

**Politechnika Poznańska
Instytut Technologii Mechanicznej**

Laboratorium Maszyny CNC

Nr 3

Przekładnia elektroniczna

Opracował
Dr inż. Wojciech Ptaszyński

Poznań, 19 listopada 2021

1. Cel pracy

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową, zasadą działania oraz możliwościami współczesnych układów napędowym obrabiarek i maszyn sterowanych numerycznie na przykładzie przekładni elektronicznej.

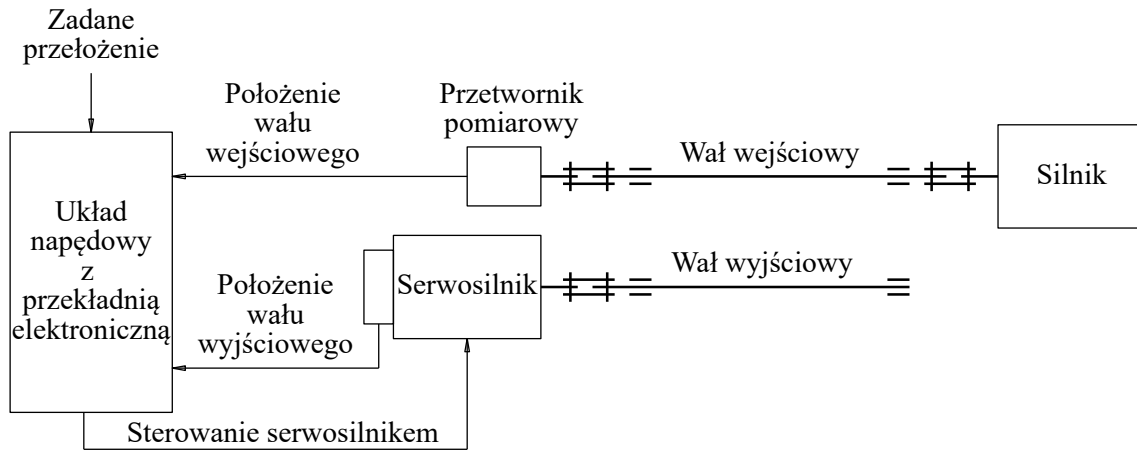
2. Funkcje nowoczesnych serwonapędów

Współczesne sterowniki serwonapędów mogą stanowić jednoosiowy układ sterujący z możliwością sterowania w wielu funkcjach. Miedzy innymi:

- **sterowanie prędkością** - na podstawie zadanej wartości prędkości steruje prędkością obrotową serwosilnika,
- **sterowanie położeniem** - na podstawie zadanej wartości położenia steruje położeniem (kątem obrotu wirnika) serwosilnika,
- **sterowanie momentem lub siłą** - na podstawie zadanej wartości momentu steruje momentem wyjściowym serwosilnika,
- **cykliczne sterowanie położeniem** - funkcja wykorzystywana w nowoczesnych napędach obrabiarek, gdzie układ sterowania cyklicznie wysyła do napędu kolejne zadane położenia w trakcie realizacji ruchu a układ napędowy steruje położeniem danego serwosilnika,
- **bloki pozycjonowania** - możliwe jest zdefiniowanie w układzie napędowym od kilku do kilkunastu zadanych położzeń, które następnie mogą być wywołane przez odpowiednie wejście cyfrowe,
- **silnika krokowego** - serwonapęd pracuje tak jak silnik krokowy, tzn, może mieć dwa binarne sygnały sterujące: krok oraz kierunek. Wartość kroku można dowolnie definiować,
- **synchronizacji prędkości** - na podstawie obliczonej prędkości wału wejściowego przez dodatkowy układ pomiarowy oraz zadanego przełożenia steruje prędkością obrotową serwosilnika,
- **synchronizacja kąta obrotu (przekładnia elektroniczna)** - na podstawie zmierzonego kąta obrotu wału wejściowego przez dodatkowy układ pomiarowy oraz zadanego przełożenia steruje położeniem (kątem obrotu) serwosilnika,
- **sterowanie ręczne** - przy pomocy specjalnych przycisków możliwe jest uruchamianie ruchu silnika z zadana prędkością obrotową,
- **krzywki elektronicznej** - na podstawie wartości położenia osi wiodącej oraz wprowadzonej funkcji krzywej (krzywki) serwonapęd steruje obrotem wirnika silnika, gdzie kąt obrotu obliczany jest z parametrów wprowadzonej krzywej.

3. Przekładnia elektroniczna

Podstawowa przekładnia elektroniczna (Electronic Gearbox) łączy dwa wały: wejściowy i wyjściowy, który jest napędzany silnikiem serwonapędowym (rys.1). Do obu wałków przyłączone są przyrostowe przetworniki obrotowo-impulsowe, które generują sygnały proporcjonalne do położenia katowego wałów.

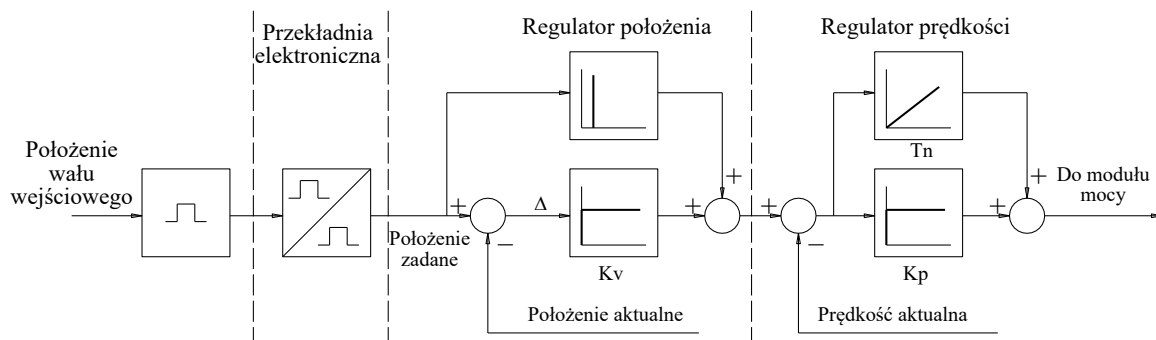


Rys. 1. Schemat układu z przekładnią elektroniczną

Sygnały z przetworników obrotowo-impulsowych są przesyłane do układu napędowego i wykorzystywane w module funkcji przekładni elektronicznej. Układ napędowy steruje natomiast serwosilnikiem.

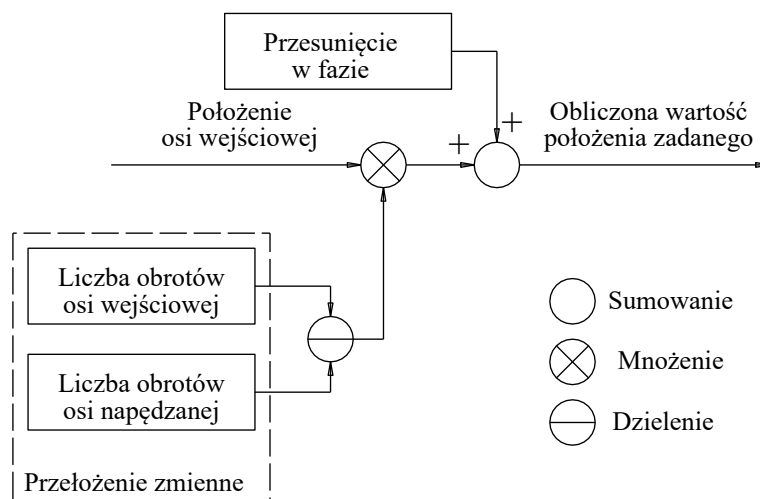
Schemat układu sterowania napędu z przekładnią elektroniczną przedstawia rys. 2. Składa się on z modułów:

- przekładni elektronicznej,
- regulatora położenia,
- regulatora prędkości.



Rys. 2. Schemat układu napędowego z przekładnią elektroniczną

Moduł przekładni elektronicznej na podstawie położenia zadanego (położenia wału wejściowego) oraz wprowadzonego przełożenia (stosunku obrotów wału wejściowego do liczby obrotów wału wyjściowego) oblicza położenie zadane wału wyjściowego (rys. 3).



Rys. 3. Obliczanie wartości położenia zadanego w przekładni elektronicznej

Przekładnia elektroniczna może mieć również możliwość przesunięcia w fazie kątów obrotu wału wejściowego i wyjściowego.

Moduł regulatora położenia na podstawie uchybu położenia Δ wyznacza prędkość zadaną serwowalnika. Jest to regulator proporcjonalny (współczynnik wzmocnienia regulatora położenia K_v) z wyprzedzeniem (regulator FeedForward).

Moduł regulatora prędkości oblicza potrzebny moment obrotowy silnika. Jest to regulator PI (proporcjonalno-całkujący) z współczynnikami proporcjonalnym K_p (współczynnik wzmocnienia regulatora prędkości) i stałą czasową całkowania T_N .

4. Zastosowanie przekładni elektronicznej

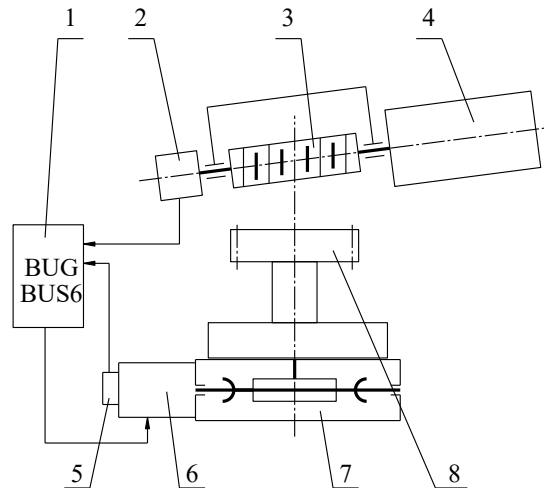
Przekładnie elektroniczne znajdują zastosowanie w takich układach jak:

- urządzenia transportowe – napęd wałków taśmociągu,
- walcarki – napęd wielu wałków walcarki,
- maszyny drukujące – napęd wałków prowadzenia papieru,
- obrabiarki do obróbki kół zębatach,
- toczenie poligonalne.

4.1. Frezowanie obwiedniowe kół zębatach

Na rys. 4 pokazano schemat frezowania obwiedniowego kół zębatach z zastosowaniem przekładni elektronicznej. Frez ślimakowy 3 o liczbie zębów $z_f = 1$ jest napędzany silnikiem 4 o nastawialnej prędkości obrotowej zależnej od wymaganej prędkości skrawania. Na osi wału freza ślimakowego zamocowany jest przetwornik obrotowo-impulsowy 2 mierzący położenie katowe frezu (osi wejściowa).

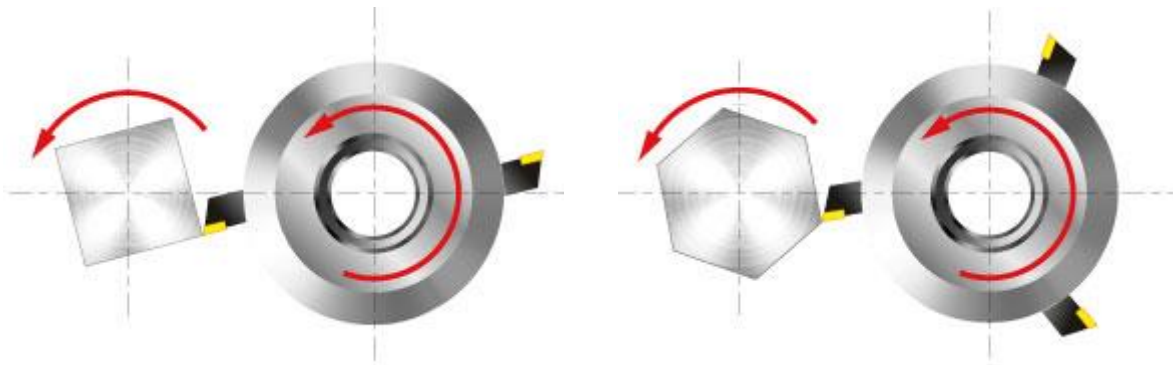
Tarcza stołu obrotowego 7, na której zamocowane jest obrabiane koło zębate 8 o liczbie zębów z , jest napędzana serwowalnikiem 6 poprzez przekładnię ślimakową o przełożeniu $1/90$. Na serwowalniku zamocowany jest przetwornik obrotowo-impulsowy 5 mierzący położenie osi sterowanej (wyjściowej). Układ napędowy 1 BUG/BUS 6, sterujący serwowalnikiem posiada funkcję przekładni elektronicznej.



Rys. 4. Schemat nacinania uzębień walcowych metodą frezowania obwiedniowego:
 1 – układ napędowy BUG/BUS6 z przekładnią elektroniczną, 2 – przetwornik obrotowo-impulsowy osi wiodącej, 3 – frez ślimakowy o liczbie zębów $z_f = 1$, 4 – silnik napędu freza ślimakowego,
 5 – przetwornik obrotowo-impulsowy osi sterowanej, 6 – silnik serwonapędowy napędu stołu obrabiarki, 7 – stół obrabiarki z przekładnią ślimakowa o przełożeniu 1:90, 8 – nacinane koło o liczbie zębów z

4.2. Toczenie poligonalne

Toczenie poligonalne wykorzystywane jest do obróbki powierzchni nieokrągłych (czopów kwadratowych, sześciokątnych itp) szczególnie na automatach tokarskich. Jest to obróbka frezowaniem gdzie obroty frezu muszą być ściśle powiązane z obrotami obrabianego wałka. Na rysunku 5 pokazano zasadę nacinania powierzchni nieokrągłych.



Rys. 5. Zasada nacinania powierzchni nieokrągłych na tokarkach

Frez skrawający (obrotowy nóż tokarski) obraca się w tym samym kierunku co obrabiany wałek. Poprzez dobranie liczby ostrzy narzędzia oraz przełożenia między obrotami frezu i obrabianego wałka można uzyskać różne powierzchnie nieokrągłe na obrabianym wałku (tabela 1).

Ze względu na warunki skrawania taka metoda nadaje się tylko do obróbki materiałów miękkich takich jak brąz, miedź, aluminium oraz tworzywa sztuczne. Jest jednak ekonomiczną alternatywą do obróbki takich powierzchni nieokrągłych na frezarkach. Należy mieć również na uwadze to, że powierzchnie nieokrągłe obrabiane tą metodą nie są prostoliniowe ale posiadają niewielką owalność rzędu kilku do kilkunastu mikrometrów zależnie od średnicy frezu.

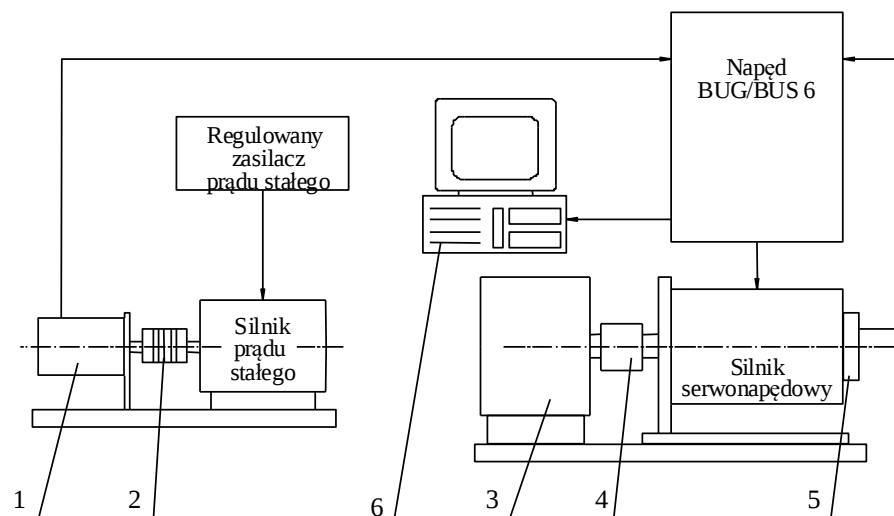
Tabela 1. Możliwości obrabiania powierzchni nieokrągłych toczeniem poligonalnym

Kształt	Liczba ostrzy frezu	Przełożenie
	1	1:1
	2 1	1:1 2:1
	3 2 1	1:1 1.5:1 3:1
	2 1	2:1 4:1
	3 2 1	1.66:1 2.5:1 5:1
	3 2	2:1 3:1
	4 2	2:1 4:1

Dawniej przełożenie między frezem a wałkiem obrabianym realizowane było mechanicznie. Obecnie w tych układach stosowane jest połączenie elektroniczne z przekładnią elektroniczną. Niektóre nowoczesne frezarki, szczególnie frezarki z możliwością toczenia, posiadają funkcję toczenia poligonalnego.

5. Stanowisko badawcze

Stanowisko laboratoryjne (rys. 6) wyposażone jest w uniwersalny napęd elektroniczny serii BUG/BUS6 firmy Baumuller z opcją przekładni elektronicznej napędzający silnik serwonapędowy 3 (wał wyjściowy), który wyposażony jest w resolver 5 do pomiaru kąta obrotu wirnika silnika. Silnik połączony jest poprzez sprzęgło 4 z obiektem napędzanym 3.



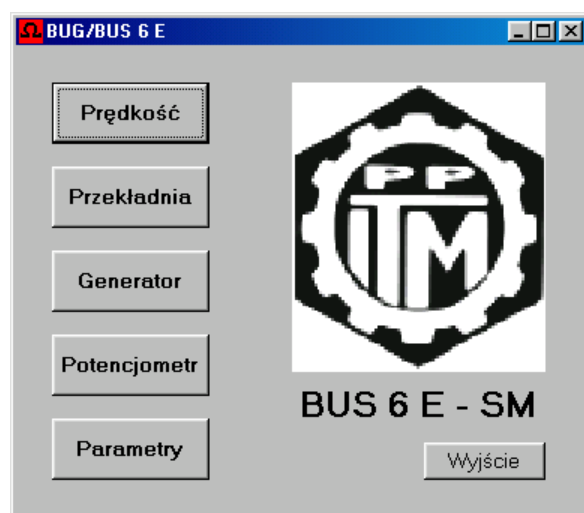
Rys. 6. Schemat stanowiska: 1 – przetwornik obrotowo-impulsowy, 2 – sprzęgło mieszkowe, 3 – obiekt napędzany, 4 – sprzęgło, 5 – resolver, 6 - komputer

Wał wejściowy stanowi wirnik silnika prądu stałego, który połączony jest poprzez sprzęgło mieszkowe 2 z przetwornikiem obrotowo-impulsowym 1. Sygnał z przetwornika obrotowo-impulsowego jest przekazywany do układu napędowego i jest wykorzystywany w module przekładni elektronicznej.

Komputer 6 na stanowisku służy do ustawiania wymaganego przełożenia przekładni elektronicznej, zmiany parametrów układu napędowego (współczynników regulatorów) oraz rejestracji dokładności pracy przekładni elektronicznej.

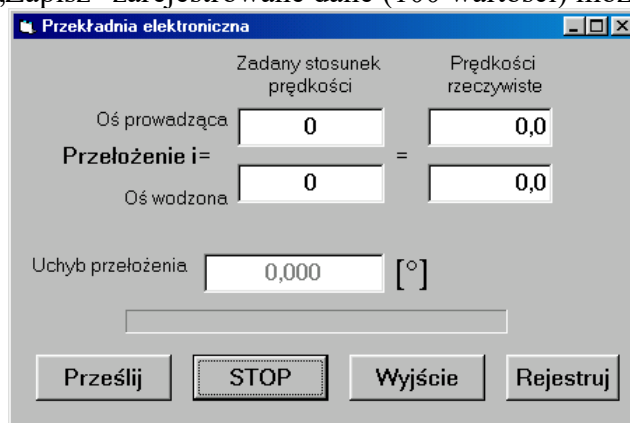
Przy pomocy komputerowego programu BUG/BUS możliwa jest zmiana przełożenia przekładni elektronicznej oraz zmiany parametrów układu napędowego (współczynników). Po uruchomieniu programu (rys. 7) do dyspozycji są, wykorzystywane w ćwiczeniu, opcje:

- Przekładnia,
- Parametry.



Rys. 7. Okno główne programu BUG/BUS

Opcja „Przekładnia” wywołuje ekran (rys. 8) służący do ustawiania wymaganego przełożenia przekładni elektronicznej oraz rejestracji błędów pracy przekładni. Po wprowadzeniu wartości przełożenia należy przesłać te dane do napędu (klawisz Prześlij). Rejestracja błędów pracy przekładni (różnicy kąta obrotu wału silnika serwonapędowego i silnika prądu stałego – wał wejściowy) następuje po naciśnięciu klawisza „Rejestruj”. Po zarejestrowaniu 100 wartości błędu pracy przekładni zostanie wyświetlone okno dialogowe z obliczoną wartością średnią oraz wartością odchylenia standardowego błędu pracy przekładni elektronicznej. Wartości te należy zapisać w notatkach w celu sporządzenia sprawozdania. Po naciśnięciu klawisza „Zapisz” zarejestrowane dane (100 wartości) można zapisać na dysk.



Rys. 8. Okno „Przekładnia”

Opcja „Parametry” wywołuje ekran (rys. 9) umożliwiający zmianę parametrów pracy układu napędowego szczególnie współczynników K_v , K_p , T_N . Po wprowadzeniu tych wartości należy przesłać je do napędu za pomocą przycisku „Prześlij”.

The screenshot shows a software window titled "Parametry". It has two columns of input fields. The first column is labeled "Czas rozruchu (s)" and the second "Czas hamowania (s)". Below these are three rows for "Wejście 1", "Wejście 2", and "Wejście 3", each with a numeric input field. Further down are "Wzmocnienie prędkościowe Kp" and "Stała czasowa regulatora prędkości Tn" (with a unit "ms" next to the input field). Below that is "Wzmocnienie położeniowe Kv" (with a unit "1/s" next to the input field). Then "Przetwornik Limp/obr" and "Wygładzanie (1-10 ms)". At the bottom left are two radio buttons for "SILNIK 71-B" and "SILNIK 56-M". To their right is "Współczynnik EMK" with a percentage sign. At the very bottom are three buttons: "Prześlij", "Wyjście", and "Restart".

Rys. 9. Okno „Parametry”

6. Przebieg ćwiczenia

- połączyć układ zgodnie ze schematem rys. 6.
- włączyć układ w obecności prowadzącego ćwiczenia,
- dla podanego układu kinematycznego obróbki kół zębatach (frezowania obwodniowego) i parametrów obróbki obliczyć prędkości obrotowe narzędzia, przedmiotu obrabianego oraz przełożenie przekładni elektronicznej.
- dla różnych współczynników wzmocnienia K_v , i K_p (podanych przez prowadzącego) przeprowadzić badania błędu pracy przekładni elektronicznej rejestrując wartości średnie oraz odchylenie standardowe błędu pracy przekładni elektronicznej,

6. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- datę ćwiczenia nr grupy i podgrupy,
- nazwiska osób biorących udział w ćwiczeniu,
- schemat badanego układu i warunki pomiarów (dane zadane),
- wykresy przestrzenne (słupkowe) zależności średniego błędu pracy przekładni od współczynników K_v i K_p dla każdego nacinanego koła,
- wykresy przestrzenne (słupkowe) zależności odchylenia standardowego błędu pracy przekładni od współczynników K_v i K_p dla każdego nacinanego koła,
- wnioski.

7. Przygotowanie do ćwiczeń

Przed przystąpieniem do ćwiczeń wymagana jest znajomość działania serwonapędu obrabiarki, działania podstawowych bloków automatyki (proporcjonalnego, całkującego itp.), działania przekładni elektronicznej oraz struktury przekładni elektronicznej.

8. Literatura

1. Kosmol. J., Automatyizacja obrabiarek i obróbki skrawaniem, WNT 1995
2. Kosmol. J., Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie, WNT 1999.
3. Honczarenko J., Elastyczna automatyzacja wytwarzania, WNT 2000.
4. Żelazny M., Podstawy Automatyki, PWN 1976,