

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**Napędy elektromechaniczne urządzeń mechatronicznych
- projekt**

Ćwiczenie 3

**Dobór mikrosilnika prądu stałego
do układu pozycjonującego**

Temat 23

Wykonał: Paweł Trześniewski

Prowadzący: mgr inż. Karol Bagiński, mgr inż. Wojciech Credo

Warszawa 2023/2024

1. Wstęp

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z algorytmem oraz przeprowadzenie doboru silników prądu stałego, które będą służyły jako napędy układu pozycjonującego – stolika obrotowego z wykorzystaniem przekładni cięgnowej o różnych przełożeniach.

2. Dane indywidualne

Parametry określające charakter pracy napędzanego obiektu:

- Masowy moment bezwładności stolika $J_{mech} = 300 \text{ gcm}^2$
- Liczba gniazd stolika $N = 4$
- Czas cyklu pozycjonowania $T_p = 110 \text{ ms}$
- Temperatura otoczenia $T_{ot} = 15^\circ\text{C}$

Dobrane zostaną trzy silniki, odpowiednio do pracy przy przełożeniach i_p wynoszących 2, 3, 4. Dodatkowo, silniki spełniające powyższe wymagania powinny być jak najmniejsze.

3. Wybór pierwszego silnika

Jako pierwszy dobrany został silnik do pracy zakładającej $i_p = 2$. W celu jego doboru należało wyznaczyć wartości kinematyczne, jakie musi osiągać w celu poprawnej pracy. Na początek określono przemieszczenie kątowe stolika $\Delta\gamma_{mech}$, przypadające na jeden cykl pracy

$$\Delta\gamma_{mech} = \frac{2\pi \text{ rad}}{N} = \frac{2 \cdot 3,14 \text{ rad}}{4} = 1,57 \text{ rad.} \quad (1)$$

Uwzględniając przełożenie, przemieszczenie kątowe wirnika $\Delta\gamma$ otrzymano z zależności

$$\Delta\gamma = \Delta\gamma_{mech} \cdot i_p = 1,57 \text{ rad} \cdot 2 = 3,14 \text{ rad.} \quad (2)$$

Na podstawie powyższego przemieszczenia oraz ustalonego czasu pozycjonowania wyznaczono potrzebne przyspieszenie kątowe wirnika ε_a ze wzoru

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta\gamma}{\frac{1}{4}T_p^2} = \frac{3,14 \text{ rad}}{\frac{1}{4} \cdot (110 \text{ ms})^2} = 1039 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}. \quad (3)$$

Kolejnym krokiem było określenie momentu bezwładności obciążenia zredukowanego do wałka silnika J_{red}

$$J_{red} = \frac{J_{mech}}{i_p^2} = \frac{300 \text{ gcm}^2}{2^2} = 75 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2. \quad (4)$$

Do obliczenia wymaganego momentu M_a rozwijanego przez silnik, potrzebna jest znajomość masowego momentu bezwładności wirnika J_s , natomiast w celu określenia wartości wstępnej przyjęto $J_s = J_{red}$. W ten sposób otrzymano

$$M_a = \varepsilon_a(J_{red} + J_s) = 1039 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} (75 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2 + 75 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2) = 15,6 \text{ mNm.} \quad (5)$$

W celu znalezienia punktu pracy na charakterystyce silnika obliczona została maksymalna prędkość kątową ω_m rozwijaną przez wirnik

$$\omega_m = \frac{1}{2} \cdot T_p \cdot \varepsilon_a = \frac{1}{2} \cdot 0,11 \text{ s} \cdot 1039 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 57,1 \frac{\text{rad}}{\text{s}}. \quad (6)$$

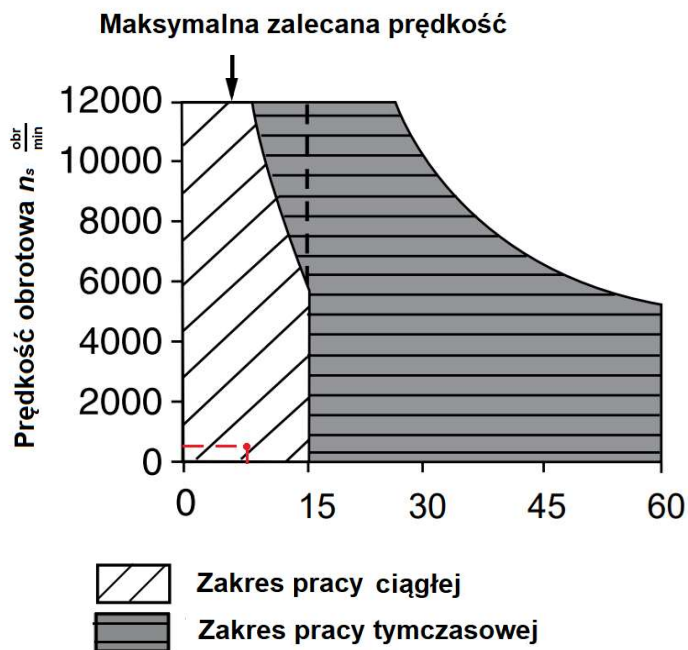
Ze względu na dostarczane przez producenta wartości prędkości wyrażane w $\frac{\text{obr}}{\text{min}}$, prędkość kątowa została przeliczona na obrotową n_s

$$n_s = \omega_m \cdot \frac{60}{2\pi} = 57,1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{60}{2 \cdot 3,14} = 545 \frac{\text{obr}}{\text{min}}. \quad (7)$$

Drogą eksperymentalną, na podstawie momentu obrotowego, prędkości obrotowej oraz faktycznych masowych momentów bezwładności wirników, wybrany został silnik **22N78 208E 1001**. Podstawiając rzeczywiste J_s do wzoru (5), otrzymano nową wartość M_a

$$M_a = 1039 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} (75 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2 + 3,32 \cdot 10^{-7} \text{ kgm}^2) = 8,13 \text{ mNm},$$

która to jest znacznie mniejsza od poprzedniej i pozwala na wybór mniejszego urządzenia. Jego punkt pracy został zilustrowany poniżej (rys. 1).



Rysunek 1. Obszar pracy silnika **22N78**, na podstawie [1].

Następnie obliczono natężenie prądu płynącego w uzwojeniu, wymaganego do rozwinięcia odpowiedniego momentu obrotowego zgodnie z formułą

$$i_a = \frac{M_a}{K_T} + I_0 = \frac{8,13 \text{ mNm}}{72 \frac{\text{mNm}}{\text{A}}} + 0,001 \text{ A} = 0,114 \text{ A}, \quad (8)$$

gdzie: i_a – natężenie prądu podczas obciążenia, I_0 – natężenie prądu przy braku obciążenia, K_T – stała momentu. Uzyskana wartość jest mniejsza niż maksymalna przewidziana przez producenta.

Aby wyznaczyć minimalne napięcie sterujące U_{min} , należało obliczyć rezystancję twornika R_t , którą będzie osiągał w ustalonej temperaturze wirnika T_w . Do określenia temperatury potrzebna była znajomość rezystancji cieplnej pomiędzy wirnikiem a otoczeniem R_{wot} , stanowiącej sumę

$$R_{wot} = R_{ws} + R_{sot} = 6 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 22 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} = 28 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}, \quad (9)$$

przy czym: R_{ws} – opór między wirnikiem a stojanem, R_{sot} – opór między stojanem a otoczeniem. Temperaturę otrzymano z zależności

$$T_w = \frac{R_0 i_a^2 R_{wot} (1 - T_0 \alpha) + T_{ot}}{1 - \alpha R_0 i_a^2 R_{wot}} \quad (10)$$

$$T_w = \frac{107 \Omega \cdot (0,114 \text{ A})^2 \cdot 28 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \cdot \left(1 - 22^\circ\text{C} \cdot 0,00392 \frac{1}{^\circ\text{C}}\right) + 15^\circ\text{C}}{1 - 0,00392 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 107 \Omega \cdot (0,114 \text{ A})^2 \cdot 28 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}} = 59,7^\circ\text{C},$$

gdzie: R_0 – rezystancja w temperaturze odniesienia, T_0 – temperatura odniesienia, α – temperaturowy współczynnik rezystancji (w tym przypadku miedzi). Producent zaleca maksymalną T_w równą 100°C , zatem nie występuje ryzyko przegrzania. Dla uzyskanej wartości T_w , rezystancja wynosi

$$R_t = R_0 [1 + (T_w - T_0) \alpha] = 107 \Omega \cdot \left[1 + (74,1^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C}) \cdot 0,00392 \frac{1}{^\circ\text{C}}\right] = 123 \Omega. \quad (11)$$

Uwzględniając otrzymane wyniki określono potrzebne napięcie zasilania (sterujące), które zapewni pożądaną prędkość obrotową wałka silnika w trakcie pracy wykorzystując zależność

$$U_{min} = R_t i_a + K_E n_s = 123 \Omega \cdot 0,114 \text{ A} + 7,5 \frac{\text{V}}{1000 \frac{\text{obr}}{\text{min}}} \cdot 545 \frac{\text{obr}}{\text{min}} = 18,1 \text{ V}, \quad (12)$$

w której K_E – stała napięciowa.

4. Pozostałe silniki

Dla przełożeń i_p równych 3 oraz 4, stosując ten sam algorytm jak wyżej, zostały wybrane silniki odpowiednio **22S78 208E 1** oraz **16G88 220P 1**. Wyniki obliczeń przeprowadzonych w trakcie ich doboru zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki obliczeń dla pozostałych silników.

Symbol	Wartość		Jednostka
	22S78 208E 1	16G88 220P 1	
i_p	3	4	-
$\Delta\gamma$	4,71	6,28	rad
ε_a	1558	2077	$\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$
J_{red}	$33,3 \cdot 10^{-7}$	$18,8 \cdot 10^{-7}$	kgm^2
wstępne M_a	10,4	7,79	mNm
rzeczywiste M_a	5,44	4,06	mNm
i_a	0,204	1,57	A
R_{wot}	35	43	$\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$
T_w	76,8	80,5	$^\circ\text{C}$
R_t	42,5	0,61	Ω
n_s	818	1090	$\frac{\text{obr}}{\text{min}}$
U_{min}	11,0	1,27	V

5. Wnioski

Przy doborze mikrosilnika do układu pozycjonującego warto rozważyć różne wartości przełożeń napędu, ponieważ może to pozwolić na dobranie jak najmniejszego modelu, mogącego napędzać układ z takim samym skutkiem, jego większe odpowiedniki.

Dla danego zagadnienia założenie równoważności masowego momentu bezwładności wirnika i napędzanego układu okazało się nieodpowiednie ze względu na różnicę między nimi o około rząd wielkości. Lepszym rozwiązaniem było raczej pominięcie bezwładności wirnika.

Pomimo większej wartości maksymalnego ciągłego momentu obciążającego podanej przez producenta od tej przewidzianej w ćwiczeniu, dla wielu modeli obliczenia wykazywały temperatury wirnika daleko przekraczające wartości zalecane. Sprawdzenie tych wartości jest zatem bardzo ważne przy doborze tego typ urządzeń.

6. Literatura

1. Katalog firmy *Portescap*, 2009
2. Wierciak J. – *Dobór mikrosilnika prądu stałego do układu pozycjonującego – Instrukcja*, Warszawa 2012

7. Załączniki

1. Karta katalogowa silnika 16G88
2. Karta katalogowa silnika 22S78
3. Karta katalogowa silnika 22N78