

Karol BURDZANOWSKI

STEROWANIE PRACĄ SYNCHRONICZNĄ NAPĘDÓW WIELOSILNIKOWYCH PRZY ZASTOSOWANIU STEROWNIKÓW PROGRAMOWALNYCH PLC

STRESZCZENIE

Opisano układ sterowania pracą synchroniczną kilku (do 4) napędów z wykorzystaniem sterownika PLC typu FX2N-32MR firmy Mitsubishi. Przedstawiono opis zbudowanego stanowiska oraz wyniki badań i wnioski.

1. WSTĘP

Przedmiotem badań laboratoryjnych wykonanych w Zakładzie Elektrycznych Napędów Obrabiarkowych Instytutu Elektrotechniki był układ umożliwiający sterowanie synchroniczne kilku (do 4) napędów. Jako pracę synchroniczną (współbieżną) przyjęto dalej takie warunki działania napędów, gdy w stanie ustalonym różnice między położeniami wałów silników mają wartość stałą. (Należy zaznaczyć, że w praktycznych zastosowaniach np. w maszynach papierniczych lub do produkcji folii, przy pracy, którą określa się również jako współbieżną, mogą występować stałe, nastawiane różnice prędkości między wałami

Mgr inż. Karol BURDZANOWSKI

Zakład Elektrycznych Napędów Obrabiarkowych
Instytut Elektrotechniki

poszczególnych silników, tzw. ciągi). Przyjęto, że układ złożony z dwóch napędów będzie wystarczającym aby wnioski na temat pracy synchronicznej można było uznać za odpowiadające tego rodzaju pracy. Specjalny układ pomiarowy opisany w [2] umożliwił rejestrację uzyskanych przebiegów czasowych prędkości i położenia oraz różnic tych wielkości. Aby zbadać powyższe przebiegi przy quasi skokowej zmianie obciążenia, jeden z silników sprzęgnięto z maszyną prądu stałego sterowaną tyrystorowym przekształtnikiem.

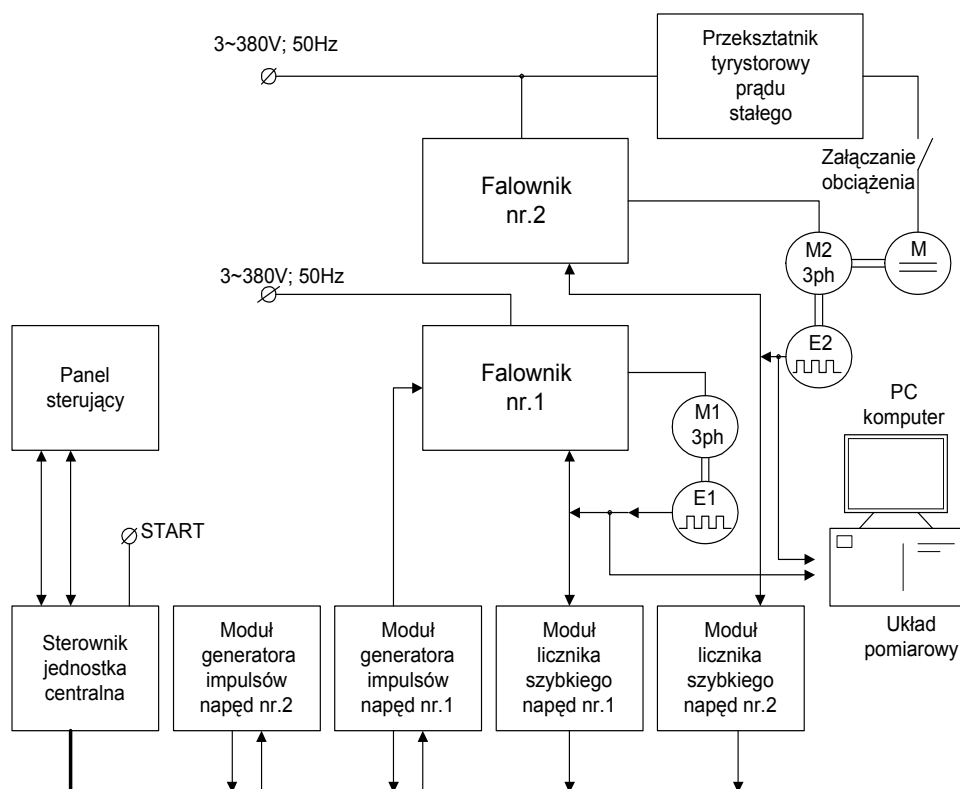
Napędy o pracy synchronicznej (współbieżnej) znajdują zastosowanie przy urządzeniach takich jak np.: suwnice bramowe, obrabiarki, manipulatory, maszyny papiernicze.

2. OPIS ROZWIĄZANIA

W skład badanego stanowiska wchodziły :

- dwa falowniki Mitsubishi FR-V200 z modułami pozycjonowania FR-VPB o danych: $P_N=7.5\text{kW}$, 380-460V, 50 Hz; 380-460 V, częstotliwość wyjściowa 0-120 Hz, jeden z falowników był wyposażony w moduł hamujący UFB z rezystorem RUFC 15.4 1200 W;
- sterownik PLC Mitsubishi FX2N-32MR z dwoma modułami generatorów impulsów i dwoma modułami liczników szybkich;
- panel sterujący typ MAC E300 współpracujący ze sterownikiem;
- dwa silniki indukcyjne klatkowe typu Sh 132M-4, moment bezwładności $J=0.035\text{kgm}^2$ 10kW, 380 V Δ
- dwa inkrementalne (przyrostowe) przetworniki obrotowo-impulsowe (encodery) zamocowane na wałach silników, typu: Control Techniques 60 OP-1024 imp/obr oraz Hengstler RI 76 TD/1024 AD.1N3 ORF-FO
- tyrystorowy przekształtnik prądu stałego Control Techniques typu MentorII, wyjście 0-440 V DC, 75 A;
- silnik prądu stałego typu PXOb 64a 10k W, 440 V, wzbudzenie obce.

Schemat blokowy stanowiska badawczego przedstawiony jest na rys.1.



Rys.1. Schemat blokowy stanowiska do badań biegu synchronicznego.

2.1. Panel sterujący

Przy pomocy tego urządzenia możliwe jest komunikowanie się z układem, oraz wizualizacja jego pracy. Na panelu znajduje się klawiatura numeryczna oraz wyświetlacz. Program obsługujący panel znajduje się w pamięci wewnętrznej tego urządzenia. Posługując się klawiaturą zadajemy prędkość roboczą w stanie ustalonym (w % prędkości znamionowej) oraz czas rozruchu i czas hamowania. Program został napisany w ten sposób, że należy wybrać jeden z dostępnych trybów pracy. W pierwszym możliwy jest ruch po zadaniu prędkości w kierunku (umownym) „do przodu”. Drugi tryb „do tyłu” różni się tylko kierunkiem pracy. Dla trzeciego trybu pracy „pozycjonowanie” oprócz prędkości, należy zadać także położenia końcowe napędów.

2.2. Zasada działania

Każdy tryb pracy uruchamiany jest przyciskiem „start”. Pracując w trybie „do przodu” moduł generatora wytwarza liczbę impulsów o częstotliwości

proporcjonalnej do zadanej prędkości. Ruch trwa dopóki przycisk jest wciśnięty. Tak samo jest dla ruchu „do tyłu”. Liczbę zliczonych impulsów sterownik przelicza na odpowiadającą im drogę liniową wynikającą z przewidywanego zastosowania. W rozpatrywanym przypadku przyjęto, że na 1m drogi przypada 51200 impulsów. Wykonywane badania prowadzone były pod kątem układu napędów scenicznych dla teatrów: podnoszenia, opuszczania kurtyny, dekoracji itp.

Obciążanie jednego z silników polegało na pracy prądnicowej maszyny obciążającej i zwrocie energii do sieci przez przekształtnik.

Podczas pracy z pozycjonowaniem moduł generatora każdego z napędów wytwarza liczbę impulsów proporcjonalną do zadanej drogi. Liczniki szybkie zliczają impulsy z czujników położenia, dopóki przycisk jest wciśnięty lub do osiągnięcia zadanej drogi. Na wyświetlaczu panelu sterującego odcytujemy liczbę impulsów wytworzonych w generatorze oraz rzeczywistą liczbę impulsów z czujnika położenia zliczoną przez liczniki szybkie. Liczby te powinny być jednakowe, jednak nie zawsze tak jest. Sam producent falowników podaje dokładność pozycjonowania do 1.5° (na wale silnika). Przy rozdzielczości stosowanego przetwornika 1024 imp/obr odpowiada to 4 impulsom. Dodatkowo, jeśli nie zachowa się dostatecznych warunków kompatybilności elektromagnetycznej mogą pojawić się impulsy wprowadzające zakłócenia. Sytuacja taka w niektórych przypadkach może wręcz uniemożliwiać pracę układu.

2.3. Układ pomiarowy

Rejestrację graficzną uzyskiwanych przebiegów czasowych umożliwił program komputerowy napisany w języku „C” [2]. Układ mikroprocesorowy znajdujący się na karcie umieszczonej w komputerze PC wykorzystuje specjalny moduł określany jako procesor sterujący ruchem i pozwala na dołączenie do 4 napędów. Określenie położenia do celów pomiarowych dokonuje się wykorzystując sygnały z czujników położenia. Procesor Sterujący Ruchem zawiera szybką jednostkę obliczeniową w postaci procesora sygnałowego wraz z układem scalonym dostosowanym do konkretnego działania z komputerem nadrzędnym oraz czujnikami położenia. Przed uruchomieniem układu należy wpisać liczbę badanych napędów (od 2 do 4) i czas pomiaru (od 5 s do 50 s). Następnie uruchamiamy układ i po odczekaniu zadeklarowanej liczby sekund pomiary zostają zakończone.

Wówczas należy podać następujące dane służące do wyskalowania wyświetlanych przebiegów czasowych:

- współczynnik skalujący prędkość x_N - liczba całkowita od 1 do 10 (dla 10% prędkości znamionowej $x_N = 1$, dla 20% $x_N = 2$ itd.),
- współczynnik skalujący położenie x_S - liczba całkowita równa połowie przebytej przez napęd drogi (gdy droga wynosiła np. 4000 mm to $x_S = 2000$),
- współczynnik skalujący różnice prędkości D_N ,
- współczynnik skalujący różnice położenia D_S .

Przy małych różnicach prędkości i położenia dwóch badanych napędów przyjmuje się $D_N = D_S = 1$. Pomnożenie skali na osi rzędnych przez współczynniki pozwala odczytać z wykresów wartości liczbowe przebiegów. Między wyżej wymienionymi zmiennymi prawdziwe są zależności:

- prędkość $n = x_N \cdot i_n$ [obr/min],
- położenie $s = (x_S/1000) \cdot i_s$ [obr],
- różnica prędkości $d_N = D_N \cdot i_{dn}$ [obr/min],
- różnica położenia $ds. = (D_S/1000) \cdot i_{ds}$ [obr],

gdzie i_n, i_s, i_{dn}, i_{ds} - wartości odczytane na skali rzędnych.

Na wykresach otrzymano przebiegi czasowe:

- prędkości i położenia każdego z napędów: na osi poziomej skala czasu pomiaru pomnożona przez 0.1 w [s], na osi pionowej podano wartości prędkości w [obr/min] i położenia w [obr]; kolor czerwony odpowiada prędkości, zielony położeniu,
- różnice prędkości i położenia jednego napędu względem drugiego: oś pozioma to skala czasu pomiaru pomnożona przez 0.1 w [s], na osi pionowej podano wartości różnic prędkości, w [obr/min] i różnic położenia w [obr], kolor czerwony to różnice prędkości, zielony różnice położenia.

3. WYNIKI BADAŃ

Ruch synchroniczny realizowano w ten sposób, że wybierano jeden z trybów pracy „do przodu” lub do „do tyłu” i po zadaniu jednakowej dla obu napędów prędkości uruchamiano układ. Na rysunku 2a) widzimy uzyskane przebiegi. Różnica położenia wałów silników podczas ruchu wynosiła -5.8° (16 imp.), końcowa -19° (54 imp.).

W trakcie badań okazało się, że wpływ na osiągnięte wyniki mają:

- współczynnik prędkościowy uchybu położeniowego $K_V[s^{-1}]$ (patrz [1]),
- parametr „ F_{wd} ” (feedforward)- zastosowanie modułu pozycjonującego umożliwia wprowadzenie dodatkowego sprzężenia do przodu, można je nastawiać w zakresie 0-100% [patrz3],
- zadawana prędkość.

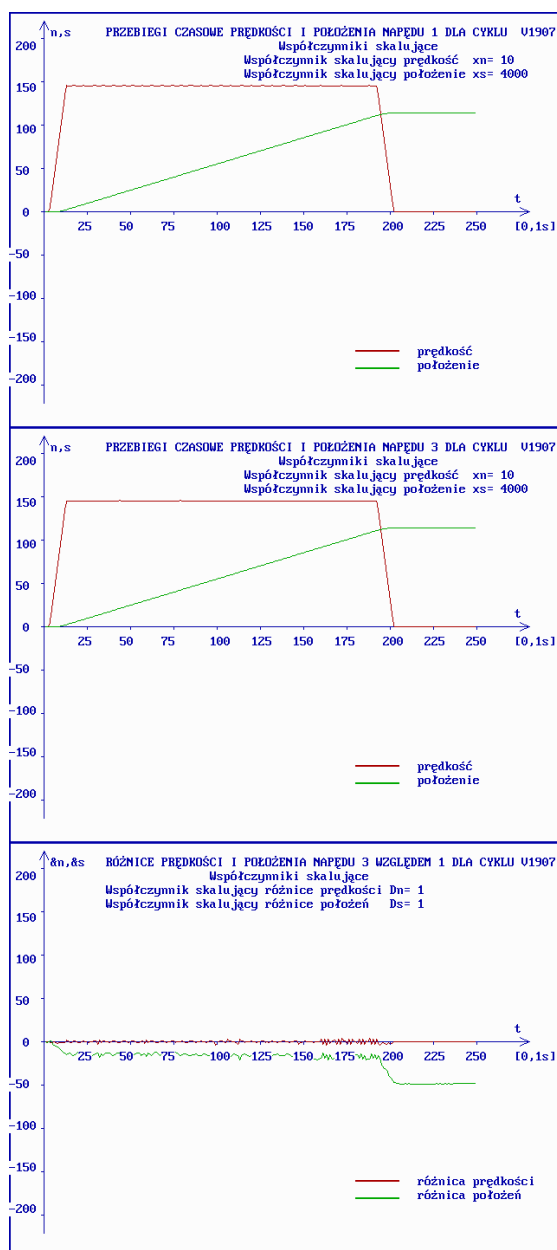
Przebiegi z rys.2a) uzyskano dla następujących nastaw parametrów: $K_{V1} = K_{V3} = 63s^{-1}$, prędkość zadana 95%. Zróżnicowanie nastaw ($K_{V1} = 60s^{-1}$, $K_{V3} = 60s^{-1}$) spowodowało zmniejszenie różnicy położenia w stanie ustalonym do wartości bliskiej zeru, pod koniec pracy do ok. -13.7° (39 imp.) rys.2b). Różnica położenia największa dla max. prędkości malała w przybliżeniu proporcjonalnie do zmniejszenia zadanej prędkości. Występowanie uchybu w końcowej fazie cyklu pracy można wytłumaczyć w następujący sposób: jeden z silników sprzężony był z maszyną prądu stałego, co pociągnęło za sobą zwiększenie (ok 10 krotne) bezwładności sprzęgniętego układu. Różnica momentów bezwładności powodowała, że uchyb narastał przy hamowaniu i utrzymywał się po zatrzymaniu. Przebiegi z rys.2c) przedstawiają pracę układu, gdy zadane było położenie końcowe (tryb pracy „pozycjonowanie”). Wartości nastaw parametrów były następujące: $K_{V1} = K_{V3} = 80s^{-1}$, $F_{wd1} = 30\%$, $F_{wd3} = 35\%$. Maksymalna różnica w stanie ustalonym wynosiła -3.6° (10 imp.), końcowa zaś przy stosowanej metodzie pomiarowej była niemierzalna.

Badanie wpływu obciążenia wykonywano przy 10% prędkości znamionowej, ponieważ im wyższa była prędkość, tym wpływ obciążenia był mniej widoczny.

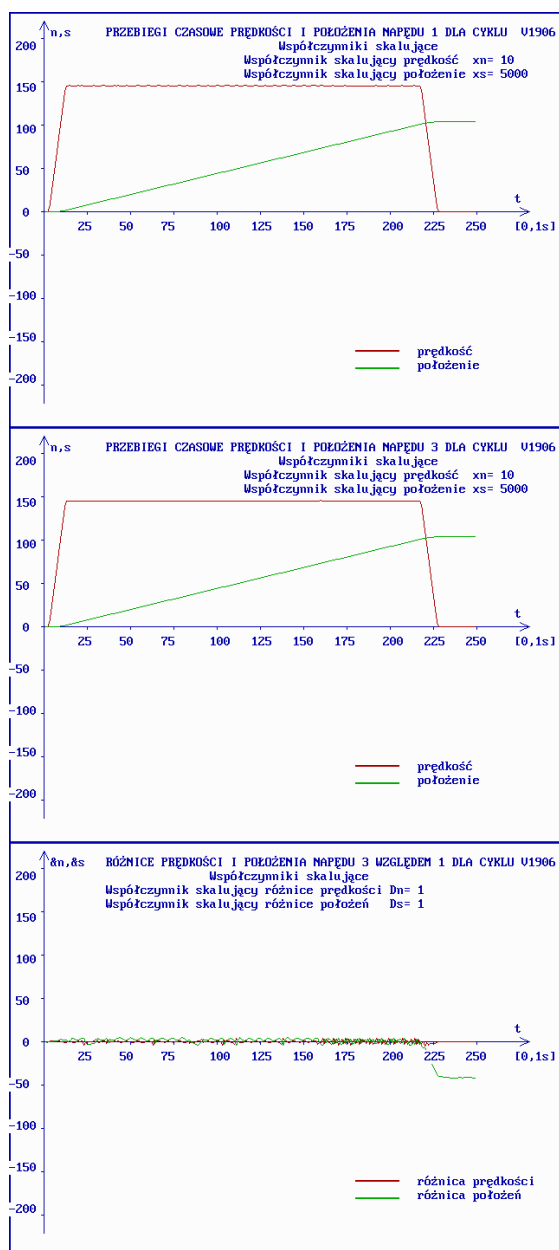
Rysunek 2d) przedstawia sytuację, gdy jeden z napędów pracujących w trybie „pozycjonowanie” został nagle obciążony (wartość obciążenia wynosiła 75% momentu znamionowego silnika obciążanego). Wpływ na uzyskane rezultaty mają:

- współczynnik prędkościowy uchybu położeniowego $K_V[s^{-1}]$
- nastawy regulatora prędkości (regulator typu PI), w który wyposażony jest każdy z napędów: wzmocnienie części proporcjonalnej K_D i wzmocnienie części całkującej K_I . Podany przez producenta zakres nastaw obu parametrów wynosi 0-1000%. Nastawy fabryczne: $K_D=30\%$, $K_I=3\%$. Producent zaleca aby wartość K_I była 10 razy mniejsza od K_D . W badanych układach parametry regulatorów prędkości dobierano eksperymentalnie, tak aby osiągnąć stabilność pracy, którą uznano za dobrą co objawiało się tym, że układ pracował cicho i takie wielkości jak prędkość i prąd zmieniały się w niewielkich zakresach a uchyb dynamiczny (przy zmianie obciążenia) prędkości był możliwie najmniejszy.

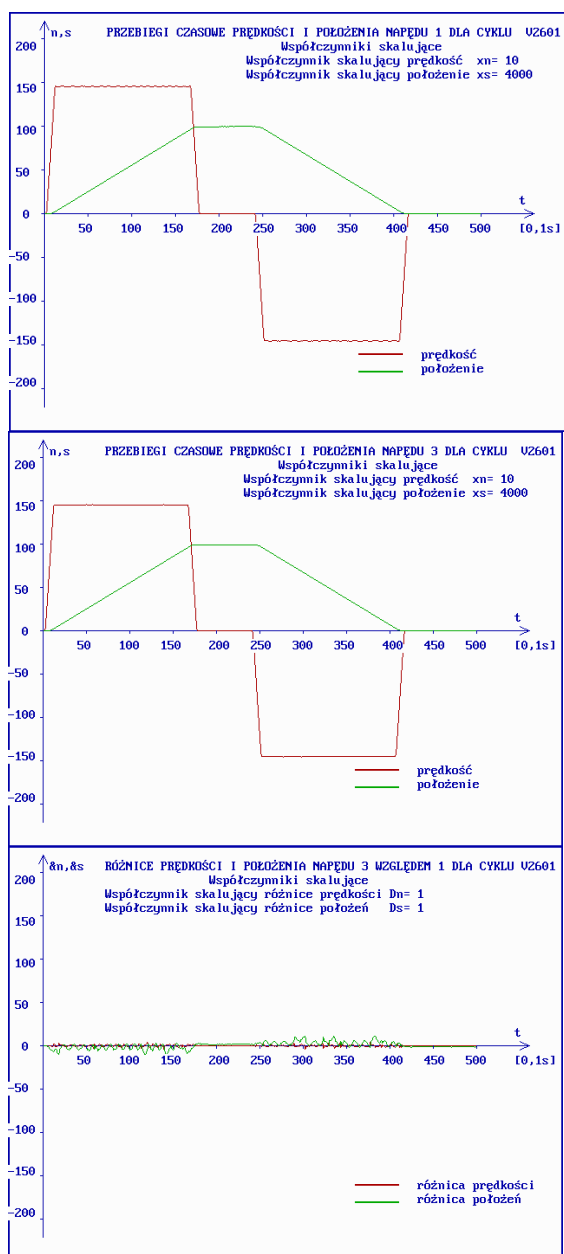
a)



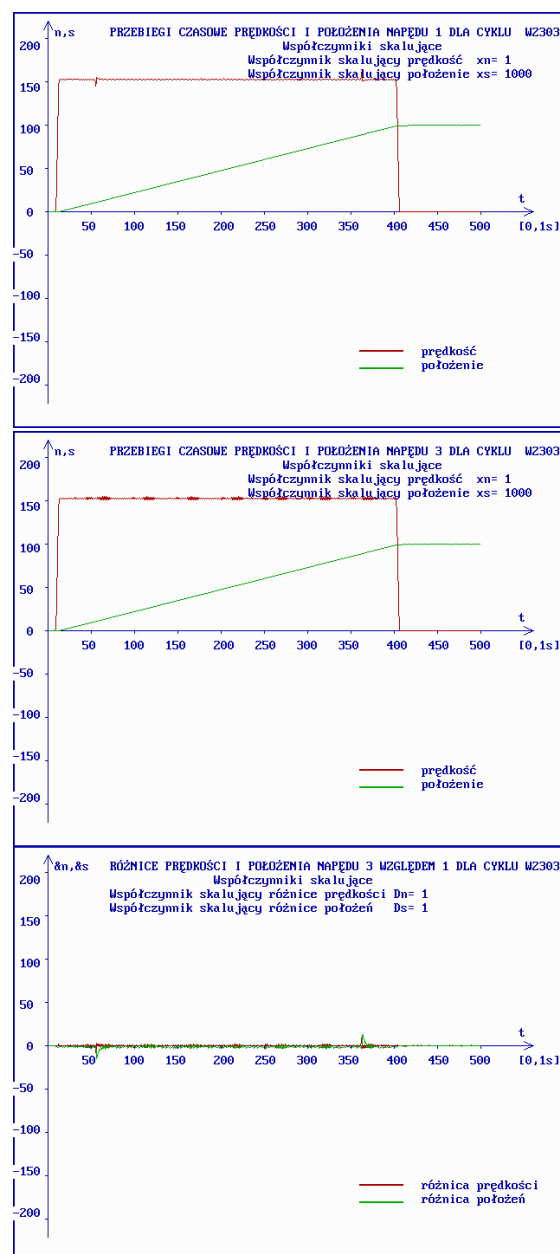
b)



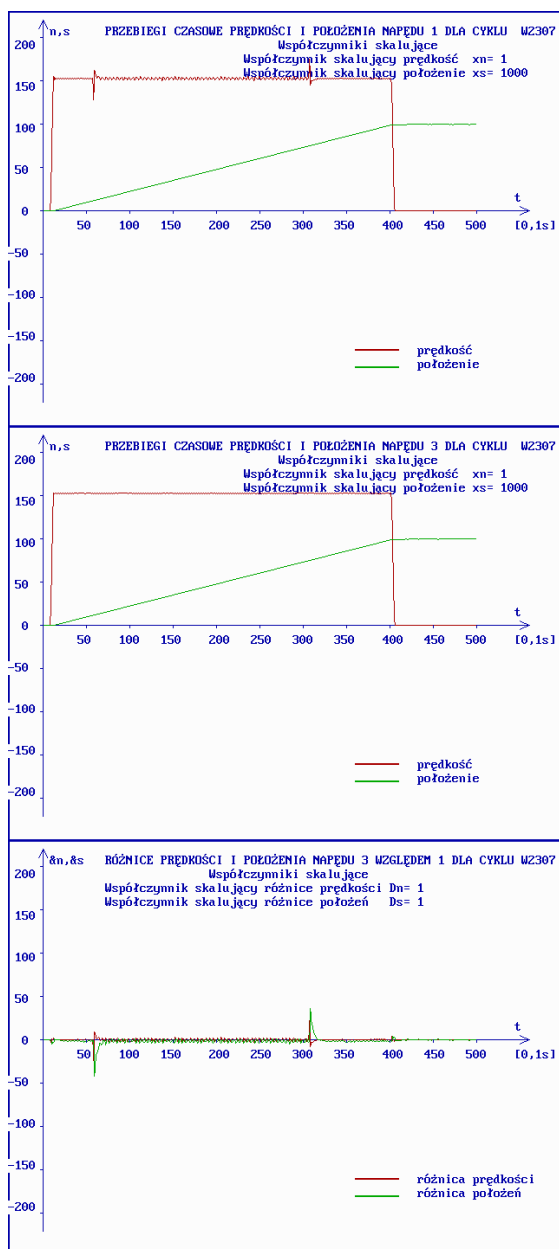
c)



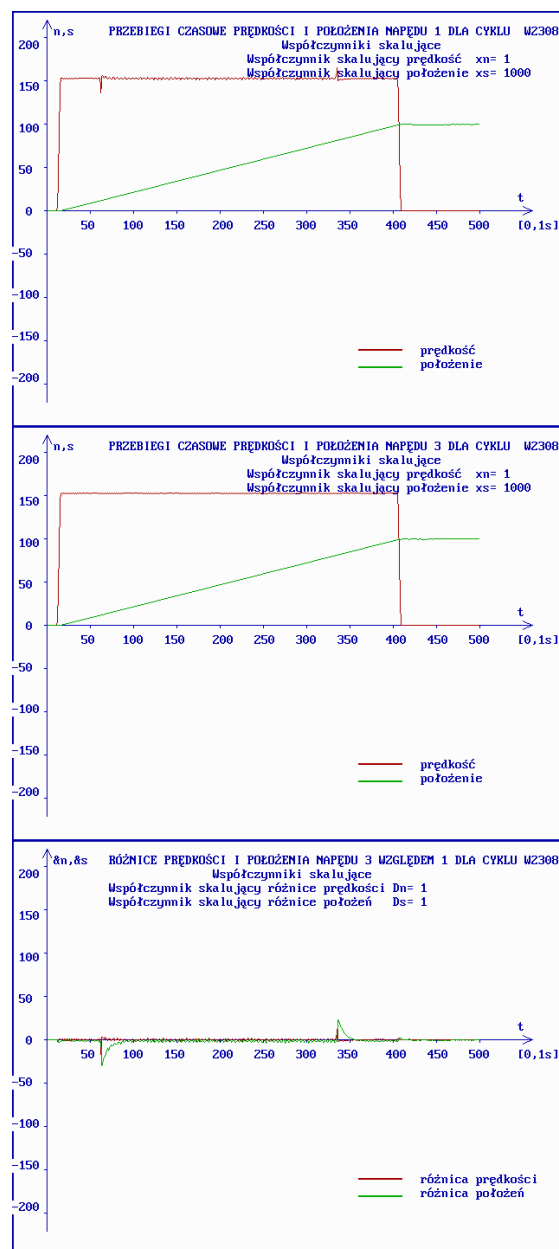
d)



e)



f)



Rys.2. Przebiegi odczytane z układu pomiarowego.

Przebiegi z rys.2d) uzyskano dla nastaw: $K_{V1} = K_{V3} = 80s^{-1}$, $K_{D1} = K_{D3} = 10\%$, $K_{i1} = K_{i3} = 3.5\%$. Widać, że widoczne są jedynie chwile włączenia i wyłączenia obciążenia. Maksymalna różnica położeń wynosiła -4.5° (13 imp.). Zmniejszenie współczynników K_V do wartości $30s^{-1}$ spowodowało wzrost różnicy położeń do ok. -14° (39 imp.) rys.2e). Zmieniając nastawy regulatora PI: $K_{D1} = K_{D3} = 15\%$, $K_{i1} = K_{i3} = 1.5\%$ (przy $K_{V1} = K_{V3} = 30s^{-1}$) uzyskano przebiegi widoczne na rys.2f). Maksymalna różnica położenia wynosiła 8° (23 imp.). Zmniejszenie wzmocnienia części całkującej K_i spowodowało widoczne wydłużenie (ok. dwukrotne) czasu trwania różnicy położeń podczas załączania i wyłączania.

Dla przypadku, gdy moment bezwładności obciążenia był dużo większy niż moment bezwładności silnika napędowego, przy krótkim czasie hamowania i rozruchu (do 1s) napięcie w obwodzie pośredniczącym prądu stałego falownika przekraczało dopuszczalne wartości powodując przeciążenie. Dołączając moduł hamujący ten problem wyeliminowano.

4. WNIOSKI

Analizując otrzymane wyniki, widzimy, że jest możliwość uzyskania dobrej synchronizacji pracy napędów. Różnice między położeniami wałów można sprowadzić w stanie ustalonym prawie do zera przez odpowiedni, różny dla poszczególnych napędów dobór parametrów: współczynnika K_V , lub F_{wd} . Różnicowanie parametrów wynika stąd, że napędy nie są zupełnie jednakowe.

Największa wartość różnicy położeń wynosiła -13.7° (0.038 obr.). Wynik obarczony takim uchybem byłby do przyjęcia dla wielu zastosowań, zwłaszcza tam, gdzie silnik pracuje z przekładnią.

W przypadku, gdy silniki obciążone są różnym momentem bezwładności lub są innego typu a wymagana jest duża dokładność, korzystniej jest wybrać tryb „pozycjonowanie”. Wtedy przez zadanie położenia ruch napędów jest do końca kontrolowany przez sterownik. W tym trybie pracy uzyskano wyniki, dla których różnica położeń przy stosowanej metodzie pomiarowej była praktycznie niemierzalna.

Moduł hamujący potrzebny jest w przypadku, gdy moment bezwładności obciążenia jest znacznie większy od momentu bezwładności silnika napędowego i wymagane są krótkie czasy rozruchu i hamowania.

Współczynnik prędkościowy K_V należy utrzymywać na możliwie największym poziomie (ograniczonym stabilnością układu [1]), wówczas różnice położenia w każdym trybie pracy mają minimalną wartość.

Wpływ obciążenia jest minimalny i objawia się jedynie przy jego szybkich i dużych zmianach, które w praktyce nie zachodzą. Dla tego przypadku również korzystne jest utrzymywanie dużych wartości K_V (rzędu 80 s^{-1}). Istotnym czynnikiem są także nastawy regulatora prędkości PI. Zmniejszając wzmocnienie części całkującej K_i skracamy czas trwania różnicy położenia. Zwiększając wzmocnienie części proporcjonalnej K_D zmniejszamy wartość maksymalną różnicy położenia.

Należy bezwzględnie przestrzegać zasad dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej (odpowiedni dobór i ułożenie przewodów, prawidłowe stosowanie i łączenie ekranów itp. [5]). W przeciwnym razie praca układu może być zakłócana poprzez dodatkowe impulsy, zliczane przez liczniki.

LITERATURA

1. C.J. Savant: „Podstawy projektowania układów regulacji automatycznej PWT W-wa PWT W-wa 1960 r.
2. M.Janaszek: „Program komputerowy do rejestracji graficznej przebiegów czasowych”. Dokumentacja IEL NNO nr.1859, 1998 r.
3. Wł. Dylis, T. Owczarski, K. Burdzanowski: „Sterowanie zespołów napędowych współbieżnych z silnikami asynchronicznymi klatkowymi”. Dokumentacja IEL NNO nr.1964 BTI/41/2000 r.
4. Wł. Dylis, T. Owczarski: „Pozycjonowanie i synchronizacja przy wykorzystaniu sterowników programowalnych. Dokumentacja IEL NNO nr. BTI12/99 r.
5. Alain Charoy: „Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych” WNT W-Wa 1996 r. t.1-4.

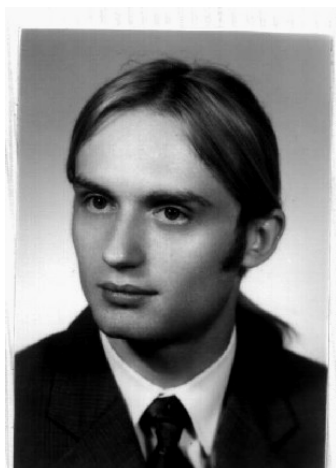
Rękopis dostarczono, dnia

Opiniował: prof. dr hab. inż. Marian P. Kaźmierkowski

PLC-BASED CONTROL OF SYNCHRONOUS OPERATION OF MULTI-MOTOR DRIVES

K. Burdzanowski

SUMMARY *The control system of synchronous operation for multi-motor drives implemented by Programmable Logic Controller (PLC) is described. The experimental set-up and results of investigation are given.*



Mgr inż. Karol Burdzanowski urodzony 15.II.1975r. w Lublinie. W 2000r. ukończył Politechnikę Lubelską w katedrze Napędów Elektrycznych. W tym samym roku podjął pracę w Instytucie Elektrotechniki w Warszawie w Zakładzie Elektrycznych Napędów Obrabiarkowych w pracowni Sterowania Dyskretnego. Zajmuje się aplikacjami sterowników PLC oraz urządzeniami umożliwiającymi wizualizację i kontrolę pracy sterowników.