

Manfred CHMURAWA, Kazimierz WITASZEK

METODYKA POMIARU CHWILOWYCH PRĘDKOŚCI OBROTOWYCH W PRZEKŁADNIACH OBIEGOWCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodykę, układ pomiarowy i wyniki badań chwilowych prędkości obrotowych oraz odpowiadających im przełożeń kinematycznych na przykładzie doświadczalnej przekładni Cyclo.

METHODIC OF MEASURING OF MOMENTARY ROTATIONAL SPEEDS IN PLANETARY GEAR

Summary. In the paper it is presented methodics, measuring system and result of momentary rotational speeds and representative kinematic ratio basing on experimental model of cycloidal gear.

1. WPROWADZENIE

Podstawową wielkością charakteryzującą przeniesienie ruchu w przekładniach zębatych jest przełożenie:

$$i = \frac{\omega_h}{\omega_1} = \frac{n_h}{n_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad (1)$$

gdzie: ω_h , n_h – prędkość kątowa i obrotowa wału napędowego (szybkoobrotowego),

ω_1 , n_1 – prędkość kątowa i obrotowa wału wyjściowego (zdawczego, wolnoobrotowego),

z_1 , z_2 – liczba zębów zębnika i koła koła napędzanego.

Z uwagi na dokładność wykonania i warunki współpracy kół zębatych w rzeczywistych przekładniach, także w przekładni Cyclo, poszczególne strony równości (1) przedstawiają różne wartości przełożenia. Lewa strona równości (1) przedstawia przełożenie kinematyczne:

$$i = i = \frac{\omega_h}{\omega_1} = \frac{n_h}{n_1} \quad (2)$$

a prawa strona teoretyczne przełożenie (geometryczne):

$$i' = i_0 = \frac{z_1}{z_2} \quad (3)$$

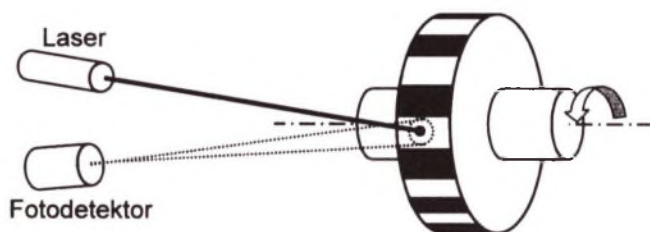
Przełożenie geometryczne jest wielkością niezmienną (stałą) dla danej przekładni. Natomiast przełożenie kinematyczne wynika z wartości luzów międzyzębnych, związanych z zastosowanym uzębieniem i dokładnością jego wykonania. Zatem określenie przełożenia kinematycznego

wymaga zsynchronizowanego pomiaru prędkości obrotowych wału wejściowego i wału wyjściowego przekładni.

W artykule przedstawiono metodykę i układ pomiarowy do badań chwilowych prędkości obrotowych i dokładności przenoszenia ruchu w dowolnej przekładni zębatej.

2. METODA I UKŁAD POMIAROWY DO BADANIA CHWILOWYCH PRĘDKOŚCI OBROTOWYCH W PRZEKŁADNI OBIEGOWEJ

Do pomiaru prędkości obrotowej wykorzystano zjawisko odbicia światła od dwóch powierzchni o odmiennych własnościach optycznych. Zasadę pomiaru i budowę czujnika przedstawia rys. 1. Czujnik składa się z oświetlacza laserowego, fotodetektora i wzmacniacza. Elementy te umieszczono we wspólnej obudowie w ten sposób, by fotodetektor odbierał światło odbite od powierzchni oświetlonej wiązką laserową.



Rys. 1. Schemat czujnika pomiarowego

Fig. 1. Diagram of measuring sensor

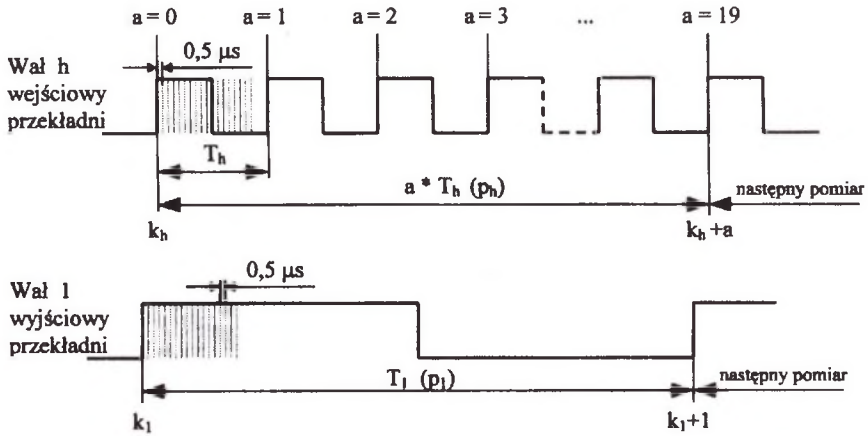
W czasie oświetlania powierzchni, która dobrze odbija światło, np. białej na wyjściu wzmacniacza zaistnieje umowny logiczny stan wysoki. Gdy wiązka oświetla powierzchnię pochłaniającą światło, np. czarną, to na wyjściu wzmacniacza pojawi się logiczny stan niski. Naprzemienne oświetlanie białych i czarnych pasków generuje na wyjściu z czujnika sygnał prostokątny, w postaci znacznika chwilowej prędkości obrotowej. Okres tego sygnału T (przejścia znacznika) jest mierzony z dokładnością $\pm 0,5\mu\text{s}$ za pomocą zliczania impulsów p , generowanych z częstotliwością 2MHz przez wewnętrzny timer mikroprocesora (rys. 2).

Znajomość okresu T umożliwia wyznaczenie chwilowej wartości prędkości obrotowej badanego wału ze wzoru:

$$n = \frac{60}{z \cdot T} \quad \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \quad (4)$$

gdzie: z – liczba znaczników, tj. par czarno – białych pasków, rozmieszczonych równomiernie na dostępnym obwodzie wału;

T [s] – okres przejścia 1 znacznika na badanym wale.



Rys. 2. Sposób pomiaru okresów znacznika T_l i T_h na wale wejściowym i wyjściowym badanej przekładni

Fig. 2. Method of measurement of marker periods T_l and T_h on input and output shaft of the gear

Zasadę pomiaru można przedstawić na przykładzie obiegowej przekładni Cyclo, gdzie badano jednocześnie ruch wału wejściowego (szybkoobrotowego) i wyjściowego (wolnoobrotowego), rys. 3, 4. Pomiary prędkości obrotowych obydwu wałów synchronizowano za pomocą sygnału z wału wyjściowego w ten sposób, by pomiary prędkości dla obydwu kanałów odbywały się w tym samym lub zbliżonym czasie (rys. 2). Na jeden pomiar prędkości wału wyjściowego przypadało a pomiarów prędkości wału wejściowego, co dodatkowo zwiększało dokładność wyznaczania chwilowej wartości przełożenia przekładni. Okresy przejścia znaczników i odpowiadające im chwilowe wartości prędkości można obliczyć ze wzorów:

➤ dla wału wyjściowego (wolnoobrotowego):

$$T_l = \frac{p_l}{2 \cdot 10^6} \quad [s] \quad (5)$$

$$n_l = \frac{60}{z \cdot T_l} = \frac{1,2 \cdot 10^8}{z \cdot p_l} \quad \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \quad (6)$$

➤ dla wału wejściowego (szybkoobrotowego):

$$T_h = \frac{p_h}{2 \cdot 10^6 \cdot a} \quad [s] \quad (7)$$

$$n_h = \frac{60}{z \cdot T_h} = \frac{1,2 \cdot 10^8 \cdot a}{z \cdot p_h} \quad \left[\frac{\text{obr}}{\text{min}} \right] \quad (8)$$

Natomiast chwilowe przełożenie kinematyczne badanej przekładni wynosi:

$$i_{h1} = i = \frac{n_h}{n_l} = \frac{T_l}{T_h} = \frac{p_l \cdot a}{p_h} \quad (9)$$

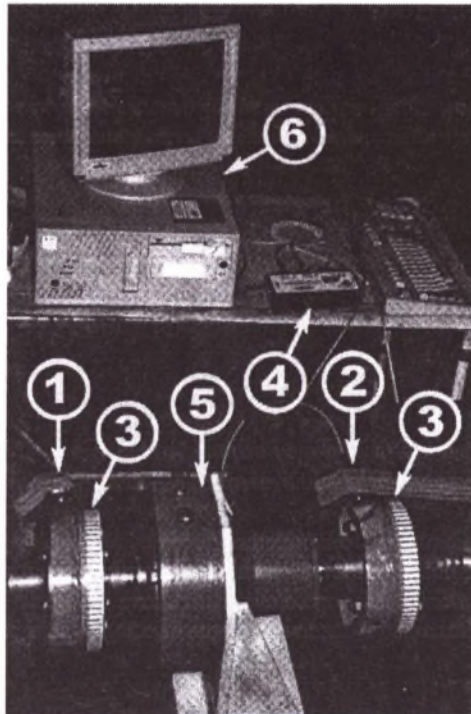
gdzie: p_l – nagromadzona liczba impulsów, odpowiadająca okresowi przejścia znacznika T_l na wale wyjściowym;

p_h – nagromadzona liczba impulsów, odpowiadająca a okresom przejścia znacznika T_h na wale wejściowym;

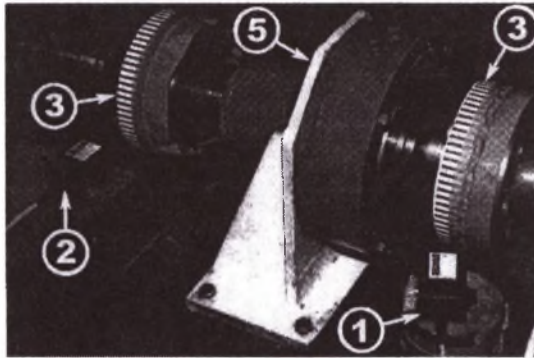
a – zsynchronizowana wielokrotność okresów przejścia znacznika T_h , przypadająca na jeden okres przejścia znacznika T_l .

Liczbę znaczników z należy tak dobrać, by chwilowa (średnia) wartość prędkości obrotowej n_i , odpowiadała relatywnie małej drodze kątowej $\Delta\varphi$ badanego wału. Szerokość znacznika (białego i czarnego paska) wynika z przyjętej liczby z i średnicy tarczy d_S , sztywno połączonej z badanym wałem, na którym zostanie umieszczona nierozciągliwa taśma ze znacznikami (rys. 4). Podczas badań przekładni Cyclo założono, iż należy dokonywać pomiaru średniej prędkości na drodze kątowej $\Delta\varphi = 5^\circ$, co odpowiadało liczbie $z = 72$ znaczników na każdym z badanych wałów. Do pomiarów wykorzystano tarcze sprzęgieł o tej samej średnicy $d_S = 184$ mm. Na obwody tarcz nałożono specjalną nierozciągliwą taśmę z dokładnie wydrukowanymi 72 znacznikami o szerokości $2 * 4,01$ mm (rys. 4). Zatem na jeden obrót wału wyjściowego przypadały 72 pomiary chwilowej prędkości obrotowej. Do badań chwilowych prędkości obrotowych lub dokładności przeniesienia ruchu można wykorzystać układ pomiarowy wg wyżej opisanej zasady, który powinien zawierać (rys. 3 i 4):

- czujniki pomiarowe 1 i 2, oświetlające skoncentrowaną wiązką światła laserowego modulatory 3, umieszczone na badanych wałach przekładni 5;
- modulatory światła laserowego 3, w postaci nierozciągliwych taśm z wydrukowanymi z dużą dokładnością czarnymi paskami na białym tle, naniesione na obwody tarcz sprzęgieł;



Rys. 3. Widok układu do pomiaru chwilowych prędkości obrotowych w przekładni obiegowej
 Fig. 3. View of rotational speed measuring system of planet gear

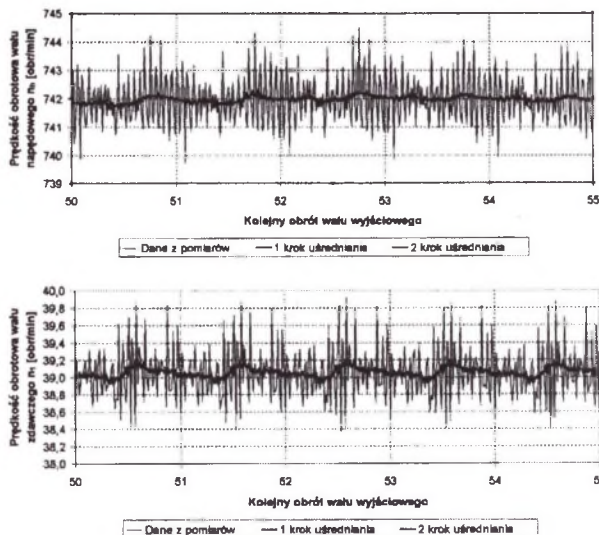


Rys. 4. Obiegowa przekładnia cykloidalna podczas badań przełożenia kinematycznego. Widoczne modulatory i czujniki światła laserowego

Fig. 4. Planetary cycloidal gear during tests. Visible modulators and laser detectors

- mikroprocesorowy dwukanałowy miernik 4 z wewnętrznymi timerami do pomiaru i rejestracji impulsów, przypadających na czas przejścia znaczników na badanych wałach;
- komputer PC 6 do gromadzenia i zapisywania wyników pomiarów i przeprowadzania niezbędnych obliczeń wg wzorów (5) do (9), tabl. 1.

Jeden czujnik powinien znajdować się w pobliżu wału szybkoobrotowego, a drugi na wyjściu z przekładni. Czujniki należy podłączyć do dwukanałowego, mikroprocesorowego miernika. Miernik przesyła do komputera PC następujące dane: kolejne numery znaczników k_1 i k_h , zarejestrowane podczas pięciominutowego pomiaru prędkości przy zadanym kierunku ruchu oraz zliczone liczby impulsów p_1 i p_h , przypadające na okres przejścia znacznika T_1 i wielokrotność przejścia okresów $a \cdot T_h$. Natomiast oprogramowanie komputera w oparciu o ww. dane oblicza okresy T_1 i T_h , bieżące wartości prędkości n_1 i n_h oraz chwilowe wartości przełożenia kinematycznego w badanej przekładni (rys. 5).



Rys. 5. Typowy przebieg chwilowych prędkości obrotowych n_h i n_1 na przykładzie przekładni Cyclo z modyfikacją zazębienia (próba 2 – ruch lewostronny)

Fig. 5. Typical course of momentary rotational speeds in Cyclo gear with modified toothing (test 2 – leftside moving)

Tablica 1

Badanie ruchu obrotowego w przekładni Cyclo z modyfikacją ząbzenia o przełożeniu geometrycznym $i_0 = 19$. (Próba 1 – ruch prawostronny, przekładnia przed badaniem trwałości)

j-ty znacznik	Wał wyjściowy (wolnobieżny)				Wał wejściowy (szybkobieżny)					Chwilowa prędkość obrotowa n_h	Chwilowe przełożenie kinematyczne i
	Nr znacznika k_1	Liczba impulsów p_1	Okres przejścia znacznika T_1	Chwilowa prędkość obrotowa n_1	Nr znacznika k_h	Liczba impulsów p_h	Wielokrotność a okresu T_h	Okres przejścia a znaczników T_h	Okres przejścia znacznika T_h		
1	40615	43067	0,021534	38,69939	1033482	42730	19	0,021365	0,0011245	741,08745	19,14985
2	40616	42233	0,021117	39,46361	1033481	42868	19	0,021434	0,0011281	738,70175	18,71855
3	40617	43119	0,021560	38,65272	1033500	42608	19	0,021304	0,0011213	743,20941	19,22787
4	40618	42545	0,021273	39,17421	1033519	42672	19	0,021336	0,0011229	742,09474	18,94345
5	40619	42513	0,021257	39,20369	1033538	42790	19	0,021395	0,0011261	740,04830	18,87700
6	40620	42769	0,021385	38,96904	1033557	42800	19	0,021400	0,0011263	739,87539	18,98624
7	40621	43351	0,021676	38,44586	1033576	42594	19	0,021297	0,0011209	743,45369	19,33768
8	40622	42283	0,021142	39,41694	1033595	42676	19	0,021338	0,0011231	742,02518	18,82503
9	40623	42223	0,021112	39,47296	1033614	42862	19	0,021431	0,0011279	738,80516	18,71674
10	40624	43427	0,021714	38,37858	1033633	42716	19	0,021358	0,0011241	741,33034	19,31625
11	40625	42753	0,021377	38,98362	1033652	42592	19	0,021296	0,0011208	743,48861	19,07182
12	40626	42521	0,021261	39,19632	1033671	42644	19	0,021322	0,0011222	742,58200	18,94520
13	40627	42807	0,021404	38,93444	1033690	42906	19	0,021453	0,0011291	738,04751	18,95616
14	40628	43001	0,021501	38,75879	1033709	42622	19	0,021311	0,0011216	742,96529	19,16895
15	40629	42303	0,021152	39,39831	1033728	42636	19	0,021318	0,0011220	742,72133	18,85160
16	40630	43019	0,021510	38,74257	1033747	42704	19	0,021352	0,0011238	741,53865	19,14015
17	40631	42521	0,021261	39,19632	1033766	42862	19	0,021431	0,0011279	738,80516	18,84884
18	40632	42929	0,021465	38,82379	1033785	42626	19	0,021313	0,0011217	742,89557	19,13506
19	40633	42691	0,021346	39,04023	1033804	42654	19	0,021327	0,0011225	742,40790	19,01648
20	40634	42865	0,021433	38,88176	1033823	42748	19	0,021374	0,0011249	740,77540	19,05200
...
12931	53545	42257	0,021129	39,44120	1279132	42688	19	0,021344	0,0011234	741,81659	18,80817
12932	53546	43007	0,021504	38,75338	1279151	42762	19	0,021381	0,0011253	740,53287	19,10886
12933	53547	42603	0,021302	39,12088	1279170	42612	19	0,021306	0,0011214	743,13965	18,99599
12934	53548	42705	0,021353	39,02744	1279189	42552	19	0,021276	0,0011198	744,18750	19,06832
12935	53549	42429	0,021215	39,28131	1279208	42760	19	0,021380	0,0011253	740,56751	18,85292
12936	53550	42795	0,021398	38,94536	1279227	42696	19	0,021348	0,0011236	741,67760	19,04406
12937	53551	42301	0,021151	39,40017	1279246	42604	19	0,021302	0,0011212	743,27919	18,86487
12938	53552	43013	0,021507	38,74798	1279265	42524	19	0,021262	0,0011191	744,67752	19,21849
12939	53553	42245	0,021123	39,45240	1279284	42870	19	0,021435	0,0011282	738,66729	18,72300
12940	53554	42437	0,021219	39,27390	1279303	42700	19	0,021350	0,0011237	741,60812	18,88297
12941	53555	42787	0,021394	38,95264	1279322	42518	19	0,021259	0,0011189	744,78260	19,12021
12942	53556	42435	0,021218	39,27576	1279341	42604	19	0,021302	0,0011212	743,27919	18,92463
12943	53557	42325	0,021163	39,37783	1279360	42860	19	0,021430	0,0011279	738,83963	18,76283
12944	53558	43229	0,021615	38,55437	1279379	42674	19	0,021337	0,0011230	742,05996	19,24711
12945	53559	42291	0,021146	39,40949	1279398	42526	19	0,021263	0,0011191	744,64249	18,95051
12946	53560	42505	0,021253	39,21107	1279417	42696	19	0,021348	0,0011236	741,67760	18,91500
12947	53561	42581	0,021291	39,14109	1279436	42832	19	0,021416	0,0011272	739,32262	18,88866
12948	53562	42875	0,021438	38,87269	1279455	42592	19	0,021296	0,0011208	743,48861	19,12624

3. PODSUMOWANIE

Przedstawioną metodykę i proponowany układ pomiarowy można wykorzystywać do dokładnych pomiarów prędkości obrotowej różnych wałów, w szczególności do pomiaru przełożeń kinematycznych w przekładniach lub pomiarów nagromadzonych przemieszczeń kątowych. W przypadku przekładni wyznaczone za pomocą ww. metody przełożenie kinematyczne może być miarą dokładności wykonania kół zębatach, ściśle związanej z występującymi w zazębieniach nieodłącznymi luzami międzyzębnymi.

Literatura

1. Gałka P., Gałka P.: Podstawy programowania mikrokontrolera 8051. Wyd. Mikom, Warszawa 1995.
2. Janiczek J., Stępień A.: Laboratorium systemów mikroprocesorowych. Wyd. CKP, Wrocław 1996, cz. I i cz II.
3. Kudriawcew W.N.: Planetarnyje peredaci. Maszinstrojenije, Moskwa–Leningrad 1966.
4. Müller L.: Przekładnie obiegowe. PWN, Warszawa 1983.

Recenzent: Dr hab. Inż. Andrzej Raczyński

Abstract

Kinematic ratio is connected with clearances and kinematic deviations in tothing and can be a factor describing precision of manufactured elements in drive systems. In the paper it is presented methodics, measuring system and result of momentary rotational speeds basing on experimental model of cycloidal gear.