

prof. dr hab. inż. Jerzy Osiński
mgr inż. Piotr Miszczuk,
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Politechnika Warszawska

KOMPUTEROWY SYSTEM STEROWANIA PRACĄ NAWROTNĄ WYSOKOREDUKCYJNEJ PRZEKŁADNI ZĘBATEJ

W pracy przedstawiono komputerowy system do badania podstawowych parametrów wysokoredukcyjnych przekładni zębatych. Zaprezentowano także system sterowania przekładnią w oparciu o układ pomiarowy i programowalny zasilacz prądu stałego.

THE COMPUTER SYSTEM OF THE CONTROLLING OF HIGH REDUCTION GEAR DRIVE

The paper presents the computer system for testing of basic properties of the high reduction gear drives. There is presented also the controlling system based on testing stand and programmable DC power supply.

1. WSTĘP

Przekładnie zębate stosowane jako reduktory w układach automatyki (manipulatory robotów) muszą posiadać dużą dokładność kinematyczną (dla zapewnienia dokładności pozycjonowania). Wymaga to zastosowania drogich przekładni (np. falowych) o wysokiej dokładności wykonania. Na dokładność pozycjonowania duży wpływ ma także szereg zjawisk dynamicznych. W przypadku pracy nawrotnej, przy dużych prędkościach i masach wirujących członów, uzyskanie zadawalających dokładności pozycjonowania wymaga zastosowania hamulców. Celem pracy jest analiza możliwości zbudowania układu sterowania z zastosowaniem przekładni zębatej o znacznie gorszych właściwościach. (dokładność pozycjonowania będzie w tym przypadku zapewniana przez układ sterujący). Rozważono dwie możliwości: układ automatyki z regulacją dwupołożeniową i układ mechatroniki ze sterowaniem za pomocą komputera. Najtrudniejszą częścią zadania jest modelowanie pracy nawrotnej przekładni ze względu na występowanie szeregu nieliniowych i zmiennych w czasie zjawisk: luzów, współpracy dwustronnej, tarcia suchego i wiskotycznego, nieprawidłowego ząbienia wskutek ugięć zębów, odchyłek wykonawczych, zużycia zębów, zmiennej sztywności ząbienia (wzbudzenie parametryczne). Ze względu na występowanie nieliniowości zrezygnowano ze stosowania tradycyjnych metod automatyki (opis z zastosowaniem transmitancji). Równania rozwiązano na drodze symulacji cyfrowej.

2. MODEL DYNAMICZNY PRZEKŁADNI ZĘBATEJ

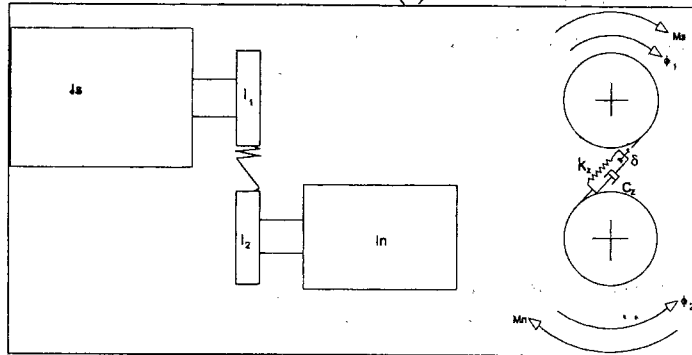
Do opisu pracy przekładni użyto modelu (Rys. 1) o dwóch stopniach swobody [1], [2]. Silnik prądu stałego opisano równaniem (1). Przyjęto, że wały łączące są bardzo sztywne (krótkie i o dużej średnicy).

$$I_s \cdot \ddot{\phi}_s + c_L \cdot \dot{\phi}_s + k_s \cdot (\phi_s - \phi_1) = \frac{k_1}{R} \cdot U(t) \quad (1)$$

W rezultacie dla modelu przedstawionego na Rys.1 otrzymano układ równań (2), (3):

$$(I_s + I_1) \cdot \ddot{\phi}_s + (c_s + c_1) \cdot \dot{\phi}_s + c_z + k_z = \frac{k_1}{R} \cdot U(t) \quad (2)$$

$$(I_n + I_2) \cdot \ddot{\phi}_2 + c_2 \cdot \dot{\phi}_2 + c_z - k_z = -M_n \quad (3)$$



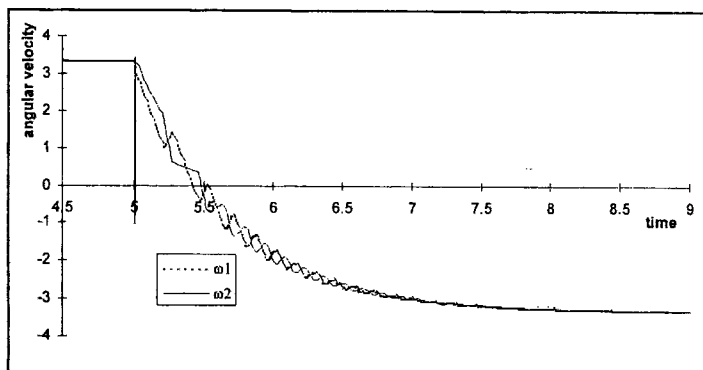
Rys. 1

gdzie:

- c_z - funkcja nieliniowa opisująca tłumienie międzyzębne
- k_z - funkcja nieliniowa opisująca sztywność międzyzębną
- I_s - moment bezwładności silnika
- I_n - moment bezwładności maszyny napędzanej
- I_1 - moment bezwładności koła czynnego
- I_2 - moment bezwładności koła biernego
- c_s - tłumienie elektryczne w silniku
- c_1 - tłumienie wiskotyczne zredukowane na oś koła czynnego
- c_2 - tłumienie wiskotyczne zredukowane na oś koła biernego
- $\frac{k_1}{R} \cdot U(t) = M_s$ - moment napędowy silnika
- M_n - moment oporowy
- $U(t)$ - napięcie przyłożone do uzwojenia silnika
- δ - funkcja opisująca luz w ząbieniu

Układ równań (2), (3) rozwiązano metodą numeryczną. Otrzymane wyniki pozwoliły na przeprowadzenia komputerowej symulacji nawrotu układu z przekładnią zębatą. Rysunek 2 przedstawia wycinek przebiegu czasowego prędkości kątowej kół zębatych. Na tym wykresie proces nawrotu rozpoczyna się jednostce czasu 5 poprzez przyłożenie do silnika napięcia o przeciwnej wartości. Bezwładność układu, jego sprężystość oraz błędy wykonawcze

powodują, iż punkt zmiany kierunku ruchu nie pokrywa się z chwilą zmiany znaku napięcia zasilającego.



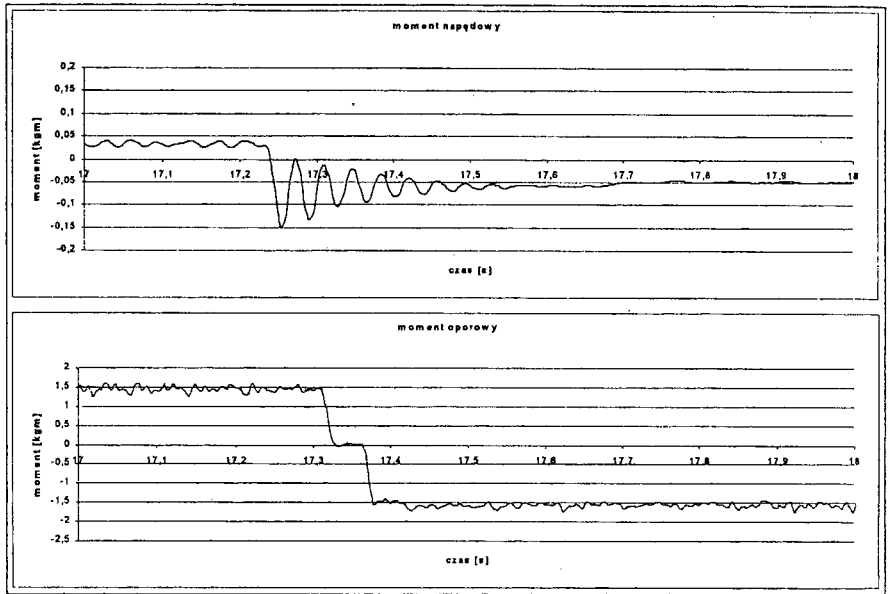
Rys. 2

3. STANOWISKO DO BADANIA PRZEKŁADNI ZĘBATYCH.

W celu praktycznego potwierdzenia wyników otrzymanych na drodze symulacji komputerowej zbudowano stanowisko do badania przekładni zębatach. Stanowisko składa się ze statywu do mocowania przekładni, silnika prądu stałego oraz hamulca elektromagnetycznego. Układ pomiarowy stanowi zestaw czujników podłączonych do przetwornika analogowo-cyfrowego firmy HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK model Spider 8. Przetwornik ten podłączony do komputera klasy PC umożliwia jednocześnie przekazywanie mierzonych wartości z ośmiu kanałów pomiarowych z częstotliwością próbkowania do 9600 Hz. W stanowisku zamontowano dwa czujniki tensometryczne odczytujące wielkość momentu napędowego i oporowego, czujnik prędkości obrotowej silnika, czujnik indukcyjny przemieszczenia ramienia manipulatora podłączonego do członu biernego przekładni, czujnik przyspieszenia ramienia manipulatora oraz czujniki napięcia i natężenia prądu zasilającego silnik. Zainstalowane oprogramowanie Catman v.2.1. wraz z powyższym zestawem pomiarowym pozwala na szeroka analizę parametrów przekładni w czasie rzeczywistym a także na zapis o obróbkę odczytanych sygnałów. System komputerowy Catman posiada między innymi możliwość przetwarzania odczytywanych wartości (np.: FFT, całkowanie, różniczkowanie, operacje algebraiczne i statystyczne) co zapewnia szybka i łatwą interpretację wyników. Na stanowisku zbadano między innymi pracę nawrotną przekładni obiegowej różnicowej zbudowanej według patentu [4]. Przykładowy przebieg czasowy momentu napędowego i oporowego w chwili nawrotu przedstawiono na rysunku 3.

4. KOMPUTEROWY SYSTEM STEROWANIA PRACĄ NAWROTNA WYSOKOREDUKCYJNEJ PRZEKŁADNI ZĘBATEJ.

Opisany powyżej układ pomiarowy można wykorzystać do sterowania pracą nawrotną przekładni.



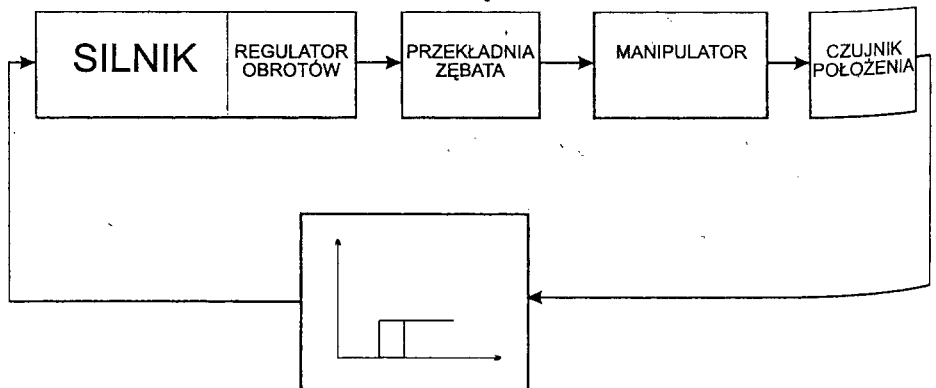
Rys. 3

Rozważono sterowanie:

- w tradycyjnym układzie robota (Rys. 4),
- w układzie automatyki z regulacją dwupołożeniową (Rys. 5),
- w układzie mechatroniki. (Rys. 6).



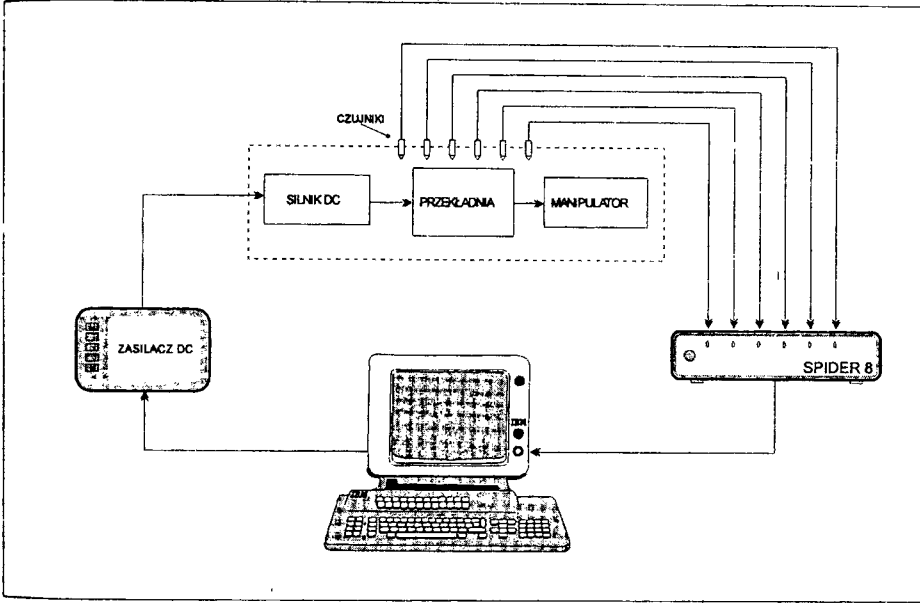
Rys.4



Rys.5

Pierwsze dwa układy są zrealizowane w stanowisku badawczym zbudowanym przez zespół pod kierownictwem prof. Jerzego Osińskiego w IPBM.

Rysunek 6 przedstawia schemat komputerowego systemu sterującego pracą przekładni. Stanowisko pomiarowe uzupełniono o programowalny zasilacz prądu stałego. Zasilacz wyposażono w pamięć EPROM umożliwiającą załadowanie z komputera PC kodu sterującego tj. czasu trwania i wartości napięcia zasilającego silnik.



Rys. 6

Badając parametry rzeczywistego układu z przekładnią, a w szczególności przebieg czasowy prędkości i przemieszczenia manipulatora oraz przebieg napięcia zasilającego silnik podczas nawrotu możliwe jest do określenia opóźnienie reakcji układu na zmianę znaku napięcia zasilającego (niedokładność pozycjonowania). Na podstawie analizy powyższych informacji można wygenerować skorygowany kod sterujący silnikiem i zapisać go w pamięci zasilacza.

Istotnym elementem układu jest program komputerowy służący do analizy odczytanych wyników przez układ pomiarowy i generowania kodu sterującego silnikiem. Do optymalizacji kodu sterującego silnikiem zaproponowano wykorzystanie algorytmów sztucznej inteligencji oraz procedur wnioskowania rozmytego. Procedurę „uczenia” zasilacza należy powtarzać aż do uzyskania zamierzonej dokładności pozycjonowania. Liczba powtórzeń zależy od skuteczności zastosowanych procedur optymalizacyjnych w programie..

Po odpowiednim zaprogramowaniu zasilacza układ można odłączyć od stanowiska pomiarowego i komputera. Zaletą układu sterującego jest możliwość eliminacji błędów sumarycznych występujących w całym łańcuchu kinematycznym silnik -> przekładnia -> manipulator bez względu na ich pochodzenie.

Omówiona wyżej system sterujący jest obecnie realizowana w IPBM PW przez zespół pod kierownictwem prof. J. Osińskiego.

LITERATURA

1. Morrison F.: Sztuka modelowania układów dynamicznych, WNT Warszawa 1996.
2. Spong M.W., Vidyasagar M.W. :Dynamika i sterowanie Robotów, WNT Warszawa 1997
3. Catman V2.1 –User Manual, HBM 1998
4. Maciejewski E., Ramos A., Żach Z.: Przekładnia obiegowa różnicowa. Patent nr 163860, 1994.
5. Müller L.: Przekładnie zębate. Projektowanie, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1996..