



ĆWICZENIE 6)

BADANIE REGULATORA PI W UKŁADZIE STEROWANIA PRĘDKOŚCIĄ OBROTOWĄ SILNIKA PRĄDU STAŁEGO

PRZED PRZYSTĄPIENIEM DO ZAJĘĆ PROSZĘ O BARDZO DOKŁADNE ZAPOZNANIE SIĘ Z TREŚCIĄ INSTRUKCJI

CEL ĆWICZENIA:

Celem ćwiczenia jest:

- poznanie budowy układu regulacji prędkości obrotowej silnika prądu stałego oraz wpływu regulatorów: proporcjonalnego P i proporcjonalno-całkującego PI na pracę silnika,
- wyznaczenie podstawowych parametrów (współczynników wzmocnienia) głównych członów układu,
- wykreślenie charakterystyk mechanicznych napędu w układzie otwartej oraz zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego.

ZAKRES NIEZBĘDNYCH WIADOMOŚCI TEORETYCZNYCH:

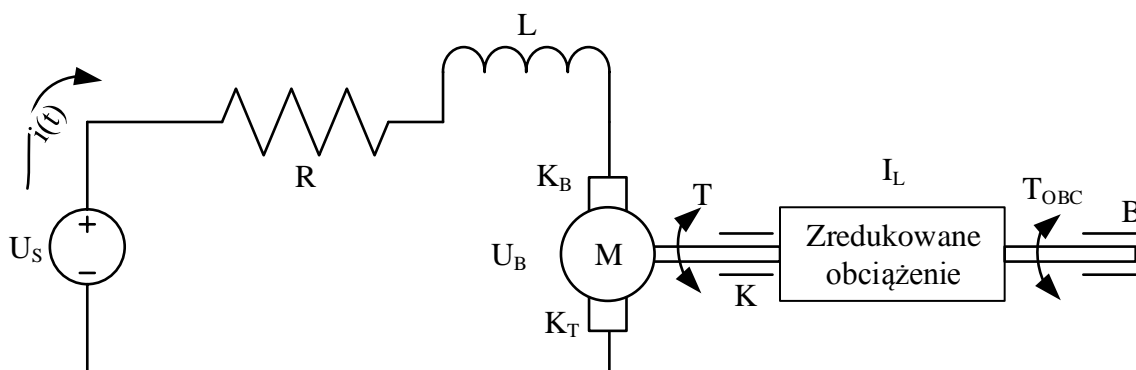
- znajomość regulatorów liniowych (P, PI, PID), ich transmitancji oraz odpowiedzi skokowej,
- struktura sterowania napędu elektrycznego,
- umiejętność czytania i wykreślania schematów kinematycznych układów napędowych maszyn,
- znajomość modelu silnika prądu stałego, zapis schematyczny, zrozumienie stosowanych oznaczeń, rachunek jednostek, umiejętność przejścia pomiędzy radianami a obrotami na minutę,
- znajomość zagadnień sterowania z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego,
- schemat zamkniętego i otwartego układu regulacji,
- definicje: uchyb, regulator, sprzężenie zwrotne,
- zadania regulatorów,
- źródła zakłóceń w układach regulacji,
- obliczanie momentu bezwładności dla brył: walca, rury, twierdzenie Steinera.

LITERATURA

- Zawirski K., Deskur J., Kamczak T.: Automatyka napędu elektrycznego, Wyd. Politechniki Poznańskiej,
- Schmidt D.: Mechatronika, wyd. Rea,
- Kostro J.: Elementy, urządzenia i układy automatyki, wyd. WSIP
- Kosmol J.: Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie, wyd. WNT.

MODEL MATEMATYCZNY SILNIKA PRĄDU STAŁEGO

Modelowanie silnika elektrycznego prądu stałego (DC), odbywa się poprzez analogię do analizy klasycznych obwodów elektrycznych. W modelu silnika elektrycznego występuje źródło zasilania charakteryzujące się napięciem U_s . W konstrukcji silnika prądu stałego występuje uzwojenie, które posiada dwa charakterystyczne parametry oporność R oraz indukcyjność L . Występuje również sam silnik będący przetwornikiem elektromechanicznym, opisany jest stałą momentową K_T . Taki opis jest prawdziwy dla zasilania uzwojeń silnika, podczas gdy wirnik silnika wykonuje ruch obrotowy indukowane jest napięcie a parametr opisujący wielkość tego napięcia w zależności od prędkości obrotowej zwany jest stałą elektromotoryczną K_B . W statycznej analizie silnika prędkość obrotowa wału jest funkcją napięcia zasilającego, poniższe modelowanie dotyczy sytuacji zmiennych w czasie gdzie decydującą rolę odgrywają procesy dynamiczne.



Rys. 1 Schematyczne przedstawienie modelu silnika prądu stałego

W sposób mechaniczny moment obrotowy siły T (1), można zapisać, jako moment bezwładności (w przypadku silnika DC sumaryczny moment bezwładności zredukowany na wał silnika), pomnożony przez przyspieszenie kątowe $d\omega/dt$. Następnym członem w tym równaniu jest moment pochodzący od tłumienia B (np. tarcie w mechanizmach i łożyskach łożyskach), pomnożony przez aktualną prędkość kątową $\omega(t)$. Sztywność skrętna wału K ma również znaczenie pomnożona przez kąt skrzywienia ϕ jest kolejną składową równania. Ostatnim elementem jest moment obciążający T_{OBC} , generowany np. przez zewnętrzne źródło siły lub napędu (dodawany jest do równania bez szczegółowej analizy jego pochodzenia). Z punktu widzenia elektrotechnicznego moment obrotowy silnika T (2), to stała momentowa K_T pomnożona przez aktualną wielkość prądu $i(t)$. Porównując oba wyrażenia stronami otrzymuje się zależność na wyznaczenie aktualnej prędkości obrotowej wału silnika ω :



$$T = I_L \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega(t) + K \cdot \varphi(t) + T_{obc} \quad (1)$$

$$T = K_T \cdot i(t) \quad (2)$$

$$I_L \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega(t) + K \cdot \varphi(t) + T_{obc} = K_T \cdot i(t) \quad (3)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{K_T \cdot i(t) - B \cdot \omega(t) - K \cdot \varphi(t) - T_{obc}}{I_L} \quad (4)$$

$$\omega = \int \frac{K_T \cdot i(t) - B \cdot \omega(t) - K \cdot \varphi(t) - T_{obc}}{I_L} \quad (5)$$

Analizując obwód od strony elektrotechnicznej można zapisać następującą równość: napięcie zasilania U_S równe jest prądowi $i(t)$ pomnożonemu przez oporność uzwojeń silnika R , indukcyjności L pomnożonej przez zmianę prądu w czasie oraz napięciu U_B wytwarzanemu podczas pracy, jako generator. Napięci U_B jest zależne od stałej elektromotorycznej K_B i aktualnej prędkości kątowej ω . Równanie 8 umożliwia wyznaczenie aktualnego prądu w układzie.

$$U_S = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + U_B \quad (6)$$

$$U_B = K_B \cdot \omega(t) \quad (7)$$

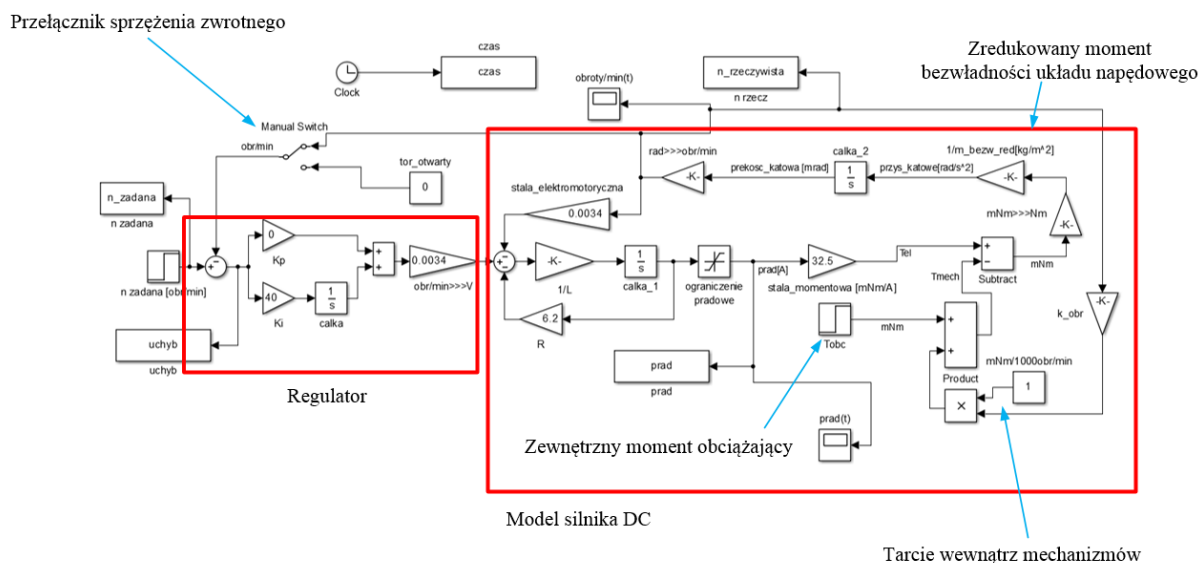
$$U_S = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + K_B \cdot \omega \quad (8)$$

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{L} (V_S - R \cdot i(t) - K_B \cdot \omega(t)) \quad (9)$$

$$i(t) = \int \frac{1}{L} (V_S - R \cdot i(t) - K_B \cdot \omega(t)) \quad (10)$$

MODEL SYMULACYJNY SILNIKA PRĄDU STAŁEGO

Środowiskiem użytym do przygotowania modelu jest Matlab Simulink. W modelu pominięto moment pochodzący od sztywności skrętnej układu przeniesienia napędu. Wprowadzone parametry pracy takie jak rezystancja i indukcyjność uzwojeń wirnika, stałe elektromotoryczna i momentowa dotyczą rzeczywistego silnika DC. Karta katalogowa została załączona na końcu tej instrukcji. Odczytać można z niej wielkość napięcia zasilania, maksymalny prąd ciągły, stałą czasową oraz maksymalną prędkość obrotową.

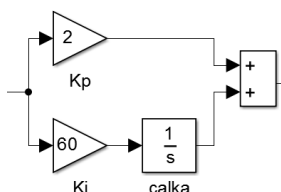


Rys. 2 Schemat modelu symulacyjnego układu regulacji automatycznej silnika DC.

PRZEBIEG ĆWICZENIA – CZĘŚĆ 1

BADANIA SYMULACYJNE REGULATORA PI W UKŁADZIE STEROWANIA PRĘDKOŚCIĄ OBROTOWĄ SILNIKA PRĄDU STAŁEGO:

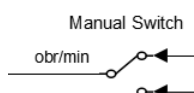
1. Proszę uruchomić model symulacyjny znajdujący się w katalogu automatyka na pulpicie komputera.
2. W modelu znajduje się regulator PI silnika, którego nastawy będą zmieniane (K_p oraz K_i):



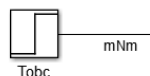
3. Źródło prądu ma ograniczenie i jest w stanie zapewnić maksymalny prąd o wartości 10A.



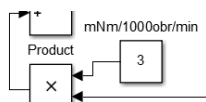
4. Zmiana toru pętli sprzężenia zwrotnego odbywa się poprzez podwójne kliknięcie LPM na bločku Manual Switch



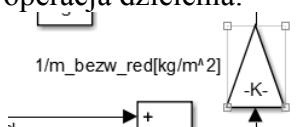
5. Obciążenie zadawane jest skokowo. Wchodząc w ustawienia istnieje wybór wartości obciążenia oraz czasu aktywacji.



6. Tłumienie zależy od prędkości obrotowej. W modelu wprowadzamy je w bloku zaprezentowanym poniżej. Proszę zwrócić uwagę na jednostkę.



7. Moment bezwładności wprowadzany jest w bloku zaprezentowanym poniżej. Proszę zwrócić uwagę, że jest to operacja dzielenia.



8. Wyniki symulacji (*czas*, *n_rzeczywista*, *n_zadana*, *prad*, *uchyb*), zapisywane są w obszarze **workspace** oraz widoczne po wybraniu bloczka **scope**.
9. Z obszaru workspace należy wyeksportować (najlepiej poprzez kopiuj - wklej), do pliku xls po każdym eksperymencie symulacyjnym otrzymane rezultaty. Uwaga, każdorazowe uruchomienie symulacji zmienia wartości zmiennych w workspace.
10. Wykresy wykreślamy zgodnie z poleceniami w instrukcji oraz zasadami opisanymi w instrukcji do czwartego ćwiczenia. Wszystkie wykresy przedstawiać mają wyniki w dziedzinie czasu.
11. W ćwiczeniu tym należy przebadać pracę silnika DC w przeciągu 10 sekund.



ZADANIA DO REALIZACJI DLA CZĘŚCI 1

W sprawozdaniu proszę zamieścić zrzuty ekranu dla przebiegów prędkości, obciążenia i prądu w czasie. Wykresy należy w razie potrzeby powiększyć w wybranym zakresie czasowym, przed dokonaniem zrzutu ekranu. Uzupełnić wykresy o użyte wartości regulatora, opis i wnioski.

1. Proszę porównać rozruch silnika dla układu, w którym obciążenie zadane jest skokowo w 2 sekundy i jest równe maksymalnemu momentowi ciągłemu (patrz nota katalogowa na końcu instrukcji) dla poniższych wariantów:
 - a. sprzężenie zwrotne jest nieaktywne, regulator PI jest nieaktywny (nastawy $K_p = 1$, $K_i = 0$)
 - b. sprzężenie zwrotne jest aktywne, regulator PI jest nieaktywny (nastawy $K_p = 1$, $K_i = 0$)

Zadana prędkość obrotowa jest równa 6900 obr/min. Jaka jest różnica między obrotami rzeczywistymi silnika dla obu przypadków i z czego one wynikają? Dlaczego regulator P jest nieaktywny dla wartości $K_p = 1$? Jaki wpływ na układ ma dodanie obciążenia?

2. Dla warunków obciążenia i prędkości zadanej jak z punktu 1, zbadać odpowiedź układu dla różnych wartości regulatora P, I zgodnie z podpunktami. Dla obu przypadków nie przekraczać chwilowej wartości prądu równej czterokrotności maksymalnego prądu ciągłego (patrz nota katalogowa na końcu instrukcji).
 - a. regulator P aktywny, zbadać układ dla od 3 do 5 różnych wartości K_p , regulator I jest wyłączony ($K_i = 0$),
 - b. regulator I aktywny, zbadać układ dla od 3 do 5 różnych wartości K_i , regulator P jest wyłączony ($K_p = 1$).

Przedstaw w sprawozdaniu dwa wybrane przebiegi dla regulatora P, I i omów jaki wpływ na odpowiedź układu ma regulator P, a jaki regulator I? Zwróć uwagę na uzyskany uchyb, uchyb ustalony, czas osiągnięcia wartości stałej i prąd chwilowy w układzie.

3. Zmieniając nastawy regulatora P (wartość K_p) i I (wartość K_i), obserwować zmieniające się charakterystyki rozruchu silnika. Proszę uzyskać możliwie jak najkrótszy czas osiągnięcia wartości zadanej, spełniając oba poniższe warunki:
 - a. nie przekraczać chwilowej wartości prądu równej czterokrotności maksymalnego prądu ciągłego (patrz nota katalogowa na końcu instrukcji),
 - b. przeregulowanie powinno wynosić nie więcej niż 3% wartości zadanej.

W sprawozdaniu przedstaw najlepsze przebiegi, podaj:

- a. nastawy regulatora PI,
- b. czas ustalenia T, w którym wartość uchybu nie przekracza 5% wartości zadanej,
- c. jeśli występuje to wartość bezwzględnego przeregulowania (stosunek wartości największego uchybu przejściowego e_1 , o zwrocie przeciwnym niż uchyb początkowy e_0 , do wartości uchybu początkowego równego wartości zadanej, wyrażony w procentach).



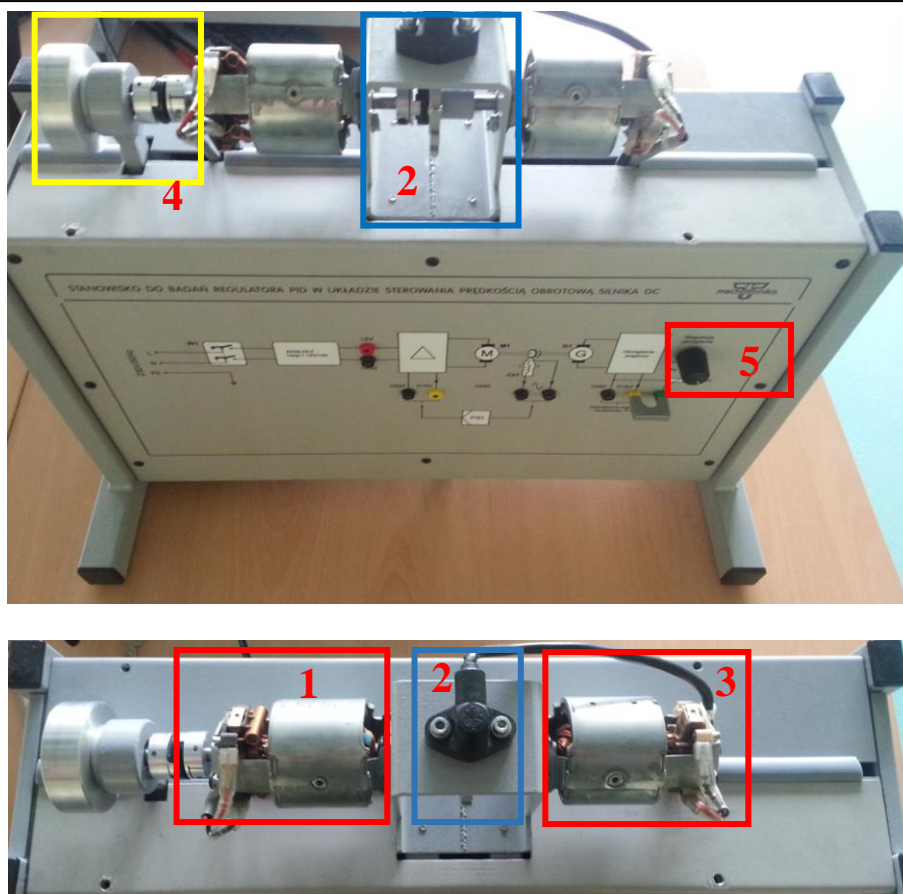
PRZEBIEG ĆWICZENIA – CZĘŚĆ 2

BADANIA DOŚWIADCZALNE REGULATORA PI W UKŁADZIE STEROWANIA PRĘDKOŚCIĄ OBROTOWĄ SILNIKA PRĄDU STAŁEGO:

W skład stanowiska (Rys. 3) wchodzi:

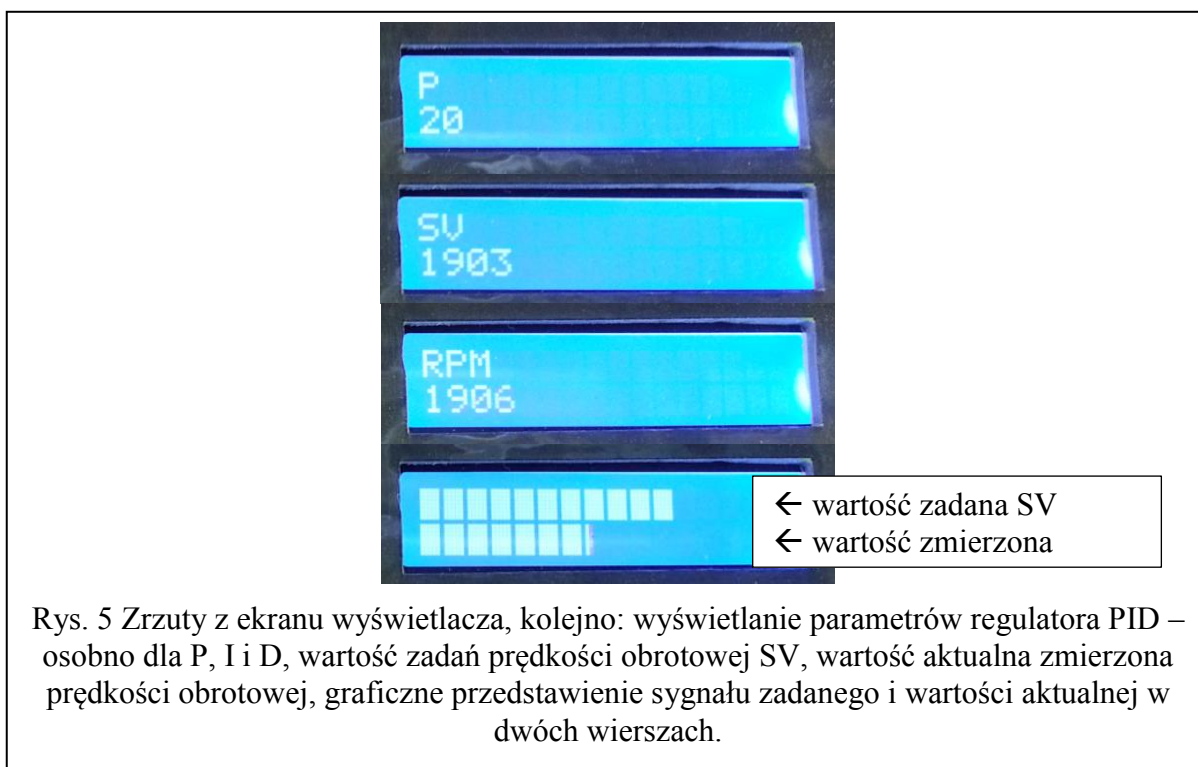
- 1) 12 woltowy silnik DC,
- 2) indukcyjny (reluktancyjny) czujnik położenia wału, koło zębate,
- 3) prądnica 12 woltowa,
- 4) koło zamachowe,
- 5) pokrętło zmiany obciążenia silnika DC.

Stanowisko jest ułożyskowane, a na łączeniach wału zastosowano odpowiednie sprzęgła. Stanowisko wyposażone jest w złącza wejściowe i wyjściowe typu banan. Wewnątrz znajduje się impulsowy zasilacz o odpowiedniej wydajności oraz końcowe układy mocy służące doysterowania silnika DC oraz sztucznego obciążenia prądnicy. Sygnałami sterującymi są sygnały analogowe 0 – 5V w standardzie TTL.



Rys. 3 Widok stanowiska laboratoryjnego do badań regulatora PID. Do góry widok ogólny, na dole zbliżenie na elementy wykonawcze.

Obsługa układu możliwa jest dzięki panelowi operatora (Rys. 4). Na przednim panelu umieszczono wyświetlacz alfanumeryczny (1). Służący do wyświetlania parametrów układu. Zmiana parametrów dokonywana jest z pomocą potencjometrów (2) takich jak: SV – set value – wartość zadana prędkości obrotowej; P – współczynnik wzmocnienia części proporcjonalnej regulatora PID; I – współczynnik wzmocnienia części całkującej; D – współczynnik wzmocnienia części różniczkującej. Do poruszania się po menu wyświetlacza zaimplementowane 4 przyciskową klawiaturę. Za jej pomocą można także zmieniać i zatwierdzać parametry. Zrzuty z ekranu wyświetlacza przedstawiono na rysunku 5.





ZADANIA DO REALIZACJI DLA CZĘŚCI 2

1. Ustawić za pomocą pokręteł parametry regulatora $P = 5$, $I = 0$, $D = 0$ i pokrętko obciążenia silnika (Rys. 3 nr 5) na wartość minimalną. Ustawić wyświetlacz w tryb wyświetlania zadanej (SV) i mierzonej prędkości obrotowej (Rys. 5). Zmieniając wartość zadanej prędkości obrotowej SV obserwować jak zmienia się rzeczywista prędkość silnika. Następnie ustawić obciążenie na np. 50 % zakresu i powtórzyć badanie. Przeanalizować w jak sposób zmienia się mierzona prędkość silnika DC pod względem występującego uchybu regulacji i czasu ustalenia się wartości mierzonej.
2. Ustawić wybraną nastawę obciążenia silnika (Rys. 3 nr 5) np. 40% zakresu. Następnie, obserwując wyświetlany wykres prędkości zadanej i mierzonej, znaleźć taką wartość nastaw regulatora P i I ($D = 0$) dla których odpowiedź silnika jest najszybsza i nie występuje przeregulowanie.
3. Dla uzyskanych nastaw regulatora, w punkcie 2, stopniowo zwiększać nastawę regulatora D . Obserwując wykres i pracę układu znaleźć moment w którym układ zachowuje się niekorzystnie. Wyjaśnić związek między występującym zjawiskiem a regulatorem D .
4. Ustawić za pomocą pokręteł parametry regulatora $P = 5$, $I = 0$, $D = 0$ i pokrętko obciążenia silnika na wartość np. 20 % zakresu. Stopniowo zwiększać nastawę regulatora I . Obserwując wykres i pracę układu znaleźć moment w którym układ wpada w oscylacje.

SPRAWOZDANIE

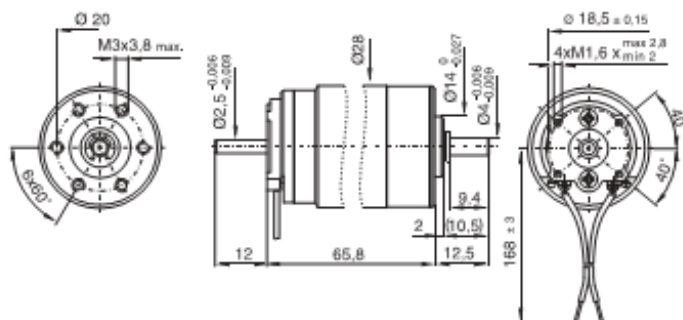
Ogólne wytyczne:

- Sprawozdanie powinno być wykonane na dostępnej formatce (<http://www.zum.put.poznan.pl/zum/mgr-inz-bartosz-minorowicz>).
- Sprawozdanie powinno być wykonane w sposób przejrzysty i czytelny dla odbiorcy.
- Sprawozdanie jest odpowiedzią na zadania przedstawione w instrukcji.

escap 28DT12

Grafitowo/miedziany system komutacji - 13 segmentów

Silnik DC
27 Wat



skala: 3:4
wymiary w mm
masa: 200 g

28DT2R12 • 98

Typy uzwojenia

• • • •

-222E

Mierzone wartości

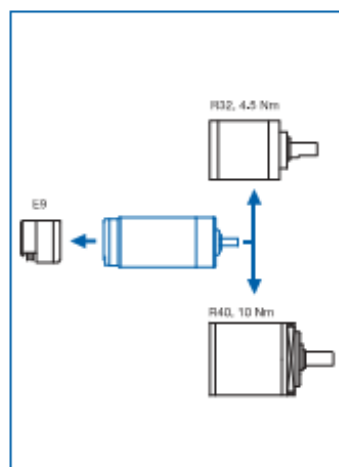
1	Mierzone napięcie	V	24
2	Prędkość biegu jałowego	rpm	6900
3	Moment utyku	mNm(oz-in)	126 (17.8)
4	Średni prąd biegu jałowego	mA	110
5	Typowe napięcie początkowe	V	-

Max. zalecane wartości

6	Max. prąd ciągły	A	1.4
7	Max. moment ciągły	mNm (oz-in)	41 (5.8)
8	Max. przyspieszenie kątowe	10 ³ rad/s ²	82

Parametry wewnętrzne

9	Stała elektromotoryczna	V/1000 rpm	3.40
10	Stała momentowa	mNm/A (oz-in/A)	32.5 (4.60)
11	Rezystancja zacisków	ohm	6.2
12	Współczynnik R/k ²	10 ³ Nms	5.9
13	Indukcyjność wirnika	mH	0.75
14	Bezwładność wirnika	kgm ² ·10 ⁻⁷	20
15	Mechaniczna stała czasowa	ms	12



- Wytrzymałość termiczna:
wirnika: 4°C/W
silnik w powietrzu: 8°C/W
- Termiczna stała czasowa wirnika/statora:
18 s / 630 s
- Max. temperatura rdzenia: 155°C
- Zakres temperatury powietrza:
-30°C do +125°C (-22°F do 176°F)
- Max. stała siła osiowa na nacisk: 500 N
- Luz wzdłużny: ≤ 150 μm
Luz promieniowy: ≤ 25 μm
Bicie wałka: ≤ 10 μm
- Max. obciążenie 5 mm od czoła:
: - łożyska kulkowe: 10 N
- Silnik pasowany z łożyskiem kulkowym

