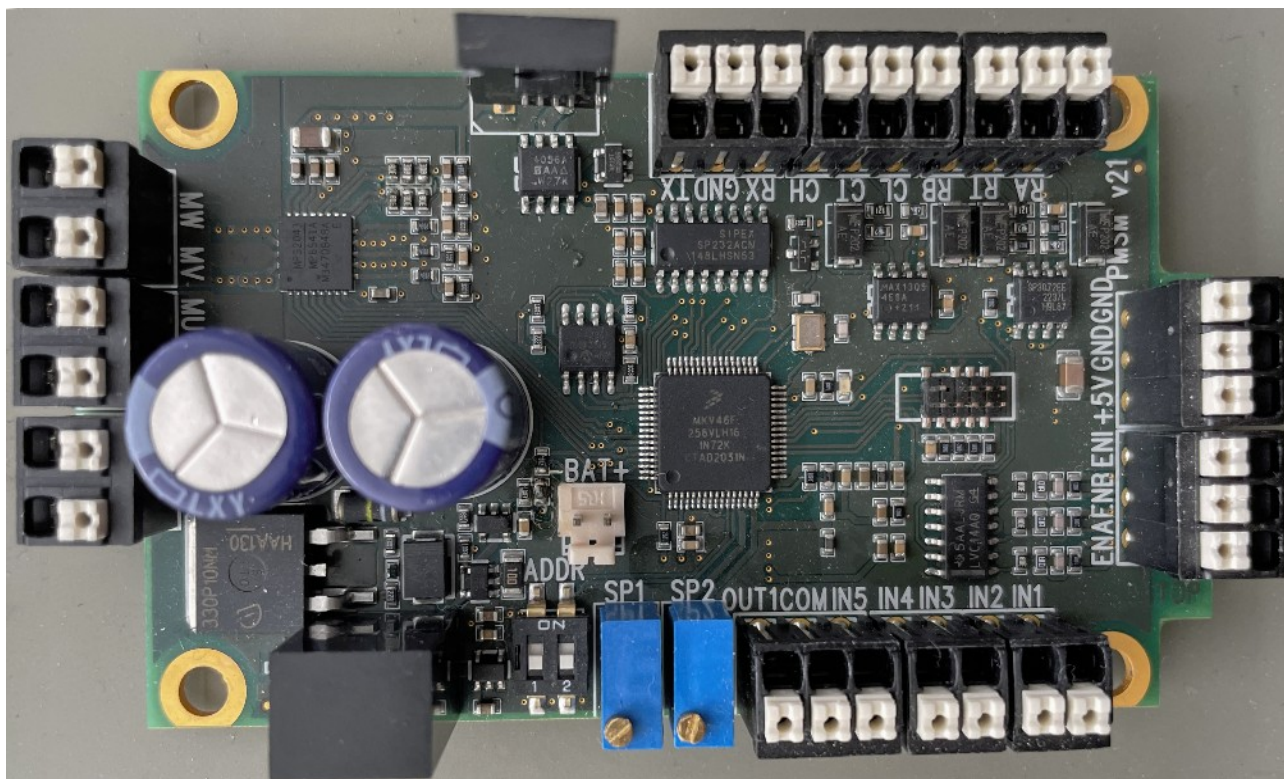


PMSM_v22

Rev. 1.3



Revision history

Date	Doc.Rev	HW	SW	Changes
10. 1. 2023	V1.0	V2.0		Initial Release
19. 9. 2023	V1.1	V2.1		Jump instruction version
03.10.2023	V1.2	V2.1		Actual photo, a small changes
28.10.2023	V1.3	V2.2		Sensor impedance resistor, driver default setting
15.02.2024	V1.4	V2.2	V2.50	Homing, data reload, SW alignment, Monitor dialog, Step Timer

Obsah

1. <u>Úvod</u>	3
1.1. <u>Popis činnosti</u>	3
1.2. <u>Osazená deska plošného spoje</u>	3
1.3. <u>Svorkovnice</u>	4
1.4. <u>Indikační červená LED</u>	5
1.5. <u>Přímé ovládání</u>	5
1.6. <u>Režim SEKVENCER</u>	6
1.7. <u>Dialogové řízení</u>	6
2. <u>Technické parametry</u>	7
2.1. <u>Mechanické parametry</u>	7
2.2. <u>Elektrické parametry</u>	7
2.3. <u>Významové parametry</u>	8
2.4. <u>Teplotní parametry</u>	8
3. <u>Komunikační rozhraní</u>	9
3.1. <u>Popis protokolu MODBUS</u>	9
3.2. <u>Adresovací pravidla</u>	9
3.3. <u>Kódování dat</u>	10
3.4. <u>MODBUS RTU</u>	10
3.5. <u>Užité kódy funkcí</u>	11
3.6. <u>Chyby sériové komunikace</u>	11
3.7. <u>MODBUS ASCII</u>	12
3.8. <u>CAN / CANOPEN</u>	12
3.9. <u>Datové typy</u>	12
3.10. <u>Příkazy sériové komunikace</u>	13
3.11. <u>Ukázky telegramů MODBUS RT v rozhraní RS485</u>	16
3.12. <u>Ukázka čtení mnemotechnického názvu registrů</u>	17
3.13. <u>Ukázka čtení atributů registrů</u>	17
4. <u>MONITOR</u>	18
4.1. <u>Popis zprávy MONITORu v rozhraní RS232</u>	18
4.2. <u>Ukázka 1.sady dema MONITORu</u>	19
4.3. <u>Ukázka čtení a zápisu položky do seznamu MONITORu</u>	19
5. <u>SEKVENCER</u>	20
5.1. <u>Ukázky čtení a zápisu SEKVENCERu</u>	20
5.2. <u>Příkazy SEKVENCERU</u>	20
5.3. <u>Ukázka DEMO programu číslo 1</u>	22
6. <u>Archív neočekávaných událostí LOG</u>	25
6.1. <u>Tabulka kódů LOGu</u>	25
6.2. <u>Ukázka zprávy LOGu</u>	25
6.3. <u>Význam přečtené události</u>	25
7. <u>Použitá literatura</u>	27
7.1. <u>Použité manuály a návody</u>	27

1. Úvod

PMSM_v22 je řídicí elektronika pro ovládání a buzení bezkartáčových synchronních motorů s permanentními magnety, označovaných BLDC a PMSM. Tyto motory vynikají malými rozměry, velkým kroutícím momentem, vysokým rozsahem otáček a dlouhou životností. Pro svou činnost však potřebují buzení cívek točivým magnetickým polem, které obstarává výkonová elektronika.

1.1. Popis činnosti

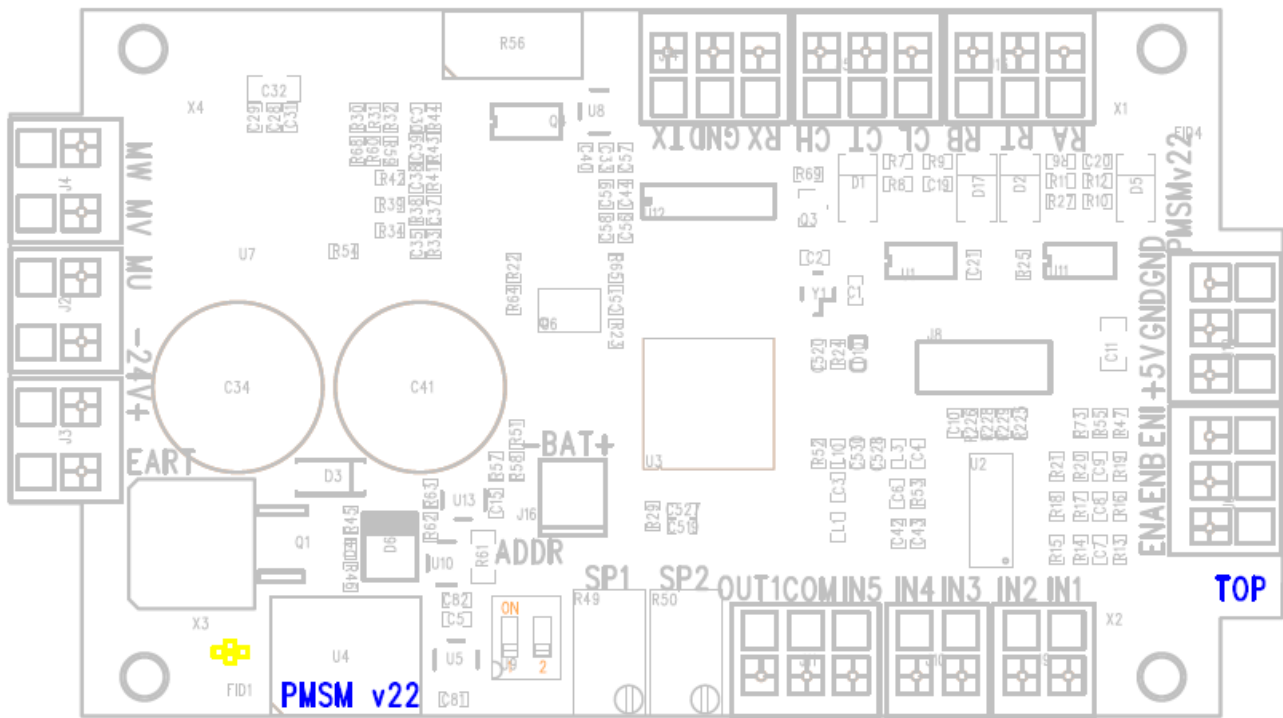
Elektronika PMSM_v22 je napájena stejnosměrným napětím v rozsahu 12 až 36 V. Hodnotu napájecího napětí je třeba určit podle jmenovitého napětí motoru a výkonu motoru. Tyto hodnoty pak určují pracovní proud motoru. Pracovní proud je řízen a omezen elektronickými obvody. Za vstupními svorkami napájecího napětí je vřazen ochranný obvod proti přepólování. Dále je napětí filtrováno a ošetřeno proti napěťovým špičkám. Toto napětí se již přivádí na obvod budiče, kterým je integrovaný výkonový třífázový můstek. Druhá část napětí je přivedena na spínaný zdroj napětí 5V pro napájení elektroniky. Pro napájení mikrokontroléru je ještě sníženo lineárním stabilizátorem na 3,0V. Mikrokontrolér měří, vyhodnocuje a řídí výkonový můstek na základě napěťové a proudové odezvy motoru metodou FOC, tedy metodou řízení magnetického pole sinusovým třífázovým průběhem podle matematicko-fyzikálního algoritmu. Poloha rotoru motoru je odvozena od tří magnetických čidel, které jsou součástí motoru. Elektronika může být doplněna Li-Ion akumulátorem, zajišťujícím po omezenou dobu vyhodnocení změny polohy rotoru motoru pro případ výpadku napájení. Proti přepěťovým špičkám a zejména pro ošetření přepětí při generátorovém režimu motoru je zapojen topný odpor spínaný výkonovým FET tranzistorem. Instalovaný program mikrokontroléru spolu s příslušnými oddělovacími a budícími obvody může komunikovat po sběrnici RS232, RS485 a CAN. Pro nastavení jednotlivých parametrů je využit síťový protokol MODBUS RT. Adresace v síti se provádí DIP přepínači. Sběrnice RS232 je vhodná pro monitorování činnosti elektroniky a motoru. CAN sběrnice může být využita pro vzájemnou synchronizaci více motorů. Jednotlivé stavy elektroniky a motoru jsou indikovány různě blikající červenou LED. Elektronika umožňuje přímé ovládání pohybu motoru přes galvanicky oddělené VSTUPY, autonomní činnost uživatelem definovaným programem SEKVENCER a dialogovým řízením komunikací jednotlivých sběrnic. Galvanicky oddělený výstup může spínat následné obvody proudem až 0,5A. Rychlost motoru je pro přímé ovládání nastavitelná na dvou potenciometrech, pro autonomní řízení příkazy SEKVENCERu a pro dialogové řízení jednotlivými komunikačními příkazy.

1.2. Osazená deska plošného spoje

Deska elektroniky je oboustranně osazený plošný spoj s připojovacími svorkovnicemi a jednotlivými elektronickými obvody. Deska je umístěna v přístrojové krabici s vývodkami pro jednotlivá připojení.

Chlazení výkonových součástek je zajištěno částečně na vlastní desce elektroniky, částečně hliníkovou skříní, ve které je elektronika umístěna. Provozní teplota je měřena termistorovým teploměrem poblíž výkonových spínačů motoru a lze ji zobrazit jako parametr MONITOREM nebo sériovou komunikací.

Na víku hliníkové skříně může být podle charakteru aplikace připevněn zálohovací akumulátor typu Li-Pol o jmenovité kapacitě 2500mAh. Nabíjení i vybíjení akumulátoru je řízeno mikrokontrolérem v doporučených provozních hodnotách. Akumulátor LP475085 má kromě toho vlastní BMS ochranu.



1.3. Svorkovnice

Označení	Význam
EART	Zemní vstup, propojuje svorku s krabičkou přístroje
+24V	Napájecí napětí, kladný pól, rozsah uveden v tabulce technických parametrů
-24V	Napájecí napětí, záporný pól, rozsah uveden v tabulce technických parametrů
MU	Svorka fáze elektromotoru U
MV	Svorka fáze elektromotoru V
MW	Svorka fáze elektromotoru W
TX	Sériová komunikace RS232, signál TxD
GND	Sériová komunikace RS232, signál GND
RX	Sériová komunikace RS232, signál RxD
CH	Sériová komunikace CAN BUS, signál CANH
CT	Sériová komunikace CAN BUS, terminátor, aktivuje se propojením s CAN_L
CL	Sériová komunikace CAN BUS, signál CANL
RB	Sériová komunikace RS485, signál D- , označovaný jako B
RT	Sériová komunikace RS485, terminátor, aktivuje se propojením s RA
RA	Sériová komunikace RS485, signál D+ , označovaný jako A
GND	Zemní svorka komunikace RS485, CAN a enkodérového snímače
+5V	Napájení +5V pro enkodérový snímač motoru
ENI	Signál enkodérového snímače I – PWM pozice rotoru motoru
ENB	Signál enkodérového snímače B
ENA	Signál enkodérového snímače A

Označení	Význam
IN1	Galvanicky oddělený vstup č.1, pravotočivý pohyb motoru nebo dle SEKVENCERu
IN2	Galvanicky oddělený vstup č.2, vždy ve funkci STOP
IN3	Galvanicky oddělený vstup č.3, levotočivý pohyb motoru nebo dle SEKVENCERu
IN4	Galvanicky oddělený vstup č.4, pravý doraz nebo dle SEKVENCERu
IN5	Galvanicky oddělený vstup č.5, levý doraz nebo dle SEKVENCERu
COM	Společný pól + nebo + napájení 10-40VDC vstupů a výstupu
OUT	Galvanicky oddělený výstup 10-40V/0,5A, význam dle SEKVENCERu
SP2	Potenciometr pravotočivé rychlosti motoru
SP1	Potenciometr levotočivé rychlosti motoru
BAT+	Kladný pól Li-Ion akumulátoru pro zálohování pozice motoru
BAT-	Záporný pól Li-Ion akumulátoru pro zálohování pozice motoru
ADDR2	Přepínač adresy komunikace RS485, binárně 10b, přičítá k základní adrese 0x11
ADDR1	Přepínač adresy komunikace RS485, binárně 01b, přičítá k základní adrese 0x11
D10	Indikační červená LED

1.4. Indikační červená LED

Svit LED	Význam
Slabý trvalý	Nefunkční mikrokontrolér nebo chyba programu
Pomalou bliká	Motor v klidu, budiče odpojené
Velmi rychle bliká	Přepětí, podpětí, přetížení budiče
Krátké záblesky	Režim zálohy polohy – napájení je vypnuto, přepnuto na Li-Ion akumulátor
Nesvítí	Není připojeno napájecí napětí nebo je příliš nízké
Rychle bliká	Motor v chodu
Nesouměrně bliká	Režim čekání SEKVENCERU

1.5. Přímé ovládání

Přímé ovládání je základní způsob použití PMSM_v22 v řízení BLDC/PMSM motoru. Po přivedení napájecího napětí, propojení fází motoru a alespoň vstupů 1, 2 a 3 lze nastavením rychlosti na potenciometrech SP1 a SP2 uvést motor do požadovaných otáček. Krátkým signálem na vstupu 1 se motor roztočí pravotočivě a točí se, dokud není aktivní signál vstupu 2. Vstup 3 roztočí motor levotočivě. Pokud má být pohyb motoru omezen např. Koncovými snímači, je třeba je zapojit na vstupy 4 a 5. Při jejich sepnutí dojde k zastavení motoru a spuštění je možné pouze v opačném směru vstupy 1 nebo 3. Samostatné sepnutí Vstupu 2 má vždy význam TOTAL STOP. Přidržením Vstupu 2 v aktivním stavu a sepnutím Vstupu 1, resp. Vstupu 3 se aktivuje funkce TIP, která roztočí motor nejnižšími možnými otáčkami v pravotočivém, resp. Levotočivém směru bez kontroly Vstupu 4 a Vstupu 5. Další funkcí je sepnutí vstupů 1, 2 a 3 najednou na 1s, kdy dojde k přepnutí přímého ovládání do režimu SEKVENCER. Podle nastavení parametru Driver Default jsou aktivovány budiče motoru. Vypnout je lze sepnutím Vstupu 2 po dobu 1 s.

1.6. Režim SEKVENCER

Režim SEKVENCER je určen hlavně pro polohové aplikace. Na základě uživatelem sestaveného jednoduchého programu probíhá rozběh, zastavení v požadované vzdálenosti, čekání na vstup nebo časové zpoždění. Může být ovládán výstup, program se může vykonávat v předem nastaveném počtu cyklů, které jsou čítány. Větvení programu lze uskutečnit podle stavu vstupů, předvoleb čítače a měřené polohy. Režim SEKVENCER lze spouštět ihned po zapnutí, příkazem po sériové lince nebo krátkým sepnutím vstupů 1,2 a 3. Tento režim představuje nejrychlejší možnou odezvu, neboť nedochází k časové prodlevě komunikací po sériových linkách. Jednotlivé kroky programu se zadávají a upravují v nadstavbovém grafickém prostředí na PC pomocí rozšířeného protokolu MODBUS RT. Využít lze i přednastavené sady programů a ty upravit pro aplikaci. Pro ladění a kontrolu chodu programu SEKVENCERu lze použít MONITOR. Jednotlivé řádky programu je možné zpomalit nastavením předvolby časovače čekání po vykonání instrukce.

1.7. Dialogové řízení

Dialogové řízení přenáší zadávání jednotlivých pokynů na nadřazený počítač nebo programovatelný logický automat buď pomocí sériové linky nebo využitím logických vstupů a výstupu. Příkazy komunikačních rozhraní jsou popsány v příslušné kapitole. Základním komunikačním protokolem je MODBUS RT s modifikací pro PMSM_v22.

Při PLC řízení využitím logických vstupů a výstupu se zařízení chová stejně jako v přímém řízení. PLC tedy ovládá vstupy 1 a 3 krátkým impulzem pro zapnutí motoru v pravotočivém, resp. Levotočivém směru, a vstupem 2 pro zastavení. Vstupy 4 a 5 mohou simulovat koncové dorazy úrovní. Rychlosti jsou dány nastavením potenciometrů SP1 a SP2, zrychlení a další parametry jsou implicitní.

Při PLC, resp. PC řízení se využívá sériová komunikace MODBUS RT. Tento způsob přináší rozšíření v možnosti změn parametrů pomocí jednotlivých příkazů, jejichž popis je v kapitole 3.1. Jedná se o síťovou komunikaci MASTER-SLAVE s jejími přednostmi i omezeními. Jistým omezením může být pomalejší odezva. Lze však kombinovat s řízením pomocí logických vstupů. Výstup lze v tomto režimu měnit pouze sériovou komunikací.

Variantou dialogového řízení je MONITOR. Pracuje s rozhraním RS232 s protokolem MODBUS ASCII. Nelze použít pro síťovou komunikaci a má omezený dosah pro umístění počítače nebo jednoduchého terminálu. Příkazy jsou stejné jako v síťové komunikaci, jejich přenos však není zpětně potvrzován.

2. Technické parametry

Zařízení charakterizují níže uvedené parametry v nejčastějším nastavení a konfiguraci. Mohou se měnit v závislosti na využití a nastavení či změně registrů.

2.1. Mechanické parametry

Symbol	Veličina	Hodnota	Jednotka
W	Délka desky elektroniky PMSM_v22	96,8	mm
H	Šířka desky elektroniky PMSM_v22	53,8	mm
D	Hloubka desky elektroniky PMSM_v22	31,2	mm
M	Hmotnost desky elektroniky PMSM_v22	56	g

2.2. Elektrické parametry

Symbol	Veličina	Hodnota	Poznámka
V _{min}	Minimální hodnota napájecího napětí	10 V DC	HW limit
V _{max}	Maximální hodnota napájecího napětí	39 V DC	HW limit, nastavení R9, Power Voltage
P _{typ}	Jmenovitý příkon bez nabíjení akumulátoru a budičů	0,5 W	
V _{bat}	Jmenovité napětí zálohovacího akumulátoru	3,7 V	3.0-4.1V Li-Po
T _{bat}	Typická doba zálohování polohy při nabitém akumulátoru	24 hodin	
W _{bat}	Typická doba nabíjení zálohovacího akumulátoru	8 hodin	30-100%
V _{in}	Jmenovité napětí číslicových vstupů	24 V DC	10-40 V rozsah
I _{in}	Jmenovitý proud číslicových vstupů	0,01 A	Při 24V
I _{out}	Maximální proud číslicového výstupu	0,5 A	10-40 V rozsah
U _{typ}	Typická hodnota napájecího napětí BLDC/PMSM motoru	24 V	10-40 V rozsah
I _{max}	Maximální hodnota špičkového proudu motoru	5 A	omezeno
R _{max}	Maximální topný výkon brzdného odporu	25 W	S chlazením
M _{reg}	Vyhrazená velikost paměti EEPROM pro REGISTRY	400	registr
M _{mon}	Vyhrazená velikost paměti EEPROM pro MONITOR	20	parametr
M _{seq}	Vyhrazená velikost paměti EEPROM pro SEKVENCER	200	záznam
M _{log}	Vyhrazená velikost paměti RAM pro záznamy LOGu	100	zápis
D _{mem}	Jmenovitá doba podržení dat v paměti EEPROM	200	roků
L485	Doporučená maximální délka kabelu pro rozhraní RS485	50	m
LCAN	Doporučená maximální délka kabelu pro rozhraní CAN	25	m
L232	Doporučená maximální délka kabelu pro rozhraní RS232	15	m

Symbol	Veličina	Hodnota	Poznámka
Smax	Maximální otáčky motoru (liší se typem motoru)	3000	ot/min
Amax	Maximální zrychlení motoru (liší se typem motoru)	10000	Delta ot/min

2.3. Významové parametry

Typ	Význam
LED	Indikuje různé stavy elektroniky pro rychlé vyhodnocení chodu i poruchy
Zálohovací baterie	Ve stavu bez napájecího napětí zálohuje a aktualizuje pozici rotoru motoru
Vstupy	5 vstupů umožňuje změnu stavu a řízení chodu elektroniky
Výstup	1 výstup spíná nebo rozpíná pro indikaci nebo předání řízení dle SEKVENCERU nebo sériové komunikace
Napájení	Napájecí zdroj musí pokrýt s rezervou příkon motoru a elektroniky. Napájecí napětí zdroje musí odpovídat napětí motoru, ale nesmí překročit maximální povolené napětí elektroniky. Elektronika PMSM není ošetřena tavnou pojistkou. Ošetřeno je pouze přepólování. Nadproud v rozsahu maximálního povoleného napětí je elektronicky omezen. Je však potřeba věnovat napájecímu zdroji patřičnou pozornost. Doporučuje se ošetřit přívodní vodiče u zdroje i u PMSM odrušovacími tlumivkami.

2.4. Teplotní parametry

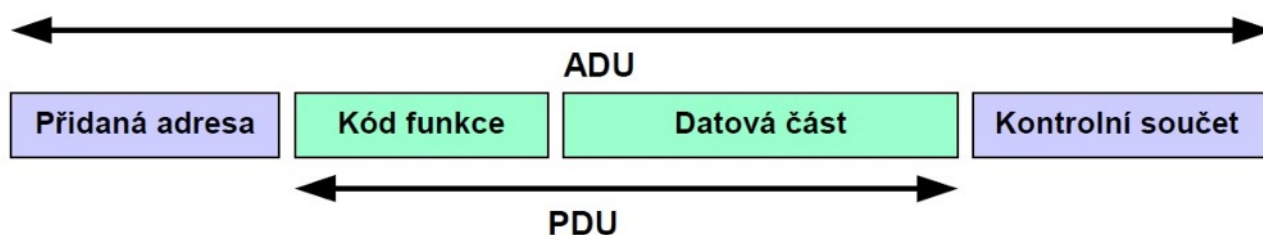
Symbol	Description	Min	Typ	Max	Unit
T_AMB	Pracovní teplota okolí	-40		45	°C
T_STOR	Skladovací teplota okolí	-40		50	°C
H_AMB	Pracovní vlhkost vzduchu	10		80	%RH
T_STOR	Skladovací vlhkost vzduchu	10		90	%RH

3. Komunikační rozhraní

Elektronika PMSM_v22 má vestavěná tři komunikační rozhraní – RS232, RS485 a CAN. Každé komunikační rozhraní má svůj specifický budič nebo oddělovač.

3.1. Popis protokolu MODBUS

Protokol MODBUS definuje strukturu zprávy na úrovni protokolu (PDU – Protocol Data Unit) nezávisle na typu komunikační vrstvy. V závislosti na typu sítě, na které je protokol použit, je PDU rozšířena o další části a tvoří tak zprávu na aplikační úrovni (ADU – Application Data Unit).



Kód funkce udává serveru jaký druh operace má provést. Rozsah kódů je 1 až 255, přičemž kódy 128 až 255 jsou vyhrazeny pro oznámení záporné odpovědi (chyby). Některé kódy funkcí obsahují i kód podfunkce upřesňující blíže požadovanou operaci. Obsah datové části zprávy poslané klientem slouží serveru k uskutečnění operace určené kódem funkce. Obsahem může být například adresa a počet vstupů, které má server přečíst nebo hodnota registrů, které má server zapsat. U některých funkcí nejsou pro provedení operace zapotřebí další data a v tom případě může datová část ve zprávě úplně chybět.

Pokud při provádění požadované operace nedojde k chybě, odpoví server zprávou, která v poli Kód funkce obsahuje kód provedené (požadované) funkce jako indikaci úspěšného vykonání požadavku. V datové části odpovědi předá server klientovi požadovaná data (pokud jsou nějaká).

Protokol MODBUS definuje 3 základní typy zpráv (PDU):

- Požadavek (Request PDU)
 - 1 byte Kód funkce
 - n bytů Datová část požadavku – adresa, proměnné, počet proměnných...
- Odpověď (Response PDU)
 - 1 byte Kód funkce (kopie z požadavku)
 - m bytů Datová část odpovědi – přečtené vstupy, stav zařízení ...
- Záporná odpověď (Exception Response PDU)
 - 1 byte Kód funkce + 80h (indikace neúspěchu)
 - 1 byte Chybový kód (identifikace chyby)

3.2. Adresovací pravidla

Adresní prostor zahrnuje 256 různých adres. V zařízení je podporována broadcast adresa 0x00, dále pak multicast adresy 0xN0 v rozsahu 1 až 247. Adresy 248 až 255 jsou rezervovány. Adresu zařízení lze v rozsahu 0-3 měnit DIP přepínačem na desce a/nebo změnou registru. Obě hodnoty se

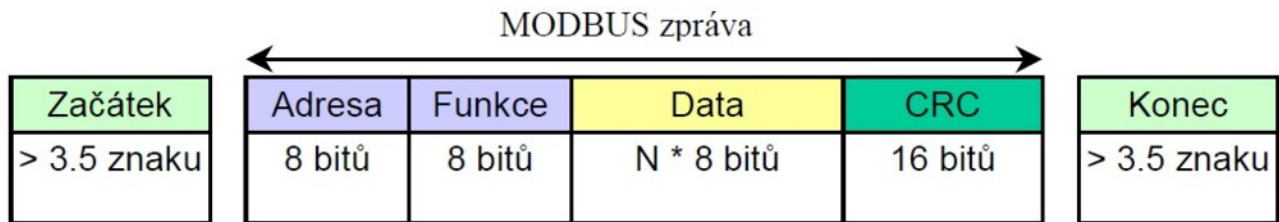
sčítají.

3.3. Kódování dat

MODBUS používá tzv. „Big-endian“ reprezentaci dat. To znamená, že při posílání datových položek delších než 1 byte je jako první poslán nejvyšší byte a jako poslední nejnižší byte.

Např.: 16-bitová položka s hodnotou 1234h - nejprve je poslán byte 12h, poté byte 34h

3.4. MODBUS RTU



Formát bytu – 11 bitů: 1 start bit, 8 datových bitů, 1 bit parita, 1 stop bit

Výpočet kontrolního součtu CRC popisuje následující zápis v C jazyce:

```
uint16_t ModRTU_CRC16 (uint8_t *nData, uint16_t wLength){
    uint16_t crc = 0xFFFF;
    while (wLength--){
        crc ^= (uint16_t)(*nData++);    // XOR byte into least sig. byte of crc
        for (int i = 0; i < 8; i++){    // Loop over each bit
            if ((crc & 0x0001) != 0) { // If the LSB is set
                crc >>= 1;           // Shift right
                crc ^= 0xA001;        // XOR 0xA001
            }
            else{                     // Else LSB is not set
                crc >>= 1;           // Just shift right
            }
        }
    }
    return crc;
}
```

3.5. Užité kódy funkcí

Zařízení užívá omezeně veřejné kódy funkcí s ohledem na jejich obtížnou implementaci v dalších komunikacích. Ve velké míře pracuje s uživatelskými kódy funkcí. Jedná se o kódy 0x41 až 0x4A, které jsou výrazným rozšířením implementace MODBUS RT a doporučujeme přednostně je užívat.

Mnemo	Kód	Typ	Popis
READ_DO	0x01	Public	Čtení číslicového výstupu
READ_DI	0x02	Public	Čtení číslicových vstupů
READ_AI	0x04	Public	Čtení analogových vstupů
WRITE_DO	0x05	Public	Zápis číslicového výstupu
READ_DIAG	0x08	Public	
READ_CEC	0x0B	Public	
READ_LOG	0x0C	Public	Čtení logu
READ_REGISTER	0x41	User	Čtení obsahu registru dle tabulky registrů
WRITE_REGISTER	0x42	User	Zápis do registru dle tabulky registrů
READ_RECORD	0x43	User	Čtení obsahu SEKVENCERu z paměti RAM
WRITE_RECORD	0x44	User	Zápis do paměti SEKVENCERu – pouze do RAM
READ_REG_NAME	0x45	User	Čtení mnemotechnického názvu registrů
READ_REG_ATTRIBUT	0x46	User	Čtení atributů registrů
READ_BLOCK	0x47	User	Čtení bloku paměti EEPROM – pouze pro ladící účely
WRITE_BLOCK	0x48	User	Zápis bloku paměti EEPROM – pouze pro ladící účely
READ_MONITOR	0x49	User	Čtení záznamu MONITORU
WRITE_MONITOR	0x4A	User	Zápis záznamu MONITORU

3.6. Chyby sériové komunikace

Na správně zadanou a přenesenou zprávu odpoví zařízení potvrzovací zprávou DATA_OK. Pokud je zpráva přijata, ale neodpovídá např. Předpokládaný počet dat, zařízení pokyn nevykoná a odpoví kódem detekované chyby, přičemž nastaví nejvyšší bit formátu dat do jedničky, tj. provede logický součet 0x80 s kódem. Nedojde-li potvrzovací ani chybová odpověď, je chyba v rámci zprávy – špatná adresa, neúplná zpráva, zkomolené znaky, špatný CRC, jiná komunikační rychlost a pod.

Potvrzená zpráva

Adresa	Kód	Délka	Data	CRC	Popis
0x11	0x42		0x00	0x1165	Potvrzení zápisu do registru - "Data_OK"

Odmítnutá zpráva

Adresa	Kód	Délka	Data	CRC	Popis
0x11	0xC2		0x02	0xF164	Odmítnutí zápisu "INVAL_REGADR"

Tabulka chyb

Mnemo	Kód	Popis
DATA_OK	0x00	Přenos proběhl a data byla použita
INVAL_CMD	0x01	Zápis dat neproběhl – neplatný příkaz
INVAL_REGADR	0x02	Zápis dat neproběhl – neplatné číslo registru
INVAL_DATA	0x03	Zápis dat neproběhl – data nejsou v očekávaném formátu
UNKNOWN_ERR	0x04	Neznámá chyba
LONG_RUN	0x05	Zápis dat vyžaduje delší čas, zpravidla při zápisu do EEPROM
DEV_BUSY	0x06	Zařízení je zaneprázdněno
FAIL_SERVICE	0x07	Neznámá služba
REQ_SERVICE	0x08	Chyba zařízení

3.7. MODBUS ASCII

Protokol MODBUS ASCII je použit pro výstup měřených hodnot a provozních údajů na rozhraní RS232 v režimu MONITOR. Obsah komunikace je nastavitelný a vlastní protokol lze v omezeném rozsahu upravit pro potřeby použitého monitorovacího zařízení, viz kapitola MONITOR.

Začátek	Adresa	Funkce	Data	LRC	Konec
znak „:“	2 znaky	2 znaky	0 až 2*252 znaků	2 znaky	2 znaky CR, LF

Formát bytu – 10 bitů: 1 start bit, 7 datových bitů, 1 bit parita, 1 stop bit

Výpočet kontrolního součtu LRC popisuje následující zápis v C jazyce:

```
uint8_t ModASCII_CRC8 (uint8_t *nData, uint16_t wLength){
    uint8_t nLRC = 0 ; // LRC char initialized
    for (int i = 0; i < wLength; i++)
        nLRC += *nData++;
    return (uint8_t)(-nLRC);
}
```

3.8. CAN / CANOPEN

Komunikační rozhraní CAN je určeno pro rychlou operační komunikaci mezi více PMSM zařízení. V základní verzi není implementován žádný protokol a předpokládá se implementace na základě potřeb uživatelů.

3.9. Datové typy

V odpovědi na čtení registru je po kódu uveden datový typ vyjadřující jakým způsobem jsou zakódována data a jaký je počet dat v bytech.

Tabulka datových typů

Mnemo	Kód	Popis
BOOL	0x11	Dvoustavová jednobytová hodnota, stavy 0->0 a FF->1
UINT8	0x01	Jednobytová neznaménková celočíselná hodnota, rozsah 0 až 255
INT8	0x81	Jednobytová znaménková celočíselná hodnota, rozsah -128 až 127
UINT16	0x02	Dvoubytová neznaménková celočíselná hodnota, rozsah 0 až 65535
INT16	0x82	Dvoubytová znaménková celočíselná hodnota, rozsah -32768 až 32767
UINT32	0x04	Čtyřbytová neznaménková celočíselná hodnota, rozsah 0 až 4294967287
INT32	0x84	Čtyřbytová znaménková celočíselná hodnota, rozsah -2147483642 až 2147483641
UINT64	0x08	Osmibytová neznaménková celočíselná hodnota, rozsah 1.8446744E19
INT64	0x88	Osmibytová znaménková celočíselná hodnota rozsah -9.223371995E18 až 9.223371995E18
FLOAT	0x44	Čtyřbytové desetinné číslo, rozsah
DOUBLE	0x48	Osmibytové desetinné číslo, rozsah
STRING	0x78	Znakový řetězec o délce 8 znaků

Dojde-li k definované chybě v příjmu telegramu, je v odpovědi na místě kódu odeslán logický součet původního kódu s 0x80 a na místě dat kód dle Tabulky chyb.

3.10. Příkazy sériové komunikace

V tabulce registrů jsou použity tyto zkratky:

- Reg číslo registru
- Formát datový formát odpovídající programovacím standardům
- C konstantní parametr, nelze přepsat ani uložit
- R parametr je určen pouze pro čtení, může však být měněn chodem programu
- E kopie parametru může být uložena příslušným příkazem do paměti EEPROM
- S systémový parametre
- Help vyčitatelný symbolický název registru
- Def implicitní, defaultní hodnota parametru

Reg	Formát	C	R	E	S	Help	Def	Popis
0	uint16	1	1	0	0	Registers Size	0	Celkový počet dostupných registrů
1	string	1	1	0	0	Application	0	Jméno aplikace pro identifikaci v síti
2	string	0	0	1	0	Device Name	4	Uživatelské jméno zařízení pro orientaci v síti
3	string	1	1	0	0	HW Version	0	Číslo verze desky PCB a osazení součástkami
4	string	1	1	0	0	SW Version	0	Číslo nebo jméno verze software procesoru
5	uint32	1	1	0	0	Working Time	0	Čas v ms od resetu nebo zapnutí zařízení
6	uint16	0	0	0	0	Set Default	0	Nastaví defaultní hodnoty registrů, -1 pro všechny registry, existující číslo registru pro daný registr
7	uint16	0	0	0	0	Load Data	0	Načte hodnoty registrů z EEPROM, -1 pro všechny registry, existující číslo registru pro daný registr

Reg	Formát	C	R	E	S	Help	Def	Popis
8	uint16	0	0	0	0	Save Data	0	Uloží hodnoty registrů do EEPROM, -1 pro všechny registry, existující číslo pro daný registr
9	float	1	1	0	0	Power Voltage	0	Měřená hodnota napájecího napětí
10	float	1	1	0	0	UPS Battery Volt	0	Měřená hodnota napětí záložní baterie, není-li připojena cca 5V
11	float	1	1	0	0	Temperature °C	0	Teplota desky v blízkosti budičů a brzděného odporu
12	float	1	1	0	0	Manual Speed 1	0	Nastavení potenciometru SPEED 1, rozsah 0-1
13	float	1	1	0	0	Manual Speed 1	0	Nastavení potenciometru SPEED 2, rozsah 0-1
14	float	0	0	1	1	Trip Voltage	28	Maximální napětí na budičích, překročením dojde k sepnutí topného odporu
15	uint16	1	0	0	1	Reset Count	0	Čítač průchodů RESETEm procesoru, zápisem 0 dojde k vynulování, zápis 0x7530 provede RESET
16	uint16	1	1	0	0	Log Size	0	Aktuální vrchol uložených záznamů LOGu
100	float	1	1	0	0	Program ID	0	Identifikátor programu SEKVENCER
101	bool	0	0	1	0	Start Mode	0	Činnost po RESETu, 0 přímé ovládání, 1 start SEKVENCERu
102	bool	0	0	0	0	Sequencer Mode	0	1 pro zapnutí, 0 pro vypnutí SEKVENCERu, zohledňuje podmínky pro změnu stavu
103	uint32	0	0	1	0	Cycle Counter	0	Čítač cyklů SEKVENCERu, musí být inicializován ve vlastním programu SEKVENCERu
104	uint32	1	0	0	0	Sequencer Timer	0	Časovač ms SEKVENCERu, musí být inicializován v programu SEKVENCERu
105	uint16	0	0	0	0	Step Counter	0	Aktuální číslo kroku SEKVENCERu
106	uint16	0	0	0	0	Load Sequencer	0	Načte programové kroky SEKVENCERu z EEPROM, -1 pro celý program, existující číslo kroku načte daný krok
107	uint16	0	0	0	0	Save Sequencer	0	Uloží programové kroky SEKVENCERu do EEPROM, -1 pro celý program, existující číslo kroku uloží daný krok
108	uint8	0	0	1	0	Sequencer Demo	0	Index Demo programu SEKVENCERu v rozsahu 1-9, 0 nepřepisuje uložený SEKVENCER v RAM paměti
109	uint32	0	0	1	0	Position Accuracy	100	Požadovaná přesnost dojetí do polohy v impulzech
110	int32	0	0	0	0	Memory Cell	0	Paměťová buňka pro všeobecné použití v SEKVENCERu
111	uint32	0	0	0	0	Sequencer Timer	0	Časovač ms v programu SEKVENCER, Hodnota 0 nuluje časovač, jakákoliv jiná hodnota nastaví a spustí časovač
112	float	0	0	1	0	Homing Ramp Up	200	Předvolba zrychlení při HOMING příkazu SEKVENCERu

Reg	Formát	C	R	E	S	Help	Def	Popis
113	float	0	0	1	0	Homing Ramp Down	200	Předvolba zpomalení při HOMING příkazu SEKVENCERu
114	float	0	0	1	0	Homing Speed	300	Předvolba rychlosti při HOMING příkazu SEKVENCERu
115	int32	0	0	1	0	Homing Take Out	5000	Vzdálenost vyjetí a pro příkaz HOMING
116	int32	0	0	0	0	Origin Shift	0	Relativní posun předvolby vzdálenosti v Sekvenceru, funkční u STOP_AT_POSITION a RUN_TO_POSITION
117	uint32	0	0	0	0	Step Timer	0	Časovač čekání v řádku SEKVENCERu před další akcí, zápis 0 ruší čekání v aktuálním řádku
118	uint32	0	0	1	0	Preset StepTimer	0	Předvolba časovače Step Timer v ms, 0 nečeká
200	uint8	0	0	1	0	Protocol Select	0	Index komunikačního protokolu: 0 modBus RTU, 1 a více zatím nefunkční, připraveno pro uživatelské komunikační protokoly
201	uint8	0	0	1	0	Baud Rate Select	7	Index komunikační rychlosti RS485: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200
202	uint8	0	0	1	1	Base Address	17	Bázova adresa pro RS485, pro komunikaci se užívá součet s "Offset Address", hexadecimálně 0x11
203	uint8	1	1	0	1	Offset Address	0	Načtený ofset komunikační adresy z DIP přepínače, adresa zařízení je součtem se "Slave Address"
204	uint16	0	0	1	0	RTU Latent Bits	35	Počet taktů komunikační rychlosti po posledním bytu pro platnost celého telegramu
205	uint16	0	0	0	0	Message OK	0	Počet bezchybných telegramů RS485 komunikace
206	uint16	0	0	0	0	Message Error	0	Počet telegramů s definovanou chybou ERROR
207	uint32	0	0	0	0	Message Total	0	Celkový počet komunikovaných telegramů RS485
208	uint16	0	0	1	0	Monitor Timer	1000	Opakovací doba MONITORu mezi sadou vyslaných údajů, 0 zakáže výstup MONITORu
209	uint8	0	0	1	0	Monitor BaudRate	7	Index komunikační rychlosti RS232: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200
210	uint8	0	0	1	0	Mon. CRC Enable	0	Povolení kontrolního součtu CRC na konci zprávy MONITORu před koncovými znaky
211	uint8	0	0	1	0	Start Char	58	Úvodní znak zprávy MONITORu, defaultně :
212	uint8	0	0	1	0	Separator	32	Oddělovací znak MONITORu mezi zprávami
213	uint8	0	0	1	0	Stop Char1	10	První zakončovací znak zprávy MONITORu
214	uint8	0	0	1	0	Stop Char2	13	Druhý zakončovací znak zprávy MONITORu
215	uint16	0	0	0	0	Load Monitor	0	Načte data MONITORu z EEPROM, -1 pro všechny záznamy, existující číslo záznamu pro daný záznam

Reg	Formát	C	R	E	S	Help	Def	Popis
216	uint16	0	0	0	0	Save Monitor	0	Uloží data MONITORu do EEPROM, -1 pro všechny záznamy, existující číslo záznamu pro daný záznam
217	uint8	0	0	1	0	Monitor Demo	0	Index DEMO programu MONITORu v rozsahu 1-9, 0 nepřepisuje uložený monitor
300	uint8	1	1	0	0	Run State	0	Stavy řízení motoru FAULT(0), INIT(1), STOP(2), RUN(3), WAIT(4), SLEEP(5)
301	bool	1	0	0	0	State Switch	0	Stav budičů motoru, 0 vypnutý, 1 zapnutý
302	float	1	1	0	0	Actual Speed	0	Aktuální rychlost v ot/min * 474.6485
303	float	1	1	0	0	Speed Ramp Up	4000	Zrychlení
304	float	1	1	0	0	Speed Ramp Down	4000	Zpomalení
305	float	0	0	0	0	Required Speed	0	Požadovaná rychlost v ot/min
306	int32	1	0	0	0	Position	0	Čítač pozice enkodérového snímače 4096 imp/ot
307	bool	1	0	0	0	Input 1	0	Čtení INPUT1, zápis simuluje stisk INPUT1 1ms
308	bool	1	0	0	0	Input 2	0	Čtení INPUT2, zápis simuluje stisk INPUT2 1ms
309	bool	1	0	0	0	Input 3	0	Čtení INPUT3, zápis simuluje stisk INPUT3 1ms
310	bool	1	0	0	0	Input 4	0	Čtení INPUT4, zápis simuluje stisk INPUT4 1ms
311	bool	1	0	0	0	Input 5	0	Čtení INPUT5, zápis simuluje stisk INPUT5 1ms
312	bool	0	0	1	0	OUTPUT 1	0	Čtení stavu OUTPUT1, zápis přepíše stav OUTPUT1
313	uint16	0	0	1	1	Synchro Shift	0	Synchronizační posun ALIGNMENTu, 0 aktivuje
314	Bool	0	0	1	0	Driver Default	0	Sepnutí budičů po zapnutí a ponechání sepnutí v Přímém ovládaní po STOPu
400	uint8	0	0	1	1	Motor Select	0	Číslo sady parametrů motoru
401	string	1	1	0	0	Motor Name	0	Název motoru

3.11. Ukázky telegramů MODBUS RT v rozhraní RS485

Níže je uvedeno několik příkladů na čtení obsahu registru, zápis do registru, odpovědi na čtení a zápis do registru. Všechny hodnoty jsou ve formát HEX zapsány dle zvyklostí jazyka C.

Čtení registru "Registers Size" a odpověď

Adresa	Kód	Registr	Data	CRC	Popis
0x11	0x41	0x0000		0x550C	Čtení registru "Registers Size"

Adresa	Kód	Délka	Data	CRC	Popis
0x11	0x41	0x02	0x003C	0x6DEE	Odpověď na čtení registru "Registers Size"

Zápis registru "Cycle Counter" a odpověď

Adresa	Kód	Registr	Data	CRC	Popis
0x11	0x42	0x0067	0x00000000	0xD707	Zápis 0 (nulování) do registru "Cycle Counter"

Adresa	Kód	Délka	Data	CRC	Popis
0x11	0x42		0x00	0x1165	Potvrzení zápisu do registru - "Data_OK"

Pokus o zápis do registru "Cycle Counter" a odpověď ""

Adresa	Kód	Registr	Data	CRC	Popis
0x11	0x42	0x0067	0x0000	0xCA8A	Zápis chybné délky dat do registru 103

Adresa	Kód	Délka	Data	CRC	Popis
0x11	0xC2		0x03	0x30A4	Odmítnutí zápisu "INVAL_DATA"

Pokus o zápis do neexistujícího registru a odpověď

Adresa	Kód	Registr	Data	CRC	Popis
0x11	0x42	0x1234	0x5678	0x0061	Zápis do registru 4660 , který neexistuje

Adresa	Kód	Délka	Data	CRC	Popis
0x11	0xC2		0x02	0xF164	Odmítnutí zápisu "INVAL_REGADR"

3.12. Ukázka čtení mnemotechnického názvu registrů

Každému registru je přiřazen mnemotechnický název, který lze vyčíst dle následujícího příkladu.

Čtení názvu registru a odpověď

Adresa	Kód	Registr	Data	CRC	Popis
0x11	0x45	0x0001		0xD50D	Čtení názvu registru "Application"

Adresa	Kód	Délka	Data	CRC	Popis
0x11	0x45	0x0B	0x6E6F69746163696C7070	0x4CCB	Přečteno "Application"

3.13. Ukázka čtení atributů registrů

Pro správné pochopení a zadání parametru registrů lze vyčíst jejich atributy.

Čtení atributů registru a odpověď

Adresa	Kód	Registr	Data	CRC	Popis
0x11	0x46	0x0002		0x650C	Čtení registru "Device Name"

Adresa	Kód	Délka	Data	CRC	Popis
0x11	0x41	0x02	0x7820	0x4F53	0x78 typ string, 0x20 povolen zápis do EEPROM

4. MONITOR

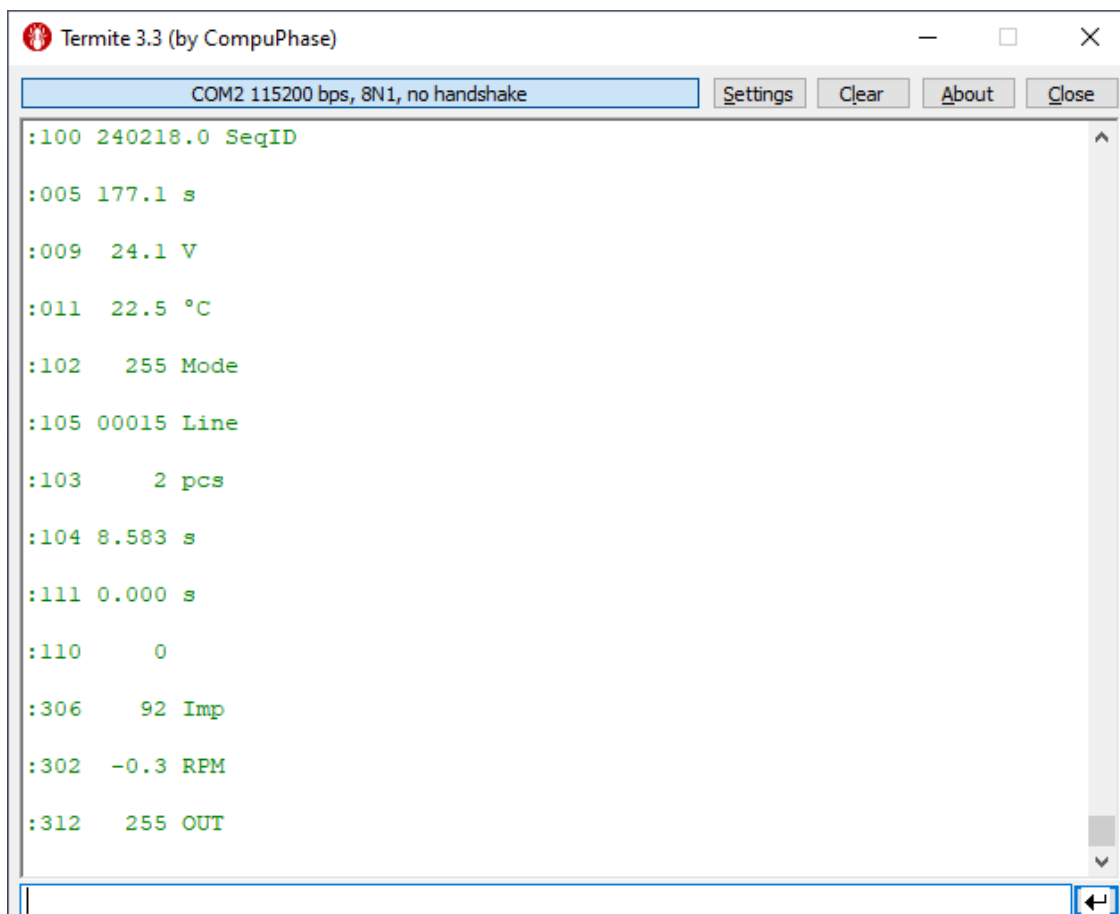
Pod pojmem MONITOR je sada nastavitelných čísel registrů a jejich parametrů, které se v zadané periodě průběžně vysílají na sériovou linku RS232. Lze vybírat z přednastavených sad a/nebo vytvořit vlastní. Jednotlivá čísla registrů se v zadaném pořadí převádějí na ASCII formát spolu s parametry a jednotkami. Jednotlivé zprávy jsou uvozeny volitelným znakem, zabezpečeny kontrolním součtem a zakončeny jedním nebo dvěma volitelnými zakončovacími znaky.

MONITOR pracuje však i v přijímacím režimu, kdy po formální kontrole dat může být parametr přijatého registru změněn. Pro změnu zobrazené hodnoty lze použít přepočtovou konstantu. Tou je před zobrazením údaj vynásoben. Konstantou se však nedělí hodnota při zápisu a je na uživateli, aby ji správně zadal. Nelze zapsat registry s atributy C, R a S. Komunikace je plně obousměrná. Zápis ani čtení nejsou potvrzovány. O správném zadání se musí přesvědčit uživatel. Pro zajištění stability komunikace je doporučeno použít delší dobu mezi telegramy než 100 ms (REG 208).

4.1. Popis zprávy MONITORu v rozhraní RS232

Start	Parametr	Formát	Jednotka	Měřítko	LRC	Popis
0x3A	0x0005	"5.1"	"s"		0xABCD	Čtení registru "Registers Size"

MONITOR lze jednoduše používat se sériovým terminálem, jako je např. TERMIT. Níže je uvedo okno s výpisem registru dle uložené sady MONITORu č. 1 a zadáním nové hodnoty registru 217:



```

Termit 3.3 (by CompuPhase)
COM2 115200 bps, 8N1, no handshake
Settings Clear About Close

:100 240218.0 SeqID
:005 177.1 s
:009 24.1 V
:011 22.5 °C
:102 255 Mode
:105 00015 Line
:103 2 pcs
:104 8.583 s
:111 0.000 s
:110 0
:306 92 Imp
:302 -0.3 RPM
:312 255 OUT
  
```

4.2. Ukázka 1.sady dema MONITORu

Registr	Formát	Jednotka	Měřítko	Popis
1	"8.1"	SeqID	1	Zobrazí parametr 1, tedy název aplikace
5	"5.1"	s	0,001	Čas od RESETu v s, měřítko převádí ms na s
9	"5.1"	V	1	Měřená hodnota napájecího napětí ve V
11	"5.1"	°C	1	Měřená teplota budiče motoru na desce plošného spoje ve °C
102	"5"	Mode	1	Zobrazení režimu 1 SEKVENCER, 0 přímé ovládání
105	"05"	Line	1	Aktuální krok (řádek) SEKVENCERu
103	"5"	pcs	1	Počet cyklů SEKVENCERu
104	"5.3"	s	0,001	Časovač WAIT SEKVENCERu
111	"5.3"	s	0.001	Časovač FREE RUN SEKVENCERu
110	"5"		1	Zobrazení MEMORY SEKVENCERu
306	"5"	Imp	1	Měřená pozice v impulsích snímače
302	"5.1"	RPM	1	Měřená rychlost v RPM
312	"5"	OUT	1	Stav výstupu 0 rozepnut, 255 sepnut
65535				Zakončovací znak sady registrů pro zobrazení v MONITORu

4.3. Ukázka čtení a zápisu položky do seznamu MONITORu

Čtení položky '1' MONITORu a odpověď

Adresa	Kód	Registr	Data	CRC	Popis
0x11	0x49	0x0001		0x150E	Čtení druhé položky seznamu MONITORu

Adresa	Kód	Registr	Formát	Jednotka	Oddělovač	Měřítko	CRC	ASCII
0x11	0x49	0x0005	0x312E35	0x0000000073	0x3A	0x83126F00	0x6C24	5,"5.1","s", :,0.001

Zápis položky '2' MONITORu a odpověď

Adresa	Kód	Registr	Formát	Jednotka	Oddělovač	Měřítko	CRC
0x11	0x4A	0x0005	0x312E35	0x0000000073	0x3A	0x83126F00	0x450C

Adresa	Chyba	Kód	Data	CRC	Popis
0x11	0xCA	0x03		0x3764	Chyba zápisu "INVAL_DATA"

5. SEKVENCER

SEKVENCER je jednoduchý programovací nástroj pro výkonné řízení chodu motoru. Využívá krátkou tabulku příkazů, kterými lze nastavit zrychlení, zapnutí a vypnutí chodu motoru na požadovanou pozici, čekací smyčku, čtení vstupů, nastavení výstupu, čítání cyklů a jejich nastavení. V uživatelském rozšíření je umožněna komunikace CAN pro řízení více motorů nebo zařízení. Parametr příkazu je desetinné číslo ve formátu FLOAT. Rozsah může být omezen. Hodnota 0.0 má zpravidla specifický význam.

5.1. Ukázky čtení a zápisu SEKVENCERu

Čtení záznamu

Adresa	Kód	Záznam	Data	CRC	Popis
0x11	0x43	0x0000		0xF4CC	Čtení záznamu 0 SEKVENCERu

Adresa	Kód	Délka	Kód	Hodnota	CRC	Popis
0x11	0x43	0x05	0x01	0x3F800000	0xC266	Čtení "PROGRAM_ID", 1.0

Zápis záznamu

Adresa	Kód	Záznam	Kód	Hodnota	CRC	Popis
0x11	0x44	0x0001	0x0F	0x40400000	0x8E7A	Zápis "SET_REPEAT", 3.0

Adresa	Kód	Stav	Data	CRC	Popis
0x11	0x44	0x00		0x12C5	Potvrzení úspěšného zápisu

5.2. Příkazy SEKVENCERU

Název	HEX kód	Popis funkce
NOP	0x00	Prázdná instrukce, nic nevykonává, vhodná pro ladění nebo úpravu programu nebo ponechání místa pro vložení dalších instrukcí
PROGRAM_ID	0x01	Jméno programu ve formě FLOAT čísla pro uložení a orientaci v různých verzích, nevykonává žádnou činnost
SET_ORIGIN	0x02	Hodnota 1.0 nastaví relativní posun polohy na aktuální hodnotu polohy, ostatní hodnoty se zapíšou jako relativní posun polohy, hodnota 0.0 vynuluje relativní posun polohy, lze nastavit/nulovat také registrem R116, funkční u STOP_AT_POSITION a RUN_TO_POSITION
SET_SPEED	0x03	Nastavení rychlosti v otáčkách za minutu, kladná hodnota levotočivý směr, záporná pravotočivý, pouze nastaví rychlost, nespouští ani nezastavuje motor
ACCELERATION	0x04	Nastavení zrychlení motoru ve změně otáček za minutu. Rozsah je vnitřně omezen parametry elektroniky a motoru

Název	HEX kód	Popis funkce
DECELERATION	0x05	Nastavení zpomalení motoru ve změně otáček za minutu. Rozsah je vnitřně omezen parametry elektroniky a motoru
RUN_TO_DISTANCE	0x06	Roztočí motor předvolenou rychlostí a zrychlením a zastaví po ujetí relativního počtu pulzů motoru DISTANCE, nestabilizuje polohu v regulační smyčce
RUN_TO_POSITION	0x07	Roztočí motor předvolenou rychlostí a zrychlením a zastaví na údajích předvolby počtu pulzů motoru POSITION, nestabilizuje polohu v regulační smyčce
RUN_TO_INPUT	0x08	Točí motorem předvolenou rychlostí, dokud není aktivní vstup, kladná hodnota čeká na sepnutí vstupu, záporná na rozepnutí vstupu, nestabilizuje polohu v regulační smyčce
RUN_UNLIMITED	0x09	Točí motorem rychlostí v parametru bez jakéhokoli omezení, nastavenou rychlost SET_SPEED neovlivňuje, rozběh je po rampě ACCELERATION, resp. DECELERATION podle znaménka parametru
STOP_AT_DISTANCE	0x0A	Zastaví motor po ujetí relativního počtu pulzů motoru DISTANCE a nadále reguluje požadovanou polohu v regulační smyčce, záporná hodnota mění znaménko předvolené rychlosti
STOP_AT_POSITION	0x0B	Zastaví motor po dojetí na absolutní hodnotu pulzů motoru POSITION a nadále reguluje požadovanou polohu v regulační smyčce, záporná hodnota může znamenat změnu směru otáčení
STOP_AT_MEMORY	0x0C	Zastaví motor po dojetí na absolutní hodnotu pulzů motoru MEMORY a nadále reguluje požadovanou polohu v regulační smyčce, záporná hodnota může znamenat změnu směru otáčení. Obsah MEMORY lze modifikovat příkazy SET_MEMORY a ADD_MEMORY
WAIT_MS	0x0D	Čeká po dobu v ms v daném kroku bez omezení
WAIT_FOR_INPUT	0x0E	Čeká v daném kroku, dokud není aktivován vstup, pro kladnou hodnotu čeká na sepnutí, pro zápornou na rozepnutí vstupu
SET_COUNTER	0x0F	Nastaví čítač, který lze modifikovat ADD_COUNTER a větvit program pomocí COMPARE_COUNTER_SKIP
ADD_COUNTER	0x10	Připočte ke stavající hodnotě hodnotu v parametru, záporná hodnota odečítá
SWITCH_OUTPUT_AFTER	0x11	Přepne výstup po době v ms, nezastavuje však v tomto kroku, pro definovaný stav výstupu je vhodné jej předem nastavit příkazem SET_OUTPUT_TO
STAY_UNLIMITED	0x12	Zastaví motor po rampě ACCELERATION nebo DECELERATION, ale nereguluje polohu
SET_OUTPUT_TO	0x13	Nastaví výstup do sepnutého stavu pro 1.0 nebo rozepnutého 0.0
HOMING	0x14	Uvede motor do stavu, kdy se přestane točit vlivem

Název	HEX kód	Popis funkce
		dorazu, nastaví předvolenou vzdálenost od dorazu a vynuluje údaj polohy – 0 je však posunutá o vzdálenost odpovídající natočení rotoru motoru v impulzech snímače
SET_MEMORY	0x15	Nastaví paměťovou buňku pro obecné použití, lze k ní přiřítat instrukci ADD_MEMORY, použít ji jako předvolbu pro polohu v instrukci STOP_AT_MEMORY a větvit program pomocí COMPARE_MEMORY_SKIP
ADD_MEMORY	0x16	Přičte hodnotu parametru k paměťové buňce MEMORY
COMPARE_MEMORY_SKIP	0x17	Porovná hodnotu v paměťové buňce MEMORY s hodnotou parametru a je-li hodnota MEMORY větší než parametr, přeskočí jeden řádek, jinak pokračuje následujícím řádkem
COMPARE_COUNTER_SKIP	0x18	Porovná hodnotu v paměťové buňce COUNTER s hodnotou parametru a je-li hodnota COUNTER větší než parametr, přeskočí jeden řádek, jinak pokračuje následujícím řádkem
COMPARE_POSITION_SKIP	0x19	Porovná aktuální absolutní pozici s hodnotou parametru a je-li hodnota pozice větší než parametr, přeskočí jeden řádek, jinak pokračuje následujícím řádkem
COMPARE_OUTPUT_SKIP	0x1A	Porovná aktuální stav výstupu OUTPUT s hodnotou parametru a je-li shoda, přeskočí jeden řádek, jinak pokračuje následujícím řádkem
COMPARE_INPUT_SKIP	0x1B	Porovná aktuální stav vstupu INPUT 1 až 5 s hodnotou parametru a je-li shoda, přeskočí jeden řádek, jinak pokračuje následujícím řádkem. Záporné hodnoty značí rozepnutý vstup
COMPARE_TIMER_SKIP	0x1C	Porovná hodnotu v paměťové buňce TIMER s hodnotou parametru a je-li hodnota TIMER větší než parametr, přeskočí jeden řádek, jinak pokračuje následujícím řádkem
JUMP_TO_LINE	0x1D	Skočí na řádek v parametru
SET_TIMER	0x1E	Hodnota parametru 0 zastaví časovač ms, jakákoliv jiná hodnota nastaví časovač a zároveň ho spustí s časováním po 1ms
GET_POSITION_MEMORY	0x1F	Uloží aktuální hodnotu absolutní polohy do paměti MEMORY
END_OF_COMMAND	0xFF	Příkaz konce programu, ukončí režim SEKVENCER

5.3. Ukázka DEMO programu číslo 1

Zde je popsán jednoduchý program SEKVENCERU pro lepší pochopení jednotlivých příkazů. Program je uložen ve FLASH paměti procesoru a lze ho vyvolat instrukcí. Tato instrukce přepíše aktuální program v paměti RAM v procesoru, ale sama ho neukládá do trvalé paměti EEPROM. Pro případný zápis je třeba použít instrukci.

Řádek	Příkaz	Parametr	Popis funkce
0	PROGRAM_ID	1.0	Označení následujících příkazů programu číslem 1.0, lze vyčíst sériovou linkou pro kontrolu
1	ACCELERATION	4000.	Nastaví zrychlení kladné rychlosti po rampě na hodnotu 4000 ot/min
2	DECELERATION	4000.	Nastaví zpomalení kladné rychlosti po rampě na hodnotu 4000 ot/min
3	SET_COUNTER	0.	Vynuluje čítač COUNTER
4	SET_SPEED	3000.	Nastaví rychlost levotočivého směru na 3000 ot/min
5	RUN_TO_POSITION	250000.	Roztočí motor předvolenou rychlostí do absolutní vzdálenosti 250000 impulsů a při překročení vzdálenosti nebude regulovat na pozici
6	SET_SPEED	500.	Změní předvolenou rychlost na 500 ot/min
7	STOP_AT_POSITION	350000.	Zastaví motor a bude regulovat pozici po dojetí na absolutní vzdálenost 350000
8	SET_OUTPUT_TO	1.	Sepne výstup
9	WAIT_MS	2000.	Čeká 2000 ms v kroku a po odměření času přejde do následujícího
10	SET_OUTPUT_TO	0.	Rozepne výstup
11	SET_SPEED	300.	Předvolí rychlost na 300 ot/min
12	RUN_TO_POSITION	400000.	Roztočí motor předvolenou rychlostí do absolutní vzdálenosti 400000
13	SET_OUTPUT_TO	1.	Sepne výstup
14	WAIT_MS	2000.	Čeká 1000 ms v kroku a po odměření času přejde do následujícího
15	SET_OUTPUT_TO	0.	Rozepne výstup
16	RUN_TO_POSITION	450000.	Roztočí motor předvolenou rychlostí do absolutní vzdálenosti 450000
17	SET_OUTPUT_TO	1.	Sepne výstup
18	WAIT_MS	2000.	Čeká 1000 ms v kroku a po odměření času přejde do následujícího
19	SET_OUTPUT_TO	0.	Rozepne výstup
20	RUN_TO_POSITION	500000.	Po vyhodnocení směru otáčení roztočí motor rychlostí v pravotočivém směru rychlostí 4000 ot/min do absolutní vzdálenosti 300
21	SET_OUTPUT_TO	1.	Sepne výstup
22	WAIT_MS	2000.	Čeká 1000 ms v kroku a po odměření času přejde do následujícího
23	SET_OUTPUT_TO	0.	Rozepne výstup
24	SET_SPEED	2000.	Nastaví rychlost na 2000 ot/min

Řádek	Příkaz	Parametr	Popis funkce
25	STOP_AT_POSITION	0.	Točí motor rychlostí 2000 ot/min do absolutní vzdálenosti 0
26	WAIT_MS	2000.	Čeká v tomto kroku 2000 ms
27	ADD_COUNTER	1.	Průchodem tohoto kroku připočte 1. k hodnotě čítače
28	COMPARE_COUNTER_SKIP	20.	Porovná hodnotu čítače COUNTER s parametrem. Je-li větší, přeskočí jeden řádek, jinak pokračuje následujícím řádkem
29	JUMP_TO_LINE	5.	Skočí na řádek 5
30	END_OF_COMMAND	0.	Ukončí chod SEKVENCERU a vrátí řízení na přímé ovládání

6. Archív neočekávaných událostí LOG

Neočekávané události nebo události zvláštního významu se zapisují do RAM paměti kontroléru ihned při jejich výskytu až do počtu 100 událostí. Překročením počtu se začínou události kruhově přepisovat. Ukazatel, v příkladu 0x0000, ukazuje vždy na poslední událost. Ukazatel 0x0001 pak ukazuje na předposlední událost.

6.1. Tabulka kódů LOGu

Mnemo	Kód	Popis
LOG_OK	0x00	Prázdný záznam – žádný LOG
LOG_WRONG_DATA	0x01	Chyba dat v paměti EEPROM
LOG_DEFAULT_DATA	0x02	Byla použita defaultní data při obnově z EEPROM
LOG_CHANGE_NOT_ALLOWED	0x03	Změna hodnoty parametru není povolena
LOG_WDOG_RESET_COUNT	0x04	Záznam počtu opakování RESETu po watchdogu
LOG_STOP_TO_FAULT	0x05	Zastavení motoru skončilo přetížením budičů
LOG_RUN_TO_FAULT	0x06	Chod motoru ukončen pro přetížení budičů
LOG_RUN_TO_FAULT_DRIVER	0x07	Budič detekoval přetížení můstku
LOG_WRONG_MOTOR_SELECT	0x08	Pokus o změnu nastavení motoru selhal
LOG_UNKNOWN_SEQUENCER_CMD	0x09	Neznámý příkaz SEKVENCERU-ukončí SEKVENCER
LOG_FAIL_SEQUENCER_CNT	0x0A	Neplatné číslo řádku pro skok
LOG_FAIL_SEQUENCER_INPUT	0x0B	Neplatné číslo vstupu v SEKVENCERU
LOG_NEW_SW_VERSION	0x0C	Nová verze programu – parametry registrů je vhodné zkontrolovat a upravit
LOG_SAVED_DATA_TO_EEPROM	0x0D	Parametry registrů byly přepsány do EEPROM
LOG_NAK	0xFF	Zakončovací znak LOGu

6.2. Ukázka zprávy LOGu

Čtení posledního záznamu LOGu a odpověď

Adresa	Kód	Ukazatel	Data	CRC	Popis
0x11	0x0C	0x0000		0xC51B	Čtení posledního záznamu logu

Adresa	Kód	Délka	Data	CRC	Popis
0x11	0x0C	0x0C	0x0F000000010200004040800000000000	0x0865	Níže dekodováno

6.3. Význam přečtené události

Struktura Data

Čas v ms od RESETu	Kód	Parametr	Data
0x0F000000	0x01	0x0200	004040800000000000
15ms	LOG_WRONG_DATA	2	33.0

7. Použitá literatura

Pro návrh hardware i firmware bylo využito poznatků a řešení zejména firem NXP a MPS.

7.1. Použité manuály a návody

MPS, AN047, Brushless DC Motor Fundamentals, 2011

MPS, MPQ6541HA, Three-Phase Power Stage, 2022

NXP, KV4x Data Sheet, 2018

NXP, KV4x Reference Manual, 2019

NXP, Motor Control, 2014

NXP, AN5263, Sensorless BLDC Control on Kinetis KV and KE, 2016

Andrea Ronešová, Přehled protokolu MODBUS