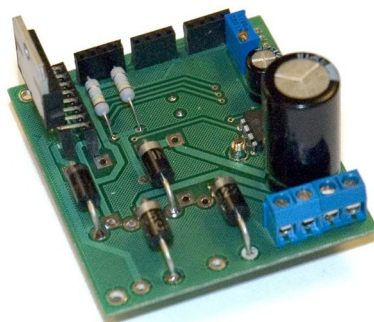


## Moduł sterownika PID serwosilnika prądu stałego. DCS02.



### 1. Przeznaczenie.

Moduł DCS02 przeznaczony jest do realizacji funkcji pozycjonowania silnika komutatorowego prądu stałego wyposażonego w pomiar położenia dwufazowym przetwornikiem inkrementalnym. Wraz z silnikiem i sprzężonym kinematycznie przetwornikiem tworzy układ regulacji położenia i prędkości pracujący w układzie zamkniętym, z klasycznym algorytmem PID. Nastawy regulatora PID i pozostałe parametry mogą być indywidualnie programowane przez użytkownika, przez port szeregowy. Obszar zastosowań obejmuje ekonomiczne sterowania CNC i napędy w których konieczne jest pozycjonowanie. Może zastąpić napędy z silnikami skokowymi, będąc pozbawionym głównych wad tych napędów. Serwonapęd jest szybszy i może być przeciążany. Pracuje w typowym schemacie TAKT/KIERUNEK i może być podłączany do wyjść wielosiowych układów interpolacji.

### 2. Opis budowy i działania modułu DCS02.

Schemat blokowy modułu przedstawia rysunek 1.

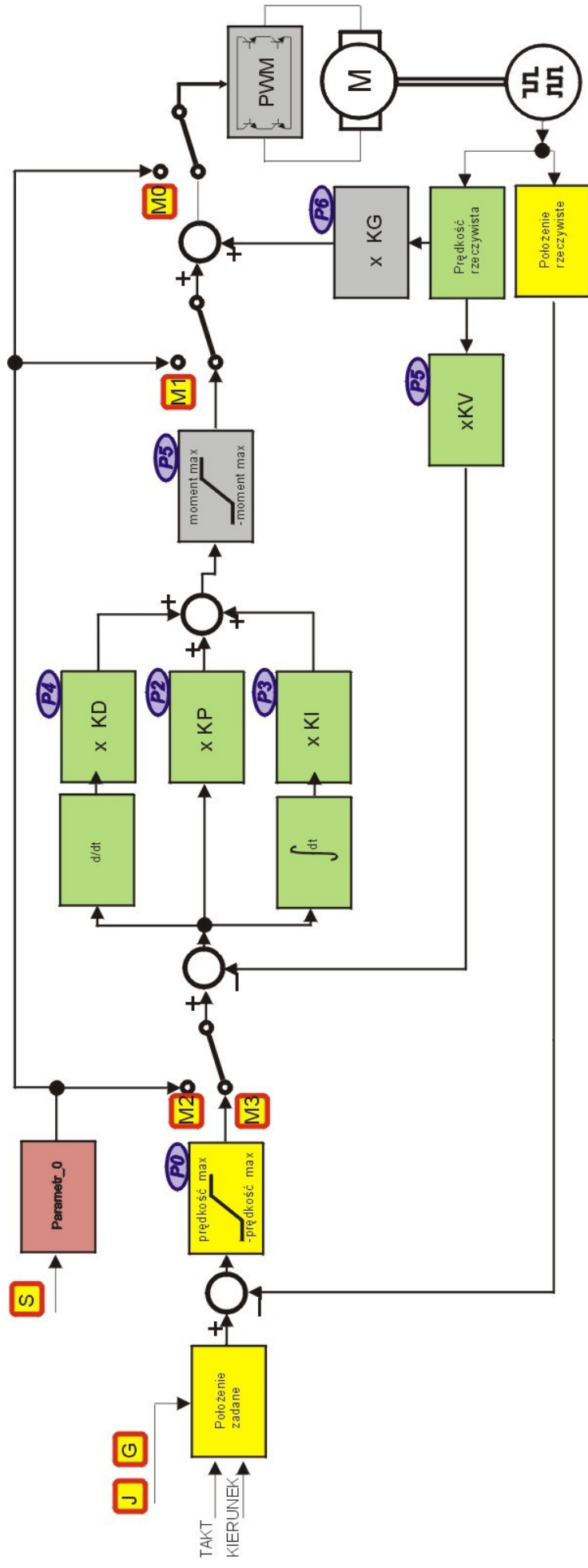
Obiekt regulacji stanowi silnik prądu stałego ze sprzężonym kinematycznie dwufazowym przetwornikiem inkrementalnym (enkoderem). Impulsy faz przetwornika (kwadratury) stanowią informację wejściową sprzężenia zwrotnego, na podstawie której mikrokontroler wylicza aktualną prędkość i położenie.

Jako informacja, zadana podawane są impulsy wejściowe TAKT i KIERUNEK. Na ich podstawie mikrokontroler wylicza położenie i prędkość zadane.

Sygnal uchybu jest różnicą wielkości zadanych i rzeczywistych. Jest on następnie przetwarzany według algorytmu PID. Uwzględniane są ograniczenia prędkości i momentu (prądu). Sygnałem wyjściowym z regulatora PID jest wypełnienie PWM i polaryzacja napięcia mostka tranzystorowego sterującego silnikiem prądu stałego.

Współczynniki wzmocnienia PID, oraz pozostałe parametry przechowywane są w pamięci nieulotnej mikrokontrolera i mogą być programowane indywidualnie za pomocą komputera PC, przez port szeregowy.

Moduł posiada zasilacz impulsowy 5V, dostarczający napięcia dla mikrokontrolera, przetwornika położenia i modułu MAX232 przy konfiguracji.

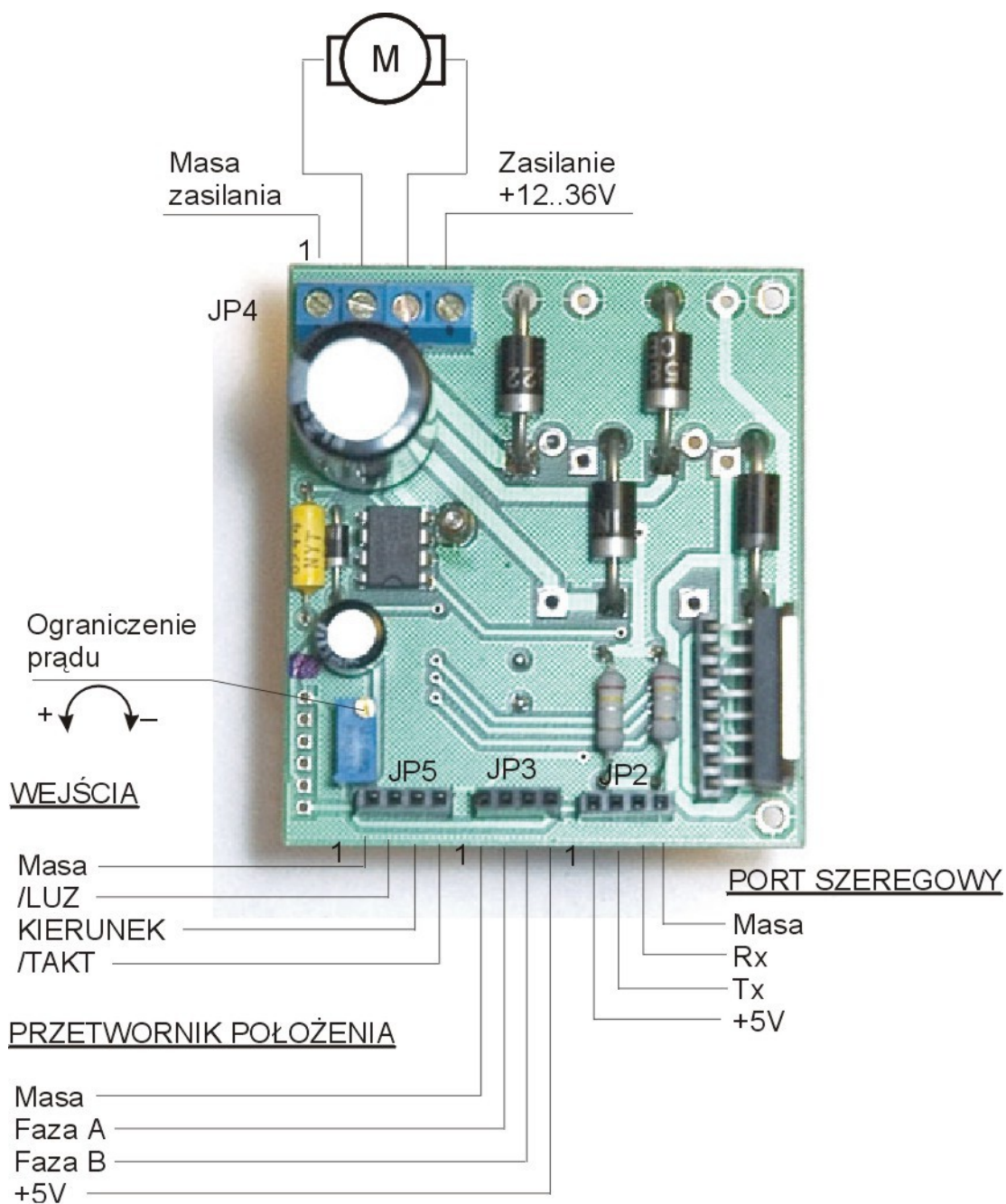


Rys.1

Obiekt regulacji PID z modułem DCS02.

### 3. Dane techniczne.

- ◆ Obiekt sterowania : silnik prądu stałego komutatorowy.
- ◆ Pomiar położenia / prędkości: dwufazowy przetwornik impulsowy
- ◆ Algorytm regulacji PID – realizacja mikrokontroler RISC.
- ◆ Zakres częstotliwości wejściowych do 80 kHz.
- ◆ Częstotliwość przetwarzania 2kHz.
- ◆ Zakres napięć zasilania 12 do 36 V prądu stałego.
- ◆ Sygnał wyjściowy PWM 20kHz.
- ◆ Maksymalny prąd wyjściowy 5A.
- ◆ Wymiary 68 x 62 x 42 (wysokość) [mm] bez radiatora.
- ◆ Konfiguracja przez port szeregowy z komputera PC.



Rys.2.

#### 4. Podłączenie.

Schemat podłączenia modułu DCS02 przedstawia rysunek 2.

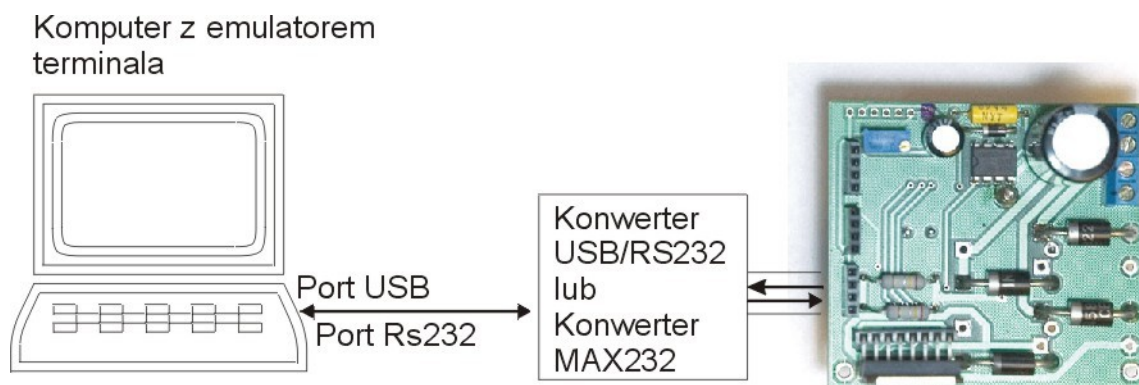
Wszelkie czynności związane z montażem modułu należy wykonywać przy wyłączonym zasilaniu. Moduł montować na dystansówkach do obudowy urządzenia. Zaleca się stosowanie obudów z materiału ferromagnetycznego, ekranujących pola elektromagnetyczne. Konieczne jest zastosowanie radiatora na układ scalony mostka tranzystorowego. Silnik i zasilanie należy podłączyć do listwy zaciskowej. Impulsy wejściowe z enkodera i z interpolatora doprowadzić przewodami ekranowanymi przylutowanymi do odcinków listwy pinowej męskiej. Ekran należy łączyć w jednym punkcie do masy, od strony modułu DCS02. W podobny sposób na czas konfiguracji należy podłączyć konwerter poziomów typu MAX232 lub moduł USB do portu RS. Przed normalną eksploatacją należy wykonać fazowanie układu regulacji, oraz dobór nastaw regulatora PID i pozostałych parametrów. W celu poprawnego fazowania należy podłączyć silnik do listwy zaciskowej JP4 i przetwornik inkrementalny do złącza JP3. Włączyć zasilanie. Jeśli silnik stoi lub wykonuje niewielkie drgania, a próba obrócenia wału silnika powoduje narastający opór, układ jest zfazowany poprawnie. Jeśli silnik rusza z pełną prędkością po włączeniu zasilania lub lekkim obrocie wału, fazy są przesunięte o 180 stopni. Należy w takim przypadku zmienić biegunowość silnika.

Uwaga: Aby zmienić orientację osi (kierunek obrotów silnika uznawany za dodatni) należy zamienić między sobą jednocześnie bieguny silnika i fazy przetwornika położenia.

Dobór nastaw regulatora i pozostałych parametrów powinien odbywać się na obiekcie regulacji (maszynie) w rzeczywistych warunkach obciążenia silnika.

#### 5. Konfiguracja.

Wartości parametrów zapisane w pamięci nieulotnej, czytane są w czasie restartu mikrokontrolera. Moduł posiada możliwość doboru optymalnych wartości parametrów dla danego obiektu regulacji i zapisywania ich do pamięci nieulotnej. W tym celu należy podłączyć moduł DCS02 do portu szeregowego lub USB komputera PC za pośrednictwem układu konwersji poziomów MAX232 lub modułu USB jak pokazano na rysunku 3.



Rys.3.

Algorytm postępowania przy konfiguracji modułu DCS02:

- ◆ Podłączyć moduł do komputera przy wyłączonym zasilaniu.
- ◆ Uruchomić program HyperTerminal i połączyć w trybie 115200,8,n,1.
- ◆ Włączyć zasilanie modułu.. Pojawi się komunikat: DCS02 Serwo Kontroler v1.0

PerForm 2006 i znak zachęty ">"

- ◆ Wykonać wymagane komendy.
- ◆ Wyłączyć zasilanie modułu, odłączyć moduł od komputera.

## 5. Opis rozkazów sesji terminalowej.

- I <ENTER> wyświetla identyfikator modułu.
- T <ENTER> wykonuje restart mikrokontrolera.
- M [tryb] <ENTER> ustawia tryb pracy modułu DCS02 [tryb] = 0..3.
  - [tryb] = 0: tryb diagnostyczny ustawiania napięcia na zaciskach silnika. Wartość napięcia ustawiamy rozkazem S [parametr\_0]. Zakres parametr\_0: -511..511.
  - [tryb] = 1: tryb diagnostyczny stabilizacji prądu (momentu) silnika. Wartość prądu (momentu) ustawiamy rozkazem S [parametr\_0]. Zakres parametr\_0: -511..511.
  - [tryb] = 2: tryb diagnostyczny stabilizacji prędkości obrotowej silnika. Wartość prędkości ustawiamy rozkazem S [parametr\_0]. Zakres parametr\_0: -511..511.
  - [tryb] = 3: tryb pracy w zamkniętym układzie regulacji PID. Tryb domyślny po restarcie mikrokontrolera.
- S [parametr\_0] diagnostycznych .  
ustawia wartość parametru pomocniczego dla trybów

### Rozkazy w trybie 3:

- J [pozycja] <ENTER>  
Powoduje skok do położenia określonego wartością [pozycja]. Pozycja jest wartością z zakresu – 8 000 do 8 000 . Kontroler wysyła przez port szeregowy zdefiniowaną wcześniej rozkazem "S" ilość próbek położenia z przetwornika położenia co 0.5 ms. Rozkaz wykorzystywany do badania odpowiedzi regulatora na skok położenia. Format próbki położenia: 'l'<bajt\_najstarszy><bajt\_średni><bajt\_najmłodszy>.
- G 0 [pozycja] <ENTER>  
Wykonuje ruch szybki o obwiedni trójkątnej, lub trapezoidalnej. Naciśnięcie dowolnego klawisza w czasie ruchu powoduje natychmiastowe zatrzymanie. Pozycja jest wartością z zakresu – 8 000000 do 8000000 .
- G 1 [pozycja] [prędkość] <ENTER>  
Wykonuje ruch roboczy ze stałą prędkością określoną wartością [prędkość] do położenia określonego wartością [pozycja]. Naciśnięcie dowolnego klawisza w czasie ruchu powoduje natychmiastowe zatrzymanie. Pozycja jest wartością z zakresu – 8000000 do 8000000 . Prędkość jest wartością z zakresu 1 do wartości rejestru P7 .
- L <ENTER>  
Powoduje wyświetlanie aktualnego położenia na ekranie terminala. Naciśnięcie dowolnego klawisza przerywa wykonywanie rozkazu.

### Rozkazy ustawiania rejestrów:

- P [adres] [wartość] <ENTER>  
wpisuje wartość [wartość] do rejestru określonego adresem [adres] .
- W [bank] <ENTER>  
zapisuje wartości wszystkich parametrów do banku pamięci EEPROM określonego adresem [bank] . [bank] = 0..3. Po restarcie mikrokontrolera ładowany jest bank 0.
- R [bank] <ENTER>  
ładuje wartości parametrów z pamięci EEPROM, z banku określonego adresem [bank].

## 6. Opis rejestrów modułu DCS02.

### Oznaczenia:

<b>Limit_v</b>	– maksymalna prędkość obrotowa silnika [1/min].
<b>Enc</b>	– stała przetwornika inkrementalnego – ilość impulsów na jeden obrót.
<b>KV</b>	– wzmocnienie sprzężenia zwrotnego prędkości.
<b>KP</b>	– wzmocnienie członu proporcjonalnego regulatora.
<b>KI</b>	– wzmocnienie członu całkującego regulatora.
<b>KD</b>	– wzmocnienie członu różniczkującego regulatora.
<b>U_zas</b>	– napięcie zasilania silnika [V].
<b>U_nom</b>	– napięcie znamionowe silnika [V].
<b>N_nom</b>	– obroty znamionowe silnika [1/min].
<b>KG</b>	– współczynnik kompensacji SEM silnika.
<b>Feed</b>	– prędkość obrotowa silnika [1/min].
<b>Acc</b>	– przyspieszenie / hamowanie [(1/min)/s].
<b>PWM_Max</b>	– ograniczenie PWM sterowania silnikiem [%].

### Format danych:

<b>Liczba całkowita</b>	– dwubajtowa liczba całkowita nieujemna.
<b>Liczba stałoprzecinkowa</b>	– dwubajtowa liczba nieujemna w układzie liczbowym o podstawie 256, w której starszy bajt oznacza część całkowitą a młodszy ułamek o mianowniku 256.

<i>Adres rejestru</i>	<i>Nazwa parametru</i>	<i>Typ</i>	<i>Sposób wyliczenia</i>
0	Limit prędkości	Liczba całkowita	Limit_v * KV * Enc /30000
1	Wzmocnienie sprzężenia zwrotnego prędkości	Liczba stałoprzecinkowa	KV * 256
2	Wzmocnienie P	Liczba stałoprzecinkowa	KP * 256
3	Wzmocnienie I	Liczba stałoprzecinkowa	KI * 256
4	Wzmocnienie D	Liczba stałoprzecinkowa	KD * 256
5	Ograniczenie momentu	Liczba całkowita	PWM_Max*5.12
6	Wzmocnienie kompensacji SEM	Liczba stałoprzecinkowa	(7680000 * KG * U_nom/( N_nom*Enc * U_zas)) * 256
7	Prędkość ruchu jednostajnego dla rozkazu G0	Liczba całkowita	Feed * Enc / 117
8	Przyspieszenie dla rozkazu G0	Liczba całkowita	Acc * Enc /23400

#### **Przykład:**

Konfiguracja sterownika dla silnika o następujących danych:

- ◆ Napięcie znamionowe 12 [V].
- ◆ Napięcie zasilania silnika 12 [V].
- ◆ Obroty znamionowe 4000 [1/min]
- ◆ Stała przetwornika inkrementalnego 500 [impulsów/obrót].

Założone parametry przetwarzania układu regulacji :

- ◆ KV = 4.0
- ◆ KP = 3.0
- ◆ KI = 0.3
- ◆ KD = 0.15
- ◆ Limit prądu ustalamy na poziomie 80% prądu znamionowego .
- ◆ Limit prędkości ustalamy na poziomie 90% obrotów znamionowych czyli 3600[1/min].
- ◆ Prędkość maksymalna silnik ma osiągać po upływie 1 [s], czyli przyspieszenie wynosi 3600[(1/min)/s].
- ◆ Współczynnik SEM KG = 0.3 (kompensujemy 30% SEM wytwarzanej przez silnik DC)

#### **Rejestr 0:**

Wartość wpisana do rejestru :  $3600*4*500/30000=240$ .

#### **Rejestr 1:**

Wartość wpisana do rejestru :  $4*256=1024$ .

#### **Rejestr 2:**

Wartość wpisana do rejestru :  $3*256=768$ .

#### **Rejestr 3:**

Wartość wpisana do rejestru :  $0.3*256=77$ .

#### **Rejestr 4:**

Wartość wpisana do rejestru :  $0.15*256=38$ .

#### **Rejestr 5:**

Wartość wpisana do rejestru :  $80*5.15=409$ .

#### **Rejestr 6:**

Wartość wpisana do rejestru :  $(7680000*0.3*12/(4000*500*12)) * 256 =295$ .

#### **Rejestr 7:**

Wartość wpisana do rejestru :  $3600*500/117=15384$ .

## Rejestr 8:

Wartość wpisana do rejestru :  $3600*500/23400=76$ .

## 7. Wartości parametrów domyślne.

Bank 0: (Ustawiany w czasie restartu mikrokontrolera)  
Wariant umiarkowany dla układów o małym tłumieniu wiskotycznym i małym zredukowanym momencie bezwładności. Regulacja PD.  
1200; 8000; 768; 96; 0; 240; 260; 6656; 32;

Bank 1:  
Wariant dla układów z dużym tłumieniem wiskotycznym (śruby i prowadnice cierne) z dużym zredukowanym momentem władności. Regulacja PID.  
1200;8000; 1024; 128; 64; 240; 512; 6656; 24;

Bank 2:  
Wariant diagnostyczny. Regulacja P.  
1200; 8000; 512; 0; 0; 240 ;200; 6656; 32;

Bank 3:  
Wariant o gwarantowanej stabilności bez korekty SEM.  
1200; 4000; 512; 0; 0; 160 ; 0; 4000; 16;

## 8. Opis złącz.

- JP2. Port RS złącze portu szeregowego do ustawiania konfiguracji.
  1. +5V napięcie zasilania modułu MAX232
  2. Tx wyjście transmisji szeregowej RS232 poziom TTL.
  3. Rx wejście transmisji szeregowej RS232 poziom TTL.
  4. Masa

**Uwaga: Modułu nie należy podłączać bezpośrednio do komputera PC. Konieczne jest zastosowanie konwertera poziomów.**

- JP3. Wejście enkodera.
  1. Masa.
  2. Faza\_A wejście fazy A, poziom TTL.
  3. Faza\_B wejście fazy B, poziom TTL.
  4. +5V zasilanie enkodera.
- JP4. Listwa zaciskowa.
  1. Masa Minus zasilania.
  2. Silnik A Podłączenie silnika A.
  3. Silnik B Podłączenie silnika B.
  4. Plus zasilania 12-36V.
- JP5. Wejścia interpolacji.
  1. Masa sygnałowa.
  2. /LUZ. Stan niski powoduje wyłączenie prądu silnika.
  3. KIERUNEK. Poziom wysoki wyznacza kierunek dodatni ruchu, poziom niski kierunek ujemny.
  4. TAKT. Opadające zbocze powoduje obrót osi silnika wymuszający jeden impuls enkodera.



## 9. Dobór nastaw regulatora PID przy użyciu programu DCS Monitor.

W celu ułatwienia ustawiania modułu sterownika DCS powstał program DCS Monitor. Program działa tylko z interfejsem USB.

**Nastawy regulatora należy ustawiać na docelowym obiekcie regulacji.** Jeśli zredukowany moment bezwładności może przyjmować różne wartości (np. ruchomy stół w obrabiarce może być obciążony przedmiotem o różnej masie) wskazane jest dokonanie doboru nastaw przy maksymalnym obciążeniu inercyjnym, a następnie sprawdzenie dynamiki przy minimalnym obciążeniu inercyjnym. Istotą działania regulatora jest generowanie reakcji przeciwdziałającej uchybowi, czyli różnicy między położeniem zadany a rzeczywistym obiektu regulacji. Uchyb istnieje zawsze a regulator usiłuje zmniejszyć go do zera. Celem optymalizacji nastaw jest uzyskanie minimalnego uchybu w funkcji czasu. Regulator musi zapewniać stabilność układu w całym zakresie kinematyki i obciążeń. Niestabilność polega na wykonywaniu ruchu oscylacyjnego lub jazdy z maksymalną prędkością niezależnie od sterowania. Znaczący wpływ na działanie regulatora ma konstrukcja mechaniczna napędu. Regulator lepiej działa na napędzie bez luzów, sztywnym o małym zredukowanym momencie bezwładności i dużym tłumieniu wiskotycznym np ze śrubami i prowadnicami ciernymi. Dużo gorzej steruje się układem z luzem, mało sztywnym o dużej inercji i małym tłumieniu.

### **Sposób postępowania:**

- (1) Podłączyć komputer do sterownika przez odpowiedni interfejs USB2RS. Uruchomić program DCS Monitor. Ustawić parametry napędu w zakładce "dane serwosilnika".
- (2) W zakładce "nastawy regulatora" ustawić wartości KD, KI, KG na 0. Limit momentu na 30%. Limit prędkości dobrać tak aby częstotliwość impulsów przetwornika pomnożona przez 4 nie przekroczyła 80 kHz. KV ustawić na 4.0, KP na poziomie 1.5. Wpisać parametry do regulatora.
- (3) Wykonać skok położenia dla kąta obrotu 20 – 180 stopni i czasu do 250 ms.
- (4) Iteracyjnie zwiększać wzmocnienie KP i wykonywać skok położenia aż do utraty stabilności.
- (5) Po utracie stabilności zwiększyć wzmocnienie KV aż do powrotu stabilności.
- (6) Ustawić wzmocnienie KI na poziomie 0.2-0.5 tak aby wyeliminować błąd statyczny.
- (7) Ustawić wzmocnienie KD na poziomie 0.1-0.3 tak aby zminimalizować przeregulowanie, jeśli występuje. Jeśli nie pozostawić wartość 0.
- (8) Metodą prób dobrać współczynniki KV, KP, KI, (KD) tak aby osiągnąć minimalne przeregulowanie (jeśli występuje), minimalną wartość całki modułu uchybu, minimalny czas ustalenia. Zwiększanie KP zmniejsza przeregulowanie i uchyb statyczny, w dalszym ciągu powoduje niestabilność. Zwiększanie KI likwiduje uchyb statyczny. Zwiększanie KD zmniejsza przeregulowanie i powiększa zapas stabilności KP. Zwiększanie KV zmniejsza czas ustalenia.
- (9) Zwiększyć wartość PWM limitu momentu do poziomu 50 – 60 %. Należy uważać przy silnikach zasilanych napięciem wyższym od znamionowego. Jeśli przy wolnych ruchach roboczych (G1) silnik nadmiernie się grzeje lub działa zabezpieczenie nadprądowe (pulsowanie ruchu), należy zmniejszyć wartość limitu PWM.
- (10) Zwiększyć wartość KG do poziomu 0.3 – 0.5, tak aby nie utracić stabilności. Jeśli w czasie szybkiego ruchu jałowego (G0) działa zabezpieczenie nadprądowe (pulsowanie ruchu), należy zmniejszyć wartość KG.
- (11) Przy pomocy funkcji na zakładce "diagnostyka" oszacować maksymalną prędkość ruchu i skorygować limit prędkości regulatora.
- (12) Zapisać wartości nastaw do banku pamięci 0.

