka stanowiska:

- Tarcza

Masowy moment bezwładności  $I_T = 62 \text{ kgm}^2$

- Motoreduktor

Typ / firma FA67 / SEW Eurodrive  
Przełożenie  $i = 95,93$

- Silnik

Typ DT 90 S4 / BMG  
 $N_{zn} / n_{zn}$  1,1 kW / 1400 obr/min

- Falownik

W badaniach wykorzystano 3 typy falowników firmy BEVI / YASKAWA, dla których charakterystyki zestawiono w tabeli 1.

Istotną cechą wykorzystywanego w badaniach stanowiska jest duży współczynnik FI, charakteryzujący stosunek zredukowanego masowego momentu bezwładności mechanizmu –  $I_{ZR}$  do masowego momentu bezwładności wirnika silnika elektrycznego  $I_W$ . Dla stanowiska  $FI \geq 10$ .

### 3. BADANIA DOŚWIADCZALNE.

Przeprowadzone badania miały na celu dokonanie oceny jakości procesu sterowania napędem w zależności od zastosowanego typu falownika w układzie sterowania.

Falownik zasilany z sieci trójfazowej o napięciu 3 x 380 V steruje prędkością silnika lub prędkością i momentem według odpowiedniej metody (tabela 1). Sygnał sterujący dla falownika –  $U_S$  generowany jest przez komputer (rys. 1). Jest on proporcjonalny do zadawanej do realizacji przez napęd (przez silnik) prędkości obrotowej w założonym cyklu pracy.

Układ pomiarowy stanowiska umożliwił:

rejestrację rzeczywistej prędkości silnika; rejestrację momentu napędowego rozwijanego przez silnik; rejestrację momentu skręcającego występującego na wale wolnobieżnym tarczy.

Badano odpowiedzi układu napędowego na zadawane sygnały sterujące. Przebiegi rejestrowano przy użyciu stacji roboczej Advantech i programu Genie.

Tab. 1. Charakterystyki stosowanych falowników

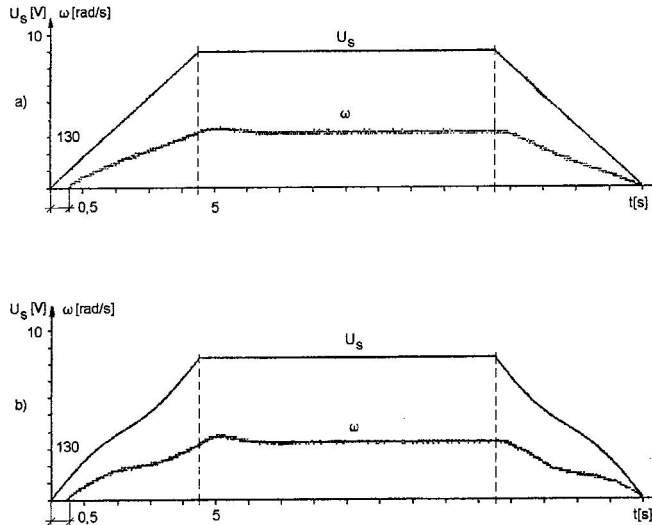
Typ falownika	„A” ING 3	„B” ING 5	„C” ING 5 - VS
Metoda sterowania momentem i prędkością silników	Modulacja sinusoidalna szerokości impulsu (PWM)	U/f z czujnikiem prędkości obrotowej	Wektorowa z czujnikiem prędkości obrotowej
Podstawa sterowania silnikiem	Kształtowanie charakterystyki U/f bez sprzężenia prędkościowego	Kształtowanie charakterystyki U/f ze sprzężeniem prędkościowym	Kształtowanie wektora prądu i napięcia ze sprzężeniem prędkościowym
Czujnik obrotów	Nie wymagany	Wymagany	Wymagany
Zakres regulacji prędkości obrotowej	1 : 100 prędkości znamionowej	1 : 40 prędkości znamionowej	1 : 1000 prędkości znamionowej
Moment obrotowy przy rozruchu	150% momentu znamionowego przy 1/20 obrotów znamionowych silnika	150% momentu znamionowego przy 3 Hz	200% momentu znamionowego przy 0 obr/min
Stabilność prędkości obrotowej przy zmianach obciążenia	+/- 0,1% prędkości zadanej	+/- 0,03% prędkości zadanej	+/- 0,02% prędkości zadanej
Zakres częstotliwości wyjściowej	0,5 – 60 (320) Hz	0,1 – 400 Hz	0 – 400 Hz
Sterowanie momentem	Nieaktywne	Nieaktywne	Aktywne
Szczególne zastosowania	Wymagana stabilność prędkości obrotowej przy zmiennym obciążeniu	Wymagana podwyższona stabilność prędkości obrotowej przy zmiennym obciążeniu	Uproszczone układy zastępujące serwomotory; Bardzo precyzyjna regulacja prędkości; Sterowanie wartością momentu silnika

Wyniki wybranych pomiarów przedstawiono na rysunkach 2, 3, 4.

Przyjęte oznaczenia:

- $U_S$  – napięcie sterujące, proporcjonalne do zadawanej prędkości silnika,
- $\omega$  – prędkość rzeczywista silnika,
- $M_S$  – moment napędowy silnika (jego przebiegi pokazano wybiórczo).

Na rys. 2. Przedstawiono badania układu z falownikiem typu „A” w układzie sterowania. Sygnał sterujący ma tu charakter trapezowy oraz sinusoidalny.

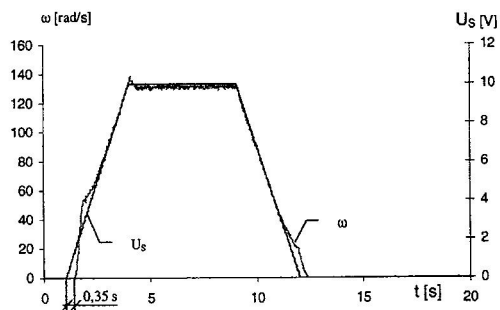


Rys. 2. Badania układu napędowego z falownikiem typu „A” w układzie sterowania.

- a) odpowiedź układu na trapezowy sygnał sterujący
- b) odpowiedź układu na sinusoidalny sygnał sterujący

Charakterystyczną cechą dla tego układu jest opóźnienie w realizacji zadawanych przebiegów prędkości w stanach nieustalonych przekraczające 0,5 sekundy i widoczne szczególnie przy rozruchu. Wynika to ze stosunkowo małego momentu rozruchowego rozwijanego przez silnik. Dopiero przy częstotliwości ok. 25 Hz silnik może rozwinać do ok. 150% momentu znamionowego, a tym samym realizować odpowiednio dynamikę rozruchu lub hamowania.

Na rysunku 3 przedstawiono badania układu z falownikiem typu „B” w układzie sterowania. Sygnał sterujący ma tu charakter trapezowy.



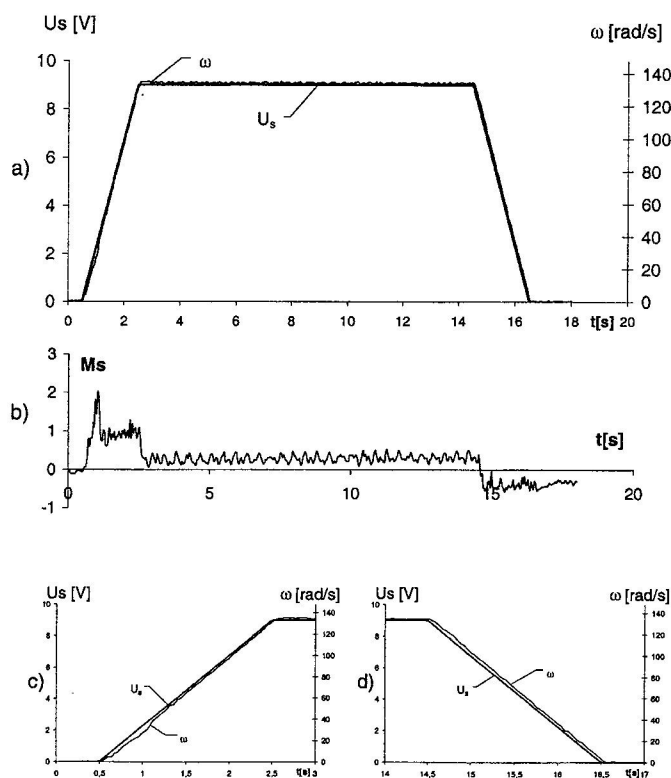
Rys. 3. Badanie układu napędowego z falownikiem typu „B” w układzie sterowania. Odpowiedź układu na trapezowy sygnał sterujący

Charakterystyczną cechą dla tego układu jest opóźnienie występujące w pierwszej fazie rozruchu dochodzące do  $\sim 0,35$  s, przy czym silnik po osiągnięciu ok. 20% znamionowej prędkości osiąga wartość zadawanej prędkości, a następnie "trzyma" ją z dużą dokładnością.

Widać również wyraźnie, że przy hamowaniu po zmniejszeniu prędkości poniżej 20% prędkości znamionowej moment hamujący silnika maleje gwałtownie, co odbija się na dokładności realizacji przebiegu prędkości do chwili zatrzymania napędu.

Na rys. 4. przedstawiono badania układu z falownikiem typu "C" w układzie. Sygnał sterujący ma tu charakter trapezowy.

W tym układzie sterowania zastosowano falownik o wektorowej metodzie sterowania momentem i prędkością silnika. Silnik po załączeniu napędu i przy zerowej prędkości rozwija odpowiedni moment ( do 200 % momentu znamionowego silnika ), dlatego przy zadawaniu sygnału sterującego prędkością, natychmiast realizuje ją z dużą dokładnością. Opóźnienia są rzędu stałej czasowej układu sterowania tj. 0,05 sekundy.



Rys. 4. Badania układu z falownikiem typu „C” w układzie sterowania.

- odpowieź układu na trapezowy sygnał sterujący
- przebieg momentu silnika
- faza rozruchu w powiększeniu
- faza hamowania w powiększeniu

#### 4. WNIOSKI

Przedstawione stanowisko badawcze umożliwia prowadzenie badań dotyczących oceny jakości procesów sterowania napędem elektromechanicznym.

Przeprowadzone badania wykazują, że jakość sterowania napędem zależy od typu falownika i zastosowanej przez producenta metody sterowania falownikiem.

Najkorzystniejsze i najdokładniejsze przebiegi prędkości w stosunku do wielkości zadawanych otrzymywano dla falowników sterowanych wektorowo.

Wybór i zastosowanie odpowiedniego typu falownika do konkretnego typu napędu winien zależeć od wymagań stawianych przed danym napędem.

#### 5. LITERATURA

1. Bisztyga K.: *Sterowanie i regulacja silników elektrycznych*. WNT 1989.
2. Grudziecki J., Malenta P., Uciński J.: *Badania eksperymentalne napędu falownikowego*. Konferencja Naukowo Techniczna Napędy Maszyn Transportowych. Ustroń Śląski, listopad 2000.
3. Grudziecki J., Uciński J.: *Stanowisko do badań elektromechanicznych układów napędowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej. Bielsko Biała 1993.
4. Tomczyk J. i inni: *Automatyzacja sterowania suwnicy do przeladunku kontenerów*. Prace dla Komitetu Badań Naukowych. OBRDiUT „DETRANS”- Bytom, Politechnika Łódzka, 1994.

#### THE RESEARCH OF THE DYNAMICS OF THE EXPERIMENTAL INVERTER DRIVE

##### Summary

The paper presents the experimental test stand oriented for the research of electromechanical drives. Dynamic features and the quality of the control process can be assessed. Numerically controlled drive was equipped with different types of frequency converters. They differed in properties and in parameters. The influence of the converter's type and its control method on the whole control process has been analysed.