

**Politechnika Poznańska
Instytut Technologii Mechanicznej**

Laboratorium Maszyny CNC

Nr 6

Regulatory położenia w układach sterujących obrabiarek CNC

Opracował:
Dr inż. Wojciech Ptaszyński

Poznań, 19 listopada 2021

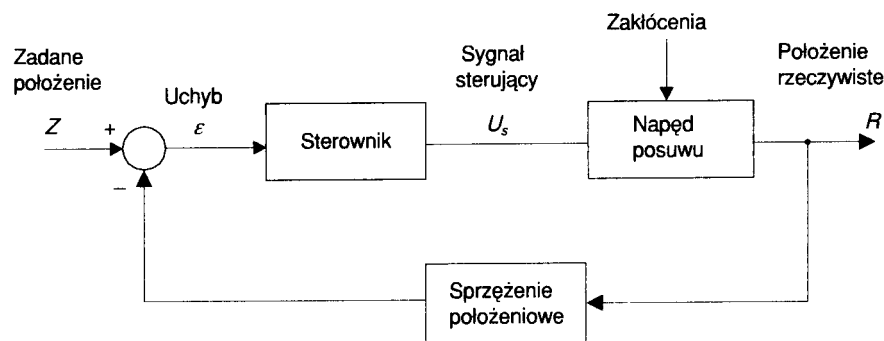
1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową, rodzajami, zasadą działania oraz cechami charakterystycznymi podstawowych regulatorów położenia stosowanych w układach sterujących obrabiarek CNC. Ponadto student może zapoznać się z nowoczesnymi napędami obrabiarek a mianowicie silnikami liniowymi.

2. REGULATORY POŁOŻENIA

2.1. Budowa serwonapędu

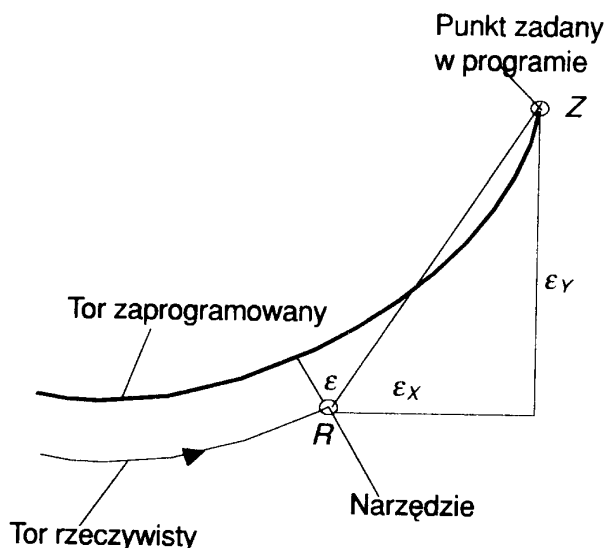
Kontur przedmiotu wykonanego na obrabiarce NC jest wynikiem złożenia dwóch lub więcej ruchów składowych, z których każdy jest realizowany przez serwonapęd. Schemat serwonapędu jako układu automatycznej regulacji położenia (przemieszczenia) przedstawiono na rys. 1



Rys.1. Schemat blokowy serwonapędu obrabiarki NC [1]

Z idei serwonapędu wynika, że podstawą jego działania jest istnienie uchybu ϵ , czyli różnicy między zadaniem, a rzeczywistym przemieszczeniem. Natomiast błąd konturu (ϵ_w , ϵ_o) (rys.2) przedmiotu wykonywanego na obrabiarce NC, np. z dwuosiowym sterowaniem, jest funkcją obu uchybów, tj. ϵ_X i ϵ_Y (serwonapędów osi X i Y).

Na rysunku 2 przedstawiono geometryczne związki między uchybami ϵ_X i ϵ_Y , a błędem konturu ϵ dla przypadku dwuosiowego sterowania.



Rys. 2. Błąd konturu (toru) ϵ podczas obróbki na obrabiarce NC; ϵ_X , ϵ_Y , - uchyby w osiach sterowanych X i Y, Z - punkt zadany w programie obróbki, R - chwilowe, bieżące położenie wierzchołka ostrza

Z rysunku 2 wynika, że istnieje różnica między uchybami ε_X i ε_Y wynikającymi z idei serwonapędu, a błędem konturu ε . Tym niemniej minimalizacja uchybów ε_X i ε_Y prowadzi do zmniejszania błędu konturu ε . O wielkości uchybów ε_X i ε_Y , decydują algorytmy sterowania serwonapędami, które są reprezentowane przez regulator położenia.

Minimalizacja błędu konturu ε może być osiągana trzema sposobami [2]:

- stosowanie dodatkowych regulatorów ze sprzężeniem w przód (ang. *feedforward*)
- stosowanie regulatorów ze sprzężeniem skośnym (ang. *Cross-Coupling-Controller*),
- stosowanie bardziej wyrafinowanych regulatorów położenia poszczególnych serwonapędów,

2.2. Wybrane regulatory w serwonapędach obrabiarek NC

Oceniając różne, bardziej wyrafinowane metody regulacji, należy badać zachowanie się serwonapędu dla charakterystycznych konturów przedmiotów obrabianych, a mianowicie:

- dla toru liniowego, tj. dla liniowego konturu,
- dla toru kołowego,
- dla toru krzywoliniowego,
- dla tzw. konturu narożnikowego,
- dla warunków występowania zakłóceń w postaci sił tarcia i sił skrawania,
- dla stanów przejściowych, tzn. zwłaszcza podczas rozruchu i zatrzymywania się,
- dla warunków występowania zróżnicowanych właściwości statycznych i dynamicznych poszczególnych serwonapędów.

2.2.1. Regulatory typu P

Serwonapędy z regulatorami proporcjonalnymi P należą do najpopularniejszych. Sygnał sterujący U_s (rys. 1) napędu posuwu jest proporcjonalny do różnicy ε między przeszaczkowaniem zadaniem a rzeczywistym. Takie serwonapędy odznaczają się wystarczającą dokładnością (błędy konturu wynoszą ok. 0,01 mm) dla prędkości posuwu nie przekraczającej 250 mm/min. Dla takich prędkości pozostałe przyczyny błędów konturu, jak: błędy geometrii obrabiarki, błędy cieplnych odkształceń, odkształcenia sprężyste układu OUPN, są istotniejsze niż wynikające z istnienia uchybów regulacji położenia w serwonapędach. Dlatego regulatory typu P będą w dalszym ciągu stosowane w serwonapędach obrabiarek NC średniej dokładności, w których są stosowane konwencjonalne narzędzia skrawające, uniemożliwiające skrawanie z prędkościami nie większymi niż 150-200 m/min. Rozwiązania konstrukcyjne z regulatorami typu P należą do najtańszych i niezawodnych w działaniu.

2.2.2. Regulatory typu PID

Regulatory typu PID generują sygnał U sterujący silnikiem posuwu, który jest proporcjonalny do trzech składników: składnika proporcjonalnego P (współczynnik wzmacnienia k_p), składnika całkującego I (stała całkowania T_I) oraz składnika różniczkującego D (stała różniczkowania T_D). Transmittancja analogowego regulatora PID ma postać:

$$G(s) = k_p + \frac{1}{sT_I} + sT_D$$

gdzie: k_p – stała wzmocnienia proporcjonalnego,
 T_I – stała całkowania,
 T_D – stała różniczkowania,
 s – operator Laplace'a.

Składnik całkujący I umożliwia wyeliminowanie uchybu statycznego (jaki występuje w regulatorach typu P), tj. uchybu w stanie ustalonym, eliminowanie innych zewnętrznych zakłóceń oraz poprawę dynamiki serwonapędu.

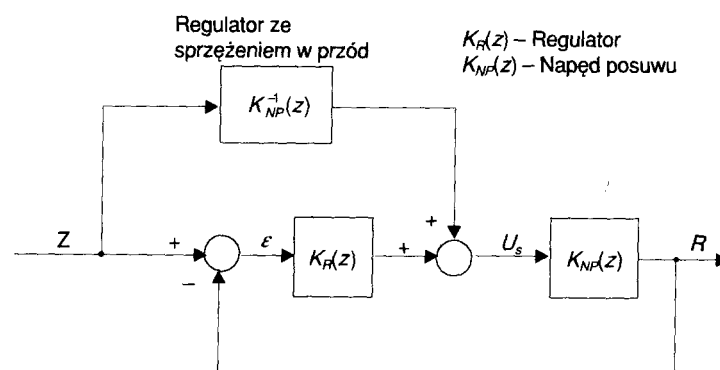
Składnik różniczkujący D ma wpływ na kształtowanie przebiegów dynamicznych w stanach nieustalonych, umożliwiając zmniejszenie przeregulowań. Ponieważ w obwodzie każdego serwonapędu znajduje się człon (składnik) całkujący (rolę składnika całkującego pełnią sianie obrabiarki, których przemieszczenie jest całką z prędkości posuwu), to obwód regulacji z dwoma składnikami całkującymi jest bardzo podatny na utratę stabilności. Oznacza to, że nastawy k_p , T_I , T_D muszą być bardzo precyzyjne. Ponieważ w rzeczywistości serwonapęd sterowany jest impulsowo, a nie ciągle, to dobór nastaw regulatora PID jest często realizowany przez komputerową symulację działania całego serwonapędu.

Do wad serwonapędów z regulatorami PID należą:

- niezbyt korzystne realizowanie tzw. torów narożnikowych i konturów nieliniowych,
- znaczne przeregulowania.

2.2.3. Regulator ze sprzężeniem w przód (Feedforward)

Układy regulacji z klasycznym ujemnym sprzężeniem zwrotnym wymagają istnienia uchybu regulacji, czyli swoistego błędu. Bez istnienia takiego błędu serwonapęd nie może działać. Koncepcja układu regulacji ze sprzężeniem w przód jak gdyby "wyprzedza" pojawienie się uchybu, generując sygnał sterujący, "przewidujący" konieczność pojawienia się odpowiedniego uchybu. Na rysunku 3 przedstawiono schemat serwonapędu ze sprzężeniem w przód.



Rys. 3. Koncepcje serwonapędu z regulatorami ze sprzężeniem w przód:
 $K_R(z)$, $K_{NP}(z)$ – transmitancja regulatora i napędu posuwu [1]

Sterownik FF (feedforward) ze sprzężeniem w przód od przyspieszenia i prędkości zaprogramowanych, opracowany przez Pritschowa, należy do zweryfikowanych i praktycznie stosowanych.

2.3. Ocena skuteczności działania serwonapędów ze sterownikami typu P, PID, FF

Jak już wcześniej stwierdzono, w trakcie realizacji toru na obrabiarce CNC może wystąpić kilka charakterystycznych przypadków (tor narożnikowy, tor kołowy, tor liniowy, zróżnicowane cechy torów regulacji i inne), dla których poszczególne algorytmy sterowania prowadzą do zróżnicowanych błędów konturu. Dobrze byłoby, więc rozpoznać, który algorytm sterowania daje najlepsze efekty w każdym z charakterystycznych przypadków sterowania.

Na podstawie badań symulacyjnych wybranych przypadków realizacji konturów na obrabiarkach NC z serwonapędami dla kilku struktur regulatorów położenia można sformułować następujące wnioski [1]:

- sterownik P pracuje dobrze w warunkach niewielkich sił tarcia, małych obciążeń od sił skrawania, niewielkich różnic w parametrach serwonapędów i w zakresie małych prędkości posuwu, tj. do ok. 0,25 m/min.
- sterownik PID cechuje dobra zdolność do likwidacji zakłóceń (od sił tarcia, sił skrawania) i mniejsza wrażliwość na zróżnicowanie parametrów serwonapędów. Wadą tych sterowników jest mała zdolność realizacji gładkich, nieliniowych konturów i torów narożnikowych. Cechuje go też znaczne przeregulowanie w chwili zatrzymywania serwonapędu. Dlatego sterowniki PID zaleca się stosować w obrabiarkach o małych prędkościach posuwu. Uniknięcie przeregulowań podczas Zatrzymywania serwonapędu jest możliwe m.in. przez kontrolowane opóźnienie hamowania. Można również poprawić realizację torów narożnikowych, np. przez specjalny algorytm sterowania, tj. wyłączenie składnika całkującego I w trakcie realizacji toru narożnikowego (takie okresowe „odcięcie” składnika I zmienia jednak wrażliwość sterownika na inne zakłócenia, jak siły tarcia i siły skrawania).
- sterowniki FF są najlepsze do realizacji ciągłych liniowych konturów przy obróbce z dużymi prędkościami skrawania, pod warunkiem dobrego (zgodnego z rzeczywistym) modelu napędu. Dodatkowo konieczny jest klasyczny regulator ze sprzężeniem zwrotnym, aby skutecznie likwidować wpływy tarcia i innych zakłóceń.

2.4. Podsumowanie

Idealny regulator dla serwonapędu powinien być projektowany pod kątem obróbki z dużymi prędkościami skrawania, co jest jednoznaczne z dużymi posuwami. Realizacja toru z dużymi posuwami, jak wynika z wcześniejszych symulacji, zwielokrotnia wszystkie błędy.

Idealny regulator serwonapędu powinien minimalizować błędy konturu przede wszystkim w stanach przejściowych, nieustalonych. Na przykład dla prędkości posuwu 0,3 m/min i dla czasu trwania stanu przejściowego 0,1 s przebyta droga (w stanie przejściowym) wynosi 0,5 mm. Jeżeli prędkość posuwu wzrośnie 40-krotnie do 12 m/min, to przebyta droga w stanie przejściowym wyniesie już 20 mm. Na tak dużym odcinku drogi konieczna jest specjalna strategia sterowania.

3. SILNIKI LINIOWE

3.1. Elektryczne napędy liniowe

Elektryczne napędy liniowe zalicza się do najnowszych rozwiązań konstrukcyjnych w dziedzinie serwonapędów obrabiarkowych [1]. Serwonapędy liniowe coraz częściej wypierają serwonapędy obrotowe z przekładnią śrubową toczną, ze względu na coraz większe wymagania stawiane napędom posuwu obrabiarek. Wynika to przede wszystkim ze:

- wzrostu dokładności pozycjonowania, wzrostu prędkości ruchu posuwowego, i to zarówno ruchu jałowego jak i roboczego,
- wzrostu przyspieszenia ruchu w stanach przejściowych; w napędach liniowych przyspieszenia dochodzą do 120 m/s^2 . Ze wzrostem przyspieszenia wiąże się zwiększenie błędów konturu,
- wzrostu dynamiki sterowania, ukazującego się szczególnie w realizacji znacznie bardziej rozbudowanych algorytmów sterowania w zbliżonym czasie obliczeń,
- wzrostu drogi przesuwu zespołów obrabiarkowych; napędy liniowe umożliwiają przesuwu nawet do 50 m.

Rozwój napędów liniowych jest spowodowany dążeniem do uniknięcia wad napędów obrotowych z przekładnią śrubową toczną. Do najpoważniejszych z nich należą:

- duże dodatkowe masy bezwładnościowe części mechanicznych, m.in. śrub tocnych, kół zębatych lub pasowych, wałków,
- znaczna podatność łańcucha kinematycznego ruchu posuwowego, mająca wpływ na dokładność ruchu i powstawanie drgań,
- ograniczona długość przemieszczeń spowodowana uginaniem się długich śrub tocnych pod własnym ciężarem.

Dużym ograniczeniem zastosowania silników liniowych są ich małe siły posuwu, nieprzekraczające dotychczas 15 kN. Dlatego napędy te wykorzystuje się w technologiach obróbki tam, gdzie obciążenia od sił skrawania są znacznie mniejsze niż w tradycyjnej obróbce.

3.2. Budowa i działanie silników liniowych

Silniki liniowe są budowane jako [3]:

- silniki prądu stałego,
- silniki prądu przemiennego (trójfazowe):
 - asynchroniczne,
 - synchroniczne.

Silniki liniowe prądu stałego nie znalazły zastosowania w budowie obrabiarek i są praktycznie niespotykane.

Silniki prądu przemiennego trójfazowe synchroniczne mają wiele zalet w porównaniu z silnikami asynchronicznymi [3]:

- większy o $50 \div 100\%$ stosunek siły posuwu do masy silnika,
- bardzo niewielkie nagrzewanie się części wtórnej (statora silnika); w silnikach asynchronicznych na skutek indukowania SEM następuje silne nagrzewanie się statora,
- siła przyciągająca ruchomą część pierwotną do nieruchomych przewodnic występuje przez cały czas, niezależnie czy napęd jest włączony, czy wyłączony i osiąga wartości $100 \div 140 \text{ kN/m}^2$ czyli jest wielokrotnie większa niż siła posuwu; w silnikach asynchronicznych siła przyciągająca część pierwotną występuje tylko po włączeniu zasilania silnika i dlatego w stanie wyłączonym przewodnik swobodnie spoczywa na przewodnicy),
- do sterowania pracą silnika synchronicznego wystarczają stosunkowo proste algorytmy, pełniące funkcję regulatora, co umożliwia stosowanie krótszych czasów próbkowania (wyższych częstotliwości próbkowania); okres próbkowania jest limitowany m.in.

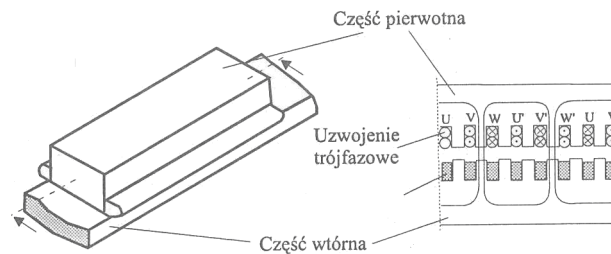
minimalnym czasem niezbędnym do przeprowadzenia obliczeń kolejnej wartości zadanej prądu i prędkości (silniki asynchroniczne wymagają znacznie obszerniejszych algorytmów obliczeniowych, co zdecydowanie zwiększa okres próbkowania),

- ewentualny wpływ na dokładność pozycjonowania, uwidaczniający się m.in. w pulsacjach siły posuwu, można stosunkowo łatwo kompensować przez sterowanie (w silnikach asynchronicznych siła posuwu istotnie zależy od obciążenia, co w przypadku zmiennego obciążenia prowadzi do pulsacji siły posuwu),
- silniki asynchroniczne cechuje duże zapotrzebowanie prądowe, wynikające z istnienia prądu magnesującego.

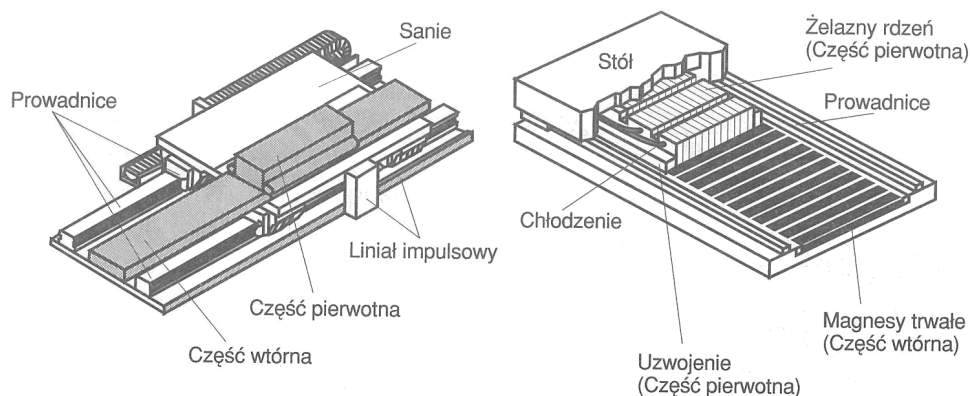
Mimo gorszych właściwości eksploatacyjnych (w stosunku do synchronicznych) silniki asynchroniczne mają dwie istotne zalety:

- zdecydowanie niższy koszt części wtórnej silnika, której długość odpowiada zakresowi przesunięć liniowych; część nieruchoma silnika jest wykonana w postaci miedzianych uzwojeń; natomiast w silnikach synchronicznych są to magnesy trwałe, wykonane z bardzo kosztownych materiałów. Im dłuższy przesuw liniowy, tym koszt silnika synchronicznego jest większy niż asynchronicznego,
- w stanie wyłączonym (nie zasilanym) między obiema częściami silnika (ruchomą i nieruchomą) nie występują żadne siły przyciągające (w stanie załączonym siła przyciągająca część pierwotną do przewodnic osiąga wartość do 140 kN/m^2); ułatwia to montaż silnika, np. usuwanie drobnych opiłków, wiórów itp.; w silniku synchronicznym siła przyciągająca występuje niezależnie od zasilania silnika; jest ona bardzo duża, co zdecydowanie utrudnia usuwanie metalowych zanieczyszczeń, a w pewnych przypadkach prowadzi do niebezpieczeństwa wystąpienia dużych nacisków na przewodnicach.

Na rysunku 4 przedstawiono budowę silnika liniowego asynchronicznego.



Rys. 4. Budowa silnika liniowego asynchronicznego [1]



Rys. 5. Schemat silnika liniowego i układu przewodnicowego [1]

Silnik liniowy składa się z dwóch zasadniczych części:

- części pierwotnej,
- części wtórnej [1].

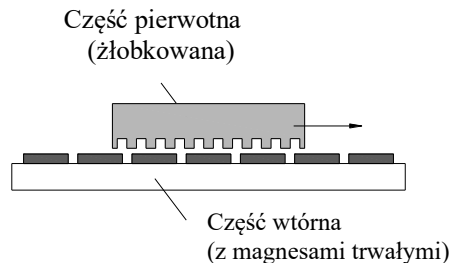
Część pierwotna jest wykonana w formie trójfazowego uzwojenia (U, V, W), zasilanego trójfazowym prądem przemiennym. Prędkość przemieszczania się wektora strumienia magnetycznego jest wprost proporcjonalna do częstotliwości prądu zasilającego. Najczęściej część pierwotna jest ruchoma (jest to część przewodnika, na którym spoczywa albo przedmiot obrabiany, albo narzędzie skrawające) i przemieszcza się po przewodnicach (rys. 5).

Część wtórna silnika jest elementem przewodnicym [1]. Ma konstrukcję w postaci:

- listwy w formie grzebienia (rdzeni) z nawiniętym (wokół każdego rdzenia) miedzianym uzwojeniem w przypadku silnika asynchronicznego,
- liniału z magnesami trwałymi rozmieszczonymi na całej długości przewodnicy w przypadku silnika synchronicznego (rys. 5),
- liniału z elementami z materiału ferromagnetycznego rozmieszczonymi wzdłuż przewodnicy.

Ruchome pole magnetyczne części pierwotnej przecinając uzwojenie części wtórnej, indukuje siłę elektromotoryczną SEM, która jest źródłem prądu płynącego w tym uzwojeniu (uzwojenia są krótko zwarte). Indukowanie się SEM i przepływ prądu powodują silnego nagrzewanie się części nieruchomej, ale jedynie na odcinku odpowiadającym długości części ruchomej. Nagrzewanie to jest jedną z poważniejszych wad silnika asynchronicznego, bowiem znacząco wpływa na dokładność pozycjonowania.

W silnikach synchronicznych, w części ruchomej, powstaje identyczne ruchome pole magnetyczne jak w silniku asynchronicznym. Natomiast w części nieruchomej, składającej się z szeregu magnesów trwałych (rys. 6), istnieje trwałe pole magnetyczne. Ruch powstaje pod wpływem wzajemnego oddziaływania pól magnetycznych części pierwotnej i wtórnej.



Rys.6. Schemat budowy silnika synchronicznego

3.3. Sterowanie silnikami liniowymi

Prędkość ruchu silnika liniowego zależy od prędkości ruchomego pola magnetycznego, a tym samym od częstotliwości napięcia zasilającego, dlatego napędy liniowe prądu przemiennego muszą działać jako falowniki, tj. o regulowanej częstotliwości napięcia zasilającego [1].

Do najważniejszych zagadnień technicznych dotyczących zasilania i sterowania można zaliczyć:

- zjawisko komutacji, czyli zasilania kolejnych faz części pierwotnej prądem przemiennym o regulowanej częstotliwości,
- zagadnienie regulacji prędkości (regulacji automatycznej) w układzie sprzężenia zwrotnego,
- zagadnienie regulacji położenia w układzie automatycznym ze sprzężeniem zwrotnym położeniowym.

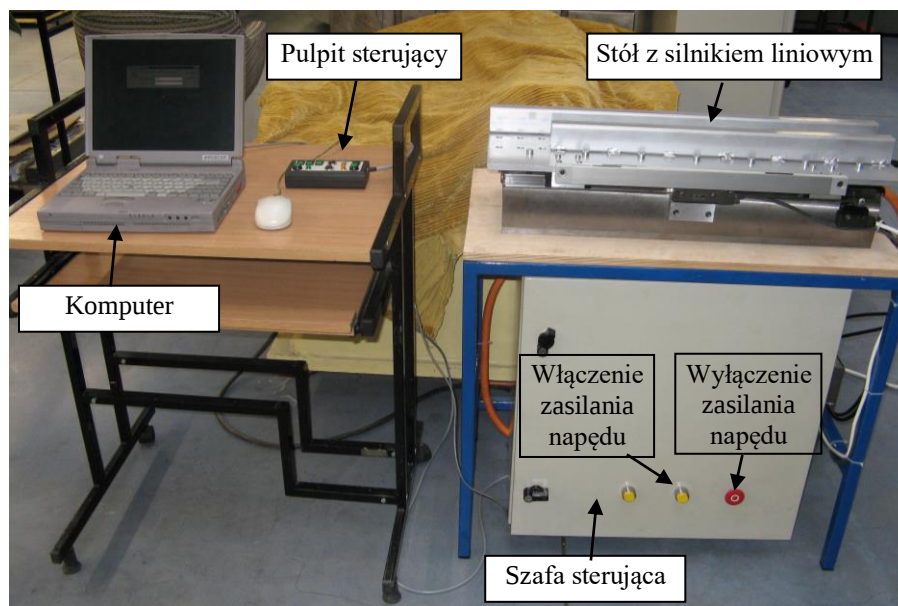
Komutacja w uzwojeniach części pierwotnej jest realizowana elektronicznie, dlatego wymagana jest aktualna informacja o położeniu części ruchomej, jak również odpowiedniego algorytmu sterowania. W układach z silnikami liniowymi stosuje się jeden układ pomiarowy położenia, najczęściej liniał impulsowy – encoder. Sygnał z tego urządzenia realizuje sprzężenie zwrotne w obwodzie regulacji położenia oraz stanowi informację w obwodzie regulacji prądu z zastosowaniem algorytmu orientacji pola. Encodery muszą mieć elementarną działkę (czułość) ok. $0,1\ \mu\text{m}$, ponieważ od silników liniowych wymaga się bardzo dużej dokładności pozycjonowania. Muszą generować impulsy pomiarowe z częstotliwością do 100 MHz, gdyż silniki liniowe są zdolne do rozwijania bardzo dużych prędkości ruchu (aktualnie do 100m/min).

4. WYKONANIE ĆWICZENIA

4.1. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze (rys. 7) składa się z następujących elementów:

- stół z silnikiem liniowym,
- serwonapęd ECODRIVE03 zainstalowany w szafie sterującej,
- układu chłodzącego silnik liniowy,
- pulpit sterujący,
- komputera z programem DriveTOP.

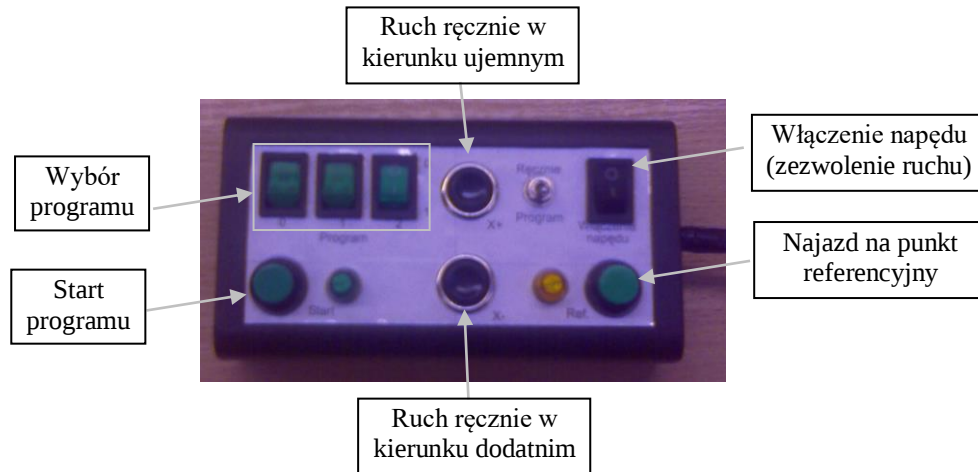


Rys. 7. Widok stanowiska badawczego

Serwonapęd ECODRIVE03 wyposażony jest w układ regulacji położenia z regulatorem proporcjonalnym (typu P) oraz ma możliwość włączenia regulatora ze sprzężeniem w przód (Feedforward) zarówno prędkości jak i przyspieszenia. Serwonapęd jest skonfigurowany jako regulator położenia stołu liniowego z przyrostowym bezpośrednim układem pomiarowym (liniał pomiarowy).

Komputer na stanowisku wykorzystywany jest do ustawiania parametrów ruchu stołu, zmiany nastaw regulatorów oraz rejestracji dynamiki ruchu za pomocą programu DriveTop.

c)

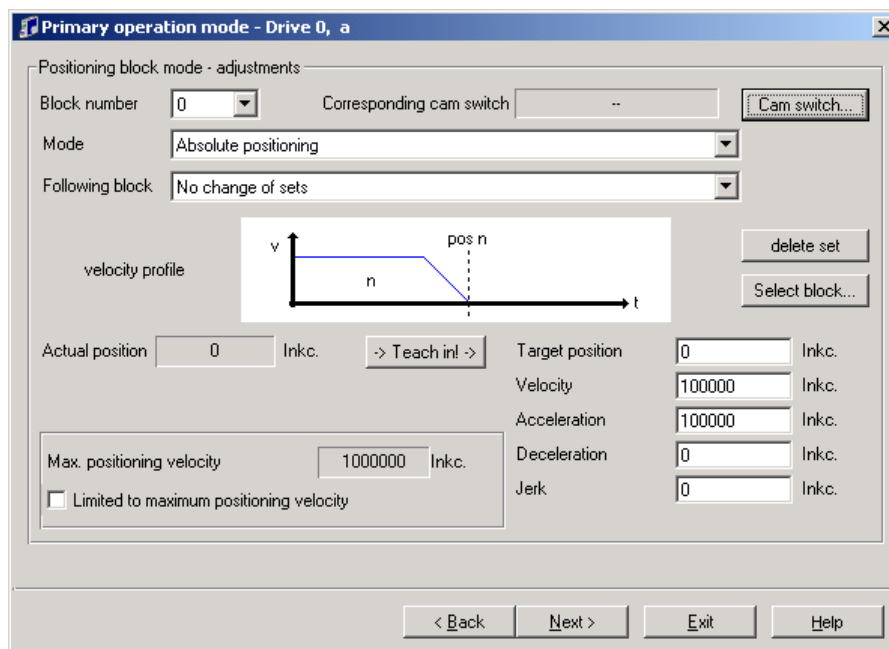


Rys. 8. Widok pulpitu sterującego

Zmianę ustawień ruchu można dokonać wybierając w górnym menu programu DriveTop opcję „Drive Function” następnie „Operation modes” i dalej „Primery operation mode”. Okno zmiany parametrów przedstawia rys. 9. Wartościami zmienianymi w tym oknie są:

- numer bloku pozycjonowania (Block number) – numer programu
- pozycja zadana (Target position) w [mm],
- prędkość ruchu (Velocity) [mm/min],
- przyspieszenie (Acceleration) w [mm/s²],
- hamowanie (Deceleration) w [mm/s²],

Domyślnie ustawione są poprawnie wszystkie parametry zgodnie z tabelą 1, ale w razie konieczności można dokonać odpowiednich zmian.



Rys. 9. Okno zmiany parametrów ruchu

Pomiar dynamiki i dokładności ruchu (uchybu położenia) dokonuje się w opcji oscyloskop programu DriveTop. Wywołanie oscyloskopu następuje po wybraniu z górnego menu programu „TopDrive” opcję „Extras” a następnie „Oscilloscope”.

Pomiar wykonywany jest przez oprogramowanie układu ECODRIVE w napędzie. Uruchomienie i zatrzymanie pomiaru możliwe jest po wybraniu w oknie oscyloskopu w górnym menu opcję „Measurement” a następnie „Control Panel” (rys 10). Można również uruchomić pomiar wybierając opcji „Measurement” funkcję „Start Measurement” lub, krócej wciskając klawisz F2.

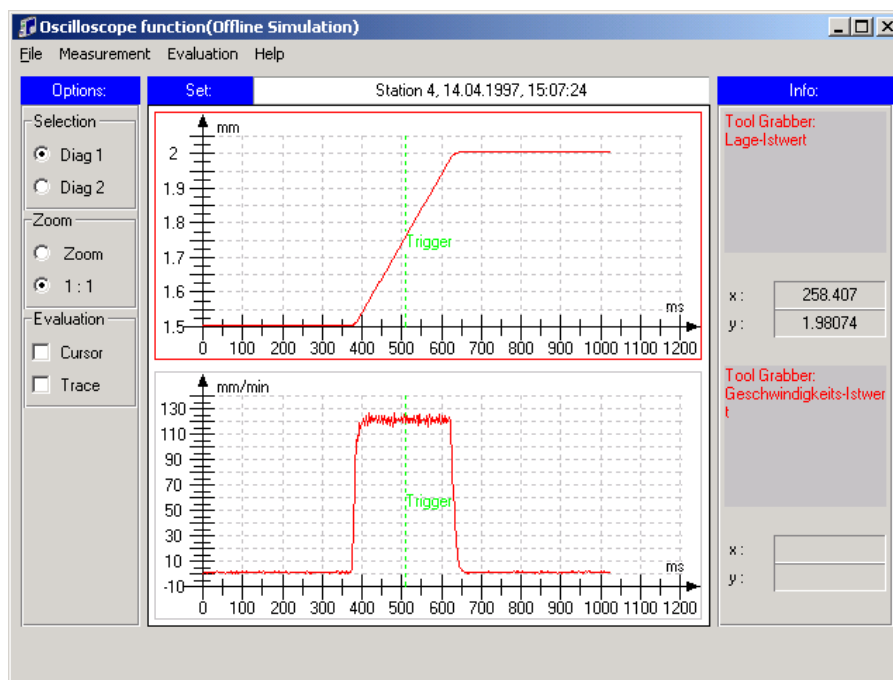
Oscyloskop jest tak skonfigurowany, aby uruchomił zbieranie danych po stwierdzeniu ruchu stołu. Dlatego też po wciśnięciu klawisza Start na pulpicie zbieranie danych zostanie uruchomione automatycznie.

Po wykonaniu pomiaru dane z napędu przesyłane są do komputera (pokazuje się okno z paskiem postępu). Dane te można następnie zapisać w pliku tekstowym, wybierając w górnym menu opcję „File” a następnie „Export measurements”. Poszczególne dane (pomiaru prędkości i uchybu) zapisuje się oddzielnie. Aby zapisać dane należy:

- ustawić lub zmienić nazwę pliku danych wybierając klawisz „Change”,
- wybrać format zapisu danych jako „Excel Ascii-text”,
- wybrać rodzaj danych z okna „Signal”,
- wcisnąć klawisz „OK”

Aby zapisać następne dane należy ponownie wywołać funkcję „Export measurements”.

Każdy plik z danymi pomiarowymi zawiera 2 kolumny danych. W pierwszej kolumnie znajdują się wartości czas w czasie ruchu, natomiast w drugiej kolumnie wartość mierzona.



Rys. 10. Widok okna oscyloskopu

4.2. Warunki pomiarów

W trakcie ćwiczenia należy wykonać pomiar prędkości oraz uchybu położenia dla czterech rodzajów ruchu (tabela 1) zarówno przy zastosowaniu tylko regulatora P oraz regulatora Feedforward.

Program P0 wykorzystywany jest tylko do ustawienia stołu w pozycji początkowej, natomiast pomiary dynamiki ruchu wykonuje się dla programów od P1 do P4.

Wybór programu wykonuje się przyciskami S1, S2 i S3 na pulpicie sterującym (rys. 8) według tabeli 2.

Tabela 1. Parametry programów ruchu

Program	Pozycja zadana [mm]	Prędkość ruchu [mm/min]	Rozruch/hamowanie [m/s^2]	Rodzaj programu
P0	0	1000	0,5	Ustawienie stołu w położeniu początkowym
P1	30	1000	0,5	Programy pomiarowe
P2	30	1000	4,5	
P3	30	5000	0,5	
P4	30	5000	4,5	

Tabela 2. Wybór programu

Numer programu	Stan przełączników		
	S1	S2	S3
P0	0	0	0
P1	1	0	0
P2	0	1	0
P3	1	1	0
P4	0	0	1

Uruchomienie wybranego programu następuje przyciskiem „Start” na pulpicie (rys.8).

4.3. Uruchomienie stanowiska

Ponieważ stanowisko jest zasilane prądem elektrycznym należy zachować szczególną ostrożność i rozważę. Podłączenie układu należy wykonać pod nadzorem prowadzącego.

Ponieważ do pomiaru położenia zastosowano inkrementalny liniał pomiarowy, aby określić absolutne położenie stołu, po włączeniu napędu należy uruchomić procedurę najazdu na punkt referencyjny wciskając i przytrzymując klawisz Ref. na pulpicie sterującym do czasu samoczynnego zatrzymania się napędu. Po wykonaniu tej procedury można przystąpić do ćwiczenia.

Przed uruchomieniem i wykonaniem pomiarów dynamiki ruchu programów P1 – P4 należy najpierw uruchomić program P0 (bez pomiarów) w celu ustawienia stołu w położeniu początkowym ruchu.

4.4. Ustawienie typu regulatora

Wybór rodzaju regulatora położenia wykonuje się wg. następującego schematu:

- wyłączyć napęd „zezwozenie” na pilocie sterującym,
- wybrać w programie DriveTop z górnego menu opcję „Overview”
- następnie wybrać funkcję „Parameter group”
- zmienić 3 bit parametru S-0-0032 wg schematu:
 - xxxxxxxxxxxx1xxx - regulator feedforward,
 - xxxxxxxxxxxx0xxx - regulator P,
- wybrać z górnego menu opcję „Extras”,
- następnie wybrać funkcję „Operation mode”,
- włączyć napęd „zezwozenie” na pilocie sterującym,
- wykonać procedurę najazdu na punkt referencyjny.

4.5. Przebieg ćwiczenia

1. Połączyć układ pod nadzorem prowadzącego ćwiczenia.
2. Włączyć zasilanie napędu na szafie sterującej.
3. Sprawdzić i ewentualnie zmienić rodzaj regulatora oraz parametru ruchu.
4. Uruchomić napęd (przycisk „Włączenie napędu” na pulpicie sterującym).
5. Wykonać procedurę najazdu na punkt referencyjny.
6. Wykonać pomiary dokładności i dynamiki ruchu stołu dla podanych parametrów.
7. Zmienić rodzaj regulatora.
8. Wykonać ponownie pomiary dokładności i dynamiki ruchu stołu.
9. Zmierzone wartości zapisać na dyskietkę w celu sporządzenia sprawozdania.

4.6. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- temat oraz datę wykonania ćwiczenia, oznaczenie grupy,
- nazwiska osób biorących udział w ćwiczeniu,
- cel ćwiczenia,
- warunki pomiarów (dane zadane),
- opis wykonywanych czynności,
- opracowanie graficzne otrzymanych wyników, wykresy zależności prędkości ruchu w czasie oraz wartości uchybu w czasie dla wszystkich pomiarów (łącznie 16 wykresów). Zalecane jest wykonanie wykresów na szerokości 0.5 strony – z lewej strony prędkość ruchu, z prawej uchyb,
- wnioski – należy odnieść się do wpływu wartości prędkości ruchu i rodzaju regulatora na wartość uchybu oraz wpływ zadanej dynamiki na stabilność ruchu.

2.4. Wymagania

Przed przystąpieniem do ćwiczenia wymagana jest podstawowa znajomość z automatyki (podstawowe człony liniowe oraz regulatory), znajomość budowy serwonapędu obrabiarki, rodzaje i cechy charakterystyczne regulatorów położenia oraz zagadnienia poruszane w tej instrukcji.

Literatura

1. **Kosmol J.**, *Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie*, WNT, Warszawa 1998.
2. **Mierzejewski J.**, *Serwomechanizmy obrabiarek sterowanych numerycznie*, WNT, Warszawa 1977.
3. **Żelazny M.**, *Podstawy automatyki*, WNT 1976.