

**STRATEGIA STEROWANIA WIELOOBROTOWYM NAPĘDEM
MECHANICZNYM I ANALIZA BŁĘDÓW**

**MULTI-TURN MECHANICAL DRIVE CONTROL STRATEGY AND ERROR
ANALYSIS**

Łukasz ALFUTH

l.alfuth@we.am.gdynia.pl

Uniwersytet Morski w Gdyni
Wydział Elektryczny
Katedra Automatyki Okrętowej

Adam MUC

a.muc@we.am.gdynia.pl

Uniwersytet Morski w Gdyni
Wydział Elektryczny
Katedra Automatyki Okrętowej

STRESZCZENIE

W artykule, dla skonstruowanego i wykonanego wcześniej mechanizmu napędu, który umożliwia zasilanie i monitorowanie obiektu będącego w ciągłym ruchu obrotowym, przedstawiono strategię sterowania i oceniono jakość jego działania. Podstawową cechą proponowanej konstrukcji jest to, że umożliwia ona bezstykowe zasilanie urządzeń będących w ciągłym ruchu obrotowym napięciem 230 V w sposób nieprzerwany i niezależny od kierunku obrotu. Dodatkowo, uwzględniono możliwość ciągłego monitorowania wychyłu prędkości kątowej platformy i przeniesienie tej informacji na pulpit sterowniczy miernika wychyłu. W celu zweryfikowania dokładności działania napędu przeprowadzono badania eksperymentalne, które w szczególności dotyczyły kąta ustalania pozycji platformy przy różnych obciążeniach. Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej, z której wynika, że proponowana konstrukcja w zadawalającym stopniu realizuje przyjęte założenia projektowe.

SUMMARY

The article presents the control strategy of multi-turn mechanical drive, by step motor powered. In addition, the quality of the drive was assessed by conducting experiments under laboratory conditions. In experimental tests were carried out using an angular velocity meter. The obtained results were subjected to statistical analysis. The basic feature of the proposed structure is that it allows contactless power supply of devices that are in continuous rotation. The described mechanical drive enables the power supply of electrical devices in a continuous and independent way. Based on the results of the analysis, it appears that the proposed construction in satisfies way the adopted design assumptions satisfactorily.

Słowa kluczowe: obrotowy zespół napędowy, autonomiczne zasilanie, monitorowanie

Keywords: multi-turn mechanical drive, autonomous power supply, monitoring

WSTĘP

Silniki krokowe znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. W zależności od zastosowania, na układy napędowe z silnikami krokowymi nałożone są konkretne wymagania dotyczące dokładności i niezawodności. W tym artykule opisano zastosowanie silnika krokowego do sterowania stanowiskiem pomiarowym do badania dokładności wskazań miernika prędkości kątowej oraz przedstawiono analizę błędów pozycjonowania. Przedstawiona konstrukcja wieloobrotowego napędu może zostać również wykorzystana we wszystkich tych aplikacjach, w których wymagane jest zasilanie napięciem w sposób nieprzerwany i niezależny od obrotów platformy, urządzenia będącego w ciągłym ruchu obrotowym.

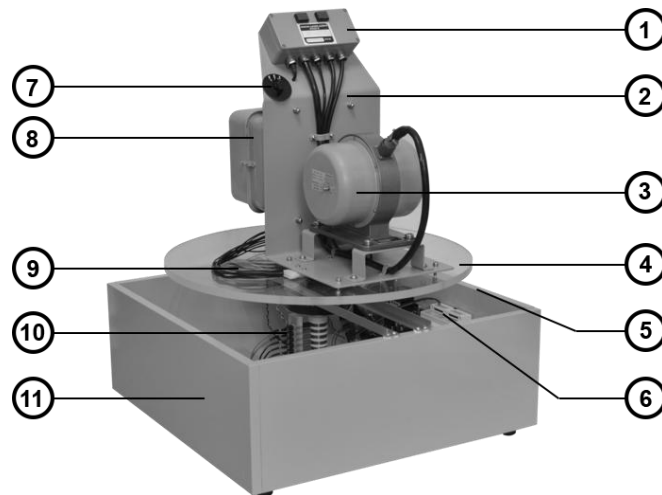
Napęd platformy obrotowej obejmuje: silnik krokowy, który poprzez koło zębate i pas zębaty napędza oś platformy, sterownik mocy silnika krokowego oraz sterownik programowalny (rys. 1). Rozwiązanie to pozwoliło na uzyskanie bardzo dużej dokładności ustalenia kąta obrotu platformy z zespołem żyroskopowym. Zastosowanie mikroindeksera umożliwiło współpracę układu z komputerem poprzez łącze szeregowo.

1. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko badawcze składa się z platformy obrotowej, która umieszczona jest na osi głównej napędu platformy, podzespołów zasilających (zasilacz silnika krokowego oraz zasilacz mikroindeksera) oraz sterujących (mikroindeksery).

Silnik krokowy zapewnia płynny obrót platformy dzięki zastosowaniu mikroindeksera (sterownika programowalnego). W omawianym układzie znalazł on zastosowanie jako tańszy substytut zaawansowanego sterownika PLC. Ma on możliwość podłączenia do komputera PC poprzez łącze szeregowo. Stamtąd, z pozycji programu WinMI wysyłane są komendy takie jak: start/stop, zmiana kierunku, zmiana prędkości itp.

Możliwe jest zaprogramowanie sekwencji ruchu platformy zgodnie ze strategią sterowania opisaną poniżej. Wykorzystanie szczotek oraz pierścieni elektrycznych pozwoliło na sterowanie i monitorowanie pracą platformy w sposób bezstykowy.



Rys. 1. Zdjęcie platformy obrotowej z zespołem żyroskopowym, gdzie: 1 – jednostka operacyjna, 2 – stelaż, 3 – miernik prędkości kątowej Naviturn, 4 – platforma obrotowa, 5 – uchylna boczna ścianka, 6 – elementy sterujące napędem osi platformy (zasilacze, sterownik mocy, mikroindekser), 7 – wybór zakresu pomiaru, 8 – zasilacz zespołu żyroskopowego, 9 – złącze przewodów sygnałowych oraz zasilających, 10 – oś główna napędu ze szczotkami i pierścieniami elektrycznymi, 11 – obudowa
Źródło: Opracowanie własne.

2. STRATEGIA STEROWANIA SILNIKIEM KROKOWYM NA POTRZEBY WIELOOBROTOWEGO NAPĘDU MECHANICZNEGO

Obliczenia zawarte w tym rozdziale umożliwiły poprawne wykonanie projektu sterowania silnikiem oraz określenie parametrów jakie będą wpisywane do pamięci mikroindeksera (liczba kroków/kąt obrotu, prędkość, przyspieszenie itp.). Obliczenie ilości kroków na jeden obrót wału silnika wynika ze średnicy zębatego koła napędzającego. W testowanym układzie, jeden obrót wału odpowiada 200 krokom silnika. Ze względu na fakt, że silnik wysterowany jest na podział mikrokrokowy 1/8 kroku, to liczbę kroków na jeden obrót wału silnika przy danym podziale mikrokrokowym można obliczyć ze wzoru 1 i 2.

$$K_s = L_k [\text{kr}] \cdot P_m = 200 [\text{kr}] \cdot 8 = 1600 [\text{kr}] \quad (1)$$

stąd:

$$r_u = 1600 [\text{kr}/360^\circ] \quad (2)$$

gdzie:

K_s – liczba kroków na jeden obrót wału silnika przy danym podziale mikrokrokowym,

L_k – liczba kroków na jeden obrót wału silnika krokowego,

P_m – podział mikrokrokowy sterownika mocy silnika krokowego,

r_u – rozdzielczość silnika krokowego przy zastosowanym podziale mikrokrokowym.

Kolejnym krokiem algorytmu wysterowania silnika krokowego było obliczenie ilości kroków na jeden obrót platformy (koła zębatego napędzanego). Obliczenie ilości kroków przypadających na jeden pełen obrót platformy obliczono ze wzoru 3.

$$K_p = K_s [\text{kr}] \cdot i = 1600 [\text{kr}] \cdot 3,33 = 5328 [\text{kr}] \quad (3)$$

gdzie:

K_p – liczba kroków na jeden obrót wału platformy przy zastosowanej przekładni pasowej,
 K_s – liczba kroków na jeden obrót wału silnika przy danym podziale mikrokrokowym,
 i – przełożenie układu – na jeden obrót koła zębatego napędzanego przypada 3,33 obrotu koła zębatego napędzającego.

Mimo uzyskania przejrzystego opisu analitycznego algorytmu sterowania, na wartości nastawów sterowania mogą mieć wpływ następujące czynniki:

- naprężenia pasa zębatego;
- zwiększenie/zmniejszenie przyspieszenia układu napędowego;
- przeciążenie platformy prowadzące do niestabilnej pracy silnika krokowego („gubienie kroków”);
- wymuszone zatrzymywanie platformy w czasie pracy.

3. ANALIZA BŁĘDÓW STEROWANIA

W tym rozdziale przedstawiono ocenę dokładności działania układu napędowego platformy. Miało to na celu przedstawienie różnic między obliczeniami a warunkami rzeczywistymi w jakich pracuje układ. Dla zwiększenia wiarygodności i dokładności pomiaru błąd mierzono dla różnych prędkości oraz przy nieobciążonej (bez miernika prędkości kątowej, zasilacza oraz jednostki operacyjnej) i obciążonej platformie:

$$v_0 = 31 [\text{kr/s}] = 126^\circ/\text{min},$$

$$v_1 = 50 [\text{kr/s}] = 203^\circ/\text{min},$$

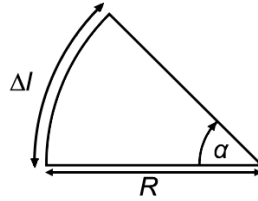
$$v_2 = 100 [\text{kr/s}] = 405^\circ/\text{min},$$

$$v_3 = 150 [\text{kr/s}] = 608^\circ/\text{min},$$

$$v_4 = 200 [\text{kr/s}] = 811^\circ/\text{min},$$

$$v_5 = 250 [\text{kr/s}] = 1014^\circ/\text{min}.$$

Z odległości między oznacznikami na platformie obrotowej oraz na obudowie urządzenia wyliczono różnicę ustalenia pozycji platformy obrotowej.



Rys. 2. Schemat kąta obrotu platformy
 Źródło: Opracowanie własne.

Znając promień okręgu (R) zataczanego przez platformę ze znacznikiem oraz długość łuku (Δl) będącego różnicą między wartością wymaganą a rzeczywistą można obliczyć błąd wskazania kąta obrotu ($\Delta\alpha$), a następnie błąd kąta ustalania pozycji (Δu). Dla rozważanych przypadków przyjęto jedną wartość promienia okręgu równą $R = 320 \text{ mm}$.

Jeżeli:

$$\Delta l [\text{mm}] = \Delta\alpha / 360^\circ \cdot 2\pi \cdot R [\text{mm}] \quad (4)$$

to:

$$\Delta\alpha [^\circ] = 360^\circ \cdot \Delta l [\text{mm}] / 2\pi \cdot R [\text{mm}] \quad (5)$$

gdzie:

Δl – długość łuku,

R – promień okręgu zataczanego przez platformę ze znacznikiem,

$\Delta\alpha$ – błąd wskazania kąta obrotu.

Znając powyższe dane można obliczyć szacunkowy błąd kąta ustalania pozycji korzystając ze wzoru:

$$r_u = 1600 [\text{kr}/360^\circ], \text{ więc } r_u = 4,44 [\text{kr}/^\circ] \quad (6)$$

to:

$$r_p = r_u [\text{kr}/^\circ] \cdot i = 14,8 [\text{kr}/^\circ] \quad (7)$$

więc:

$$\Delta u [\text{kr}] = r_p [\text{kr}/^\circ] \cdot \Delta\alpha [^\circ] = 14,8 [\text{kr}/^\circ] \cdot \Delta\alpha [^\circ] \quad (8)$$

gdzie:

Δu – błąd ustalania pozycji,

r_p – rozdzielczość ustalenia platformy przy zastosowanej przekładni i podziale mikrookrowym silnika.

W tabelach 1 i 2 przedstawiono zestawienie wyników długości i błędów otrzymanych przy badaniu dokładności ustalania pozycji z uwzględnieniem obciążenia platformy. Przedstawiono wyniki dla prędkości minimalnej i średniej, tj. $v_0 = 31 [\text{kr}/\text{s}]$ i $v_0 = 100 [\text{kr}/\text{s}]$.

Tabela 1. Wyniki pomiarów oraz obliczenia błędów wskazania i ustalania pozycji dla $v_0 = 31$ [kr/s] (prędkość minimalna)

Liczba obrotów	Ilość kroków	Długość łuku Δl		Błąd wskazania kąta obrotu $\Delta\alpha$		Błąd ustalania pozycji Δu	
		[mm]		[°]		[kr]	
[-]	[kr]	platforma nieobciążona	platforma obciążona	platforma nieobciążona	platforma obciążona	platforma nieobciążona	platforma obciążona
1	5328	2,3	2,3	-0,4	-0,4	-6	-6
2	10656	3,5	4,0	-0,6	-0,7	-9	-10
3	15984	6,5	6,0	-1,2	-1,1	-17	-16
4	21312	8,6	8,9	-1,5	-1,6	-23	-23
5	26640	11,6	11,1	-2,1	-2,0	-31	-29

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2. Wyniki pomiarów oraz obliczenia błędów wskazania i ustalania pozycji dla $v_1 = 100$ [kr/s]

Liczba obrotów	Ilość kroków	Długość łuku Δl		Błąd wskazania kąta obrotu $\Delta\alpha$		Błąd ustalania pozycji Δu	
		[mm]		[°]		[kr]	
[-]	[kr]	platforma nieobciążona	platforma obciążona	platforma nieobciążona	platforma obciążona	platforma nieobciążona	platforma obciążona
1	5328	2,1	2,4	-0,4	-0,4	-6	-6
2	10656	5,5	4,4	-1,0	-0,8	-15	-12
3	15984	6,9	6,4	-1,2	-1,1	-18	-17
4	21312	9,0	8,0	-1,6	-1,4	-24	-21
5	26640	10,1	11,1	-1,8	-2,0	-27	-29

Źródło: Opracowanie własne.

W tabeli 3 i 4 przedstawiono rozkład błędu ustalania pozycji platformy obrotowej w zależności od obrotów, obciążenia platformy oraz prędkości obrotowej.

Tabela 3. Średni błąd bezwzględny i względny ustalania pozycji platformy w zależności od wykonanych obrotów

Liczba obrotów	Ilość kroków	Średni błąd ustalania pozycji Δu		Średni błąd ustalania pozycji δu	
		[kr]		[%]	
		platforma nieobciążona	platforma obciążona	platforma nieobciążona	platforma obciążona
1	5328	-7	-6	0,13	0,11
2	10656	-13	-12	0,12	0,11
3	15984	-17	-16	0,11	0,10
4	21312	-23	-22	0,11	0,10
5	26640	-29	-28	0,11	0,11

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 4. Średni błąd względny ustalania pozycji platformy w zależności od prędkości obrotowej

Liczba obrotów	Błąd ustalania pozycji δu		Błąd ustalania pozycji δu		Błąd ustalania pozycji δu	
	[%]		[%]		[%]	
	platforma nieobciążona	platforma obciążona	platforma nieobciążona	platforma obciążona	platforma nieobciążona	platforma obciążona
[-]	$v_0 = 31$ [kr/s]		$v_1 = 100$ [kr/s]		$v_2 = 200$ [kr/s]	
	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09
	0,08	0,09	0,13	0,11	0,11	0,11
3	0,09	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11
4	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09
5	0,11	0,11	0,09	0,11	0,09	0,09

Źródło: Opracowanie własne.

Z powyższych obliczeń wynika, że na każdy obrót platformy przypada 5328 kroków plus dana ilość kroków, które należy dodać w celu zwiększenia dokładności układu. Przyczyną powstania błędu ustalania platformy jest fakt, że podczas startu układ musi pokonać opory: mechaniczny łożysk, szczotek elektrycznych oraz napięć pas zębaty, który

w czasie postoju jest ułożony równomiernie na kole zębatym napędzającym, natomiast w czasie startu układu pas zębaty musi ułożyć się do ruchu w lewą bądź w prawą stronę; stąd również wszystkie wyniki błędów pomiaru mają wartość ujemną.

W trakcie opracowywania powyższych wyników zauważono również, że wyższa prędkość obrotowa może spowodować niestabilną pracę układu napędowego. Przy obciążonej platformie (w tym trybie układ będzie pracował) maksymalna bezpieczna prędkość układu to $200 [kr/s]$ a minimalna to $31 [kr/s]$. Układ może pracować przy wyższych lub niższych prędkościach, lecz może to spowodować „zgubienie kroku”, poślizg przy zatrzymywaniu na żądanej pozycji lub szarpanie platformą uniemożliwiające poprawny odczyt prędkości kątowej.

Średni błąd ustalania pozycji platformy obrotowej wynosi $0,10\%$. Po uwzględnieniu błędów ustalania pozycji zawartych w tabeli 3 można zaprogramować układ w taki sposób, że zostanie zwiększona dokładność ustalania platformy.

W kolejnym punkcie artykułu przedstawiono sprawdzenie dokładności wskazań miernika prędkości kątowej *Naviturn*, w którym wykorzystano wyżej obliczoną korektę ustalania platformy.

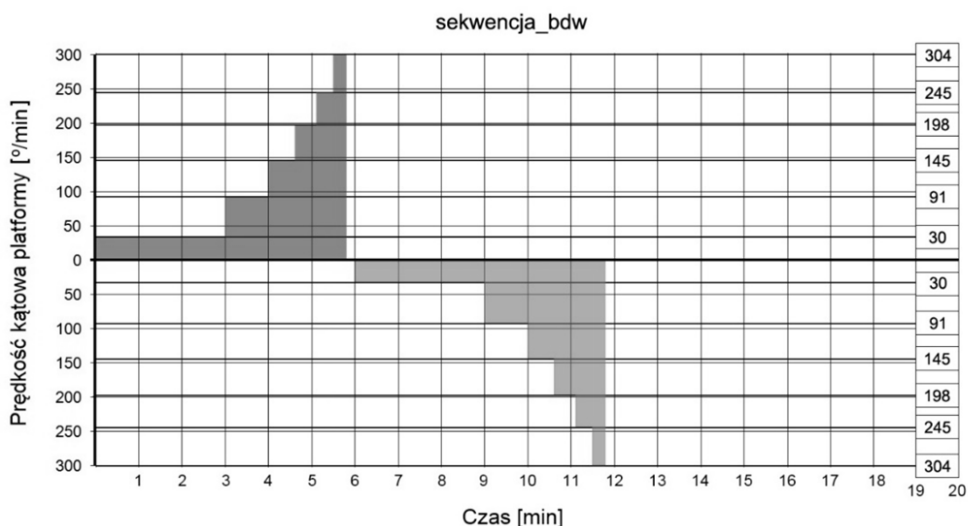
4. PRACA ZESPOŁU NAPĘDOWEGO NA STANOWISKU

Do oceny dokładności działania zaproponowanego napędu mechanicznego z autonomicznym zasilaniem i monitorowaniem przeprowadzono badania ekperymentalne z wykorzystaniem miernika prędkości kątowej wchodzącego w skład stanowiska pomiarowego (Żurawski 2014). W tym celu zaprogramowano sterownik silnika, tak aby obracał platformą z różną prędkością przedstawioną na rys. 3. Platforma wykonuje ćwierć obrotu dla każdej prędkości. Wartościami rzeczywistymi prędkości obrotowej są obliczone na podstawie czasu jednego obrotu wielkości wyrażone w stopniach na minutę - $^{\circ}/\text{min}$. Prędkości, przy których badano dokładność to:

- $30^{\circ}/\text{min} - 720 \text{ s/obr}$,
- $90^{\circ}/\text{min} - 240 \text{ s/obr}$,
- $145^{\circ}/\text{min} - 149\text{s/obr}$,
- $198^{\circ}/\text{min} - 109 \text{ s/obr}$,
- $245^{\circ}/\text{min} - 88 \text{ s/obr}$,
- $300^{\circ}/\text{min} - 72 \text{ s/obr}$.

Miernik prędkości kątowej *Naviturn* potrafi obsłużyć trzy wskaźniki prędkości kątowej ($30^{\circ}/\text{min}$, $90^{\circ}/\text{min}$, $300^{\circ}/\text{min}$), natomiast stanowisko laboratoryjne zostało

wyposażone w jeden wskaźnik prędkości kątowej o zakresie - 300°/min, zatem poniższe obliczenia dotyczą właśnie tego zakresu. Przy badaniu dokładności uwzględniono również kierunek wychyłu – portside/lewa burta, starboard/prawa burta. W dalszej części artykułu wyniki te posłużą do obliczania błędów wskazania miernika prędkości kątowej.



Rys. 3. Wykres sekwencji do badania dokładności wskazań ruchu platformy

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 5. Pomiary dokładności wskazań miernika prędkości kątowej Naviturn

Żądana prędkość kątowa	PORTSIDE LEWA BURTA		STARBOARD PRAWA BURTA	
	Prędkość rzeczywista	Prędkość wskazywana	Prędkość rzeczywista	Prędkość wskazywana
	V_{rz} [°/min]	V_w [°/min]	V_{rz} [°/min]	V_w [°/min]
30°/min	30	32	30	30
90°/min	91	91	91	95
150°/min	145	148	145	150
200°/min	198	205	198	210
250°/min	245	250	245	256
300°/min	304	300	304	296

Źródło: Opracowanie własne.

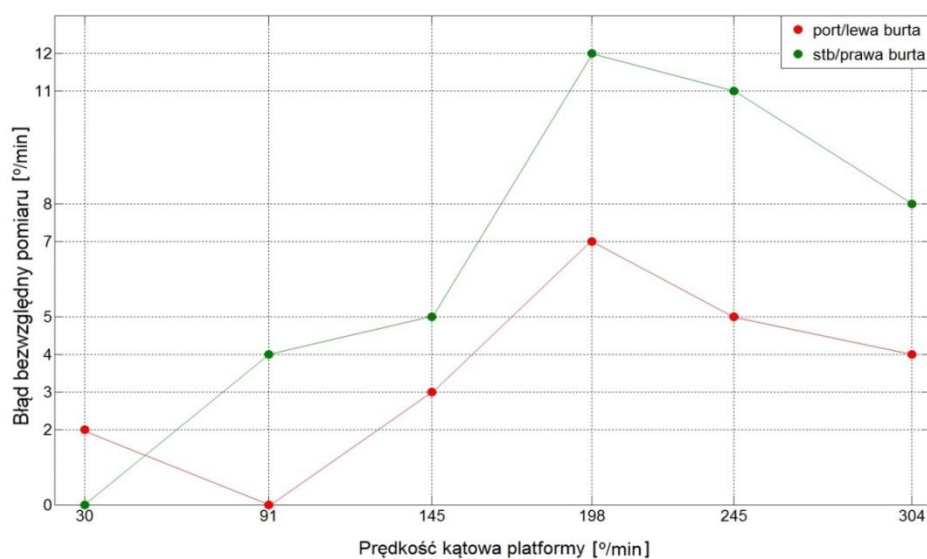
Na podstawie danych zawartych w tabeli 5 można obliczyć błąd bezwzględny i względny pomiarów. W tabeli 6 przedstawiono wyniki obliczeń błędów pomiaru (Kończak 2007).

Tabela 6. Błędy wskazania miernika prędkości kątowej Naviturn

Rzeczywista prędkość kątowa	PORTSIDE - LEWA BURTA		STARBOARD - PRAWA BURTA	
	Błąd bezwzględny	Błąd względny	Błąd bezwzględny	Błąd względny
	ΔV	$\delta V_{\%} [\%]$	ΔV	$\delta V_{\%} [\%]$
30°/min	2,0	6,7	~0	~0
91°/min	~0	~0	4,0	4,4
145°/min	3,0	2,1	5,0	3,4
198°/min	7,0	3,5	12,0	6,1
245°/min	5,0	2,0	11,0	4,5
304°/min	4,0	1,3	8,0	2,6

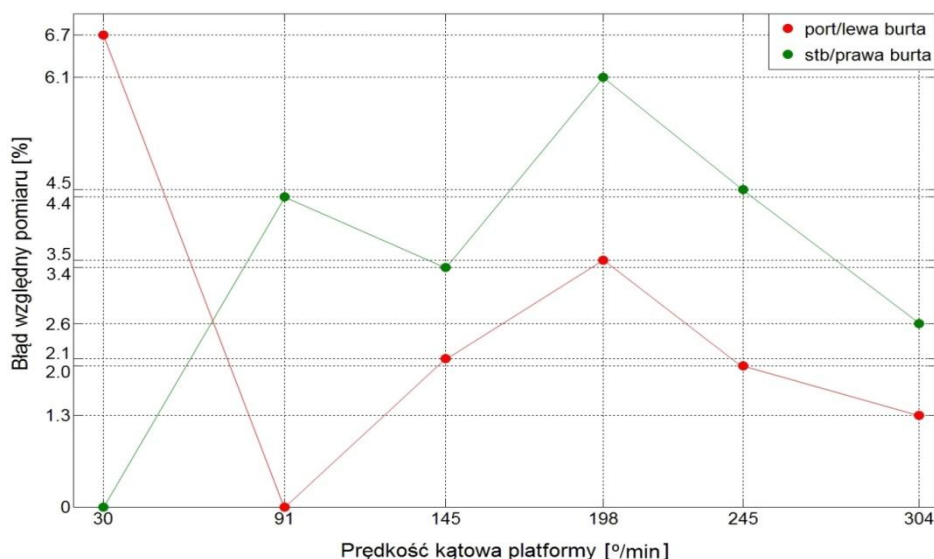
Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wykresy zależności błędu bezwzględnego oraz względnego w zależności od prędkości kątowej z jaką poruszała się platforma oraz od kierunku wychyłu – port/lewa burta, stb/prawa burta.



Rys. 4. Wykres zależności błędu bezwzględnego w zależności od prędkości kątowej

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Wykres zależności błędu względnego w zależności od prędkości kątowej
 Źródło: Opracowanie własne.

Powyższe badanie dokładności zostało przeprowadzone na gotowym, zmodernizowanym stanowisku laboratoryjnym i obrazuje zachowanie się całego układu żyroskopowego wraz z elementami napędowymi imitującymi ruchy statku (Kończak 2007). Trzeba podkreślić, że sprawdzenie dokładności odbyło się po czasie potrzebnym do całkowitego uruchomienia miernika, który producent określił na 20 minut.

Wskaźnik pomiarowy zainstalowany na stanowisku laboratoryjnym wskazuje prędkość z jaką obraca się platforma; po wyłączeniu układu wskaźnik powinien powrócić do wartości początkowej, która w tym przypadku wynosi - 0°/min, nie zawsze jednak ma to miejsce. Defekt ten z pewnością spowodowany jest długim czasem eksploatacji urządzenia. Tym niemniej, wskazania wartości prędkości obrotowej są poprawne.

Należy zwrócić uwagę, że przy innej konfiguracji sprzętowej napędu platformy dokładność miernika *Naviturn* może się zmienić. Mają na to wpływ czynniki takie jak:

- drgania platformy spowodowane pracą silnika krokowego;
- zmiana oporności szczotek elektrycznych w zależności od położenia kątowego platformy;
- możliwość rozstrojenia się ustawień poszczególnych zakresów miernika prędkości kątowej;
- silne pole magnetyczne generowane przez silnik krokowy.

Z wykresów przedstawionych na rysunkach 4 i 5 można zauważyć, że błąd pomiaru jest największy dla zakresu prędkości od 100°/min do 220°/min. Jako, że błąd ten jest stały można uwzględnić go przy dalszych pomiarach jako korektę wskazań miernika prędkości

kątowej. Dla wychyłu na lewą burtę korekta błędu wskazania wynosi $+5^\circ/\text{min}$, natomiast dla wychyłu na prawą burtę wynosi $+9^\circ/\text{min}$. Znaczący wpływ na dokładność pomiaru ma również błąd paralaksy. Użytkownik stanowiska laboratoryjnego musi bezwzględnie odczytywać wartości wskazań z jak najmniejszym błędem paralaksy.

W trakcie opracowywania powyższych wyników zauważono, że wyższa prędkość obrotowa może spowodować niestabilną pracę układu napędowego. Przy obciążonej platformie maksymalna bezpieczna prędkość układu to 200 [kr/s] a minimalna to 31 [kr/s] . Układ może pracować przy wyższych lub niższych prędkościach, lecz może to spowodować „zgubienie kroku”, poślizg przy zatrzymywaniu na żądanej pozycji lub „kołysanie” platformą uniemożliwiające poprawny odczyt prędkości kątowej.

Średni błąd ustalania pozycji platformy obrotowej wynosi $0,10\%$. Po uwzględnieniu błędów ustalania pozycji zawartych w tabeli 4 można zaprogramować układ tak, że jest w stanie zapewnić większą dokładność ustalania platformy.

5. PODSUMOWANIE

Proponowana konstrukcja obciążona jest drobnymi uchybieniami, ponieważ przy obciążonej platformie maksymalna bezpieczna prędkość układu to 200 [kr/s] a minimalna to 31 [kr/s] . Układ może pracować przy wyższych lub niższych prędkościach, lecz może to spowodować „zgubienie kroku”, poślizg przy zatrzymywaniu na żądanej pozycji lub „kołysanie” platformą uniemożliwiające poprawny odczyt prędkości kątowej.

W celu wyeliminowania lub zmniejszenia błędów układu należałoby przeprojektować układ tak, by wyeliminować całkowicie pasek zębaty a obrót platformy odbywałby się poprzez bezpośrednie sprzężenie silnika krokowego z platformą, która sama w sobie byłaby kołem zębatym. Pozwoliłoby to na jeszcze większe możliwości wysterowania prędkości obrotowej (dużo niższa minimalna prędkość obrotowa), wyeliminowanie „kołysania” platformy przy wyższych prędkościach, stabilizację mechaniczną stanowiska i wiele innych.

Proponowane rozwiązanie konstrukcyjne umożliwia zasilanie i monitorowanie stanu obiektu będącego na platformie, która jest w ciągłym ruchu obrotowym i dowolnym jego kierunku. Z przeprowadzonych badań walidacyjnych napędu wynika, że konstrukcję można jeszcze ulepszyć.

LITERATURA

- Alfuth, Ł. (2011). *Praca Dyplomowa Magisterska /nr ewid. 34/KAO/11/M "Określenie dokładności wskazań miernika prędkości kątowej"*. Gdynia: Wydział Elektryczny. Katedra Automatyki Okrętowej. Akademia Morska w Gdyni.
- Kończak, G. (2007). *Metody Statystyczne w sterowaniu jakością produkcji*, Katowice: Prace Naukowe/Akademia Ekonomiczna w Katowicach. 1-448.
- Mosoń, I. (2001). *Sterowniki programowalne - strukturyzacja programów sterowania*, Gdańsk: Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 17, 145-152.
- Ober, W. (2009). *Pozycjonowanie urządzeń pomiarowych z napędem krokowym*, Napęd i Sterowanie, R. 11, nr 7/8. 42-45.
- Żurawski, Ł. (2014). *Ocena dokładności stolika liniowego i obrotowego z silnikiem krokowym*, Pomiary, Automatyka, Kontrola, R. 60. nr 10. 876-878.