

Fakulta elektrotechnická Regionální inovační centrum elektrotechniky

Pohon ramene robotu: uživatelský popis, revize 2

Pracoviště: Výkonová elektronika a pohony
Číslo dokumentu: 22190-015-2018
Typ zprávy: Výzkumná zpráva
Řešitelé: doc. Ing. Václav Šmídl, Ph.D. et Ph.D.,
Ing. Tomáš Glasberger, Ph.D.,
Ing. Jan Molnár, Ph.D.,
Ing. Tomáš Košan, Ph.D.,
Ing. Josef Štengl,
Ing. Zdeněk Kehl.
Hlavní řešitel: prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
Počet stran: 35
Datum vydání: 14. 8. 2017
Oborové zařazení: JA – Elektronika a optoelektronika, elektrotechnika

Zadavatel / zákazník:
Západočeská univerzita v Plzni
Výzkumné centrum - Nové technologie pro
informační společnost
Technická 8
301 00 Plzeň

Zpracovatel / dodavatel:
Západočeská univerzita v Plzni
Regionální inovační centrum
elektrotechniky
Univerzitní 8
306 14 Plzeň

Kontaktní osoba:

Ing. Zdeněk Kehl
tel. 377 634 140
kehlz@rice.zcu.cz

Tato práce vznikla v rámci projektu č. TE02000103 „Centrum inteligentních pohonů a pokročilého řízení strojů“ s finanční podporou TA ČR a s finanční podporou projektu SGS-2018-009.

Anotace

Tato výzkumná zpráva se zabývá uživatelským popisem hardwarové a softwarové konstrukce měniče kmitočtu pro pohon ramene robotu.

Klíčová slova

Frekvenční měnič, synchronní motor s permanentními magnety, vektorové řízení, CAN.

Název zprávy v anglickém jazyce / Report title

Robot arm drive: User description

Anotace v anglickém jazyce / Abstract

This research report describes the hardware and software design of the frequency converter for the robot arm drive.

Klíčová slova v anglickém jazyce / Keywords

Frequency converter, permanent magnet synchronous motor, vector control, CAN.

Seznam symbolů a zkratk

REMCS	RICE Embedded Modular Control System
DIF	Direct interface
PWM	Pulsně šířková modulace
GUI	Graphical User Interface
PMSM	Synchronní motor s permanentními magnety
Sync	Synchronizační signál
PI	Proporcionálně integrační regulátor
LPF	Dolnoproustný filtr
arctg	Funkce Arkus tangens
P_p	Počet pólpárů
NC	Nezapojeno
T_N	Jmenovitý moment stroje
I_{sq}	Momentotvorná složka vektoru statorového proudu
U_{cN}	Jmenovité napětí v meziobvodu

Obsah

1	ÚVOD	5
2	ZÁKLADNÍ POPIS HARDWARU	6
2.1	MĚNIČ KMITOČTU	6
2.1.1	<i>D/A převodník.....</i>	7
2.2	SERVOMOTOR	9
2.3	NADŘAZENÉ ŘÍZENÍ	12
3	POPIS SOFTWARE.....	12
3.1	ŘÍDICÍ SOFTWARE POHONU	12
3.2	NADŘAZENÉ ŘÍZENÍ	15
3.2.1	<i>RxControl 0x10</i>	19
3.2.2	<i>TxConverterState 0x11</i>	23
3.2.3	<i>RxRegulatorConstant 0x12</i>	26
3.2.4	<i>TxRegulatorConstant 0x13</i>	28
3.2.5	<i>TxMotorState 0x15.....</i>	29
3.2.6	<i>TxDataflash 0x17.....</i>	30
4	MĚŘENÍ.....	32
5	ZÁVĚR	33

1 Úvod

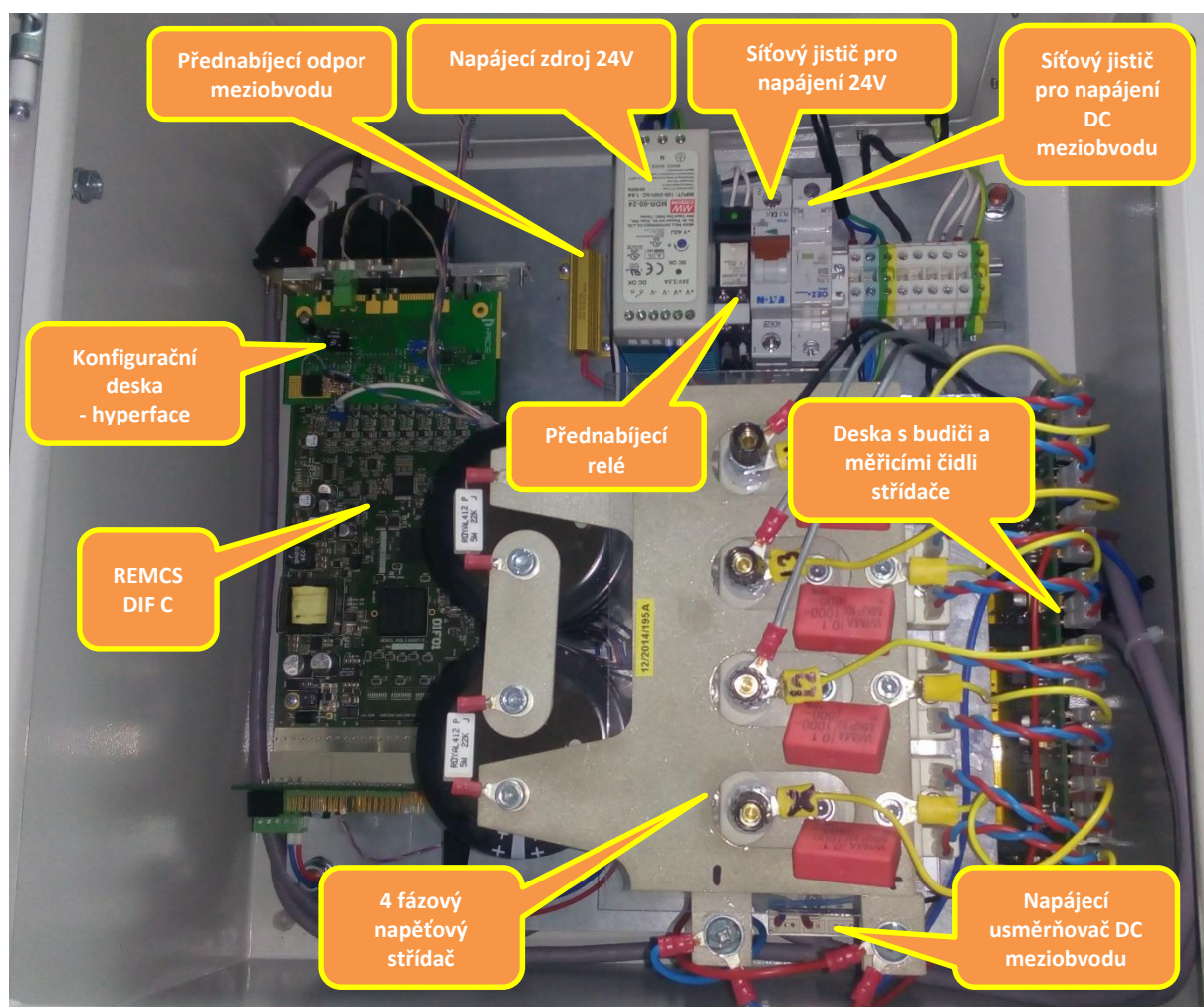
Tato výzkumná zpráva vznikla jako uživatelský manuál pro uživatele daného pohonu. První část je věnována základnímu popisu hardwaru všech součástí: frekvenční měnič, motor a interface pro nadřazené řízení. V druhé části je rozebrána softwarová část z důvodu pochopení funkčnosti a možnosti parametrizace zařízení. Popis je tak směřován na vektorové řízení motoru a komunikaci pro nadřazené řízení.

2 Základní popis hardwaru

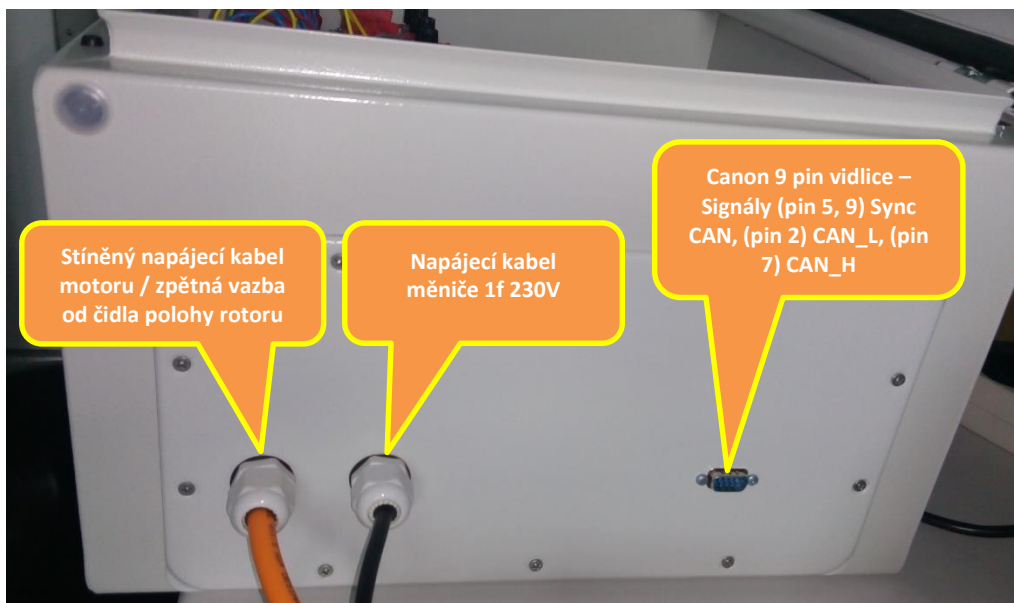
Sestavený pohon obsahuje servomotor od výrobce TG drives, měnič kmitočtu a povelující PC s CANoe hardware and software interface pro nadřazené řízení měniče po CAN sběrnici. Dále jsou blíže popsány jednotlivé části.

2.1 Měnič kmitočtu

Fyzické provedení měniče je znázorněno na Obr. 2.1 a Obr. 2.2. Měnič je založen na jedné řídicí kartě ze systému REMCS. Přesně DIF (Direct interface) rev. C. Tato karta obsahuje procesor Hercules TMS570LS Safety (ARM® Cortex®- R4F) a hradlové pole ALTERA cyclone 3. Procesor se stará o regulaci pohonu a hradlové pole o PWM modulaci a ovládání třífázového napěťového měniče (1 fáze měniče není využívána). Popis výstupního signálového konektoru je uveden v Tab. I.



Obr. 2.1 Vnitřní uspořádání měniče kmitočtu



Obr. 2.2 Vnější vstupy/výstupy měniče kmitočtu

Tab. I Výstupní signálový konektor (Canon 9 pin, vidlice)

PIN	Signál
1	NC
2	CAN_L
3	NC
4	NC
5	GND
6	NC
7	CAN_H
8	NC
9	SyncCAN

CAN_H a CAN_L - standardní signály CAN sběrnice.

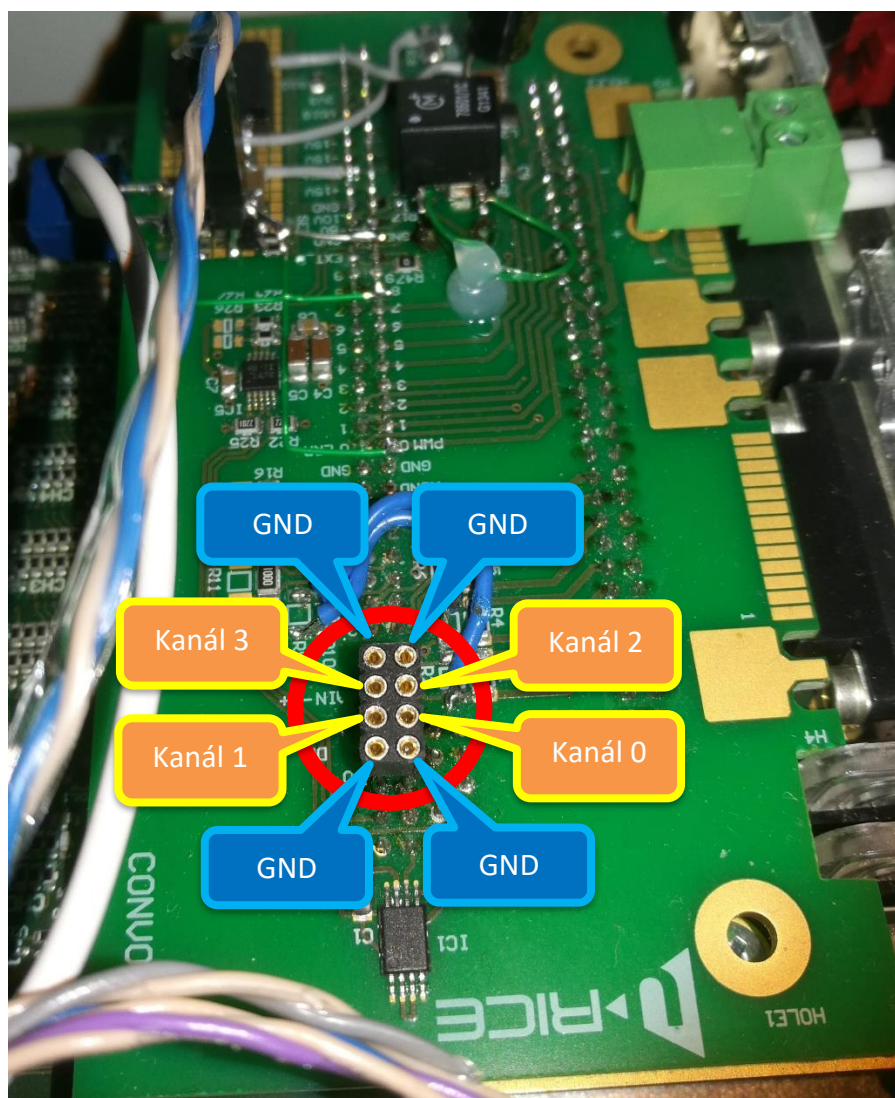
SyncCAN – požadovaný logický signál, který se neuguje vždy při odesílání zpráv sběrnice CAN. Pomocí nadřazeného řízení lze měnit tuto periodu - viz signál **CanPeriod** ve zprávě RxControl. Fyzicky se jedná o výstup s otevřeným kolektorem.

GND – zem pro otevřený kolektor

2.1.1 D/A převodník

Z řídicí karty je vyveden výstupní konektor D/A převodníku viz Obr. 2.3 s označením kanálů. Jednotlivé výstupy jsou konfigurovány následovně:

Pro všechny kanály platí, že nulová hodnota veličiny odpovídá 2.5V a rozsah převodníku je 0 – 5V.



Obr. 2.3 D/A převodník – konektor

Konfigurace výstupů převodníku pro režim Speed control:

- K0: n_w – požadované mechanické otáčky, rozsah: ± 1480 ot/min
- K1: Isq_w – požadovaný proud, rozsah: $\pm 2,828$ A
- K2: n – měřené mechanické otáčky, rozsah: ± 1480 ot/min
- K3: Isq – měřený (vypočtený) momentotvorný proud, rozsah: $\pm 2,828$ A

Konfigurace výstupů převodníku pro režim Isq request:

- K0: není využíván
- K1: Isq_w – požadovaný proud, rozsah: $\pm 2,828$ A
- K2: n – měřené mechanické otáčky, rozsah: ± 1480 ot/min
- K3: Isq – měřený (vypočtený) momentotvorný proud, rozsah: $\pm 2,828$ A

Konfigurace výstupů převodníku pro režim Torque request:

K0: není využíván

K1: T_w – požadovaný moment, rozsah: $\pm 14.4 \text{ Nm}$ ($\pm 3T_N$)

K2: n – měřené mechanické otáčky, rozsah: $\pm 1480 \text{ ot/min}$

K3: T – měřený (vypočtený) moment, rozsah: $\pm 14.4 \text{ Nm}$

2.2 Servomotor

Jedná se o motor výrobce TG drives s označením N3-0480-5-320a/T3 S4-S05. Základní popis motoru uvádí následující Tab. II s následnými vysvětlivkami v podobě Obr. 2.4, Obr. 2.5 a Obr. 2.6, které jsou získány z manuálů výrobce [1].

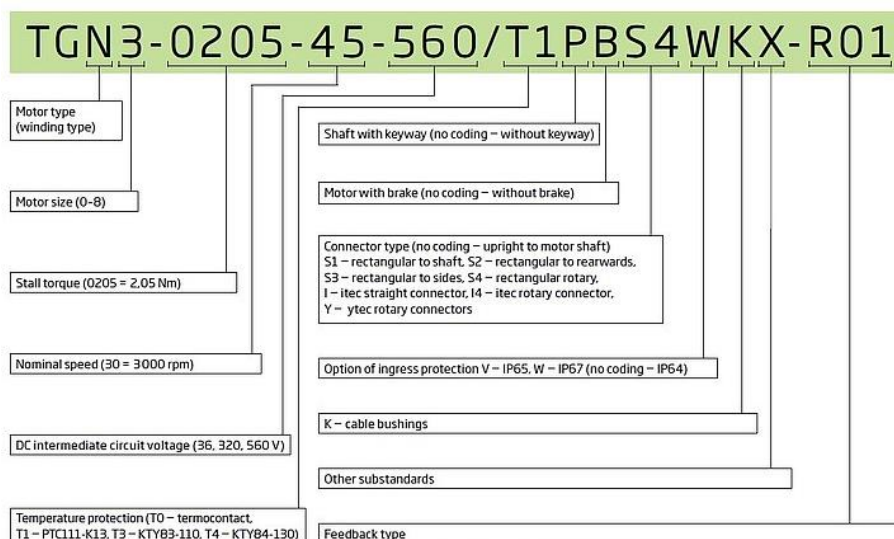
Tab. II Parametry servomotoru

RATED DATA

Motor type

	N3	0480	5	320
--	----	------	---	-----

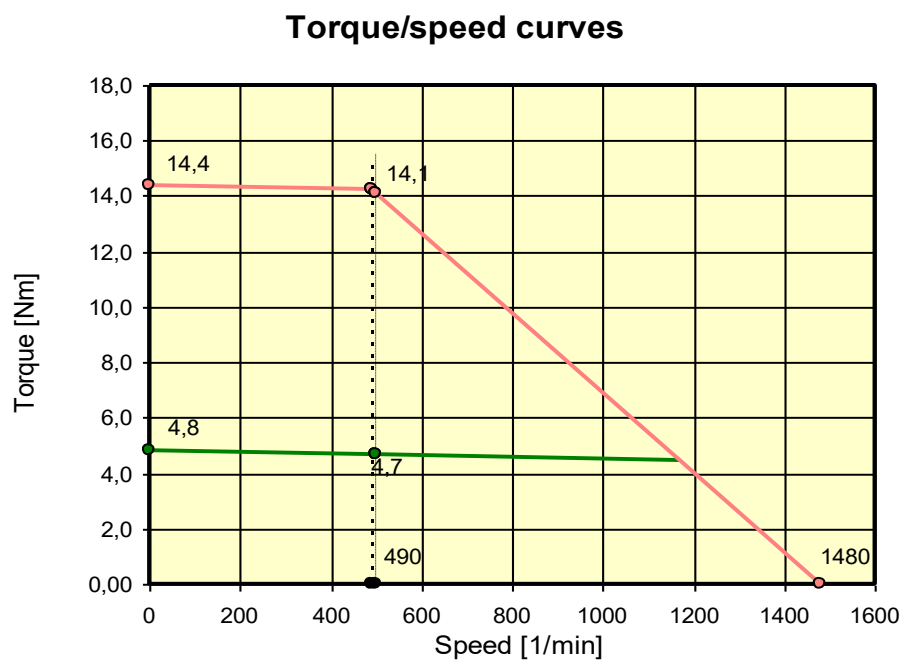
Rated Speed	n_n	500 min^{-1}
DC Bus Voltage	U_{dc}	320 V
Nominal AC Voltage	U_n	220 V
Rated Motor Voltage	U_m	113 V
Rated Torque	T_N	4.7 Nm
Rated AC Current	I_n	2.0 A
Stall Torque	T_o	4.8 Nm
Stall AC Current	I_o	1.96 A
Peak Torque	T_{max}	14.4 Nm
Peak Current	I_{max}	7.0 A
Max. Speed	n_{max}	12000 min^{-1}
EMF Constant	K_E	148.0 V/1000
Torque Constant	K_T	2.5 Nm/A
Terminal Resistance	R_{2ph}	15.5 Ω
Terminal Inductance	L_{2ph}	46.6 mH
Number of poles	$2p$	10
No Load Speed	n_o	1480 min^{-1}
Torque at I_{max}/U_n	T_z	14.2 Nm
Speed at I_{max}/U_n	n_z	490 min^{-1}
Max. Torque at n_n	T_x	14.1 Nm
El. Time Constant	T_{el}	3.0 ms
Mech. Time Constant	T_{mech}	0.68 ms
Thermal Time Constant	T_{th}	30 min
Rotor Inertia	J	1.5 kgcm^2



Obr. 2.4 Definice kódu motoru

S - Sick (Hiperface, HDSSL)	
S01	Sick EKS36 (HDSSL), single-turn, 17 bits
S02	Sick EKM36 (HDSSL), multi-turn, 17 bits
S03	Sick EKS36 (HDSSL), single-turn, 18 bits
S04	Sick EKM36 (HDSSL), multi-turn, 18 bits
S05	Sick EKS36 (HDSSL), single-turn, 20 bits
S06	Sick EKM36 (HDSSL), multi-turn, 20 bits
S21	Sick SR550 (Hiperface), single-turn, 1024 imp./rev.
S22	Sick SRM50 (Hiperface), multi-turn, 1024 imp./rev.
S23	Sick SKS36 (Hiperface), single-turn, 128 imp./rev.
S24	Sick SKM36 (Hiperface), multi-turn, 128 imp./rev.
S25	Sick SEK34 (Hiperface), single-turn, 16 imp./rev.
S26	Sick SEL34 (Hiperface), multi-turn, 16 imp./rev.
S27	Sick SEK37 (Hiperface), single-turn, 16 imp./rev.
S28	Sick SEL37 (Hiperface), multi-turn, 16 imp./rev.
S29	Sick SEK52 (Hiperface), single-turn, 16 imp./rev.
S30	Sick SEL52 (Hiperface), multi-turn, 16 imp./rev.
S31	Sick SEK90 (Hiperface), single-turn, 64 imp./rev.
S32	Sick SEK160 (Hiperface), single-turn, 128 imp./rev.
S33	Sick SEK260 (Hiperface), single-turn, 256 imp./rev.

Obr. 2.5 Typy zpětnovazebních čidel firmy Sick



Obr. 2.6 Momentové charakteristiky servomotoru

2.3 Nadřazené řízení

Z pohledu hardware je nadřazené řízení prozatím prováděno pomocí CANoe Vector VN1640A CAN/LIN Interface viz [2]. Součástí interface je GUI pro nadřazené PC.

3 Popis software

3.1 Řídicí software pohonu

Pohon je řízen standardním vektorovým řízením v kartézských souřadnicích, které vzniklo v rámci předchozích prací na projektu CIDAM. Blokové schéma řízení je uvedeno na Obr. 3.1. Celkové schéma je rozděleno na jednotlivé bloky, které jsou fyzicky tvořeny třídami nebo funkcemi v jazyce C/C++. Základem je již zmiňované základní vektorové řízení v třídě C_PMSM_VC_Variant_1. Tato část se stará o regulaci jednotlivých proudů I_{sd} a I_{sq} . Požadavky pro tyto proudy tvoří jak regulátor otáček R_w (požadavek I_{sq}), tak smyčka odbuzování C_SM_Flux_Weakening (požadavek I_{sd}). Prostředníkem mezi těmito bloky a základním vektorovým řízením je blok C_PMSM_VC_Beta_limitation. Pro danou aplikaci dochází pouze k omezování vektoru proudu na maximální hodnotu motoru, ale není využívána část omezování zátěžného úhlu, kterou provádí regulátor R_{uq} . Jeho zesílení jsou tedy nastaveny na nulové hodnoty. Daný kód podporuje přepínání režimů regulace otáček (Speed control), regulace proudu i_{sq} (i_{sq} request) a regulace momentu (Torque request). V režimech regulace proudu i_{sq} a regulace momentu je vyřazen regulátor otáček a požadavek je přímo nasměrován do signálu, který vychází z regulátoru otáček.

Dále je uveden výčet parametrů a jejich hodnoty, které je nutné nastavit při inicializaci řízení.

Výčet parametrů:

/2017_05_18_dif01C_VC_PMSM_classes_offline/source/application/main.cpp

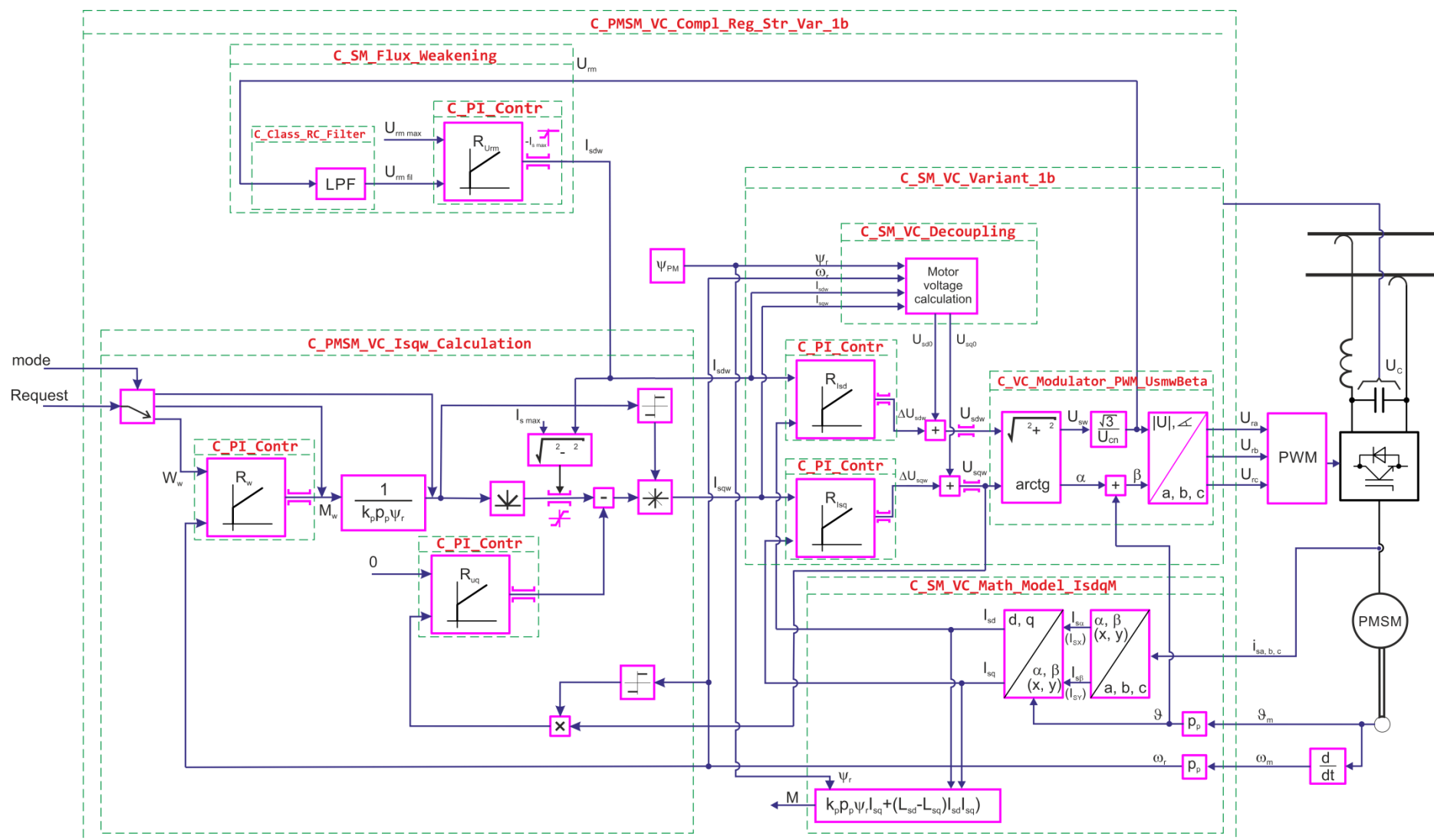
Řádek kódu 209 - 233

```
VC_Par.Math_Model.Lsd=LS;
VC_Par.Math_Model.Lsq=LS;
VC_Par.Flux_Weak.Psi_pm=FPM;
VC_Par.Math_Model.Rs=RS;
VC_Par.Math_Model.pp=PP;

VC_Par.Vect_Contr.Contr_Isd.Kp=INV_KP_IS;
VC_Par.Vect_Contr.Contr_Isd.Tau=INV_TR_IS;
VC_Par.Vect_Contr.Contr_Isd.HiLimit=INV_DUSDW_MAX;
VC_Par.Vect_Contr.Contr_Isd.LoLimit=INV_DUSDW_MIN;

VC_Par.Vect_Contr.Contr_Isq.Kp=INV_KP_IS;
VC_Par.Vect_Contr.Contr_Isq.Tau=INV_TR_IS;
VC_Par.Vect_Contr.Contr_Isq.HiLimit=INV_DUSQW_MAX;
VC_Par.Vect_Contr.Contr_Isq.LoLimit=INV_DUSQW_MIN;

VC_Par.Flux_Weak.Contr_Urm.Kp=KP_URM;
VC_Par.Flux_Weak.Contr_Urm.Tau=TR_URM;
VC_Par.Flux_Weak.Modul_Index.Tau_Urm_fil=TF;
VC_Par.Flux_Weak.Modul_Index.Urm_max=URM_MAX;
VC_Par.Flux_Weak.Syn_Motor.Ism_n=ISM;
VC_Par.Isqw_Calcul.Contr_Uq.Kp=0;
VC_Par.Isqw_Calcul.Contr_Uq.Tau=0;
VC_Par.Isqw_Calcul.Contr_Wr.Kp=KP_WR;
VC_Par.Isqw_Calcul.Contr_Wr.Tau=TR_WR;
```



Obr. 3.1 Blokové schéma řízení pohonu

Dále je nutný parametr jmenovitého napětí ve stejnosměrném meziobvodu U_{CN} . Z důvodu možností výkyvů napětí v síti je toto napětí měřeno, a to po procesu přednabití meziobvodu.

/2017_05_18_dif01C_VC_PMSM_classes_offline/source/application/main.cpp

Řádek kódu 252

VC_Par.Vect_Contr.DC_link.Ucn = UCN;

Hodnoty konstant (popřípadě inicializačních hodnot) parametrů:

/2017_05_18_dif01C_VC_PMSM_classes_offline/source/application/ctr_VectorFloat.h

```
/** \name Motor parameters.
 * \{ */
#define ISM (2 * 1.414f) /**< [A] Maximal stator current.*/
#define RS 7.75f /**< [Ohm] Stator resistance.*/
#define FPM 0.27f /**< [Wb] Stator linkage flux of perm. magnets.*/by count
0.282, from PI outputs 0.27 is more accurate
#define LS 23.3e-3f /**< [H] stator inductance.*/
#define PP 5.0f /**< [A] Number of pole pairs.*/
/** \} */

/** \name Motor inverter control parameters.
 * \{ */

#define TS 100e-6f /**< [s] Current loop sample time.*/

//fieldweakening control
#define TF 0.01f /**< [s] Time constant of the LPF in field weakening line.*/

#define URM_MAX 0.95f /**< [-] Maximal deep of modulation.*/
#define KP_URM 5.0f /**< [-] Proportional constant of field weakening PI
controller.*/
#define TR_URM 0.2f /**< [s] Time constant of integration part of the field
weakening PI controller.*/
#define INV_ISDW_MAX 0.0f /**< [A] Output max. limitation of the field
weakening PI controller.*/
#define INV_ISDW_MIN (-ISM) /**< [A] Output min. limitation of the field
weakening PI controller.*/

//speed control
#define SPEED_SAMPLING_PERIOD 100e-6f /**< [s] Speed loop sample time.*/
//#define WR_EXP_FILTER_LENGTH 10u//wr Exponential filter length
#define SPEED_MAX_LIMIT (2*PI*123.)//max speed 1480rpm -> 123.3Hz el., end of
field-weakening

#define KP_WR 0.015f
#define TR_WR 0.02f

//current control
#define INV_KP_IS 150.0f//200.0f//50.0f//100.0f /**< [-] Proportional
constant of stator current PI controllers.*/
#define INV_TR_IS 0.0015f//0.01f /**< [s] Time constant of integration
part of stator current PI controllers.*/
```

```

#define INV_DUSDW_MAX 1000.0f /**< [V] Output max. limitation of the d-axis
stator current PI controller.*/
#define INV_DUSDW_MIN -1000.0f /**< [V] Output min. limitation of the d-axis
stator current PI controller.*/
#define INV_DUSQW_MAX 1000.0f /**< [V] Output max. limitation of the q-axis
stator current PI controller.*/
#define INV_DUSQW_MIN -1000.0f /**< [V] Output min. limitation of q-axis the
stator current PI controller.*/

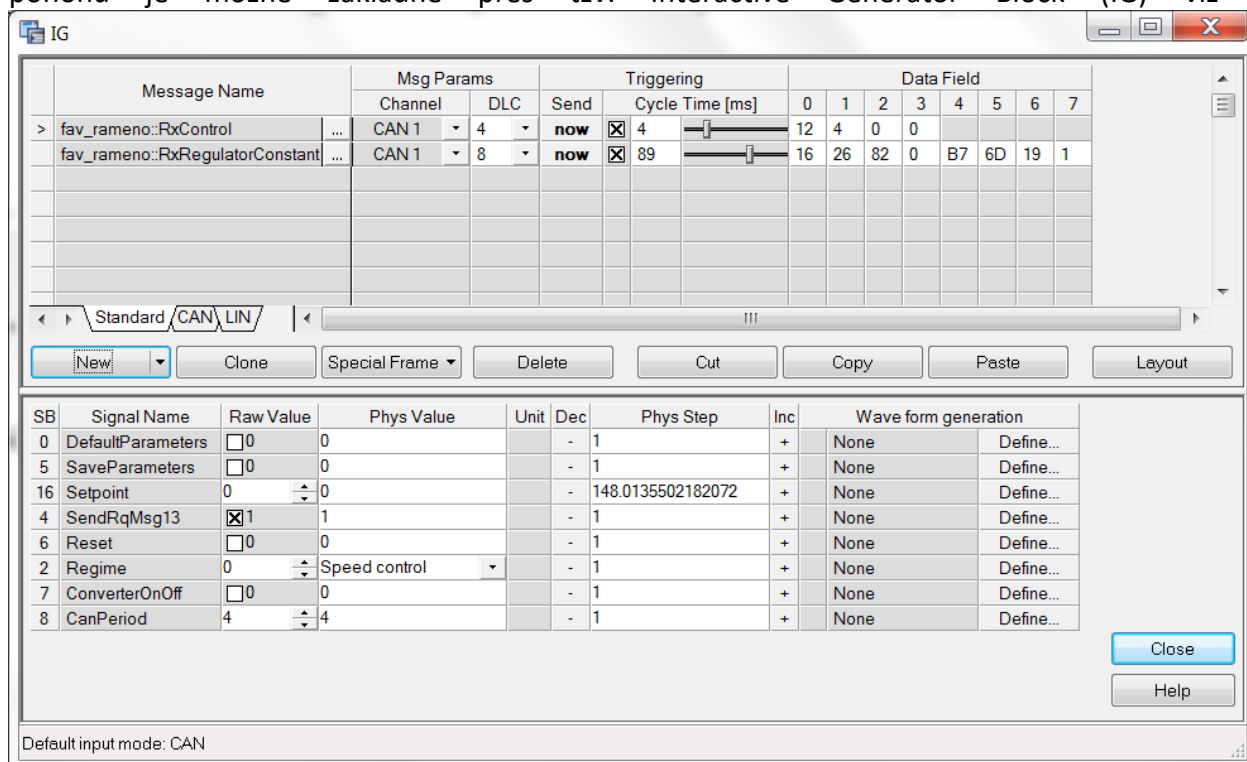
//voltage management
#define CHARGING_HighLevel 360.0f
#define CHARGING_LowLevel 293.0f
#define INV_PROTECTION_VOLTAGE_MAX_LIMIT 440.0f /**< [A] Maximal rectifier DC
voltage.*/
#define INV_PROTECTION_VOLTAGE_MIN_LIMIT 168.0f /**< [A] Minimal rectifier DC
voltage.*/

//current management
#define INV_PROTECTION_CURRENT_LIMIT 8.9f /**< [A] Maximal inv. current.*/

```

3.2 Nadřazené řízení

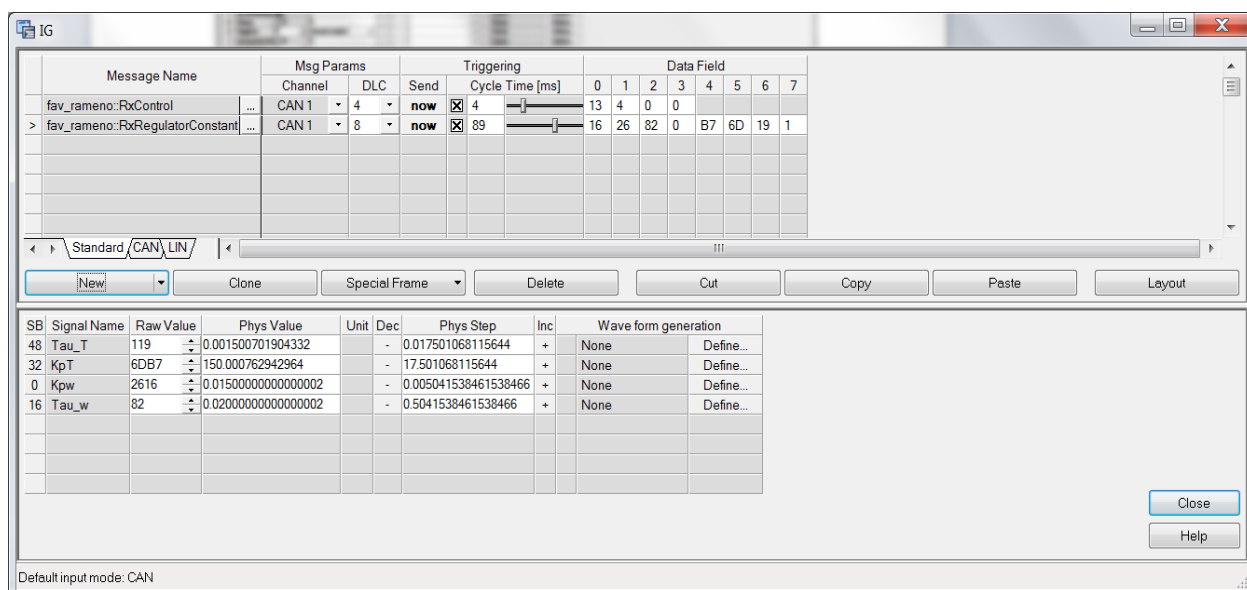
Nadřazené řízení je provedeno v grafickém prostředí výrobce CAN interface. Povelování pohonu je možné základně přes tzv. Interactive Generator Block (IG) viz



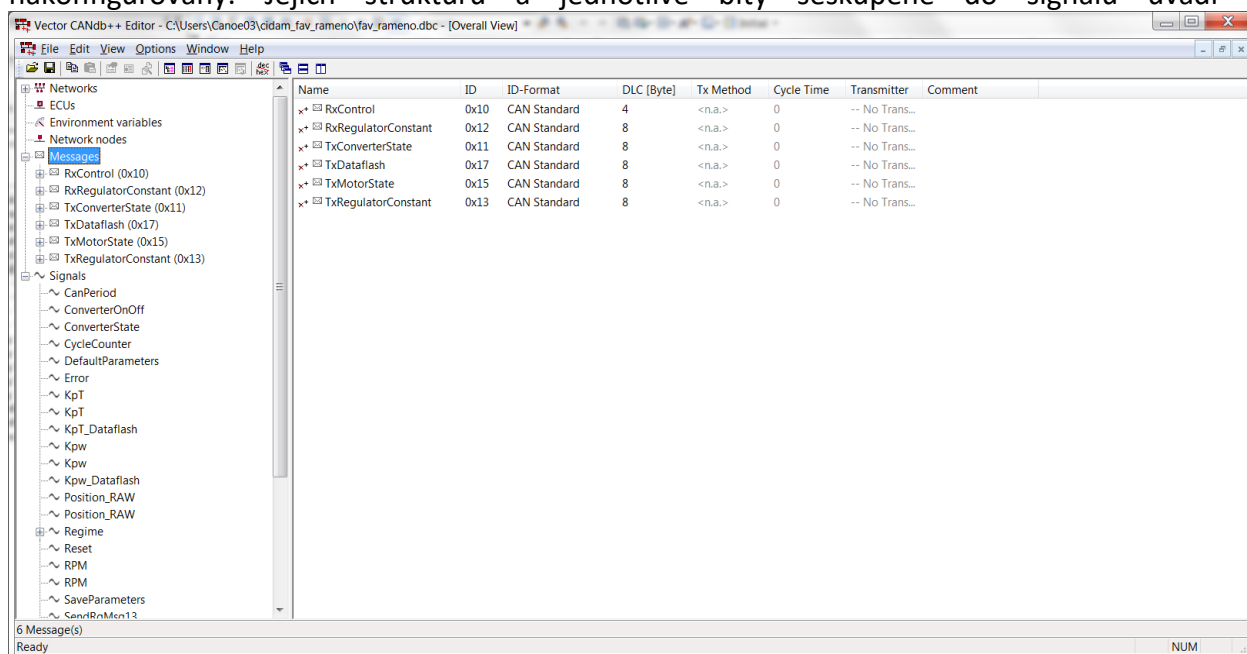
Obr.

3.2

a



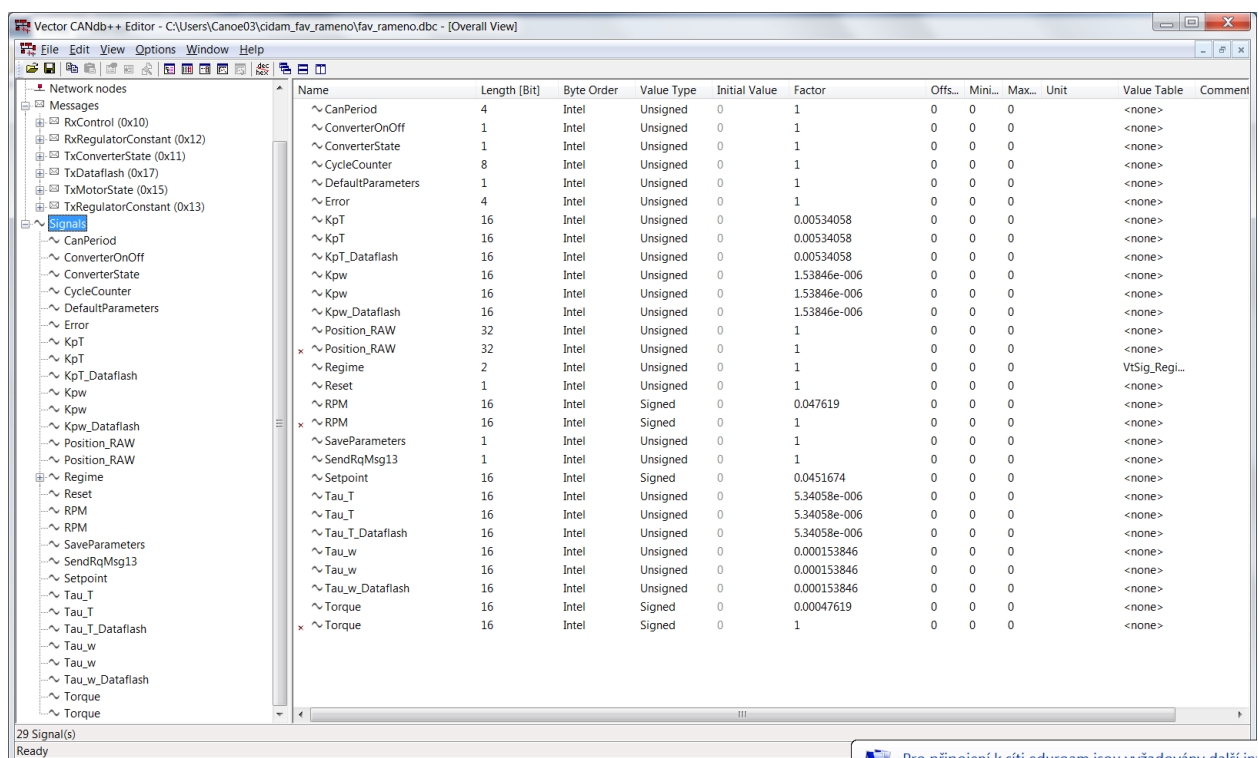
Obr. 3.3. Pomocí tohoto objektu je možné konfigurovat odesílané zprávy a odesílat je, popřípadě nastavit jejich automatické, periodické odesílání. Dané zprávy musí být předem nakonfigurovány. Jejich strukturu a jednotlivé bity seskupené do signálů uvádí



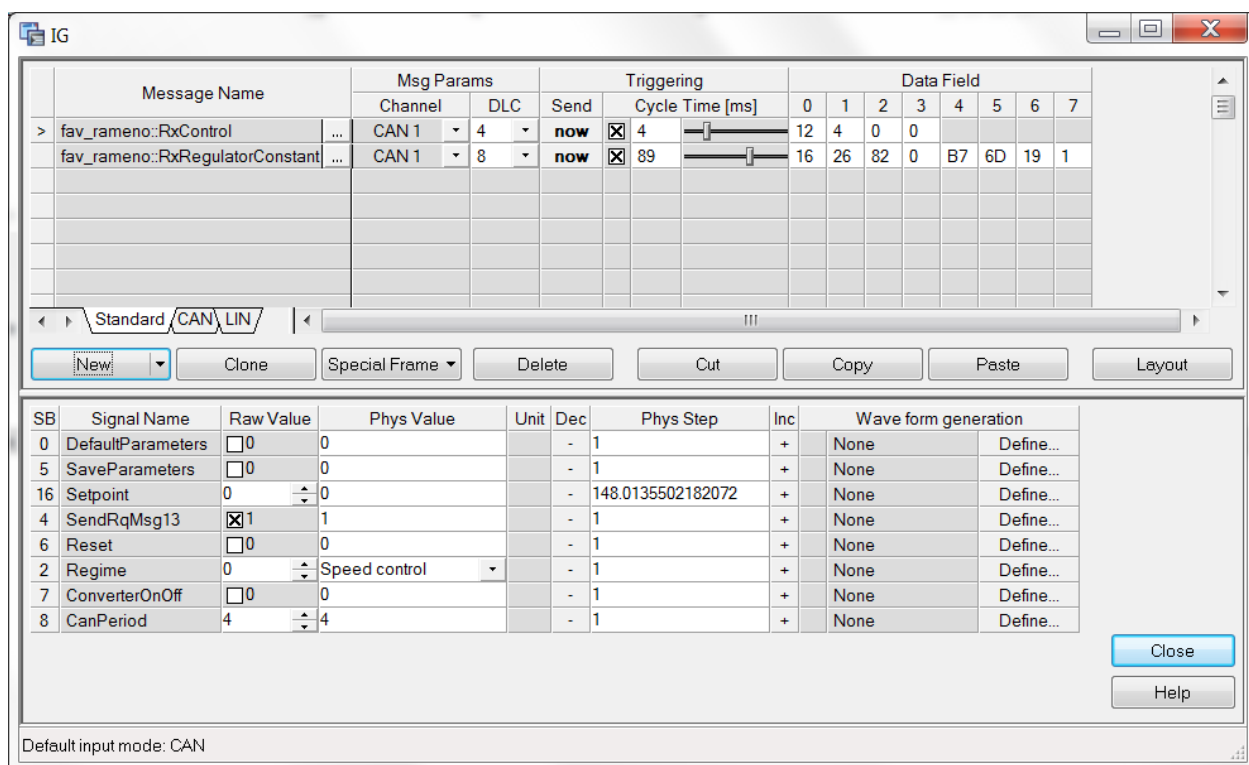
Obr.

3.4

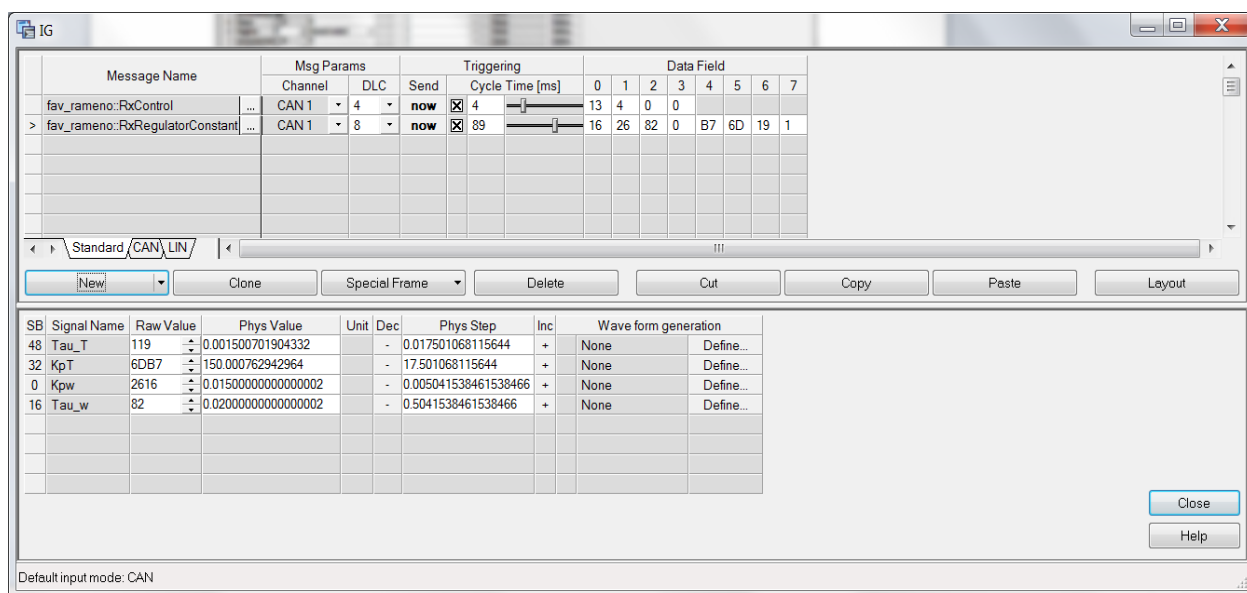
a



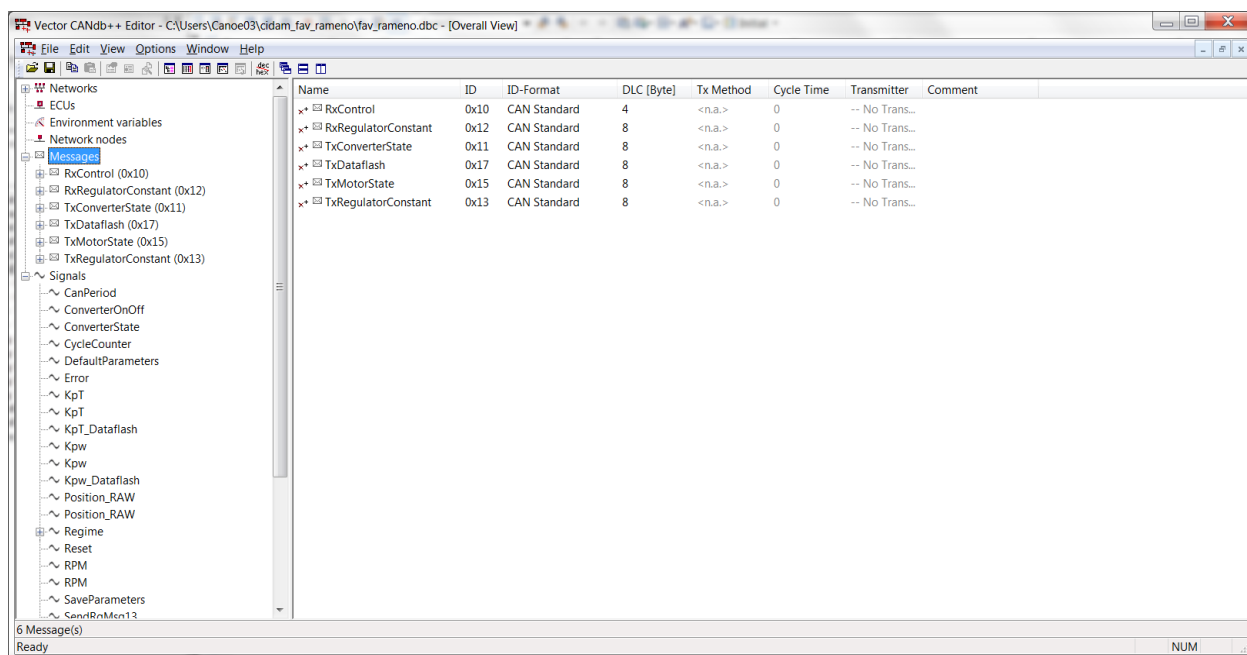
Obr. 3.5. V následujícím textu budou detailně rozebrány jednotlivé zprávy a jejich signály. Označení zpráv Rx a Tx je bráno z pohledu frekvenčního měniče.



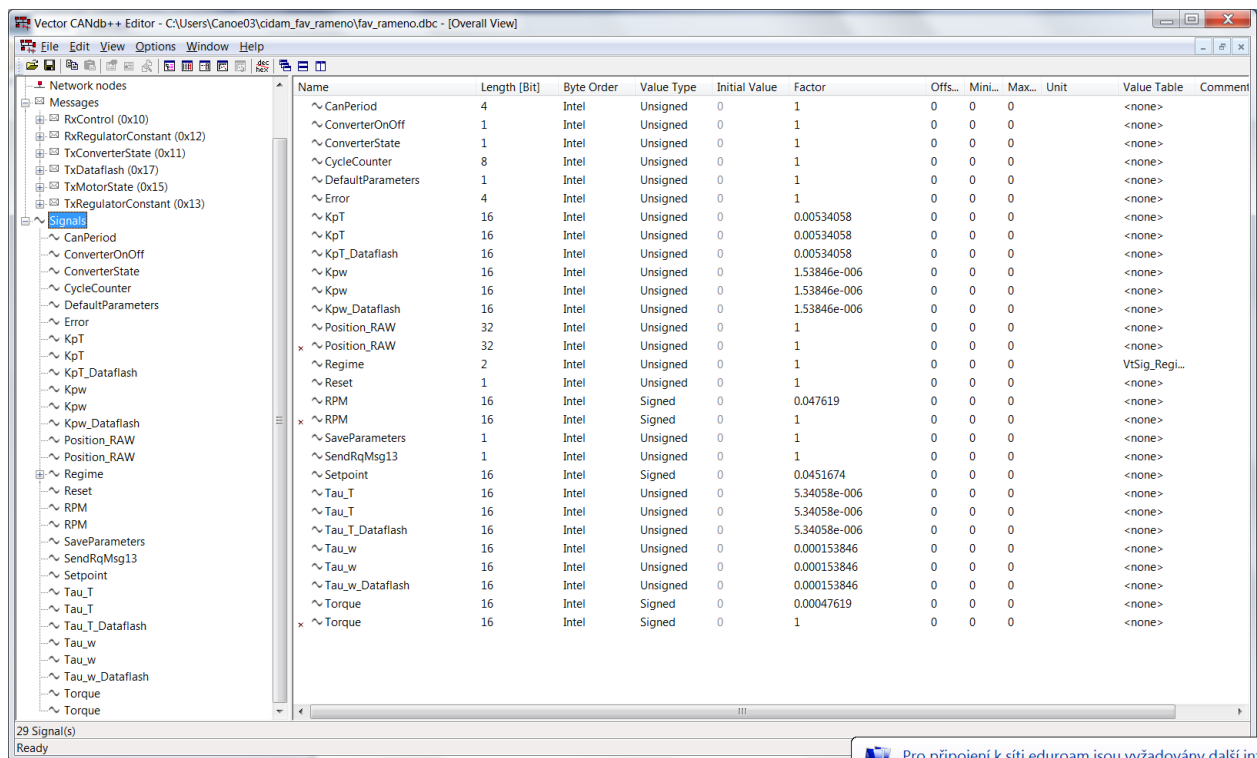
Obr. 3.2 IG pro řídicí zprávu RxControl



Obr. 3.3 IG pro zprávu se změnou konstant regulátorů RxRegulatorConstant



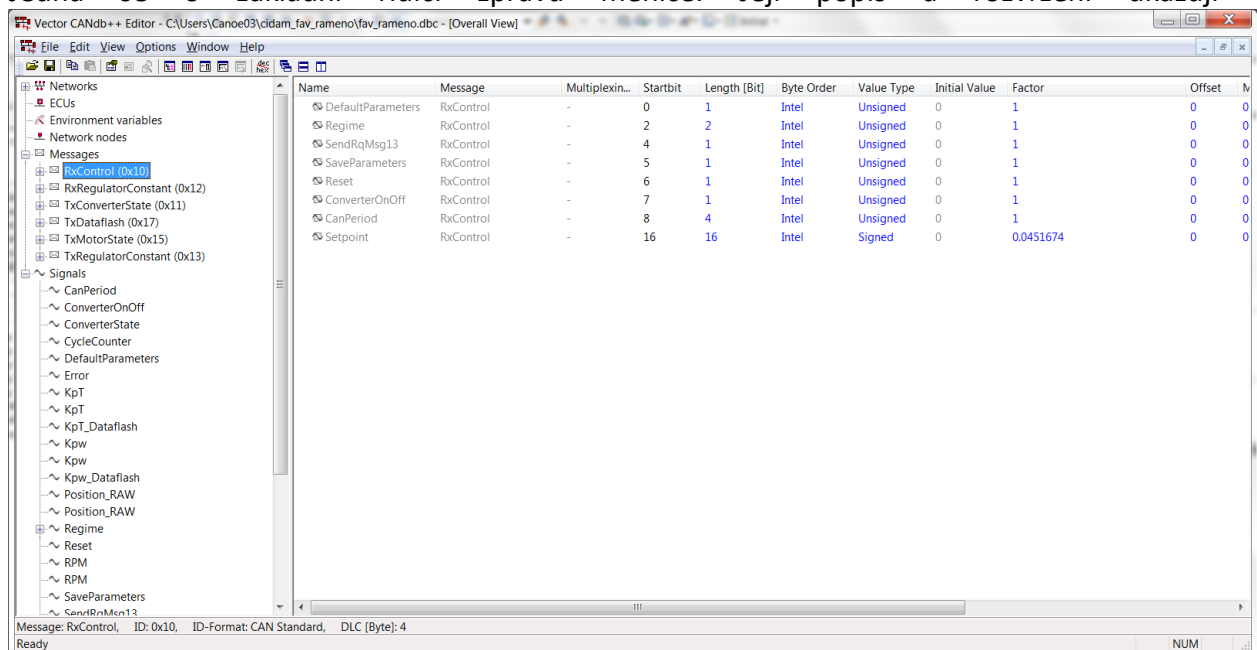
Obr. 3.4 CAN zprávy



Obr. 3.5 Signály CAN zpráv

3.2.1 RxControl 0x10

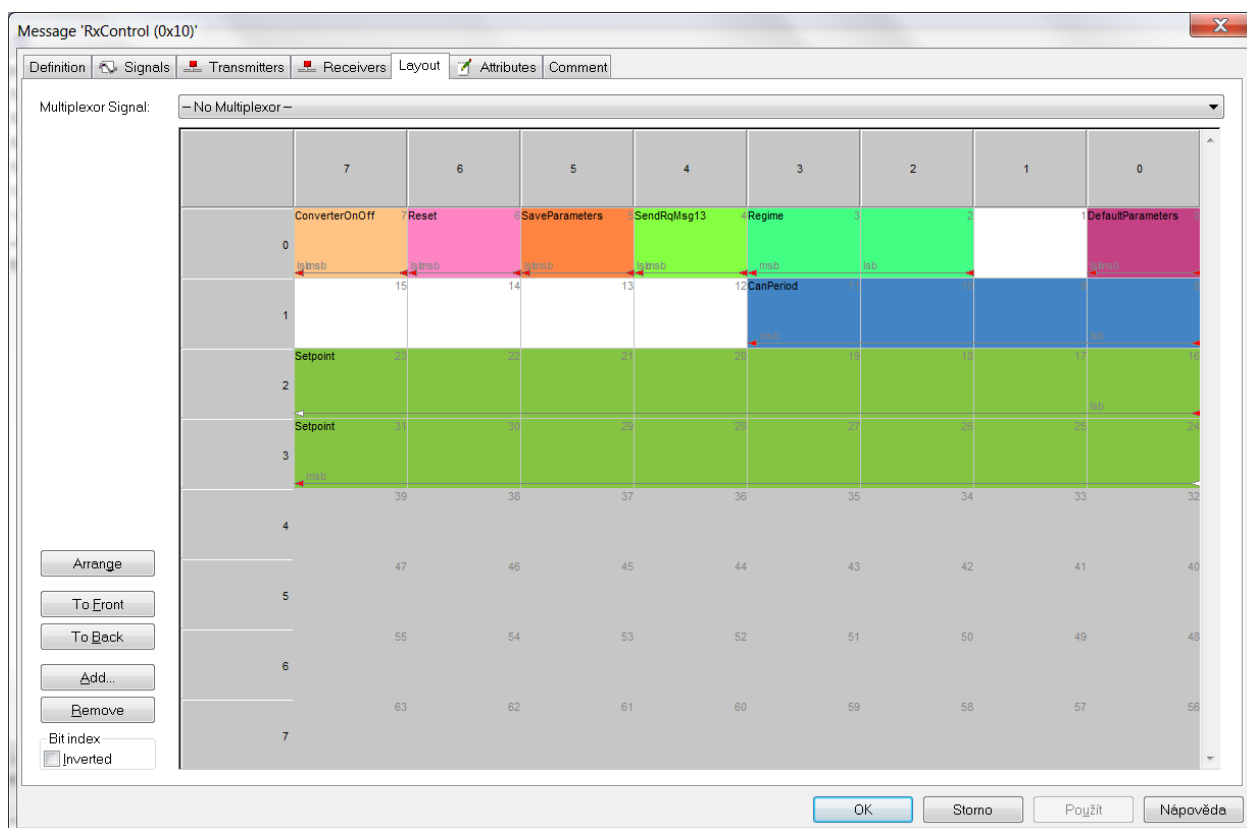
Jedná se o základní řídicí zprávu měniče. Její popis a rozvržení ukazují



Obr.

3.6

a



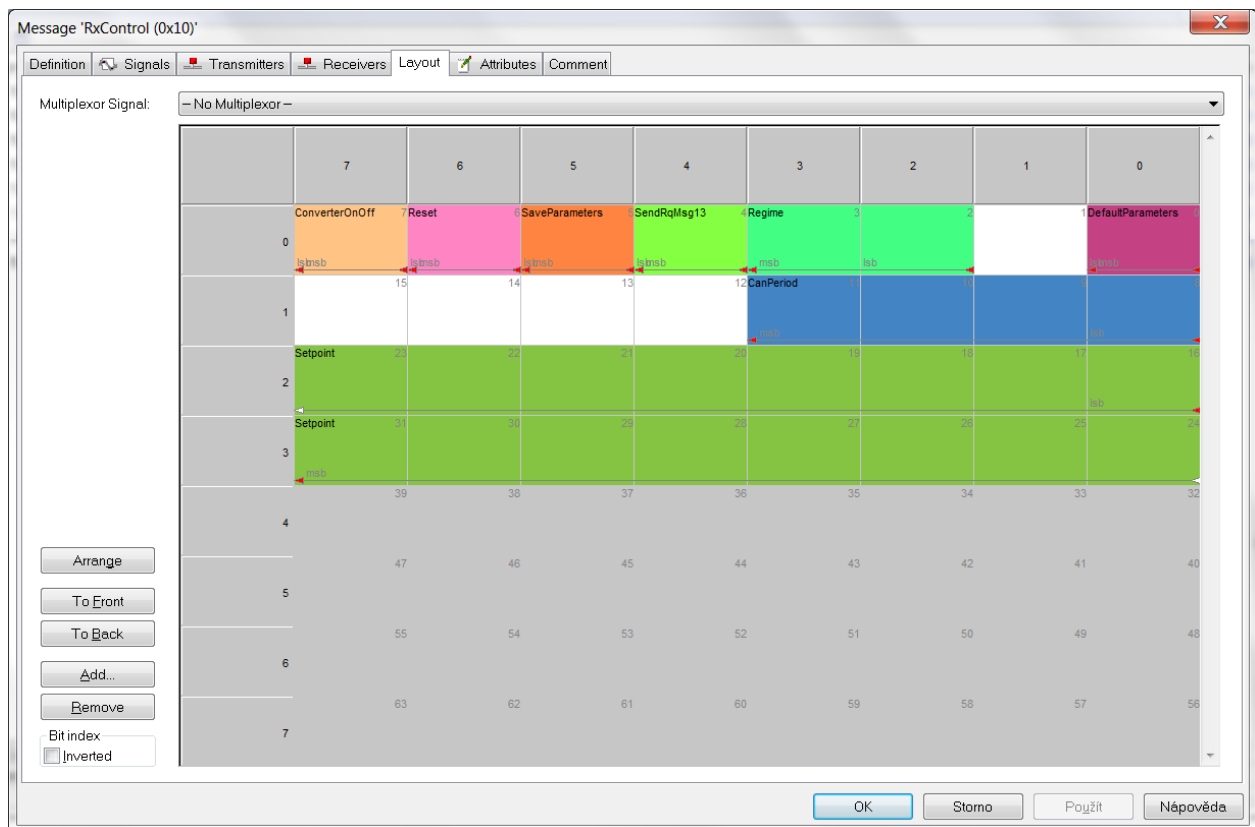
Obr. 3.7. Zpráva obsahuje následující signály:

Name	Message	Multiplexin...	Startbit	Length [Bit]	Byte Order	Value Type	Initial Value	Factor	Offset	M
DefaultParameters	RxControl	-	0	1	Intel	Unsigned	0	1	0	0
Regime	RxControl	-	2	2	Intel	Unsigned	0	1	0	0
SendRqMsg13	RxControl	-	4	1	Intel	Unsigned	0	1	0	0
SaveParameters	RxControl	-	5	1	Intel	Unsigned	0	1	0	0
Reset	RxControl	-	6	1	Intel	Unsigned	0	1	0	0
ConverterOnOff	RxControl	-	7	1	Intel	Unsigned	0	1	0	0
CanPeriod	RxControl	-	8	4	Intel	Unsigned	0	1	0	0
Setpoint	RxControl	-	16	16	Intel	Signed	0	0.0451674	0	0

Message: RxControl, ID: 0x10, ID-Format: CAN Standard, DLC [Byte]: 4

Ready NUM

Obr. 3.6 Struktura zprávy RxControl



Obr. 3.7 Rozložení zprávy RxControl

ConverterOnOff – slouží k zapnutí a vypnutí spínacích signálů měniče, tedy stejnosměrný obvod měniče je stále přednabit a napájen, ale vypíná se pouze napájení motoru.

1 – Zap, 0 - Vyp

Reset – provádí kompletní restart řídicí karty a software. Během opětovného náběhu je provedeno přednabití stejnosměrného meziobvodu a odmazání errorů měniče. Parametry regulátorů se berou buď z paměti dataflash, nebo pokud je dataflash prázdná, tak se načtou defaultní parametry.

1 – reset stav, 0 – neaktivní

SaveParameters – slouží k potvrzení uložení aktuálně používaných (posílaných ve zprávě RxRegulatorConstant) parametrů regulátorů do dataflash. Při nastavení bitu SaveParameters do 1 proběhne právě jedno uložení hodnot. Před dalším uložení nových hodnot se musí nejprve bit SaveParameters shodit do nuly a následně opět nastavit do 1. Klidový stav tohoto bitu by měl být udržován v 0. Funkci SaveParameters je možné aktivovat pouze tehdy, pokud je bit DefaultParameters v 0.

1 – Ulož parametry, 0 – nulování bitu SaveParameters

Regime – nastavuje režim pohonu resp. vektorové regulace

2 – regulace proudu i_{sq} (i_{sq} request), 1 – regulace momentu (Torque request), 0 – regulace otáček (Speed control)

SendRqMsg13 – umožňuje zapnout nebo vypnout posílání zpráv TxRegulatorConstant (0x13) a TxDataflash (0x17). Pokud není nutné tyto dvě zprávy číst, je doporučeno mít posílání těchto zpráv vypnuté. Tato funkce je vhodná pro vyčtení parametrů regulátorů z dataflash, nebo k návratu defaultních hodnot parametrů regulátorů.

1 – zprávy 0x13 a 0x17 jsou posílány, 0 - zprávy 0x13 a 0x17 nejsou posílány

CanPeriod – čtyřbitové číslo, jímž je možné nastavit periodu CAN komunikace od trojnásobku periody vzorkování řízení pohonu ($3 \times 100\mu\text{s}$) až do šestnáctinásobku ($16 \times 100\mu\text{s}$). Je zde provedeno omezení na minimální délku periody, která je nastavena na trojnásobek periody vzorkování řízení pohonu z důvodu rychlosti posílání zpráv.

0,1,2 – $T_{\text{CAN}} = 300\mu\text{s}$; 3 – $T_{\text{CAN}} = 400\mu\text{s}$; ... F – $T_{\text{CAN}} = 1600\mu\text{s}$

pro periodu vzorkování řízení pohonu $100\mu\text{s}$. Aby bylo toto časování dodrženo, je doporučeno mít vypnutou funkci posílání zpráv TxRegulatorConstant a TxDataflash (SendRqMsg13 = 0).

DefaultParameters – slouží k obnovení továrních hodnot parametrů regulátorů. Při nastavení bitu DefaultParameters do 1 proběhne obnovení továrních hodnot parametrů regulátorů, smazání dataflash a uložení defaultních parametrů regulátorů do dataflash. Klidový stav tohoto bitu by měl být udržován v 0. Funkci DefaultParameters je možné aktivovat pouze tehdy, pokud je měnič vypnutý (bit ON/OFF v 0) a pokud není aktivován bit pro uložení nových parametrů regulátorů (bit SaveParameters v 0).

1 – Obnov defaultní parametry, 0 – nulování bitu DefaultParameters

Setpoint – znaménkové šestnáctibitové číslo které představuje požadovanou hodnotu řízení pohonu. Dle režimu pohonu reprezentuje:

1) požadovanou úhlovou rychlost rotoru v elektrických stupních

Pro převod čísla do plovoucí řádové čárky je použit faktor:

```
#define SCALE_w (0.02364959f) // Z CAN přijdou mechanické otáčky, které můžeme  
zadat v rozsahu +-1480ot/min. Do regulace vstupuje elektrická omega, tudíž  
1480rpm->775 rads-1 el., číslo 0.02364959 = 1/60 * 2 * pi * 0,04516739 * pp, což  
je prepocet z mechanických otacek na elektrickou uhlovou rychlost včetne faktoru  
z CANoe
```

Float hodnota požadavku v procesoru může tedy nabývat hodnot cca ± 780 rad/s (elektrická úhlová rotorová rychlost)

2) požadovaný moment motoru

Pro převod čísla do plovoucí řádové čárky je použit faktor:

```
#define SCALE_T (0.04516739) //maximální moment omezen na příjmu dat z CAN na  
max 14.4 Nm. Faktor je dan aplikací v Canoe (0.04516739)
```

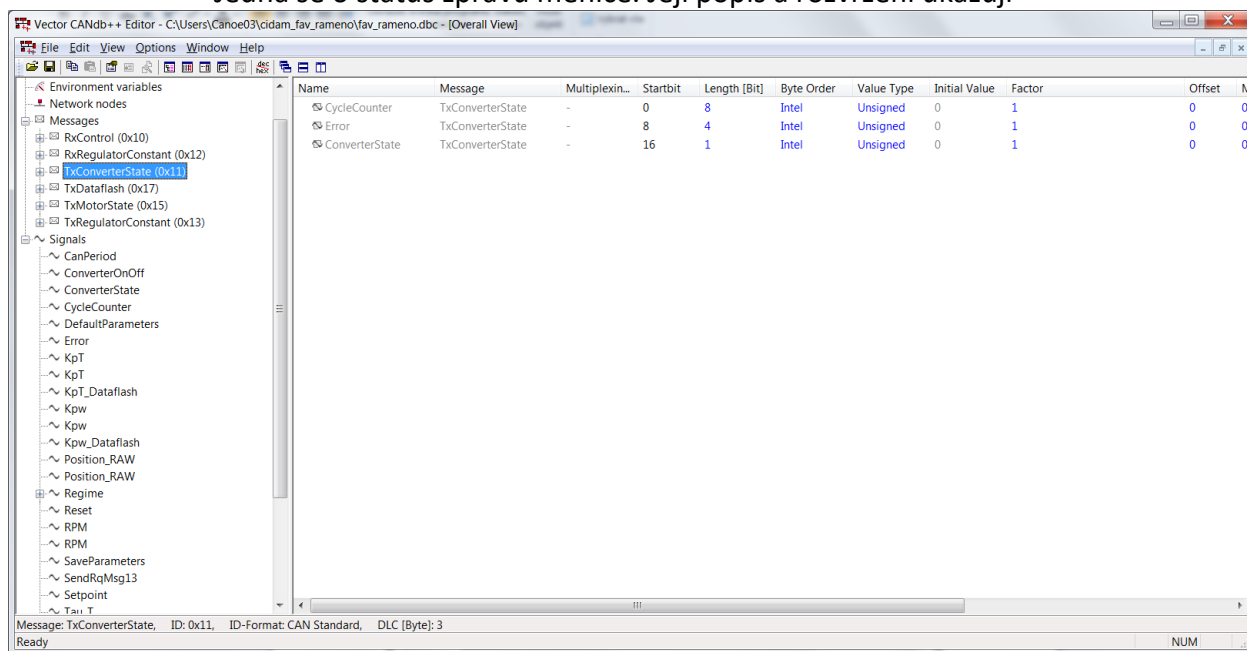
3) požadovaný satorový proud motoru

Pro převod čísla do plovoucí řádové čárky je použit faktor:

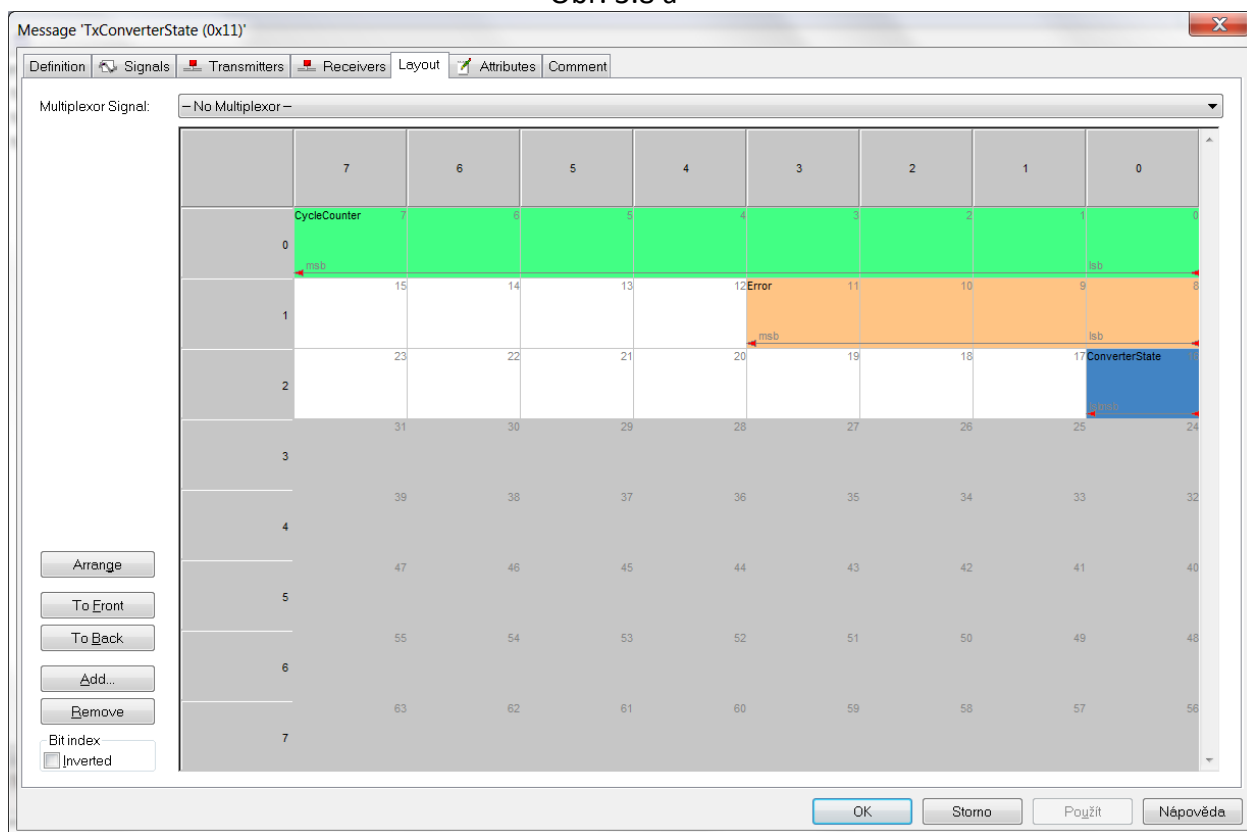
```
#define SCALE_Isq (0.04516739) //maximální proud omezen na příjmu dat z CAN na  
max 2.8284 A. Faktor je dan aplikací v Canoe (0.04516739)
```

3.2.2 TxConverterState 0x11

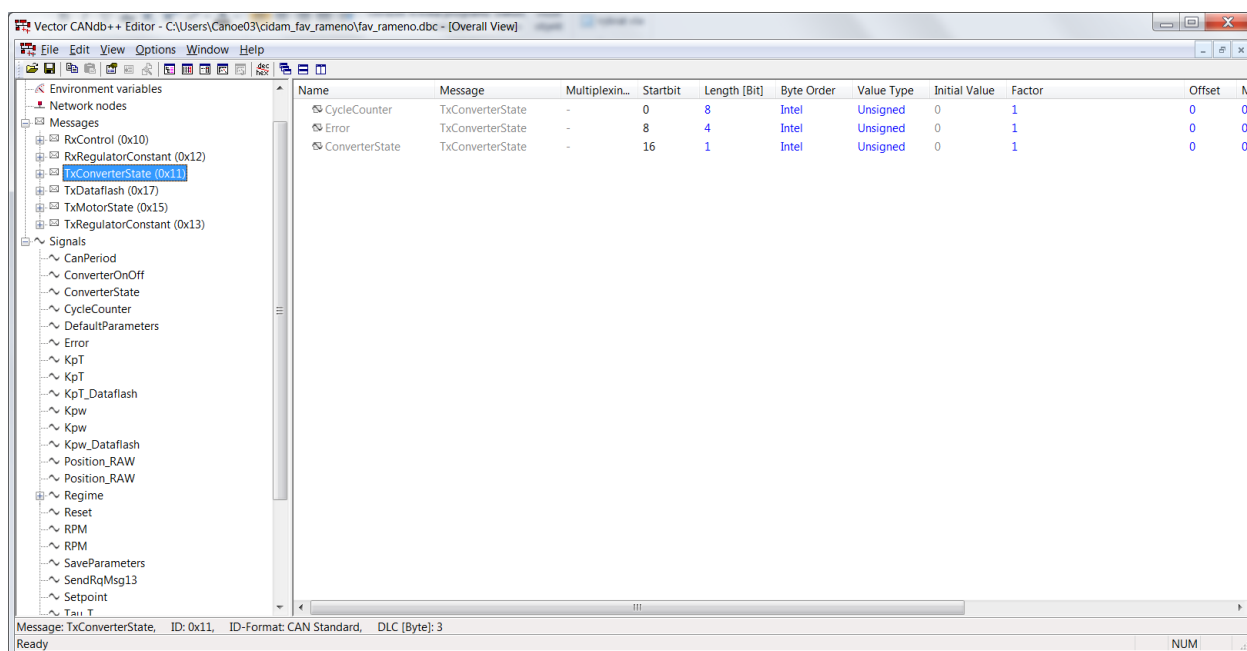
Jedná se o status zprávu měniče. Její popis a rozvržení ukazují



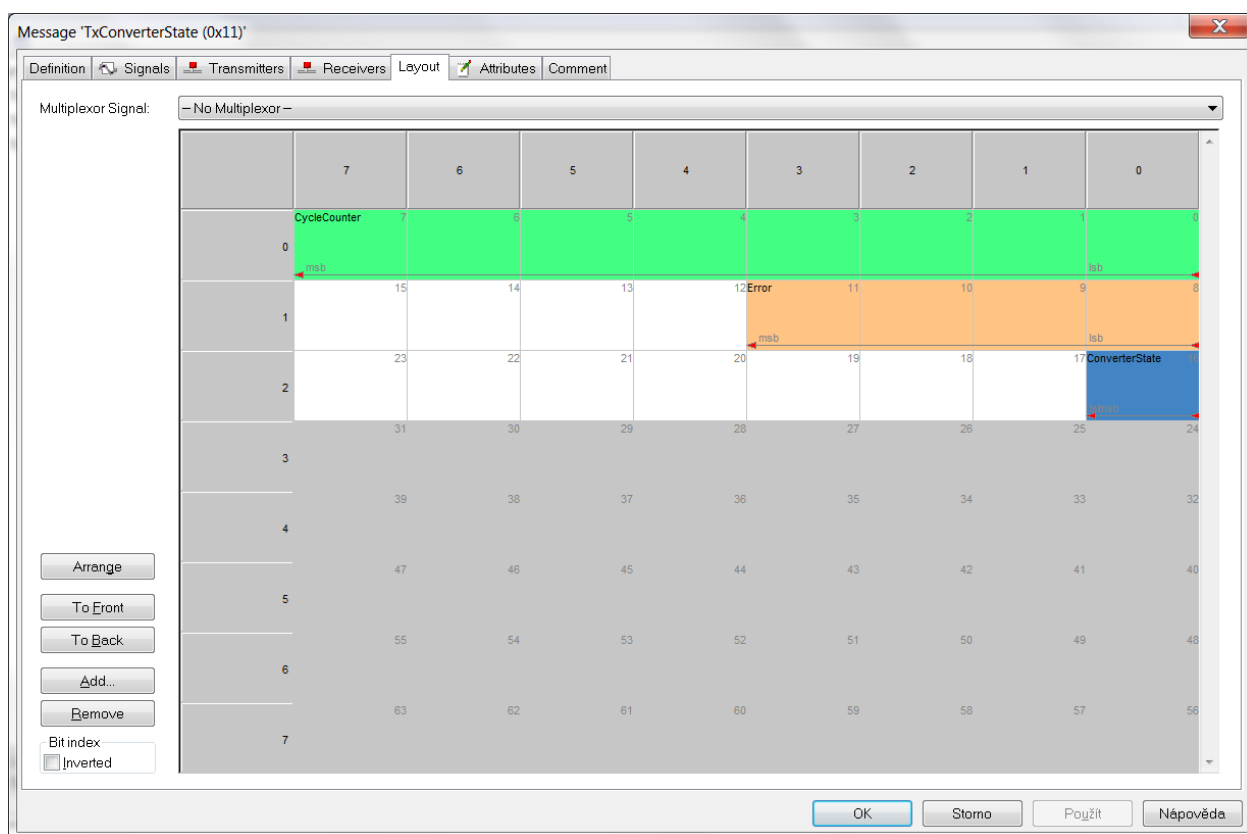
Obr. 3.8 a



Obr. 3.9.



Obr. 3.8 Struktura zprávy TxConverterState



Obr. 3.9 Rozvržení zprávy TxConverterState

Zpráva obsahuje následující signály:

ConverterState – indikace chodu měniče

1 – Zap, 0 – Vyp

Error – indikace erroru měniče. Následuje zablokování spínacích signálů měniče a uvedení do error stavu s vyblíkáváním kodu erroru pomocí `FPG_LED_ERROR`. Pro vymazání je nutné poslat jednotkový signál **reset** ve zprávě RxControl.

0 – NO_ERROR - bez erroru

1 – CHARGING_UNDERVOLTAGE – přednabíjení - nízké napětí DC meziobvodu $U_c < 293V$, nabíjecí rezistor zařazen

2 – CHARGING_OVERVOLTAGE – přednabíjení - vysoké napětí DC meziobvodu $U_c > 360V$, nabíjecí rezistor zařazen

3 – UCN_UNDERVOLTAGE – nízké napětí DC meziobvodu $U_{cN} < 293V$, měření U_{cN} – nabíjecí rezistor překlenut

4 – UCN_OVERVOLTAGE – vysoké napětí DC meziobvodu $U_{cN} > 360V$, měření U_{cN} – nabíjecí rezistor překlenut

5 – OVERCURRENT - překročení maximálního fázového proudu statoru $I_{sMAX} = 8.9A$ (okamžitá hodnota)

6 – VOLTAGE_ERROR - napětí DC meziobvodu mimo bezpečné meze (168V, 440V)

7 – OVERSPEED - překročení maximální rychlosti $n_{MAX} = 1480rpm \Rightarrow 775rad/s$

8 – POSITION_ERROR – Hiperface viz [3] – chyba čidla polohy rotoru

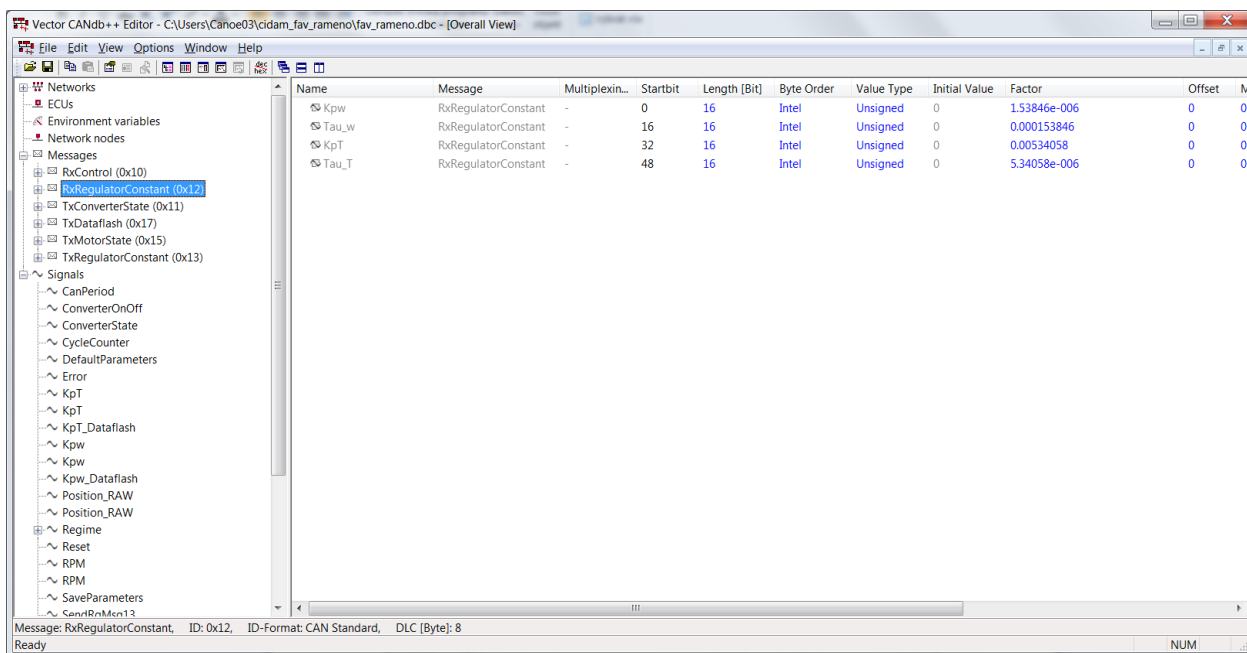
9 – ENCODING_ERROR - Hiperface viz [3] – chyba komunikace

10 – CAN_ERROR – výpadek komunikace CAN (signalizováno při výpadku komunikace po dobu delší jak 50ms). Výpadek komunikace hlídá Process data watchdog.

CycleCounter – osmibitový čítač, jehož hodnota se zvyšuje s každou odeslanou zprávou z měniče do PC.

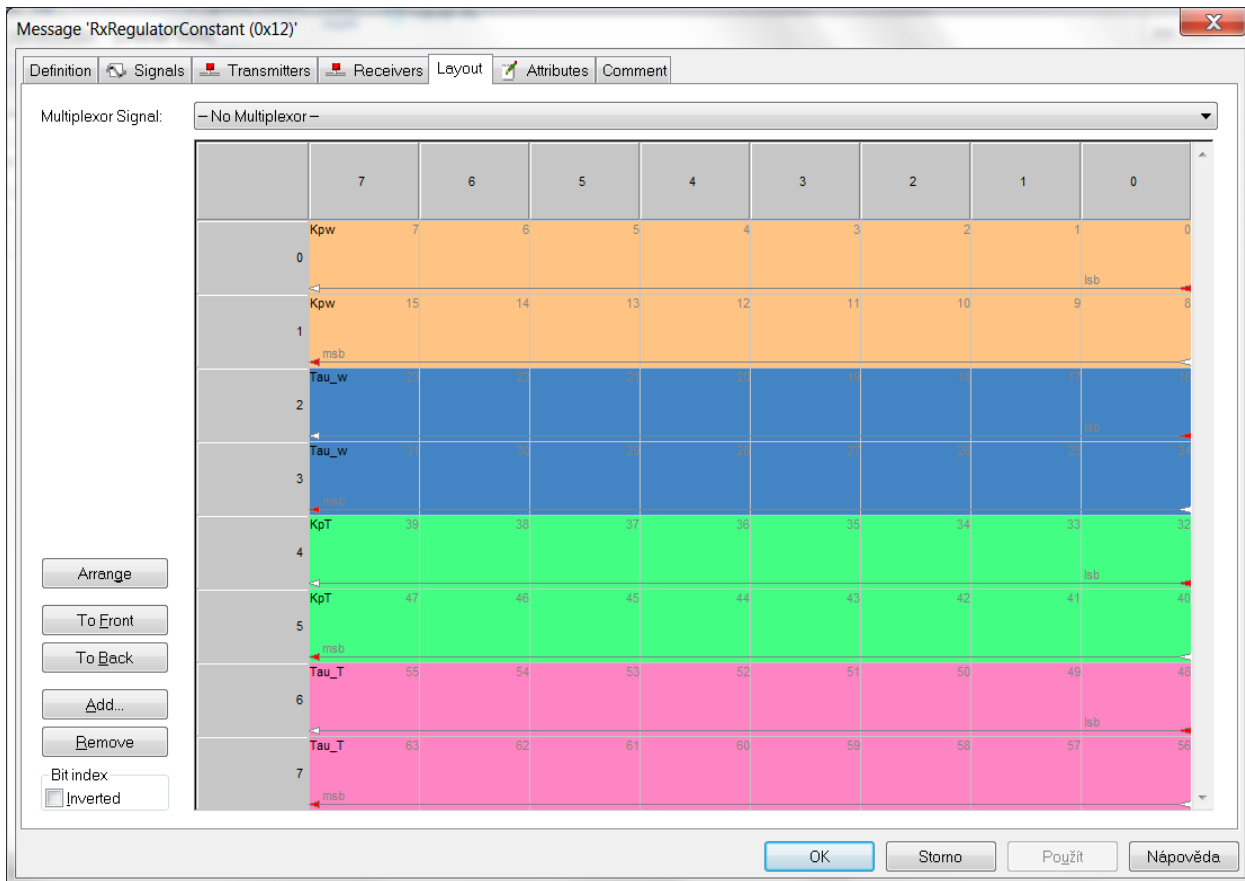
3.2.3 RxRegulatorConstant 0x12

Jedná se o zprávu nastavující konstanty PI regulátorů otáček a proudu. Regulátory proudu jsou dva, ale jejich konstanty jsou zadávány totožné. Jejím popis a rozvržení ukazují **Chyba! Chybný odkaz na záložku.** a Obr. 3.11.



Name	Message	Multiplexin...	Startbit	Length [Bit]	Byte Order	Value Type	Initial Value	Factor	Offset	M
Kpw	RxRegulatorConstant	-	0	16	Intel	Unsigned	0	1.53846e-006	0	0
Tau_w	RxRegulatorConstant	-	16	16	Intel	Unsigned	0	0.000153846	0	0
KpT	RxRegulatorConstant	-	32	16	Intel	Unsigned	0	0.00534058	0	0
Tau_T	RxRegulatorConstant	-	48	16	Intel	Unsigned	0	5.34058e-006	0	0

Obr. 3.10 Struktura zprávy RxRegulatorConstant



Obr. 3.11 Rozvržení zprávy RxRegulatorConstant

Zpráva obsahuje následující signály:

Kx – neznaménkové šestnáctibitové číslo, které představuje příslušný parametr regulátoru.

Kpw – proporční zesílení regulátoru otáček (regulátor úhlové rychlosti)

Tau_w – časová konstanta regulátoru otáček (regulátor úhlové rychlosti)

KpT – proporční zesílení proudových regulátorů

Tau_T – časová konstanta proudových regulátorů

Pro převod konstant do plovoucí řádové čárky jsou použity faktory:

```
#define SCALE_1_Kpw (1.0f/SCALE_Kpw)
```

```
#define SCALE_1_Tau_w (1.0f/SCALE_Tau_w)
```

```
#define SCALE_1_KpT (1.0f/SCALE_Kpw)
```

```
#define SCALE_1_Tau_T (1.0f/SCALE_Tau_T)
```

, kde

```
#define SCALE_Kpw 650000.0f
```

```
#define SCALE_Tau_w 6500.0f
```

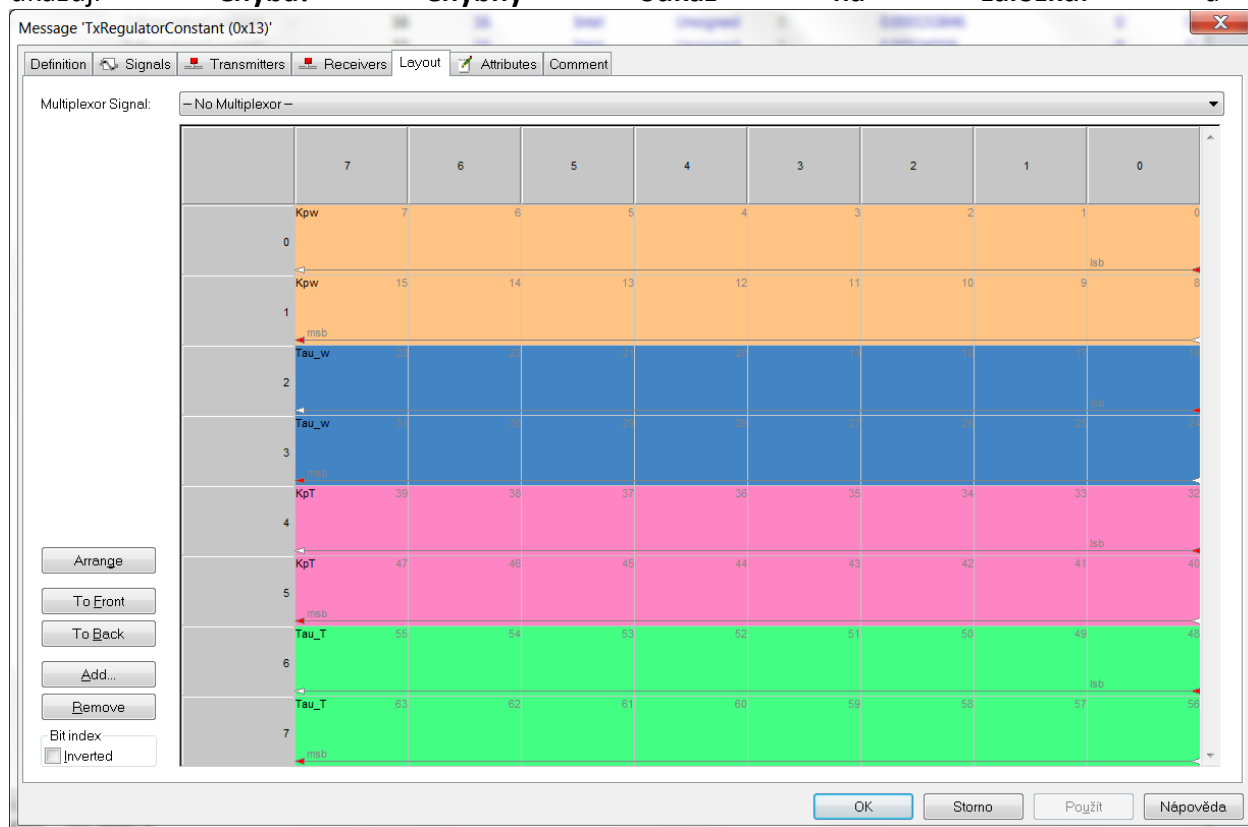
```
#define SCALE_KpT 187.245714286f
```

```
#define SCALE_Tau_T 187245.714281332f
```

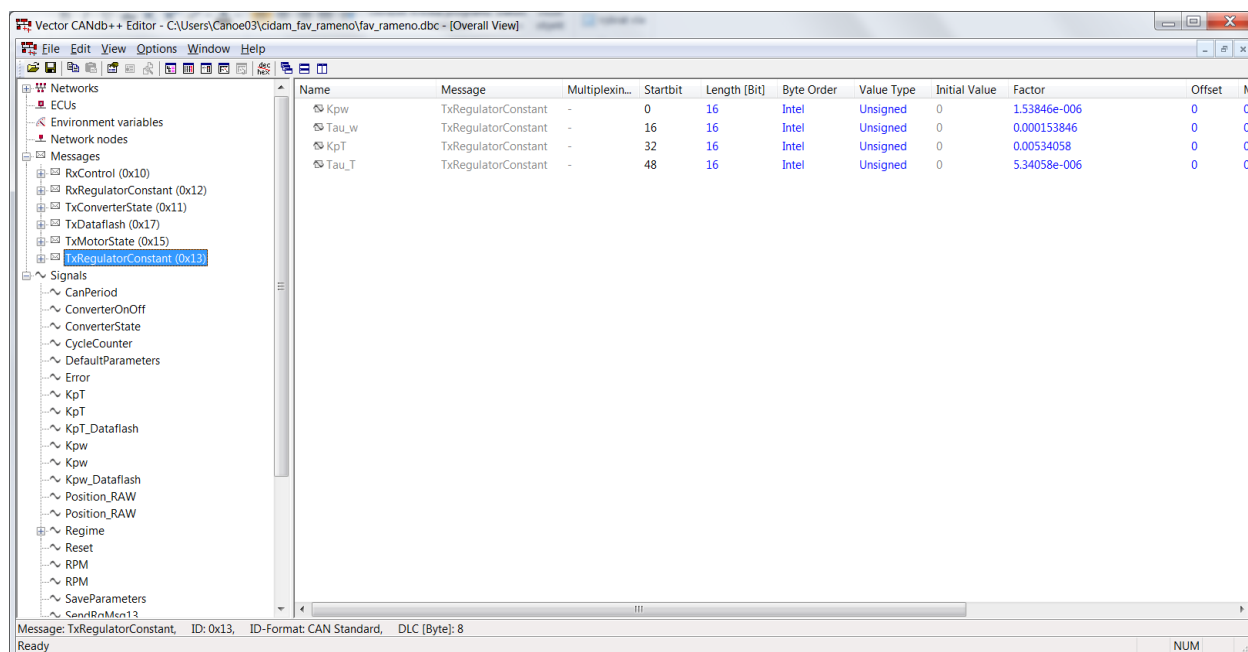
3.2.4 TxRegulatorConstant 0x13

Jedná se o zprávu s aktuálními parametry PI regulátorů otáček a proudu, která je odesílána měničem na požadavek pomocí jednotkového signálu **SendRqMsg13** ve zprávě RxControl. Regulátory proudu jsou dva, ale jejich parametry jsou totožné. Popis zprávy a její rozvržení ukazují

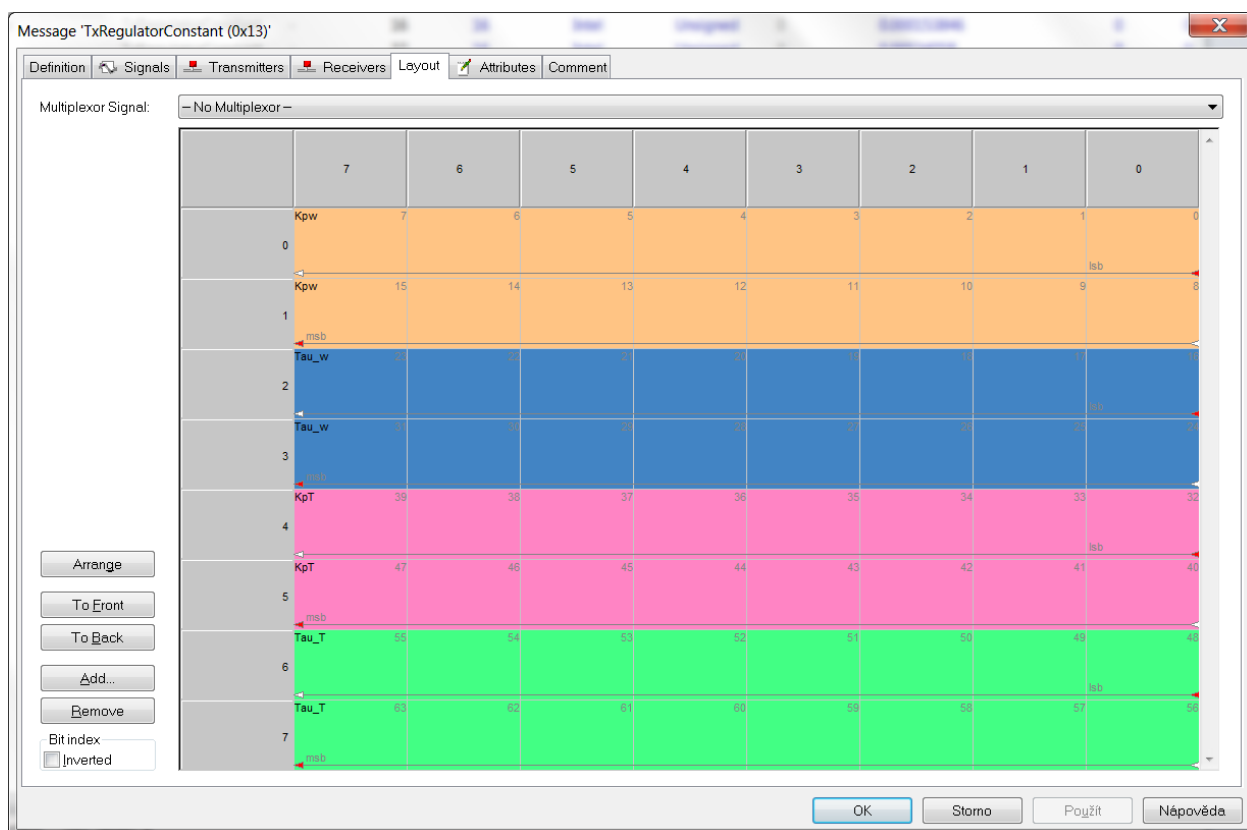
Chyba! Chybný odkaz na záložku. a



Obr. 3.13.



Obr. 3.12 Struktura zprávy TxRegulatorConstant



Obr. 3.13 Rozvržení zprávy TxRegulatorConstant

Reprezentace jednotlivých parametrů a jejich přepočet na desetinné číslo je totožný s předchozí zprávou RxRegulatorConstant.

3.2.5 TxMotorState 0x15

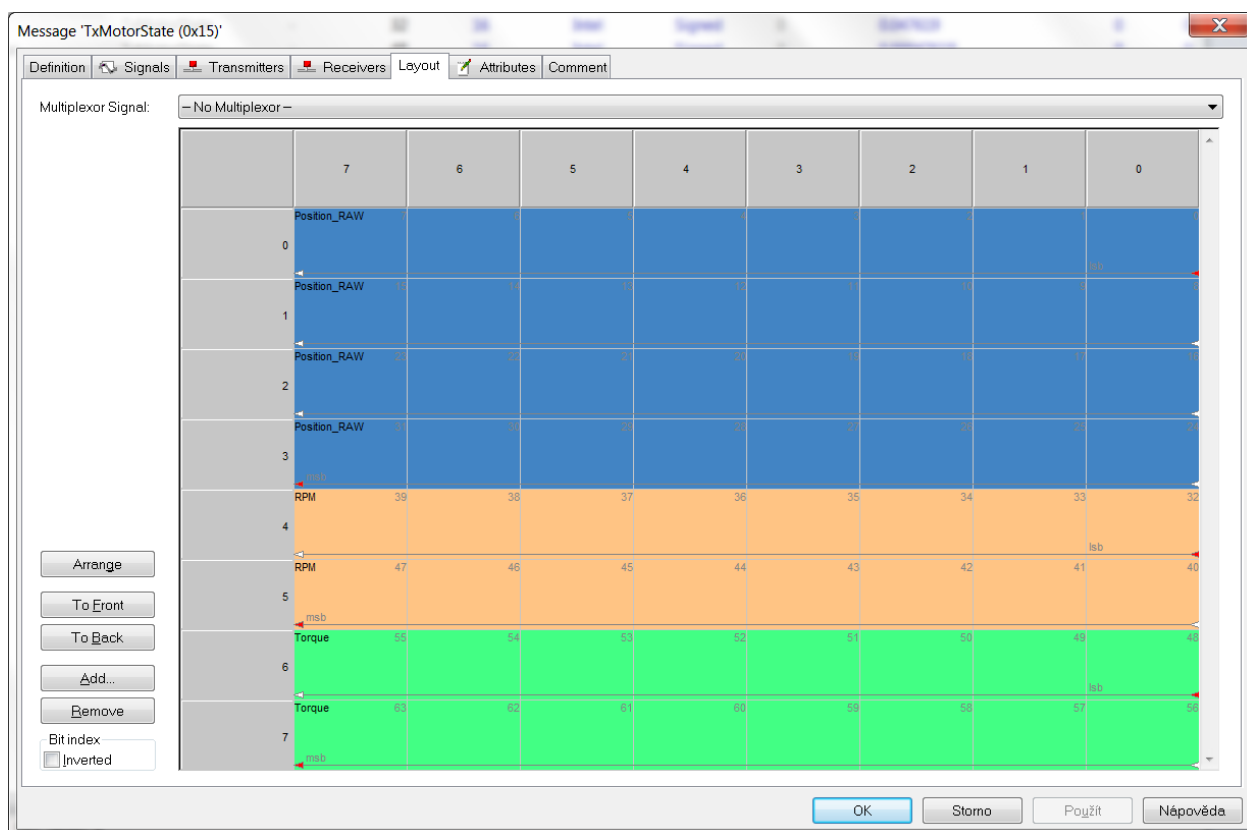
Jedná se o status zprávu motoru. Její popis a rozvržení ukazují Obr. 3.14 a Obr. 3.15.

Vector CANdb++ Editor - C:\Users\Canoe03\cidam_fav_rameno\fav_rameno.dbc - [Overall View]

Name	Message	Multiplexin...	Startbit	Length [Bit]	Byte Order	Value Type	Initial Value	Factor	Offset	N
Position_RAW	TxMotorState	-	0	32	Intel	Unsigned	0	1	0	0
RPM	TxMotorState	-	32	16	Intel	Signed	0	0.047619	0	0
Torque	TxMotorState	-	48	16	Intel	Signed	0	0.00047619	0	0

Message: TxMotorState, ID: 0x15, ID-Format: CAN Standard, DLC [Byte]: 8

Obr. 3.14 Struktura zprávy TxMotorState



Obr. 3.15 Rozvržení zprávy TxMotorState

Zpráva obsahuje následující signály:

Position_RAW – celé 4B informace o poloze rotoru z čidla.

RPM – znaménkové šestnáctibitové číslo, které představuje mechanické otáčky motoru [ot/min].

Pro převod čísla do plovoucí řádové čárky je použit faktor:

```
#define SCALE_RPM (0.047619047) //maximalni maximální otáčky jsou omezeny na  
prijmu dat z CAN na +/- 1560 ot/min. Faktor je dan aplikaci v Canoe (0.047619047)
```

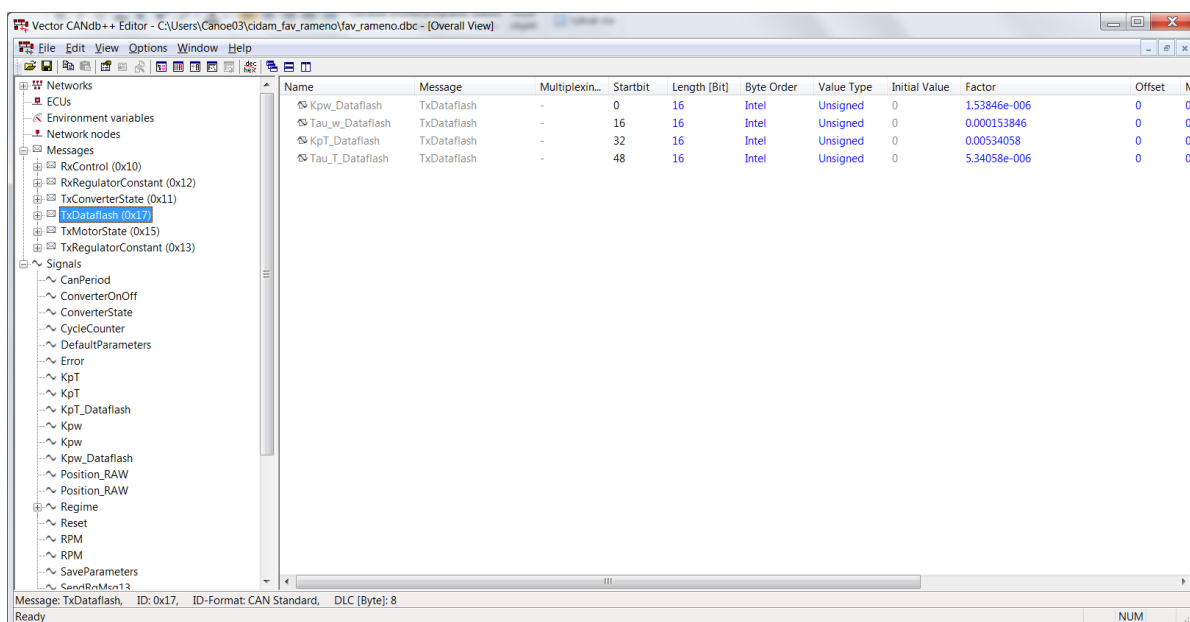
Torque – znaménkové šestnáctibitové číslo které představuje moment motoru

Pro převod čísla do plovoucí řádové čárky je použit faktor:

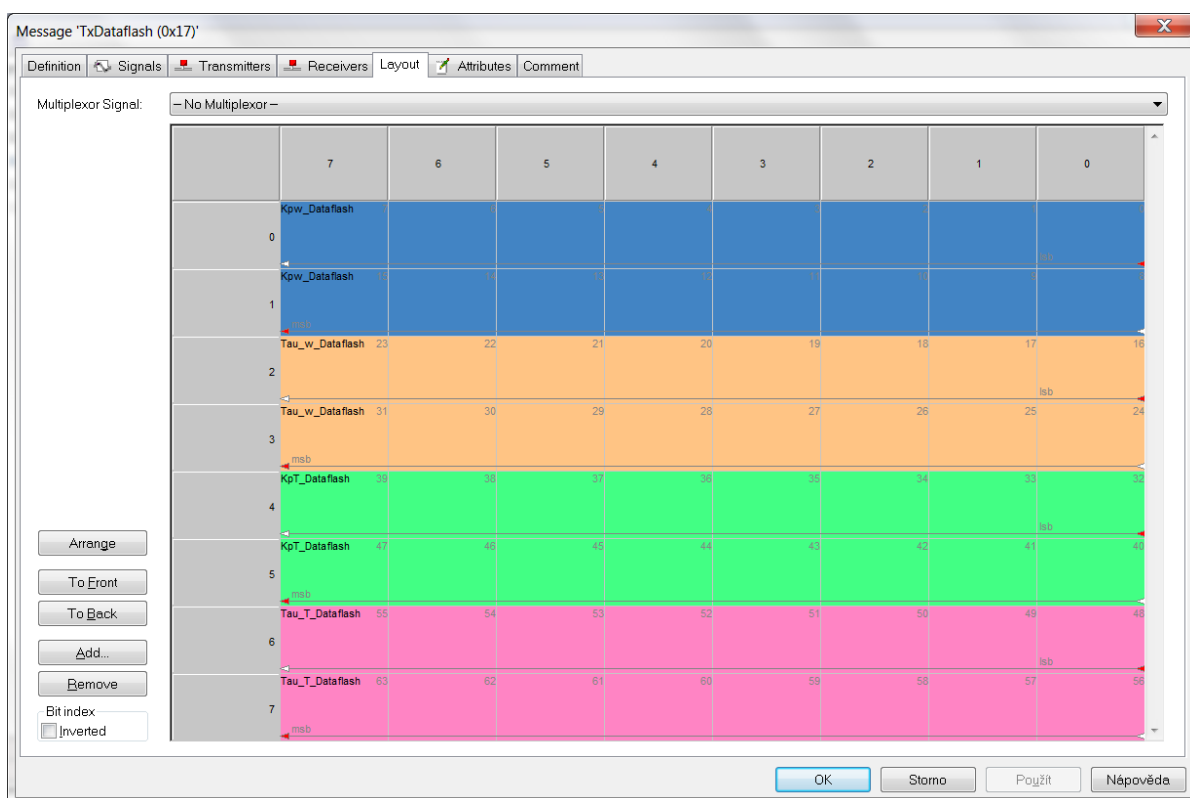
```
#define SCALE_T (0.04516739) //maximalni moment omezen na prijmu dat z CAN na  
max 14.4 Nm. Faktor je dan aplikaci v Canoe (0.04516739)
```

3.2.6 TxDataflash 0x17

Jedná se o zprávu, ve které jsou posílány parametry regulátorů, které jsou uloženy v paměti dataflash. Obsah zprávy a její rozvržení ukazují Obr. 3.16 a Obr. 3.17. Paměť dataflash je možné přepsat aktivací bitů SaveParameters nebo DefaultParameters ve zprávě RxControl.



Obr. 3.16 Struktura zprávy TxDataflash



Obr. 3.17 Rozvržení zprávy TxDataflash

Zpráva obsahuje následující signály:

Kx – neznaménkové šestnáctibitové číslo které představuje příslušnou konstantu regulátoru.

Kpw_Dataflash – proporční konstanta regulátoru otáček (regulátor úhlové rychlosti)

Tau_w_Dataflash – časová konstanta regulátoru otáček (regulátor úhlové rychlosti)

KpT_Dataflash – proporční konstanta proudových regulátorů

Tau_T_Dataflash – časová konstanta proudových regulátorů

Pro převod konstant do plovoucí řádové čárky jsou použity faktory:

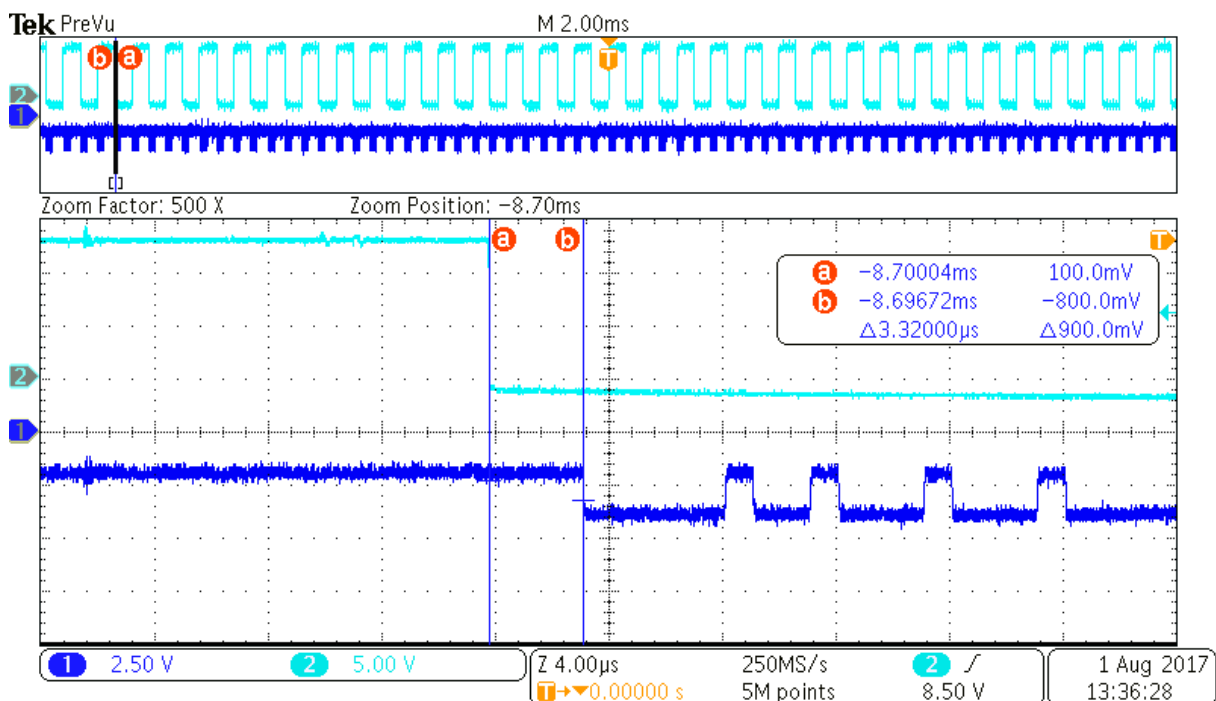
```
#define SCALE_1_Kpw (1.0f/SCALE_Kpw)
#define SCALE_1_Tau_w (1.0f/SCALE_Tau_w)
#define SCALE_1_KpT (1.0f/SCALE_Kpw)
#define SCALE_1_Tau_T (1.0f/SCALE_Tau_T)
```

kde

```
#define SCALE_Kpw 650000.0f
#define SCALE_Tau_w 6500.0f
#define SCALE_KpT 187.245714286f
#define SCALE_Tau_T 187245.714281332f
```

4 Měření

Z důvodu požadavku na konstantní posuv synchronizačního signálu SyncCAN a posílané zprávy CAN, byl tento fakt kontrolován viz následující oscilogram na Obr. 4.1. Proměnnost posuvu byla vypořizována na několika událostech v maximální velikosti $\pm 0.2\mu\text{s}$ od předkládaného měření.



Obr. 4.1 Oscilogram - posuv SyncCAN vs CAN zpráva – měření délky posuvu

5 Závěr

V této zprávě je proveden popis pohonu pro rameno robotu se synchronním motorem s permanentními magnety. Veškeré části zařízení jsou popsány z hlediska uživatelského použití.

Měřením byl ověřen téměř konstantní posuv signálu SyncCAN a posílané první zprávy CAN s deviací v řádu desetin μs .

Literatura

- [1] [http://www.tgdrives.cz/fileadmin/user_upload/download/TG Drives 2014 Katalog servomotory TGN_EN.pdf](http://www.tgdrives.cz/fileadmin/user_upload/download/TG_Drives_2014_Katalog_servomotory_TGN_EN.pdf)
- [2] [https://vector.com/portal/medien/cmc/manuals/VN1600 Interface Family Manual EN.pdf](https://vector.com/portal/medien/cmc/manuals/VN1600_Interface_Family_Manual_EN.pdf)
- [3] Hiperface DSL ® Implementation manual; SICK-Stegmann GmbH, donaueschingen, release 1.06, may 31, 2014

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum	Jméno
0	Všechny	Publikování dokumentu	14.8.2017	D. Uzel
1	Všechny	Formální úpravy	12/2017	Z. Kehl
2	3	Popis změny komunikace	05/2018	Z. Kehl
3	Všechny	Popis změn v řídicím softwaru	06/2018	Z. Kehl