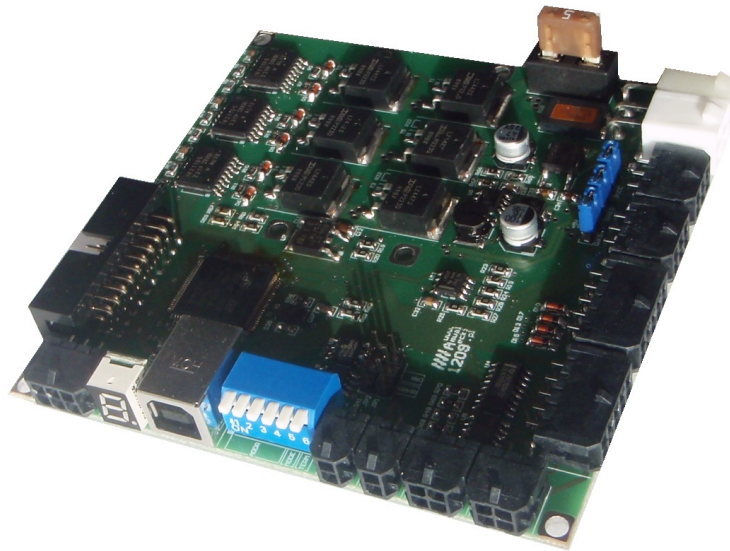


---

# ELEKTRONICZNY STEROWNIK GŁOWICY UCHYLNO-OBROTOWEJ

---

Autor:           MICHAŁ WAŁĘCKI  
                    m.walecki@elka.pw.edu.pl



# Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Założenia projektowe</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Sterownik osi 1209A</b>	<b>5</b>
3.1	Dane techniczne . . . . .	7
3.1.1	Parametry elektryczne . . . . .	7
3.1.2	Parametry mechaniczne . . . . .	9
3.1.3	Warunki pracy . . . . .	9
3.2	Złącza . . . . .	10
3.2.1	Złącza zasilania logiki: LSUPP (J1, J15) . . . . .	10
3.2.2	Złącze zasilania stopnia mocy: PSUPP (J2) . . . . .	11
3.2.3	Złącze silnika: MOTOR (J7) . . . . .	11
3.2.4	Złącze czujników Halla: HALL (J4) . . . . .	12
3.2.5	Złącza enkodera: ENC (J5, J6) . . . . .	12
3.2.6	Złącza interfejsu danych: SERIAL (J11, J12) . . . . .	13
3.2.7	Złącze interfejsu danych: USB (J9) . . . . .	13
3.2.8	Złącza wyjść: OUTPUT (J14) . . . . .	14
3.2.9	Złącze wejść: INPUT (J13) . . . . .	15
3.2.10	Złącze debuggera: JTAG (J10) . . . . .	15
3.3	Przełączniki i kontrolki . . . . .	16
3.3.1	Przełącznik adresu / trybu pracy . . . . .	16
3.3.2	Wyświetlacz 7-segmentowy . . . . .	17
3.3.3	Zwory wyboru interfejsu (JP1..2) . . . . .	17
3.3.4	Zwory wyboru źródła zasilania (JP3..5) . . . . .	18
3.4	Tryby pracy . . . . .	19
3.5	Komunikacja z komputerem . . . . .	20
3.5.1	Protokół komunikacji NFv2 . . . . .	20
3.5.2	Bufor komunikacyjny . . . . .	22

# Rozdział 1

## Wstęp

Zadaniem pozycjonera obrotowo-uchylnego w aplikacjach robotycznych jest zwiększenie pola widzenia kamer, jak również nakierowanie czujników i podążanie za obiektami interesującymi z punktu widzenia aplikacji. W celu obliczenia pozycji śledzonego obiektu niezbędna jest znajomość pozycji głowicy pozycjonera podczas dokonywania pomiaru (rejestrowania klatki obrazu), również kiedy głowica jest w ruchu. Z tego względu niezbędny jest pomiar i stały dostęp do wartości pozycji głowicy. Równie ważna dla jakości pomiarów przez czujniki zamontowane na pozycjonerze podczas ruchu głowicy jest płynność ruchu, bez wibracji lub skokowych zmian prędkości. Z tego względu do napędu pozycjonera korzystniejsze wydaje się użycie silników DC lub BLDC zamiast krokowych.

W ramach grantu rektorskiego została wyspecyfikowana i zakupiona część mechaniczna uchylno-obrotowego pozycjonera do kamer. Niniejszy raport przedstawia opracowany dla niego elektroniczny system sterowania.

# Rozdział 2

## Założenia projektowe

Zestaw dwóch sterowników osi 1209A jest przeznaczony do sterowania członami uchylnym oraz obrotowym ruchomej głowicy. Napędy obydwu członów wyposażone są w bezszczotkowe silniki prądu stałego oraz optoelektroniczne enkodery inkrementalne. Komputer klasy IBM PC realizuje programy sterowania nadrzędnego. Zadaniem sterowników osi jest połączenie komputera sterującego z układami wykonawczymi (silnikami) robota, realizacja algorytmów regulacji oraz funkcji kontrolno-pomiarowych.

Przed zintegrowanym sterownikiem osi postawiono następujące wymagania:

- Dostarczenie mocy do bezszczotkowego silnika prądu stałego zasilanego napięciem znamionowym 24V, o mocy do 40W.
- Odczyt sygnału z bezwzględnego czujnika położenia wału silnika w celu komutacji zasilania uzwojeń silnika.
- Pomiar prądu silnika.
- Odczyt stanu czujnika synchronizacji, używanego podczas bazowania głowicy (ustawienia manipulatora w położeniu zerowym).
- Odczyt sygnału z enkodera inkrementalnego dla obliczenia prędkości i położenia wału silnika.
- Komunikacja z komputerem PC o szybkości umożliwiającej 2ms cykle komunikacji. Cykl komunikacji składa się z przesłania polecenia do sterownika, przetworzenia polecenia, odesłania odpowiedzi do komputera i gotowości na następne polecenie.
- Wyprowadzenie pętli stopu awaryjnego, której przecięcie spowoduje zatrzymanie ruchu osi.
- Możliwość pracy w trybach:
  - PWM – ustawiania zadanego z komputera wypełnienia sygnału dla stopnia mocy,
  - ręczne sterowanie ruchem silnika przy pomocy sygnałów analogowych dostarczonych do sterownika,
  - regulator położenia – ustawianie osi manipulatora w pozycji zadanej przez komputer,

- regulator prędkości – zapewnienie ruchu z prędkością zadaną przez komputer.
- Przekazywanie do komputera nadrzędnego informacji o stanie urządzenia (pozycja, prąd, sytuacje awaryjne).

Sterownik osi postanowiono również wyposażyć w dodatkowe porty wejścia/wyjścia, służące do pracy z innymi typowo stosowanymi urządzeniami:

- złącze drugiego enkodera,
- wejścia sygnałów czujników krańcowych,
- wyjście wentylatora,
- wejścia i wyjścia ogólnego przeznaczenia.

## Rozdział 3

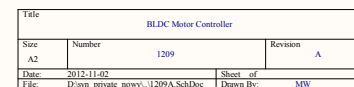
### Sterownik osi 1209A

Sterownik osi 1209A oparto na mikrokontrolerze STM32F107V8T6. Do sterowania silnikiem szczotkowym lub bezszczotkowym prądu stałego zbudowano stopień mocy, w którym wykonawczymi tranzystorami MOS sterują scalone drivery IR2110. Urządzenie posiada możliwość dołączenia bezwzględnych czujników położenia wału silnika, dwóch enkoderów inkrementalnych oraz czujników krańcowych i synchronizacyjnych. Oprócz tego posiada dodatkowe wejścia i wyjścia ogólnego przeznaczenia.

Sterownik wyposażono w interfejs USB do komunikacji z komputerem PC oraz - zależnie od konfiguracji - RS-485 lub CAN. Możliwe jest łączenie kolejnych modułów przy użyciu magistrali, przy użyciu jednego z nich jako bramy pośredniczącej w komunikacji z komputerem PC przez USB. Urządzenie wyposażono w wejścia analogowe akceptujące szeroki zakres napięć, wyjścia binarne o różnej obciążalności prądowej.

Schemat elektryczny modułu przedstawiono na następnej stronie.

Do napędu głowicy uchylno-obrotowej do pozycjonowania kamer przeznaczono dwa sterowniki 1209A, podłączone wspólną magistralą RS-485.



---

## 3.1 Dane techniczne

---

### 3.1.1 Parametry elektryczne

#### Wartości znamionowe

Napięcie zasilania silnika	15..24VDC
Napięcia zasilania logiki (opcjonalnie)	5VDC, 12VDC
Max. ciągły prąd silnika	13A
Regulator pozycji	tak, 1kHz
Regulator prądu	tak, 20kHz
Częstotliwość przełączania	20kHz

#### Sygnały wejściowe

Enkoder 1	A, B, I; max 600kHz	NPN / TTL
Enkoder 2	A, B, I; max 600kHz	NPN / TTL
Czujniki krańcowe	LIM_POS, LIM_NEG	NPN/PNP/TTL
Czujnik synchronizacji	HOME	NPN/PNP/TTL
Sygnał zezwolenia	ENABLE	NPN/PNP/TTL
Wejścia programowalne	AIN0, AIN1	0..30VDC



## Sygnały wyjściowe

Wyjście wentylatora	24V_FAN	PNP
Wyjścia programowalne	GND_OUT0..3	NPN
Wyjście programowalne	24V_OUT4	PNP

## Wyjścia zasilające

Zasilanie enkodera 1	5VDC, 250mA
Zasilanie enkodera 2	5VDC, 250mA
Zasilanie czujników Halla	5VDC, 250mA
Czujniki dodatkowe	5VDC, 500mA
Czujniki dodatkowe	12VDC, 500mA
Czujniki dodatkowe	24VDC, 500mA

## Podłączenie silnika

BLDC	DC
M1	M+
M2	M-
M3	

## Interfejsy danych

RS-485	Data+, Data-	half duplex, 57600bps
CAN	CAN_H, CAN_L	CAN 2.0B
USB	Data+, Data-	USB 2.0 device, full speed

### 3.1.2 Parametry mechaniczne

Montaż	Śruby M3	
Wymiary	wysokość	20mm
	głębokość (bez złącz)	100mm
	szerokość (bez złącz)	100mm

### 3.1.3 Warunki pracy

Temperatura	0..+70°C
Wilgotność	20..80%, bez kondensacji

---

## 3.2 Złącza

---

### 3.2.1 Złącza zasilania logiki: LSUPP (J1, J15)

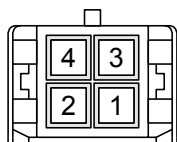
Złącza LSUPP dostarczają zasilanie części kontrolno-pomiarowej sterownika. Napięciem +5V zasilany jest centralny moduł z procesorem i układami interfejsowymi, czujniki Halla oraz enkodery. Napięcie +12V zasila sterownik stopnia mocy. Napięcie +24V (+15..25V) zasila wyjścia binarne - wyjścia zasilania wentylatora oraz jedno z wyjść ogólnego przeznaczenia.

Dostarczenie każdego z napięć zasilania logiki jest opcjonalne. możliwe jest samodzielne wytworzenie odpowiednich napięć zasilania przez sam sterownik z wykorzystaniem zasilania stopnia mocy PSUPP, przy odpowiednim ustawieniu zwor JP3, JP4 i JP5.

W przypadku dołączenia osobnego zasilania części logicznej należy zapewnić napięcia zasilania z przedziałów podanych w tabeli.

Odpowiednie piny złącz J1 i J15 są bezpośrednio ze sobą połączone. Dzięki temu zasilanie można dostarczyć do jednego (dowolnego) ze złącz, a z drugiego jednocześnie wyprowadzić przewód zasilający kolejne sterowniki w łańcuchu.

W przypadku samodzielnej generacji napięć zasilania przez sterownik z wykorzystaniem zasilania stopnia mocy PSUPP, odpowiednie napięcia zasilania części logicznej zostaną wystawione na złącza LSUPP.



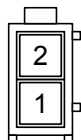
Typ: Molex Microfit 3.0  
Ilość styków: 4

Pin	Nazwa	Opis
1	+5	Napięcie zasilające +5V $\pm 5\%$
2	+12	Napięcie zasilające +12V $\pm 5\%$
3	+24	Napięcie zasilające +15..25V
4	GND	Wspólna masa

### 3.2.2 Złącze zasilania stopnia mocy: PSUPP (J2)

Złącze PSUPP dostarcza zasilanie dla stopnia mocy.

W przypadku osobnego zasilania części logicznej przez złącze LSUPP możliwa jest praca sterownika przy odłączonym zasilaniu stopnia mocy PSUPP. Wtedy sterowanie silnikiem jest niemożliwe, natomiast realizowane są wszystkie pozostałe funkcje: odczyt położenia osi, stanu wejść, komunikacja. Sterownik wykrywa odłączenie zasilania części mocy i ustawia odpowiednią flagę w buforze komunikacji.

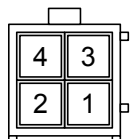


Typ: Molex Minifit Jr.  
Ilość styków: 2

Pin	Nazwa	Opis
1	+24	Napięcie zasilania silnika +15..25V
2	PGND	Masa

### 3.2.3 Złącze silnika: MOTOR (J7)

Złącze 7 służy do podłączenia silnika.

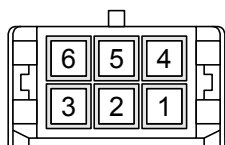


Typ: Molex Minifit Jr.  
Ilość styków: 4

Pin	Nazwa	Silnik BLDC	Silnik DC
1	1	Wyprowadzenie 1	Wyprowadzenie +
2	2	Wyprowadzenie 2	Wyprowadzenie -
3	3	Wyprowadzenie 3	(nie podłączać)
4	GND	Masa - ekran przewodu	Masa - ekran przewodu

### 3.2.4 Złącze czujników Halla: HALL (J4)

Złącze HALL służy do podłączenia czujników Halla przeznaczonych do odczytu bezwzględnego położenia wału silnika bezszczotkowego. W przypadku sterowania silnikiem szczotkowym, złącze HALL jest nieużywane. Złącze dostarcza napięcia zasilania 5VDC. Czujniki powinny mieć wyjścia typu otwarty kolektor NPN (zwierające do masy) lub TTL.



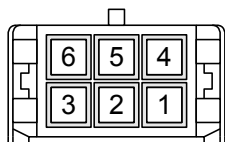
Typ: Molex Microfit 3.0  
Ilość styków: 6

Pin	Nazwa	Opis
1	1	Sygnał czujnika 1
2	2	Sygnał czujnika 2
3	3	Sygnał czujnika 3
4	GND	Masa
5	+5	Wyjście zasilające czujniki; +5VDC 30mA
6	GND	Masa - ekran przewodu

### 3.2.5 Złącza enkodera: ENC (J5, J6)

Każde ze złącz ENC służy do podłączenia enkodera inkrementalnego akceptującego zasilanie 5VDC, wyposażonego w wyjścia typu otwarty kolektor NPN (zwierające do masy) lub TTL. Enkoder powinien zwracać sygnał kwadraturowy (A, B) oraz sygnał synchronizacji (I).

Do złącza J5 należy podłączyć enkoder mierzący położenie wału silnika, natomiast złącze J6 służy do podłączenia enkodera mierzącego położenie napędzanej osi. Użycie każdego z enkoderów jest opcjonalne.



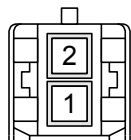
Typ: Molex Microfit 3.0  
Ilość styków: 6

Pin	Nazwa	Opis
1	A	Sygnał „A” enkodera
2	B	Sygnał „B” enkodera
3	I	Sygnał synchronizacji enkodera
4	GND	Masa
5	+5	Wyjście zasilające enkoder; +5VDC 30mA
6	GND	Masa - ekran przewodu

### 3.2.6 Złącza interfejsu danych: SERIAL (J11, J12)

Złącza SERIAL służą do podłączenia magistrali danych RS-485 lub CAN (w zależności od konfiguracji zworami JP1 i JP2). Odpowiednie piny złącz SERIAL są ze sobą połączone, dzięki czemu można utworzyć magistralę, łącząc odcinkami przewodów kolejne urządzenia w łańcuch.

W pierwszym oraz ostatnim urządzeniu w łańcuchu należy załączyć terminację linii, przesuwając przycisk TERM przełącznika adresu/trybu pracy w pozycję ON.



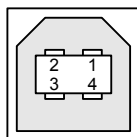
Typ: Molex Microfit 3.0mm

Ilość styków: 2

Pin	Nazwa	RS-485	CAN
1	POS	Linia A+	CAN_H
2	NEG	Linia B -	CAN_L

### 3.2.7 Złącze interfejsu danych: USB (J9)

Złącze służy do podłączenia sterownika do komputera PC. Za pośrednictwem tego złącza z komputera może być pobierane również napięcie zasilania 5V, wystarczające do uruchomienia mikrokontrolera wraz z układami interfejsowymi, enkoderów oraz czujników Halla.



Typ: USB typ B

Ilość styków: 4

Pin	Nazwa	Opis
1	VCC	Linia zasilająca +5,0V
2	DM	Linia danych -
3	DP	Linia danych +
4	GND	Wspólna masa

### 3.2.8 Złącza wyjść: OUTPUT (J14)

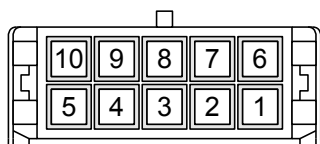
Złącze OUTPUT zawiera komplet wyprowadzeń napięć zasilających część logiczną oraz wyjść binarnych. Sygnały GO0..GO3 to programowalne wyjścia typu otwarty kolektor NPN (zwierające do masy).

Wyjście programowalne +O4 jest typu PNP (załącza napięcie +24V z zestawu napięć zasilania logiki).

Wyjście zasilania wentylatora +FA jest typu PNP (załącza napięcie +24V z zestawu napięć zasilania logiki).

Wyjścia typu NPN mają obciążalność prądową 500mA każde (dopuszczalny łączny prąd 2A). Wyjścia typu PNP mają obciążalność prądową 3A każde (oraz dopuszczalny łączny prąd 3A).

Obciążenia o charakterze indukcyjnym (np. podłączony bezpośrednio hamulec) powinny zostać zabezpieczone spolaryzowaną zaporowo, szybką diodą przeciwprzepięciową.



Typ: Molex Microfit 3.0mm  
Ilość styków: 10

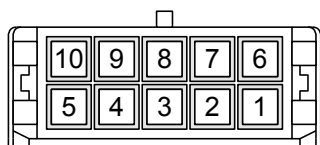
Pin	Nazwa	Opis
1	+5	Linia zasilająca +5VDC
2	+12	Linia zasilająca +12VDC
3	GO0	Wyjście programowalne NPN
4	GO2	Wyjście programowalne NPN
5	+O4	Wyjście programowalne PNP
6	+24	Linia zasilająca +24VDC
7	GND	Wspólna masa
8	GO1	Wyjście programowalne NPN
9	GO3	Wyjście programowalne NPN
10	+FA	Wyjście zasilania wentylatora PNP

### 3.2.9 Złącze wejść: INPUT (J13)

Złącze INPUT zawiera komplet wyprowadzeń napięć zasilających część logiczną oraz wejść napięciowych. Wszystkie wejścia akceptują napięcia z zakresu 0..30VDC. Oraz mają możliwość załączenia słabego rezystora podciągającego do potencjału 3.3V.

Zastosowanie wyłączników krańcowych oraz czujnik pola synchronizacji są opcjonalne. Polaryzacja sygnału z czujników również podlega konfiguracji.

Dostarczenie sygnału zezwolenia na ruch o napięciu co najmniej 3V jest niezbędne do normalnej pracy sterownika osi. Odłączenie napięcia od tego wejścia spowoduje natychmiastowe zatrzymanie napędu (stop awaryjny).

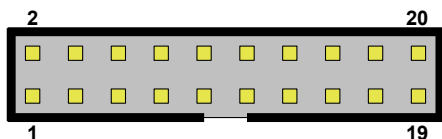


Typ: Molex Microfit 3.0mm  
Ilość styków: 10

Pin	Nazwa	Opis
1	+5	Linia zasilająca +5VDC
2	+12	Linia zasilająca +12VDC
3	POS	Wejście sygnału górnego wyłącznika krańcowego
4	NEG	Wejście sygnału dolnego wyłącznika krańcowego
5	AI0	Wejście analogowe ogólnego przeznaczenia
6	+24	Linia zasilająca +24VDC
7	GND	Wspólna masa
8	ENA	Wejście sygnału zezwolenia na ruch
9	HOM	Wejście sygnału czujnika pola synchronizacji
10	AI1	Wejście analogowe ogólnego przeznaczenia

### 3.2.10 Złącze debuggera: JTAG (J10)

Złącze JTAG służy do podłączenia debuggera w celu zaprogramowania mikrokontrolera oraz kontroli wykonania programu. Układ sygnałów w złączu jest zgodny z debuggerem ST-Link firmy ST Microelectronics.



Typ: złącze wannowe 2.54mm  
Ilość styków: 20

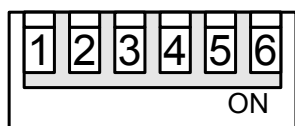


---

## 3.3 Przełączniki i kontrolki

---

### 3.3.1 Przełącznik adresu / trybu pracy



Typ: Przełącznik typu DIP Switch  
Ilość styków: 6

Klawisze 1..4 przełącznika (ADDR) służą do ustawiania adresu modułu na magistrali RS-485 lub CAN. Ustawienie adresu „0” skutkuje ponadto wyróżnieniem modułu jako nadrzędny - sterujący przepływem danych na magistrali. W tym przypadku moduł może pełnić rolę bramy, pośrednicząc w komunikacji między komputerem PC podłączonym do niego przez interfejs USB a pozostałymi modułami na magistrali.

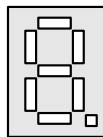
**!** Jeżeli komputer PC jest podłączony przez USB do jednego z modułów na magistrali RS-485 lub CAN, moduł ten powinien mieć adres „0”

Jedynie moduł nadrzędny (o adresie „0”) ma możliwość odczytu i zapisu do buforów komunikacyjnych pozostałych modułów na magistrali. Podłączenie komputera PC do modułu nadrzędnego daje możliwość komunikacji ze wszystkimi modułami na magistrali.

Klawisz 5 przełącznika (MODE) służy do przełączenia w tryb serwisowy - diagnostyczny. W czasie normalnej pracy przełącznik powinien być w pozycji OFF.

Klawisz 6 przełącznika (TERM) służy do załączenia terminacji linii magistrali szeregowej. Terminację należy załączyć, jeżeli dany sterownik jest ostatnim węzłem na magistrali.

### 3.3.2 Wyświetlacz 7-segmentowy



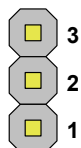
Typ: Przełącznik typu DIP Switch  
Ilość styków: 4

Wyświetlacz 7-segmentowy pokazuje informację o stanie sterownika.

Symbol	Znaczenie
-	Stan wyjściowy po uruchomieniu
S	Tryb regulatora prędkości
P	Tryb regulatora pozycji
C	Tryb regulatora prądu
d	tryb PWM
E	Błąd

Kropka, migająca z częstotliwością 1Hz, informuje o prawidłowej pracy rdzenia mikrokontrolera.

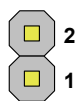
### 3.3.3 Zwory wyboru interfejsu (JP1..2)



Typ: Pin header  
Ilość styków: 3

Zwory JP1 i JP2 służą do wyboru, który z interfejsów szeregowych (RS-485 lub CAN) zostanie wyprowadzony na złącza SERIAL.

### 3.3.4 Zwory wyboru źródła zasilania (JP3..5)



Typ: Pin header  
Ilość styków: 2

Zwory JP3, JP4 i JP5 służą do wyboru źródła zasilania części logicznej sterownika.

Zwora	Zwarta	Rozwarta
JP3	Napięcie +24V dostarczone ze złącza PSUPP	Napięcie +24V dostarczone ze złącza LSUPP
JP4	Napięcie +12V dostarczone przetwornicy zasilanej napięciem +24V	Napięcie +12V dostarczone ze złącza LSUPP
JP5	Napięcie +5V dostarczone ze stabilizatora zasilanego napięciem +12V	Napięcie +5V dostarczone ze złącza LSUPP

---

## 3.4 Tryby pracy

---

Sterownik osi ma możliwość pracy w następujących trybach:

1. MANUAL - sterowanie ręczne. W tym trybie sterownik porusza silnikiem w kierunku oraz z mocą określoną przez napięcie na wejściu analogowym AI0.
2. PWM - zadane wypełnienie. Kierunek ruchu oraz wypełnienie sygnału PWM dla stopnia mocy jest bezpośrednio ustawiany z komputera.
3. SPEED - regulator prędkości. Do sterownika osi wysyłane są z komputera zadane wartości prędkości ruchu. Oprogramowanie sterownika, w zależności od konfiguracji, za pomocą regulatora dąży do uzyskania zadanej prędkości.
4. POSITION - regulator pozycji. Do sterownika osi wysyłane są z komputera zadane wartości położenia osi. Oprogramowanie sterownika, w zależności od konfiguracji, za pomocą regulatora dąży do uzyskania zadanego położenia.
5. CALIBRATION - bazowanie. W tym trybie, przy użyciu regulatora prędkości, sterownik porusza osią w poszukiwaniu granicy pola synchronizacji (miejsca, w którym pojawia się sygnał z czujnika pola synchronizacji) w celu skalibrowania licznika pozycji.
6. ERROR - wykryto błąd. Tryb ten uruchamiany jest przez sterownik w przypadku wykrycia załączenia przełącznika krańcowego, który może świadczyć o położeniu osi poza dopuszczalnym zakresem.

---

## 3.5 Komunikacja z komputerem

---

### 3.5.1 Protokół komunikacji NFv2

W celu unifikacji rozwiązań programowych w urządzeniach do zastosowań robotycznych, wytypowano jeden protokół, który jest wykorzystywany do komunikacji między modułami elektronicznymi. Protokół służy zarówno do wewnętrznej komunikacji między modułami niskopoziomowego sterownika robota, a także między modułami a komputerem nadrzędnym klasy PC. Jest używany również w łączności radiowej w paśmie ISM, wykorzystywanej do zdalnego sterowania bazami mobilnymi przy pomocy bezprzewodowych pulpitów sterowniczych lub komputerów PC wyposażonych w odpowiedni moduł.

Każde urządzenie implementujące protokół obsługuje podzbiór wszystkich zdefiniowanych poleceń. Minimalny zestaw obsługiwanych poleceń zawiera zapytanie o typ urządzenia i numer wersji oprogramowania, zapytanie o stan urządzenia oraz polecenie ustawienia trybu pracy.

nr bajtu	wartość	opis
0	'#'	bajt startu
1	n	numer ostatniego bajtu ramki
2	~n	zanegowana wartość n
3	address	adres modułu podrzędnego
4	command1	kod polecenia/zapytania 1
5	k1	ilość bajtów parametrów polecenia/zapytania 1
...		parametry polecenia/zapytania 1, jeśli występują
6+k1	command2	kod polecenia/zapytania 2
7+k1	k2	ilość bajtów parametrów polecenia/zapytania 2
...		parametry polecenia/zapytania 2, jeśli występują
...		kolejne polecenia/zapytania, jeśli występują
i	commandx	kod polecenia/zapytania x
i+1	kx	ilość bajtów parametrów polecenia/zapytania x
...		parametry polecenia/zapytania x, jeśli występują
n	crc	suma kontrolna liczona z bajtów 3..n-1

Tabela przedstawia budowę pojedynczej ramki komunikacji. Ramka może mieć maksymalną długość 256 bajtów i składać się z dowolnego zestawu poleceń/zapytań. Poszczególne polecenia/zapytania również mogą mieć zmienną długość ze względu na różną ilość lub rozmiar parametrów. Z tego powodu nagłówki polecenia/zapytania zawiera informację o rozmiarze parametrów polecenia/zapytania. Takie podejście zapewnia kompatybilność modułów z zaimplementowaną najnowszą wersją zestawu poleceń z modułami, które wszystkich poleceń nie obsługują.

W przypadku odebrania nieznanej komendy moduł przechodzi do analizy następnych komend w ramce. Ponadto dopuszczalne jest przesyłanie niepełnego lub nad-

miernego zestawu parametrów, np. moduł nadrzędny, który przewiduje sterowanie określoną liczbą  $n$  serwomechanizmów, może wysłać do modułu podrzędnego pełną listę  $n$  nastaw. Moduł podrzędny, który obsługuje mniejszą liczbę serwomechanizmów, ignoruje nadmiarowe parametry. Moduł podrzędny, który obsługuje większą liczbę serwomechanizmów, aktualizuje nastawy tylko dla  $n$  pierwszych serwomechanizmów.

Ze względu na stosowanie protokołu w łączności radiowej, podatnej na zakłócenia, zamiast okresem ciszy początek ramki oznaczony jest bajtem startu oraz zdublowaną informacją o ilości danych w ramce.

W komunikacji przyjęto model master/slave. Na wewnętrznej magistrali robota moduł centralny jest nadrzędnym w stosunku do pozostałych i sprawuje kontrolę nad procesem wymiany danych. W komunikacji centralnego mikrokomputera z komputerem pokładowym rolę urządzenia nadrzędnego sprawuje komputer pokładowy. Każdy cykl komunikacji inicjowany jest przez wysłanie odpowiednio zaadresowanej ramki przez moduł nadrzędny. Taka ramka opatrzona jest adresem docelowego modułu i tylko przez moduł o tym adresie jest interpretowana. Zapytania składają się z samego nagłówka, parametr określający rozmiar listy parametrów wynosi 0. Jeżeli ramka zawiera zapytanie, moduł, do którego jest zaadresowana, ma określony czas na odesłanie odpowiedzi. Po otrzymaniu odpowiedzi lub upływie tego czasu moduł nadrzędny przechodzi do wymiany danych z innymi modułami. Moduł podrzędny w odpowiedzi na zapytanie odsyła ramkę opatrzoną swoim adresem, zawierającą nagłówki zapytań, oraz jako parametry – dane oczekiwane przez moduł nadrzędny.

Protokół komunikacji był inspirowany przez Modbus RTU, jednak znacząco się od niego różni. Opiera się nie na poleceniach zapisu i odczytu rejestrów o wskazanym adresie, lecz na zbiorze poleceń charakterystycznych dla obsługi systemu robotycznego, takich jak zadanie pozycji lub prędkości napędu, odczyt wartości prądu lub wejść cyfrowych itp. Dzięki zawarciu w nagłówku każdego polecenia wchodzącego w skład ramki długości listy parametrów, możliwe jest ignorowanie poleceń niezna-nych przez urządzenie odbiorcze. Ponadto dozwolone jest przysyłanie niepełnego lub nadmiernego zestawu parametrów każdego polecenia. Przykładowo, moduł nadrzędny, który przewiduje sterowanie określoną liczbą  $n$  serwomechanizmów, może wysłać do modułu podrzędnego pełną listę  $n$  nastaw. Moduł podrzędny, który obsługuje mniejszą liczbę serwomechanizmów, ignoruje nadmiarowe parametry. Moduł podrzędny, który obsługuje większą liczbę serwomechanizmów, aktualizuje nastawy tylko dla  $n$  pierwszych serwomechanizmów. Pozwala to np. na stosowanie tego samego pulpitu sterowniczego do manewrowania różnymi bazami mobilnymi, wyposażonymi w różne zestawy podzespołów. Ze względu na stosowanie protokołu w łączności radiowej, podatnej na zakłócenia, zamiast okresem ciszy początek ramki oznaczony jest bajtem startu oraz zdublowaną informacją o ilości danych w ramce.

### 3.5.2 Bufor komunikacyjny

Do realizacji założonych zadań przeznaczono dwa moduły typu 1209A, połączone magistralą danych RS-485. Przy pomocy odpowiedniego ustawienia przełączników nadano im odpowiednie adresy. Obydwa moduły są na magistrali urządzeniami podrzędnymi, nadrzędny jest komputer PC.

Następująca tabela przedstawia listę parametrów zawartych w buforze komunikacyjnym każdego z modułów 1209A.

Komenda	Indeks	Opis
ReadDeviceStatus	0	Odczyt rejestru statusu
ReadDeviceVitals	0..3	Odczyt poziomu napięć w sterowniku
ReadAnalogInputs	0,1	Odczyt wejść analogowych
SetDrivesMode	0	Ustawienie trybu pracy sterownika osi
SetDrivesSpeed	0	Zadanie prędkości
SetDrivesCurrent	0	Zadanie prądu
SetDrivesPosition	0	Zadanie pozycji
SetDrivesPWM	0	Zadanie wypełnienia PWM
SetDrivesMaxCurrent	0	Ustawienie limitu prądu
SetDrivesMaxSpeed	0	Ustawienie limitu prędkości
SetDrivesMinPosition	0	Ustawienie limitu pozycji
SetDrivesMaxPosition	0	Ustawienie limitu pozycji
SetDrivesMisc	0	Ustawienie innych parametrów pracy
ReadDrivesPosition	0	Odczyt pozycji osi
ReadDrivesCurrent	0	Odczyt prądu silnika
ReadDrivesStatus	0	Odczyt rejestru statusu sterownika osi
SetCurrentRegulator	0	Ustawienie parametrów regulatora prądu
SetSpeedRegulator	0	Ustawienie parametrów regulatora prędkości
SetPositionRegulator	0	Ustawienie parametrów regulatora pozycji
ReadDigitalInputs	0	Odczyty wejść cyfrowych
SetDigitalOutputs	0	Ustawienie wyjść binarnych