

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**Napędy elektromechaniczne urządzeń mechatronicznych  
- projekt**

Ćwiczenie 2

**Dobór mikrosilnika prądu stałego z przekładnią  
do pracy w warunkach ustalonych**

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 silnika prądu stałego wraz z reduktorem, który będzie funkcjonował w określonych warunkach. Jako założenia przyjęto stałe wartości prędkości obrotowej oraz momentu obciążającego motoreduktor.

## 2. Dane indywidualne

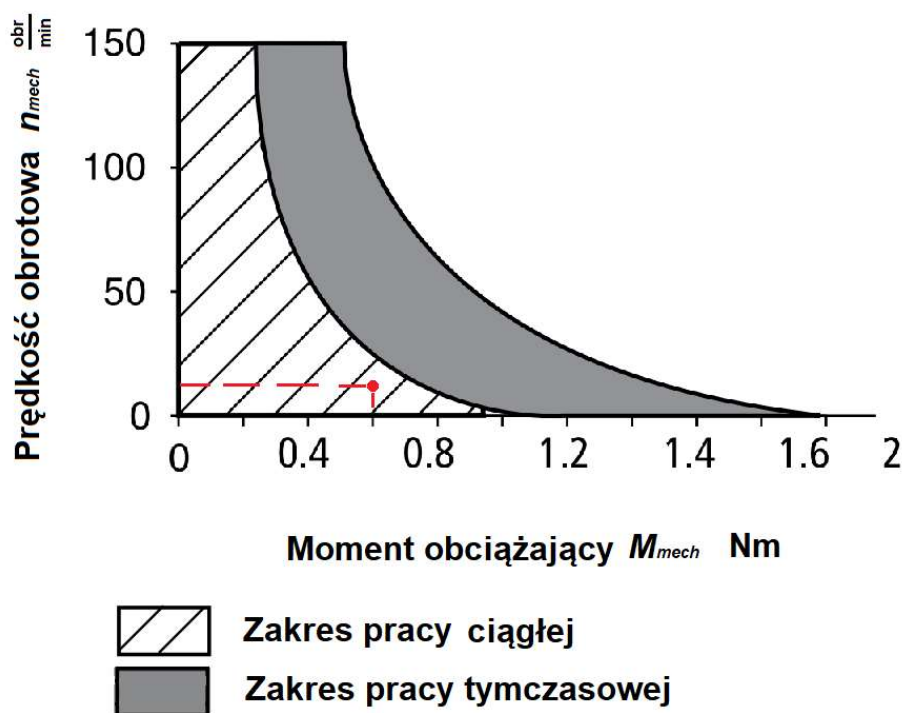
Warunki pracy dobieranego silnika z przekładnią przedstawiają poniższe parametry:

- Prędkość obrotowa na wyjściu reduktora  $n_{mech} = 12$  obr/min
- Moment obciążający reduktor  $M_{mech} = 0,6$  Nm
- Temperatura otoczenia  $T_{ot} = 15^{\circ}\text{C}$

Dodatkowo, silnik oraz reduktor spełniające powyższe wymagania powinny być jak najmniejsze.

## 3. Wybór reduktora

Jako pierwszy element został wybrany reduktor. W celu znalezienia odpowiedniego modelu posłużono się katalogiem firmy *Portescap* [1]. Wstępnym parametrem kwalifikującym reduktor był dopuszczalny moment obciążający. Na tej podstawie wybrano model **R22**, dla którego wynosi on 0,6 Nm. Przewidziany punkt pracy urządzenia znajduje się w zakresie pracy ciągłej przewidzianej przez producenta (rys. 1).



Rysunek 1. Obszar pracy reduktora, na podstawie [1]

Kolejnym krokiem było dobranie odpowiedniego przełożenia reduktora  $i_{red}$ . W celu maksymalnego wykorzystania jego możliwości, obliczono maksymalne przełożenie  $i_{obl}$  w oparciu o największą dopuszczalną prędkość na wejściu reduktora  $n_{max}$  według zależności

$$i_{obl} = \frac{n_{max}}{n_{mech}} = \frac{5000 \frac{\text{obr}}{\text{min}}}{12 \frac{\text{obr}}{\text{min}}} = 417. \quad (1)$$

Na podstawie przełożenia maksymalnego, wybrane zostało przełożenie najbliższe mu co do wartości, oferowane przez producenta zgodnie z założeniem  $i_{red} \leq i_{obl}$ , wynoszące 376. Pełna nazwa modelu uzupełniona o wartość przełożenia to **R22 0376**.

#### 4. Wybór silnika

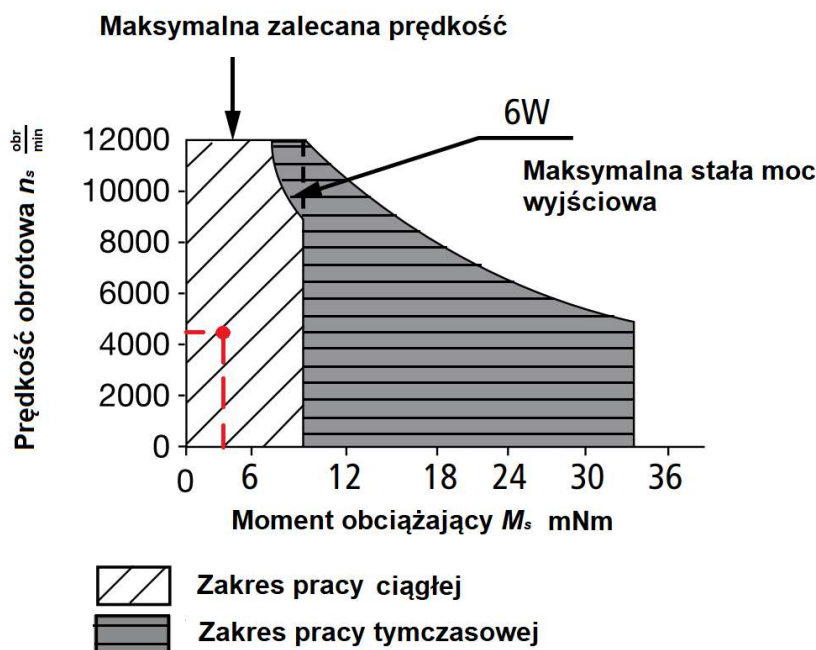
W celu doboru silnika należało wyznaczyć jego wstępne warunki pracy, wynikające z danych indywidualnych oraz reduktora, mianowicie jego prędkość obrotową  $n_s$ , stanowiącą iloczyn wymaganej prędkości na wyjściu reduktora i jego przełożenia

$$n_s = n_{mech} \cdot i_{red} = 12 \frac{\text{obr}}{\text{min}} \cdot 376 = 4512 \frac{\text{obr}}{\text{min}}, \quad (2)$$

oraz moment obciążający  $M_s$ , zależny od sprawności przekładni, przełożenia i momentu obciążającego motoreduktor, zgodnie z wzorem

$$M_s = \frac{M_{mech}}{\eta_{red} \cdot i_{red}} = \frac{0,6 \text{ Nm}}{0,5 \cdot 376} = 3,19 \text{ mNm}. \quad (3)$$

Rozpatrywano tylko modele kompatybilne z wcześniej dobranym reduktorem. Ze względu na najmniejszy gabaryt oraz maksymalny stały moment obciążający większy niż obliczony  $M_s$ , wybrany został model **22S78 208E 1**. Przewidziany punkt pracy urządzenia znajduje się w zakresie pracy ciągłej przewidzianej przez producenta (rys. 2).



Rysunek 2. Obszar pracy silnika, na podstawie [1].

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

$$I = \frac{M_s}{K_T} + I_0 = \frac{3,19 \text{ mNm}}{26,7 \frac{\text{mNm}}{\text{A}}} + 0,0033 \text{ A} = 0,123, \quad (4)$$

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

Kolejnym krokiem było wyznaczenie potrzebnego napięcia zasilania (sterującego), które zapewni pożądaną prędkość obrotową wałka silnika w trakcie pracy wykorzystując zależność

$$U_z = R_0 I + K_E n_s = 35 \Omega \cdot 0,123 \text{ A} + 2,8 \frac{\text{V}}{1000 \frac{\text{obr}}{\text{min}}} \cdot 4512 \frac{\text{obr}}{\text{min}} = 16,9 \text{ V}, \quad (5)$$

w której:  $U_z$  – napięcie zasilania,  $R_0$  – rezystancja uzwojenia w warunkach odniesienia,  $K_E$  – stała napięciowa.

Mikrosilnik, jak każde inne urządzenie, posiada maksymalną dopuszczalną temperaturę, jaką może osiągnąć, nim ulegnie zniszczeniu. W tym celu należało sprawdzić temperaturę wirnika (jest on głównym źródłem ciepła) którą napęd będzie uzyskiwał w trakcie stałej pracy w przewidzianych warunkach. Do jej obliczenia potrzebna jest jednak znajomość oporu cieplnego pomiędzy wirnikiem a otoczeniem  $R_{wot}$ , który to jest sumą oporów wirnik – stojan  $R_{ws}$  i stojan – otoczenie  $R_{sot}$

$$R_{wot} = R_{ws} + R_{sot} = 5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} + 30 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} = 35 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}. \quad (6)$$

Dla obliczenia temperatury wirnika wykorzystano tego formułę

$$T_w = \frac{R_0 I^2 R_{wot} (1 - T_0 \alpha) + T_{ot}}{1 - \alpha R_0 I^2 R_{wot}} \quad (7)$$

$$T_w = \frac{35 \Omega \cdot (0,123 \text{ A})^2 \cdot 35 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \cdot \left(1 - 22^\circ\text{C} \cdot 0,00392 \frac{1}{^\circ\text{C}}\right) + 15^\circ\text{C}}{1 - 0,00392 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \cdot 35 \Omega \cdot (0,123 \text{ A})^2 \cdot 35 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}} = 34,4^\circ\text{C},$$

przy czym:  $T_w$  – temperatura osiągana przez wirnik,  $T_0$  – temperatura odniesienia,  $\alpha$  – temperaturowy współczynnik rezystancji (w tym przypadku miedzi). Według producenta wartość maksymalna dla  $T_w$  wynosi  $100^\circ\text{C}$ , więc nie ma ryzyka uszkodzenia spowodowanego przegrzaniem.

Dodatkowo, temperatura wirnika bezpośrednio przekłada się na temperaturę uzwojenia, co wpływa na jego rezystancję, w wyniku czego, przy tym samym napięciu zasilania, zmienia się charakter pracy urządzenia. W celu otrzymania ustalonych wcześniej parametrów, obliczono wartość rezystancji  $R_t$  w temperaturze  $T_w$  według zależności

$$R_t = R_0 [1 + (T_w - T_0) \alpha] = 35 \Omega \cdot \left[1 + (34,4^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C}) \cdot 0,00392 \frac{1}{^\circ\text{C}}\right] = 36,7 \Omega. \quad (8)$$

Po wyznaczeniu nowej rezystancji, skorygowano obliczone wcześniej napięcie zasilania, zgodnie z wzorem (5), wykorzystując tym razem wartość  $R_t$

$$U_z = 36,7 \, \Omega \cdot 0,123 \, \text{A} + 2,8 \frac{\text{V}}{1000 \frac{\text{obr}}{\text{min}}} \cdot 4512 \frac{\text{obr}}{\text{min}} = 17,1 \, \text{V}.$$

## 5. Wnioski

Przedstawiony algorytm doboru mikrosilnika wraz z przekładnią do pracy w warunkach ustalonych pozwala w bardzo szybki i łatwy sposób określić czy dany motoreduktor będzie odpowiedni do pracy w konkretnych warunkach.

Ze względu na ograniczenia oraz kompatybilność reduktora nie zawsze można zastosować silnik którego możliwości będą w pełni wykorzystane.

Warto pamiętać, że wymaga on znajomości konkretnych parametrów takich jak stałe momentu i napięcia, które mogą nie być podane w przypadku mniej renomowanych producentów.

## 6. Literatura

1. Katalog firmy *Portescap*, 2009
2. Wierciak J. – *Dobór mikrosilnika prądu stałego z przekładnią do pracy w warunkach ustalonych – Instrukcja*, Warszawa 2012