



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

PŘEVODNÍK ROZHRANÍ MODBUS TCP

MODBUS TCP INTERFACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Krotký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Pavel Krotký

ID: 155186

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Převodník rozhraní Modbus TCP

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte převodník rozhraní Modbus TCP na RS485/422/CAN s využitím interního protokolu firmy VF a.s.. Převodník bude obsahovat webserver, který umožní jeho konfiguraci. Převodník bude založen na využití mikrokontroleru.

DOPORUČENÁ LITERATURA:


Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6. 2. 2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

Konzultant:


doc. Ing. Jří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout a vyvinout převodník z Ethernetového rozhraní na rozhraní sériové linky. Jsou zde stručně popsány komunikační protokoly, které se využívají na straně Ethernetu, ale i na straně sériové linky. V práci byl vybrán vhodný mikroprocesor a příslušný hardware pro realizaci fyzických vrstev Ethernetového a sériového rozhraní. Program převodníku běží na operačním systému TI-RTOS od firmy Texas Instruments. Úlohou zařízení je převádět komunikační protokoly mezi fyzickými vrstvami a též plnit funkci webserveru pro konfiguraci převodníku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Převodník, IEEE 802.3, Ethernet, RS485, UART, Modbus, VFS, VFU, VFC, CAN, TI-RTOS

ABSTRACT

Main purpose of this thesis is to design and develop Ethernet to serial interface converter. Ethernet and serial line protocols are briefly described. Appropriate microprocessor and hardware for realisation of each physical layers were chosen. Converter uses Texas Instrument's TI-RTOS operating system. Converter's purpose is to pass on communication between physical layers and also fulfill webserver role with configuration possibilities.

KEYWORDS

Converter, IEEE 802.3, Ethernet, RS485, UART, Modbus, VFS, VFU, VFC, CAN, TI-RTOS

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „**Převodník rozhraní Modbus TCP**“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 8. června 2017

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Pavlíkovi, Ph.D., za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce. Také děkuji panu Ing. Jiřímu Čulenovi z firmy VF, a. s. za velkou pomoc s praktickým pochopením a realizací převodníku.

V Brně dne 8. června 2017

.....
podpis autora

OBSAH

Úvod	1
1 Rozbor problematiky	2
1.1 Existující řešení.....	2
1.1.1 FL COMSERVER UNI 232/422/485	2
1.1.2 GNOME.....	3
1.1.3 ADAM-4571	3
1.2 Ethernet.....	4
1.3 RS485.....	5
1.4 UART.....	6
1.5 Sběrnice CAN	7
2 Komunikační protokoly	9
2.1 Protokol Modbus.....	9
2.1.1 Funkce Modbus.....	9
2.1.2 PDU protokolu Modbus.....	10
2.1.3 Transakce Modbus	10
2.1.4 Protokol Modbus TCP/IP.....	11
2.1.5 Protokol Modbus RTU.....	12
2.2 Protokoly společnosti VF, a. s.	13
2.2.1 Funkce VFBUS.....	13
2.2.2 PDU protokolu VFBUS – VF PDU	13
2.2.3 Transakce VFBUS	14
2.2.4 Protokol VFBUS SL	14
2.2.5 Protokol VFBUS CAN	15
2.2.6 Protokol VFBUS UDP.....	16
3 Návrh Převodníku	18
3.1 Požadavky na navrhovaný převodník	18
3.2 Výběr hardwaru	18
3.2.1 Mikroprocesor a periferie	18
3.2.2 Převodník RS422/485	19
3.2.3 Převodník CAN.....	20

3.2.4	Servisní konektor	21
3.2.5	Napájení hardware	21
3.3	Software převodníku	23
3.4	Převod protokolu Modbus TCP/IP na RTU	23
3.4.1	Kontrolní součet CRC	24
3.4.2	Příklad transakce Modbus	26
3.5	Převod protokolů VF, a. s.	26
3.5.1	Příklad transakce mezi VFBUS UDP a VFBUS SL	26
3.5.2	Příklad transakce mezi VFBUS UDP a VFBUS CAN	27
4	Závěr	30
	Literatura	31
	Seznam příloh	33

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. COMSERVER UNI [1]	2
Obr. 2. XPort od Lantronix na DPS GNOME485	3
Obr. 3. Převodník ADAM-4571 [3].....	4
Obr. 4. Grafické znázornění ISO/OSI modelu. [9].....	4
Obr. 5. Ethernetový rámec pod IEEE 802.3 [12].....	5
Obr. 6. Připojení pull-up rezistorů k lince RS485	6
Obr. 7. Datová struktura rozhraní UART	7
Obr. 8. Rozložení Modbus PDU	10
Obr. 9. Modbus transakce s bezchybným provedením požadavku.....	11
Obr. 10. Modbus transakce s chybou při provádění požadavku.....	11
Obr. 11. ADU (Application Data Unit) protokolu Modbus on TCP/IP.....	11
Obr. 12. ADU protokolu Modbus RTU	12
Obr. 13. Rozložení VF PDU	14
Obr. 14. Zpráva protokolu VFBUS SL.....	15
Obr. 15. Zpráva protokolu VFBUS UDP [19].....	17
Obr. 16. Blokové schéma komunikace hardware	19
Obr. 17. Zapojení integrovaného obvodu ADM2587 – RS422/485.....	20
Obr. 18. Přepínač zakončovacího odporu a výstupů linky RS422/485	20
Obr. 19. Zapojení integrovaného obvodu SN65HVD231 – CAN.....	20
Obr. 20. Zapojení servisního konektoru rozhraní UART	21
Obr. 21. Blokové schéma napájení hardware	21
Obr. 22. Zapojení napájecího zdroje.....	22
Obr. 23. Převody mezi protokoly.....	23
Obr. 24. Struktura ADU Modbus TCP/IP a RTU	24
Obr. 25. Algoritmus výpočtu CRC pomocí tabulky [19]	25
Obr. 26. Paket požadavku protokolu Modbus TCP/IP a přeloženého RTU.....	26
Obr. 27. Paket odpovědi protokolu Modbus RTU a přeloženého TCP/IP	26
Obr. 28. Paket požadavku protokolu VFBUS UDP a přeloženého VFBUS SL.....	27
Obr. 29. Paket odpovědi protokolu VFBUS SL a přeloženého VFBUS UDP.....	27
Obr. 30. Paket požadavku protokolu VFBUS UDP a přeloženého VFC-A	28
Obr. 31. Paket odpovědi VFC-A a přeloženého VFBUS UDP	28
Obr. 32. Paket požadavku VFBUS UDP a znázornění komunikace převodníku	29

Obr. 33. Paket odpovědi VFC-B a znázornění komunikace převodníku.....	29
Obr. 34. Návrh DPS převodníku TOP 80,00 x 99,30 [mm], měřítko M1:0,5	43
Obr. 35. Osazovací předpis DPS TOP 80,00 x 99,30 [mm], měřítko M1:0,5	44

SEZNAM ZKRATEK

ADU	Application Data Unit
CAN	Controller Area Network
CRC	Cyclic Redundancy Chcek
FRAM	Ferroelectric Random-Access Memory
GPIO	General Purpose Input/Output
IP	Internet Protocol
ISO	International Standarts Organization
JTAG	Joint Test Action Group
MAC	Media Access Control
MBAP	Modbus Application Protocol
OS	Operating System
OSI	Open Systems Interconnection
PDU	Protokol Data Unit
PHY	Physical Layer
RO	Read Only
RTOS	Real Time Operating Systém
RW	Read Write
TCP	Transmission Control Protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UDP	User Datagram Protokol

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Standardní funkce Modbus [17]	9
Tab. 2. MBAP hlavička protokolu Modbus on TCP [20].....	12
Tab. 3. Funkce definované společností VF, a. s. [19].....	13
Tab. 4. Struktura zprávy VF BUS [19].....	14
Tab. 5. Nastavení asynchronní sériové linky pro protokol VFBUS SL [19].....	15
Tab. 6. Nastavení sběrnice CAN pro protokoly VFBUS CAN	16
Tab. 7. Identifikátor paketu CAN protokolu VFC-A [19].....	16
Tab. 8. Identifikátor paketu CAN protokolu VFC-B [19]	16

ÚVOD

S postupným rozvojem informačních technologií se rozvíjí také síťové technologie. 8 má za následek masové rozšíření protokolu IEEE 802.3 (neformálně značeného jako Ethernet) do všech oblastí. V dnešní době se IEEE 802.3 využívá od připojení počítačů v rodinném domě až po obrovské podnikové sítě. Stále víc protokol IEEE 802.3 proniká i do průmyslové oblasti, kde se nevyužívá jen na připojení počítačů, ale i k propojení jednotlivých prvků řídicích systémů.

Rovněž došlo k rozšíření operačních systémů. Ty byly dlouhou dobu výsadou osobních počítačů. S postupným růstem embedded systémů si vyžádalo nasazení operačních systémů i do těchto zařízení. Toto umožnilo tvorbu modulárního a přehledného řídicího programu. Mezi nejpoužívanější operační systémy embedded zařízení patří Windows, různé varianty Linuxu a speciálně zaměřené operační systémy, jako je například TI-RTOS, který je použit v této práci.

Z důvodu, že žádný převodník na trhu neumí interní protokoly společnosti VF a většina převodníků jsou pouze vzdálené UART převodníky, ke kterým se nepřipojí více než jedno zařízení ze sítě současně. Společnost VF rozhodla pro vývoj převodníku z rozhraní Ethernet na sériovou linku, pracující s protokoly Modbus a interními protokoly společnosti, který by mohla zařadit mezi své produkty a nabízet jako součást svých zařízení.

Cílem této práce je návrh a vývoj převodníku, který bude sloužit pro převod mezi rozhraním Ethernet a sériovou linkou (RS422/485 a CAN). Pracuje s protokoly Modbus TCP/IP, Modbus RTU a interními protokoly společnosti. Převodník bude fungovat na operačním systému TI-RTOS od firmy Texas Instruments. Pro konfiguraci převodníku bude k dispozici webová rozhraní.

V závěru této práce jsou uvedena schémata zapojení a návrh desky plošného spoje převodníku.

1 ROZBOR PROBLEMATIKY

Tato kapitola je věnována rozboru současného stavu trhu s převodníky z rozhraní Ethernet na sériové rozhraní, a také tomu, jaké převodníky lze v současné době pořídit. Dále se bude snažit nabídnout lepší řešení než je momentálně na trhu dostupné a případně i doplnit některé přídavné funkce, kterými by zařízení mohlo disponovat.

1.1 Existující řešení

Vzhledem ke skutečnosti, že v této oblasti již spousta řešení od různých výrobců s různými funkcemi a rozšířeními existuje, bude tato kapitola věnována jen řešením, podobným navrhovanému v této práci. Nebude tu tedy rozebráno velké množství různých převodníků, ale jen převodníky velmi podobné.

1.1.1 FL COMSERVER UNI 232/422/485

Převodník rozhraní od výrobce Phoenix Contact (Obr. 1) je druhá generace průmyslového převodníku z Ethernetového na sériové rozhraní. Tento převodník má nespornou výhodu možné změny sériového rozhraní, například z RS485 na RS422. Změna sériového rozhraní je realizována změnou zapojení na výstupním konektoru a změnou v nastavení převodníku. Disponuje sériovými rozhraními:

- RS232 – Konektor D-SUB 9
- RS422 - Svorkovnice
- RS485 - Svorkovnice

Konfigurace převodníku se realizuje přes webové rozhraní nebo sériové rozhraní RS232. Převodníku lze nastavit síťové připojení (IP, GW, MASKA, ...), sériové rozhraní, komunikační protokol (TCP/IP, UDP, ...), atd. Napájecí napětí převodníku je 24 VSS. [1]



Obr. 1. COMSERVER UNI [1]

Velikou nevýhodou tohoto převodníku je vysoká pořizovací cena, přibližně 12 000,- Kč bez DPH.

1.1.2 GNOME

Převodník od českého výrobce Papouch s.r.o. je jednoduchý převodník z Ethernetového rozhraní na sériové rozhraní. Nevýhodou je, že tento převodník není univerzální, disponuje jen sériovým rozhraním a napájecím napětím, které si uživatel zvolí při koupi převodníku, existují tedy čtyři modely převodníku:

- GNOME232 – RS232
- GNOME485 – RS485
- GNOME422 – RS422
- GNOME232 TTL – Upravené sériové rozhraní RS232 na úroveň TTL

Tyto převodníky umožňují snadné připojení sériového rozhraní k počítačové síti. Převodníky lze snadno konfigurovat pomocí dodávaného software nebo přes webové rozhraní. Převodníky GNOME disponují velkým množstvím volitelných portů pro komunikaci (telnet, HTTP, MTU). Pomocí dodávaného software lze vytvořit virtuální sériový port v počítači. Jednou schopností tohoto převodníku je možnost nastavení odesílání e-mailů na základě zvolených událostí. Převodníky GNOME jsou postavené na XPortu (Obr. 2) od firmy Lantronix. XPort je univerzální modul s webserverem s montáží na DPS. [2] Převodníky lze zakoupit ve velké škále napájecích napětí.



Obr. 2. XPort od Lantronix na DPS GNOME485

1.1.3 ADAM-4571

ADAM-4571 (Obr. 3) je převodník z Ethernetového na sériové rozhraní dodávaný známým výrobcem Advantech, který se zaměřuje na převodníky, síťové technologie, opakovače a programovatelné kontroléry. Sériové rozhraní tohoto modelu je softwarově volitelné. Vyráběny jsou dvě verze převodníku s jedním či dvěma sériovými porty. Hodnota napájecího napětí se může pohybovat v rozmezí od 10 VSS do 30 VSS. Tento převodník umožňuje přístup až pěti počítačů na jeden sériový port a až šestnácti počítačům přístupujícím protokolem TCP. [3]



Obr. 3. Převodník ADAM-4571 [3]

1.2 Ethernet

Ethernet je souhrn technologií pro počítačové sítě LAN. Z větší části standardizován jako standard IEEE 802.3 CSMA/CD. [7] Ethernet realizuje fyzickou vrstvu ISO/OSI modelu znázorněného na Obr. 4, proto je možno na něm provozovat více protokolů na různých vrstvách ISO/OSI modelu. Nejčastěji používané protokoly jsou IPv4 a IPv6 pro služby sítě Internet. [9]



Obr. 4. Grafické znázornění ISO/OSI modelu. [9]

Pro připojení k Ethernetu se dnes nejčastěji využívá kroucená dvojlinka nebo optická vlákna. Ethernet může poskytovat polo nebo plně duplexní režim. Při polo duplexním režimu je v jeden okamžik na vedení pouze jeden bit. Zařízení buď vysílá, nebo přijímá data a komunikaci lze realizovat po jednom vodiči nebo po jednom optickém vláknu. Při plně duplexním režimu se využívá dvou vodičů nebo dvou optických vláken kdy jeden vodič nebo vlákno je použito na vysílání dat a druhý vodič nebo vlákno je použito na příjem. Na jednom optickém vláknu lze realizovat plný duplex pomocí dvou vlnových délek světla, jedna vlnová délka pro příjem a druhá pro vysílání.

Ethernet byl vyvinutý firmou XEROX, která v roce 1973 začala vyvíjet počítačovou síť se sběrníkovou topologií [10]. Původně byl navržen pro koaxiální vedení, kde maximální délka koaxiálního vedení byla 500 metrů a sloužil pouze jako

firemní síť. Na koaxiální kabel se připojovalo odbočkami, které nesměly být delší než 50 metrů. Konce koaxiálního kabelu byly zakončeny terminátory (odpory) o hodnotě 50 Ω . Nyní se používá hvězdicová topologie sítě, kde střed hvězdice představuje přepínač neboli switch.

Datový rámec Ethernetu představuje jádro systému, jedná se o jednoduché datové pole s proměnou délkou, viz následující Obr. 5.



Obr. 5. Ethernetový rámec pod IEEE 802.3 [12]

Význam jednotlivých polí rámce

- Preamble – střídavě jedničky a nuly definující hodinový signál pro synchronizaci hodin obou zařízení.
- SFD (Start Frame Delimiter) – oddělovač začátku rámce. Preamble má sedm bajtů a osmý bajt je SFD, sloužící k synchronizaci. Jeho hodnota je 10101011, díky poslední dvojici jedniček se příjemce synchronizuje a začne přijímat data.
- Adresa cíle – fyzická MAC adresa cílového zařízení
- Adresa zdroje – fyzická MAC adresa zařízení identifikující vysílací zařízení
- Typ/délka – pro IEEE 802.3 udává délku pole dat, u standardu Ethernet II udává typ vyššího protokolu
- CRC – kontrolní součet rámce. [12]

1.3 RS485

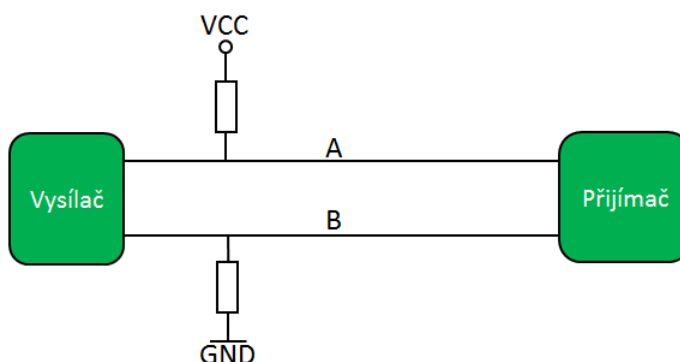
Sběrnice RS485 je standard sériové komunikace definovaný v roce 1983 sdružením EIA. Používá se především v průmyslovém prostředí. Má základ ve standardu RS232, od kterého se liší jinou definicí napěťových úrovní. Pomocí jednoduchých převodníků lze z rozšířeného standardu RS232 uskutečnit převod na RS485. Předchůdcem sériové komunikace v průmyslovém prostředí byla proudová smyčka 0 až 20 mA, která se často využívala pro přenos analogových veličin. [13]

Rozhraní RS485 je často používané v průmyslu. Vzniklo úpravou rozhraní RS422. Protože sběrnice je pouze dvou vodičová, lze realizovat pouze polo duplexní řešení a je vyžadováno softwarové řízení toku dat. Kvůli tomu se klade větší nárok na obslužný software. Lze realizovat i sběrnice se čtyřmi datovými vodiči, kterými získáme plně duplexní komunikaci, tím odpadá komplikace řízení toku dat, ale tímto vznikne sběrnice RS422. Přesto, že sběrnice RS485 umožňuje propojení uzlů typu multi-master, častěji se využívá typ master-slave. Vodiče jsou často označovány jako „A“ a „B“ nebo „-“ a „+“. V klidovém stavu je na vodiči „A“ zápornější napětí než na vodiči „B“. Logická nula a jednička je definovaná rozdílem napětí mezi těmito vodiči, jde tedy o diferenční pár.

Linka může být vedena až na vzdálenost 1600 m a lze ji větvit (větvit pouze na

krátké vzdálenosti, pro delší vzdálenost se musí použít aktivní opakovače). Pokud je potřeba komunikovat na větší vzdálenost, lze na linku připojit opakovače. Linka je vedena po dvojici vodičů, nejlépe v provedení kroucený pár. Vodiče „A“ a „B“ jsou vysílačem buzeny v protifázi a přijímač vyhodnocuje jejich napěťový rozdíl. Takto se odstraní součtové rušení na lince. Na jedné lince RS485 může komunikovat až 32 zařízení. Počet zařízení je dán použitými obvody, je to i míň nebo naopak i víc.

V době, kdy se na lince nevysílají žádná data, může být linka extrémně citlivá na indukované napětí, které může vypadat jako přicházející data. Proto je potřeba definovat klidový stav pomocí pull-up rezistorů, jak je znázorněno na Obr. 6. Pro větší vzdálenosti se doporučuje osadit zakončovací rezistory mezi datové vodiče „A“ a „B“ přibližné hodnoty 120 Ω . [13]



Obr. 6. Připojení pull-up rezistorů k lince RS485

V historii se objevilo několik pokusů o vytvoření standardního protokolu pro rozhraní RS485, avšak ani jeden se neujal. Tyto standardy jsou definovány pouze na zařízení jednoho výrobce, proto je obtížné mít na jedné lince více zařízení od různých výrobců, protože může docházet ke kolizím dat. [14]

Výhody:

- Komunikační rychlost až 12 Mbps
- Komunikační vzdálenost až 1600 metrů
- Silná podpora ze strany výrobců průmyslových přístrojů
- Velká odolnost proti rušení
- Počet komunikačních vodičů (dvouvodičové)
- Možnost zapojení multi-master

Nevýhody:

- Složitější ovládání sběrnice vyžadující řízení směru toku dat

1.4 UART

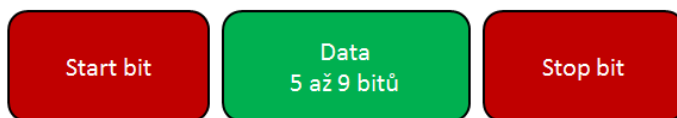
Neboli univerzální asynchronní sériové rozhraní. Toto rozhraní bývá často implementováno již v mikroprocesoru. Umožňuje komunikaci v asynchronním režimu. U navrhovaného převodníku logická jednička odpovídá napětí 3,3 VSS a logická 0 napětí 0 VSS. Toto rozhraní se používá pro přenos dat mezi zařízeními a počítačem. Po úpravě lze používat jako sériové rozhraní RS232/422/485.

Připojení je realizováno pomocí dvou datových vodičů a jednoho společného zemnicího vodiče. Datové vodiče jsou označovány jako RX a TX, zem je značena GND. UART splňuje požadavek na plně duplexní asynchronní režim – mezitím, co se vysílají data na jednom vodiči, na druhém se přijímají.

Klidová úroveň signálu je logická jednička, vysílání je zahájeno změnou hodnoty na logickou nulu, po dobu jednoho bitu nazývaného jako Start bit. Poslední nejvýznamnější bit je následován stop bitem (logická jednička po dobu jednoho bitu). Po stop bitu může následovat další bajt.

Pro připojení UART a jeho správnou funkci musí být parametry (přenosová rychlost, délka znaku, stop bit, parita) přijímacího i vysílacího zařízení nastaveny stejně.

Datová struktura rozhraní UART tvoří jeden start bit, pět až devět datových bitů a jeden stop bit. Nejčastěji se používá osm datových bitů, posílá se tedy jeden celý bajt. Datová struktura rozhraní UART je znázorněna na Obr. 7.



Obr. 7. Datová struktura rozhraní UART

Výhody:

- Často implementován přímo v mikroprocesoru

Nevýhody:

- Nelze používat na větší vzdálenosti
- Komunikace pouze mezi master a slave

1.5 Sběrnice CAN

Sběrnice typu multi-master, která je určena k propojování mikropočítačů, inteligentních čidel a akčních členů nejen v průmyslu, ale i v automobilech. Jednotlivé stanice připojené na sběrnici vysílají svá data bez ohledu na to, je-li v systému nějaký „zájemce“ nebo nikoli. Datové rámce mohou obsahovat adresu příjemce, odesílatele a identifikaci, která určuje, jaká data rámec obsahuje. Rámec je přijat všemi přijímači na sběrnici. Každý z přijímačů nezávisle použije identifikaci rámce k rozhodnutí, má-li být přijatý rámec přijat k dalšímu zpracování nebo být vymazán. Každá z přijímačů tak akceptuje jen datové rámce, které jsou pro něj významné.

Sběrnice CAN je realizována jedinou datovou linkou, na které se rozlišují dvě logické hodnoty. Takzvaná dominantní úroveň a recesivní úroveň. Je-li připojeno na sběrnici připojeno několik stanic a alespoň jedni z nich vysílá dominantní úroveň, zatímco ostatní vysílají recesivní úroveň, je na sběrnici dominantní úroveň.

Jednotlivé stanice na sběrnici jsou propojeny pouze datovými vodiči. Není zde použit vodič pro hodinový signál. Každá stanice si generuje interní hodinový signál, který je synchronizován s vysílající stanicí pomocí datového signálu. [15]

Výhody:

- Identifikátorem lze ovlivňovat prioritu správ
- Oproti RS485 je výhodnější pro multi-master komunikaci
- Přenosová vzdálenost až 1000 metrů při rychlosti 50 kbps
- Možnost připojení 64 účastníků
- Není třeba řešit přepínání směru toku dat

Nevýhody:

- Málo podporovaných mikroprocesoru. Tvorba řadiče na úrovni software zatěžuje významně výkon procesoru.

2 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY

Pro přenos dat po komunikačním rozhraní se používají komunikační protokoly. Při potřebě komunikace více zařízení různých výrobců vznikly standardy pro různá komunikační rozhraní.

Jako průmyslový standardizovaný protokol pro rozhraní Ethernet je nejčastěji užíván protokol Modbus TCP/IP. Pro rozhraní RS232, RS422 a RS485 je též standardizovaný protokol Modbus RTU. Standardů je mnoho, Modbus je ovšem nejrozšířenější.

2.1 Protokol Modbus

Modbus je komunikační protokol na úrovni aplikační vrstvy ISO/OSI modelu (Obr. 4). Umožňuje komunikaci typu klient-server mezi zařízeními na různých typech sítí a sběrnic. Modbus byl vyvinut firmou MODICON v roce 1979. V současné době je podporována celá řada komunikačních médií např. sériové linky, optické a radiové sítě nebo síť Ethernet s využitím protokolu TCP/IP. Komunikace probíhá metodou požadavek-odpověď a požadovaná funkce je specifikována pomocí kódu funkce, jež je součástí požadavku. Definuje jednoduchý Protokol Data Unit (**PDU**) nezávislý na základní komunikační vrstvě (sériová linka, Ethernet, ...). Blok PDU je složen z kódu funkce a přenášených dat. Přenos Modbus PDU na konkrétních sběrnicích je různý. PDU je dle potřeby jednotlivých implementací doplněn o potřebné informace. Celá zpráva je značená jako Application Data Unit (**ADU**) a je přenášena dle definice implementace. [15] Kompletní popis protokolu Modbus lze nalézt na stránkách Modbus Organization, Inc. www.modbus.org.

Standardem jsou definovány tři kategorie funkcí:

- Veřejné – jsou popsány a definovány na úrovni standardu a je garantována jejich unikátnost,
- Uživatelské – funkce jsou z pohledu standardu k volnému použití,
- Rezervované – jsou funkce používané některými firmami a nejsou dostupné pro veřejné použití.

2.1.1 Funkce Modbus

Zařízení komunikující protokolem Modbus podporují funkce uvedené v Tab. 1. Povinné funkce jsou implementovány vždy. Volitelné funkce jsou použity pouze v odůvodněných případech a jejich použití je popsáno v dokumentaci zařízení. Data získávána volitelnými funkcemi je možné získat i funkcemi povinnými, avšak z pravidla méně efektivně a s horší bezpečností dat.

Tab. 1. Standardní funkce Modbus [17]

Adresní prostor	Kód	Název	Kategorie
RO	0x04	Read Input Register	Povinná

RW	0x03	ReadHolding Register	Povinná
	0x06	Write Single Register	Povinná
	0x10	Write Multiple Registerst	Povinná
	0x17	Read/Write Multiple registers	Volitelná
RW/RO	0x18	Read FIFO Queue	Volitelná

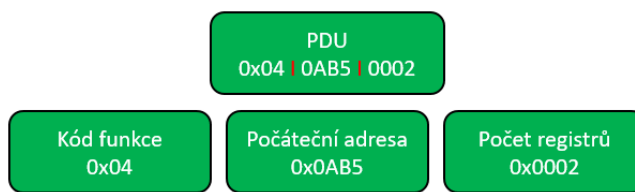
2.1.2 PDU protokolu Modbus

Jsou definovány tři typy PDU:

- Modbus Request PDU – požadavek klienta na server,
- Modbus Response PDU – odpověď serveru pro korektní zpracování požadavku,
- Modbus Exception Response PRU – chybová odpověď serveru.

Maximální délka PDU je 253 bajtů. V jednom PDU lze číst maximálně 125 registrů v souvislé oblasti (250 bajtů) a zapisovat 123 registrů v souvislé oblasti (246 bajtů).

Na Obr. 8 je znázorněno rozložení Modbus PDU.



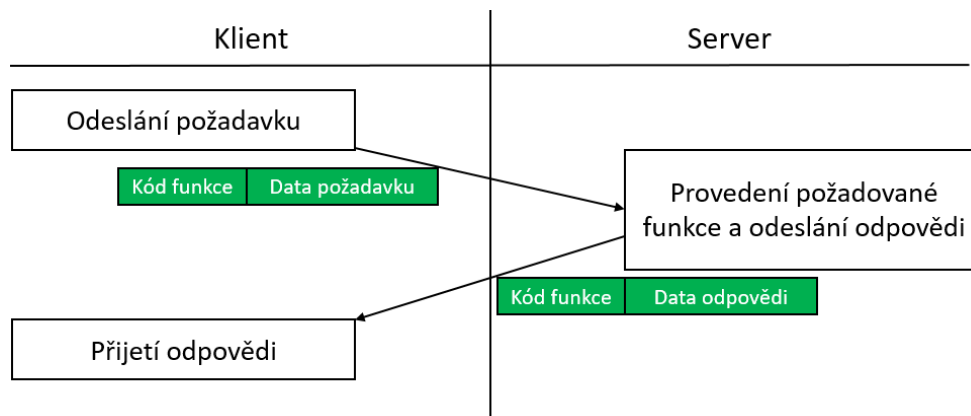
Obr. 8. Rozložení Modbus PDU

Modbus PDU obsahuje:

- kód funkce, která se bude vykonávat,
- počáteční adresu, od které se bude funkce vykonávat,
- počet registrů.

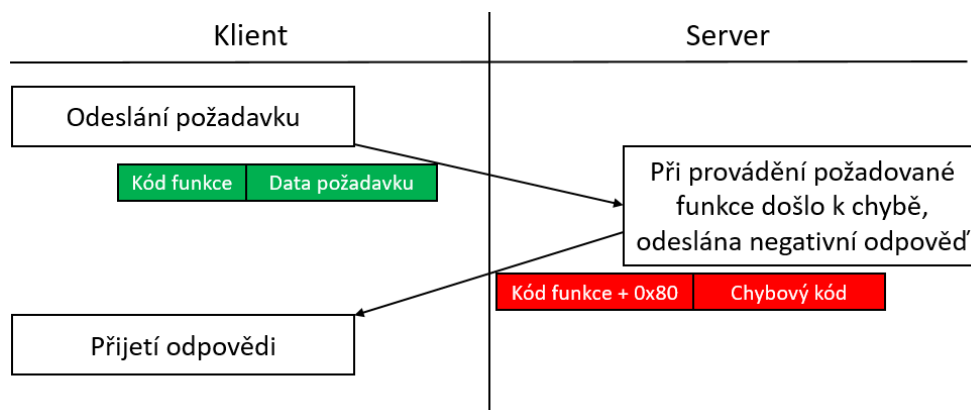
2.1.3 Transakce Modbus

Každou transakci zahajuje klient. Volí potřebnou funkci kódem o velikosti 1 bajt. Datová oblast zasílána klientem obsahuje informace, které potřebuje server pro vykonání dané funkce. Pokud při vykonávání funkce nedojde k chybě, server odpovídá kódem žádané funkce a pokud je potřeba v datové části předává data. Znázornění bezchybné transakce je na Obr. 9.



Obr. 9. Modbus transakce s bezchybným provedením požadavku

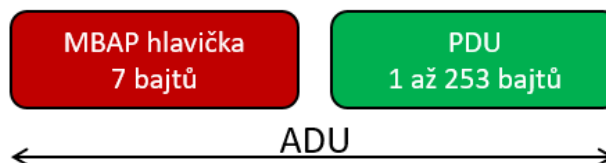
Pokud při vykonávání funkce dojde k chybě, server odpovídá kódem žádané funkce zvětšeným o 0x80 (nastavený nejvyšší bit) a kódem chyby o délce 1 bajt. Znázornění transakce je na Obr. 10.



Obr. 10. Modbus transakce s chybou při provádění požadavku

2.1.4 Protokol Modbus TCP/IP

Modbus TCP/IP se používá pro komunikaci prostřednictvím sítě Ethernet. Je definován na páté (relační) vrstvě ISO/OSI modelu. Zprávy se přenáší pomocí TCP/IP na vyhrazeném portu 502. Protože port 502 nemusí být vždy použit, doporučuje se mít možnost volby portu. Server však musí vždy poslouchat na portu 502, i když je zvolen port jiný. Ve zprávě je před PDU umístěna hlavička **MBAP** (Modbus Application Protocol). [17] Zpráva protokolu Modbus TCP/IP je znázorněna na Obr. 11. V Tab. 2 je rozepsáno složení MBAP hlavičky.



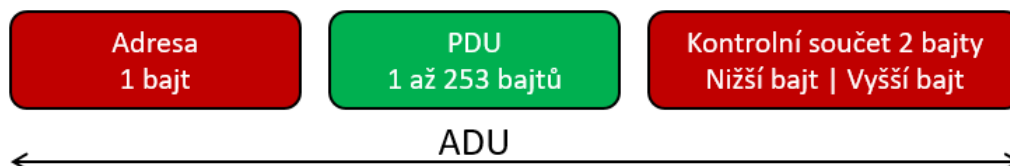
Obr. 11. ADU (Application Data Unit) protokolu Modbus on TCP/IP

Tab. 2. MBAP hlavička protokolu Modbus on TCP [20]

Pole	Délka	Popis	Klient	Server
Identifikátor transakce	2 bajty	Slouží k porovnání požadavku a odpovědi v aplikaci klienta.	Stanoveno klientem	Kopíruje z požadavku
Identifikátor protokolu	2 bajty	0 = Modbus TCP	Konstanta	Konstanta
Délka	2 bajty	Délka dat v bytech od identifikátoru zařízení dál (délka PDU + 1)	V požadavku stanoví klient	V odpovědi stanoví server
Identifikátor zařízení	1 bajt	Adresa vzdáleného zařízení (na sériové lince). Používá se primárně pro TCP/IP brány.	Stanovuje klientem	Kopíruje z požadavku

2.1.5 Protokol Modbus RTU

Modbus RTU je otevřený sériový protokol, který se používá na sériových linkách. Je definován na druhé (linkové) vrstvě ISO/OSI modelu. PDU (Obr. 12) je pro všechny tři základní modely ADU shodný. PDU je na začátku zprávy doplněn o adresu zařízení a na konci o kontrolní součet (CRC). Kontrolní součet se počítá od adresy, po poslední bajt v PDU.



Obr. 12. ADU protokolu Modbus RTU

Adresa zařízení je v rozsahu 1-247. Adresa 0 je rezervována pro broadcast, který přijímají všechny zařízení. Při broadcastu se požadavek klienta zpracuje, server však nevyšílá žádnou odpověď. Adresy 248-255 jsou rezervovány a nesmí se používat.

Data jsou vysílány přímo binárně (jeden bajt = jeden znak). Oddělovačem zpráv je mezera trvající minimálně 3,5 znaku. Mezi jednotlivými znaky nesmí být mezera delší než 1,5 znaku. Maximální doba mezi zprávami není definována. Po broadcastu nesmí klient vyslat požadavek dřív jak za dobu značenou jako zpoždění obratu (turnaround delay) od posledního znaku broadcastu.

Zpoždění obratu je 100 ms. Koncové zařízení začne vysílat odpověď do 100 ms od příjmu posledního znaku požadavku. Minimální timeout od odeslání posledního znaku je tedy 100 ms + 256 znaků x 11 bitů / přenosová rychlost.

Pokud data prochází bránou nebo jsou-li data serverem zjišťována na jiné stanici, je nutné timeouty volit s ohledem na celou trasu. [18]

2.2 Protokoly společnosti VF, a. s.

Standardizace komunikačních protokolů je nezbytným předpokladem pro vzájemnou kompatibilitu výrobků a modulů. Cílem společnosti VF, a. s. je definovat standardní komunikační protokoly a stanovit základní pravidla jejich využití v produktech společnosti. V celosvětovém měřítku je pro komunikaci zařízení radiační techniky standardem Modbus. Většina produktů společnosti neobsahuje jeden modul či procesor, obsahuje zpravidla více modulů. V rámci jednoho zařízení vznikají interní sítě, kde komunikace probíhá multi-master. Na hodnoty se často nikdo nedotazuje, hodnoty jsou předávány v okamžiku jejich vzniku. Pro tento způsob komunikace je Modbus nevhodný. Proto si společnost definovala interní protokoly.

Jsou to tři typy protokolů, pro různá komunikační rozhraní:

- VFBUS SL (zkráceně VFS) – pro komunikaci na sériových linkách,
- VFBUS CAN (zkráceně VFC) – pro komunikaci po sběrnici CAN,
- VFBUS UDP (zkráceně VFU) – pro přenos sítí Ethernet prostřednictvím UDP.

Protokoly jsou blíže popsány v následující části práce. Podrobněji jsou popsány v interním dokumentu společnosti VF, a.s. číslo VF Q-7P1-03z4. [19]

2.2.1 Funkce VFBUS

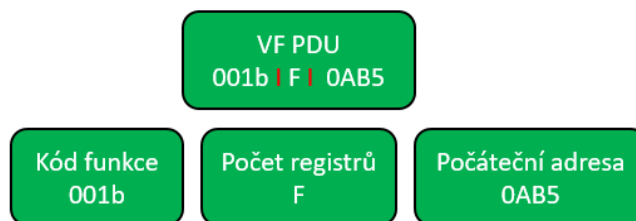
Zařízení společnosti VF, a. s. komunikující protokolem VFBUS podporují funkce uvedené v Tab. 3. Tyto funkce jsou implementovány vždy.

Tab. 3. Funkce definované společností VF, a. s. [19]

Přístup do paměti	Kód	Název
RW/RO	000b	Přímé posílání dat
	001b	Požadavek čtení
	010b	Čtená data
	011b	Chyba čtení
RW	101b	Požadavek zápisu
	110b	Potvrzení zápisu
RW/RO	111b	Chyba zápisu
	100b	Rezervováno

2.2.2 PDU protokolu VFBUS – VF PDU

V jedné VF PDU lze přenášet až 16 registrů, to je 32 bajtů dat. Režie VF PDU zabírá až 3 bajty. Maximální délka zprávy je tedy 281 bajtů. Umožňuje při použití osmy VF PDU přenášet až 128 registrů. Jednou transakcí je tedy možné přenášet maximální objem dat z jedné Modbus PDU. Grafické znázornění rozleženého VF PDU je na Obr. 13.



Obr. 13. Rozložení VF PDU

2.2.3 Transakce VF BUS

Výměna dat probíhá dvěma základními způsoby. Data jsou předávána jednou zprávou bez požadavku (nelze na poloduplexních linkách), nebo je klientem vyslána zpráva požadavku, na který server vrací zprávu s odpovědí.

První bajt zprávy obsahuje identifikátor transakce. Slouží k párování požadavků a odpovědí na straně klienta. U přímo předávaných dat (funkce 000b) identifikátor určuje zdroj dat. U komunikace s požadavkem určuje identifikátor klient, server ho kopíruje do odpovědi.

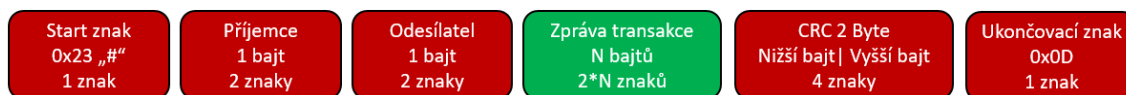
Povinností tvůrce je nepřekročit maximální možnou délku dat a ani nežádat data, která by překročila maximální délku odpovědi serveru. Server při zpracování každé jedné VF PDU kontroluje, zda bude mít místo pro odpověď. Pokud ne, VF PDU nezpracovává, případně zbývající VF PDU v transakci ignoruje a odesílá transakci nedokončenou. [19] Struktura zprávy je uvedena v Tab. 4.

Tab. 4. Struktura zprávy VF BUS [19]

Offset	Délka	Bite	Pole	Popis
0	1 bajt	7...5	Funkce	Viz Tab. 3
		4	Prostor RO/RW	0 – RO data 1 – RW data
		3...0	Počet registrů	0...15 počet předávaných nebo žádaných registrů mínus jedna
1	2 bajty		Adresa prvního registru	0...0xFFFF
3	0...32 bajtů		Data	Předávají se pouze celé registry, délka dat je vždy sudá. Registr s nejnižší adresou jde jako první. V rámci jednoho registru jde nižší bajt jako první.

2.2.4 Protokol VF BUS SL

Protokol VF BUS SL se používá na sériových linkách. Zprávu zahajuje start znak, poté následuje adresa příjemce, adresa odesílatele, zpráva transakce (VF PDU), kontrolní součet (CRC) a ukončovací znak. Zpráva protokolu VF BUS SL je zobrazena na Obr. 14.



Obr. 14. Zpráva protokolu VFBUS SL

Data jsou přenášena textově. Všechny bity mezi identifikátorem směru a ukončovacím znakem jsou kódovány dvěma ASCII znaky v hexadecimální podobě. Například hodnota 0x5B je kódována znaky 0x35 („5“) a 0x42 („B“). Jsou přenášeny tak jak leží v paměti datového prostoru. Koncové zařízení začne vysílat odpověď do 100 ms od příjmu posledního znaku požadavku. U polo duplexních fyzických vrstev (RS485) je minimální doba odpovědi ekvivalentní třem znakům na lince.

Minimální timeout od odeslání posledního znaku požadavku je 100 ms + 572 znaků x 10 bitů / přenosová rychlost.

Standardní nastavení sériové linky je uvedeno v Tab. 5. [19]

Tab. 5. Nastavení asynchronní sériové linky pro protokol VFBUS SL [19]

Kódování	8 bit binární
Jednotlivé bity	1 start bit
	8 datových bitů
	1 stop bit
Přenosová rychlost	Povinná: 9600 Ostatní: 4800, 19200, 38400, 57600, 115200

2.2.5 Protokol VFBUS CAN

Protokol VFBUS CAN se používá na linkách CAN. Definuje dva způsoby přenosu označované jako protokol VFC-A a VFC-B.

Přenos jednotlivých zpráv je u odesílatele očíslován identifikátorem blokového přenosu. Zpráva je rozdělena do segmentů, jednotlivé segmenty jsou přenášeny blokovým přenosem. Každý segment kromě posledního obsahuje 8 bajtů dat. Poslední segment obsahuje zbývajících 1 až 8 bajtů dat.

U protokolu VFC-A jsou jednotlivé segmenty přímo odesílány do sběrnice. Předpokládá se, že příjemce všechny segmenty pochyťá. Tento způsob komunikace má menší režii a umožňuje broadcasty.

U protokolu VFC-B dochází k navázání spojení mezi odesílatelem a příjemcem. Je zabezpečen spolehlivý přenos i při krátkodobém přehlcování příjemce. Tento způsob je náročnější na režii a neumožňuje broadcasty.

Na jednom fyzickém portu mohou být současně oba protokoly. Pokud zařízení umožňuje komunikaci oběma protokoly, odpověď musí být ve stejném protokolu jako dotaz. [19] V Tab. 6 jsou uvedeny komunikační rychlosti protokolu.

Tab. 6. Nastavení sběrnice CAN pro protokoly VFBUS CAN

Přenosová rychlost	Povinná: 125, 500 kBd Ostatní: nestanoveno
--------------------	---

V následujících dvou tabulkách je znázorněn identifikátor paketu CAN komunikačního protokolu VFC-A a protokolu VFC-B.

Tab. 7. Identifikátor paketu CAN protokolu VFC-A [19]

Pole	Bity	Délka [bit]	Popis
Identifikátor příjemce	0...7	8	Adresa příjemce
Identifikátor odesílatele	8...15	8	Adresa odesílatele
Identifikátor blokového přenosu	16...20	5	Identifikátor blokového přenosu odesílatele. S každým novým přenosem se inkrementuje.
Počet zbývajících segmentů	21...26	6	Počet zbývajících segmentů.
Začátek blokového přenosu	27	1	Bit je vystaven pouze u prvního paketu v rámci jednoho blokového přenosu.
Typ přenosu	28	1	0 – nespojitý přenos VFC-A

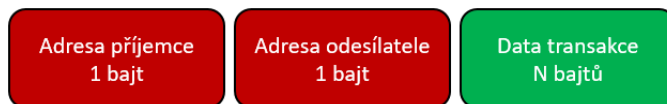
Tab. 8. Identifikátor paketu CAN protokolu VFC-B [19]

Pole	Bity	Délka [bit]	Popis
Identifikátor příjemce	0...7	8	Adresa příjemce
Identifikátor odesílatele	8...15	8	Adresa odesílatele
Identifikátor blokového přenosu	16...21	6	Identifikátor blokového přenosu odesílatele. S každým novým přenosem se inkrementuje.
Identifikátor paketu	22...26	6	Pokud je nulový, jedná se o info paket. Pokud je nenulový, jedná se o datový paket, kde hodnota určuje číslo segmentu dat.
Typ přenosu	28	1	1 – nespojitý přenos VFC-B

2.2.6 Protokol VFBUS UDP

VFBUS UDP se používá pro komunikaci prostřednictvím sítě Ethernet protokolem UDP. Zpráva přenášená protokolem UDP obsahuje adresu příjemce, adresu odesílatele a data transakce. Adresa příjemce a odesílatele se využívá pro tunelování transakcí přes

UDP. Jedná se tedy o vzdálené příjemce a odesílatele obdobně jako u protokolu Modbus TCP/IP. Server přijímá data na volitelném portu. Odpověď je zaslána na IP adresu a port, odkud dotaz přišel. Zpráva protokolu VFBUS UDP je znázorněna na Obr. 15.



Obr. 15. Zpráva protokolu VFBUS UDP [19]

3 NÁVRH PŘEVODNÍKU

V této kapitole jsou popsány požadavky a vlastní návrh hardwarového vybavení, kterým převodník disponuje, aby byl schopen plnit své funkce.

3.1 Požadavky na navrhovaný převodník

Je zřejmé, že na hardwarové vybavení jsou kladeny požadavky, které odpovídají podmínkám, ve kterých bude převodník pracovat. Předpokladem je, že převodník bude sloužit jako průmyslová aplikace, umístěn většinou uvnitř zařízení, proto nemusí vykazovat vysoký stupeň krytí proti vodě. Protože jde o průmyslovou aplikaci, volí se součástky do průmyslového prostředí.

Vstup napájení převodníku by měl být navržen na 24 VSS, z důvodu používání tohoto napájení v modulech společnosti VF. Veškerý použitý HW by měl být napájen 3,3 VSS, aby odpadla nutnost řešit převod mezi úrovněmi 3 a 5 VSS. Připojení převodníku k napájení a sériovým linkám realizovat pomocí šroubovaných nebo zacvakávacích svorkovnic.

Rozhraní převodníku by mělo být:

- Ethernet – pro připojení k síti,
- RS422 – průmyslové duplexní asynchronní sériové rozhraní,
- RS485 – průmyslové poloduplexní asynchronní sériové rozhraní,
- CAN – pro připojení k sériové sběrnici CAN,
- UART – pro servisní účely společnosti.

Převodník by měl pracovat s komunikačními protokoly Modbus a protokoly společnosti VF, a. s.

3.2 Výběr hardwaru

3.2.1 Mikroprocesor a periferie

Podle popisu požadavků kladených na převodník lze vybrat vhodný mikroprocesor. Mikroprocesor je nejdůležitější komponentou převodníku, protože slouží jako mozek. Byl vybrán 32 bitový mikroprocesor s architekturou ARM Cortex-M4F typu TM4C1294 z rodiny Tiva C Series vyráběný firmou Texas Instruments. Hlavním důvodem této volby mikroprocesoru byla přítomnost Ethernetového a CAN rozhraní spolu s fyzickou vrstvou přímo v čipu. Toto výrazně zjednoduší výslednou DPS protože není potřeba externí PHY pro připojení k mikroprocesoru. Další výhodou je dostupnost vývojového kitu pro tento mikroprocesor. Přítomnost JTAG debuggeru přímo na kitu a JTAG debugovacího nástroje. Spolu s Ethernetovým rozhraním obsahuje také rozhraní CAN a UART. Podrobný popis mikroprocesoru a všech jeho periférií je možné najít v dokumentaci na [4].

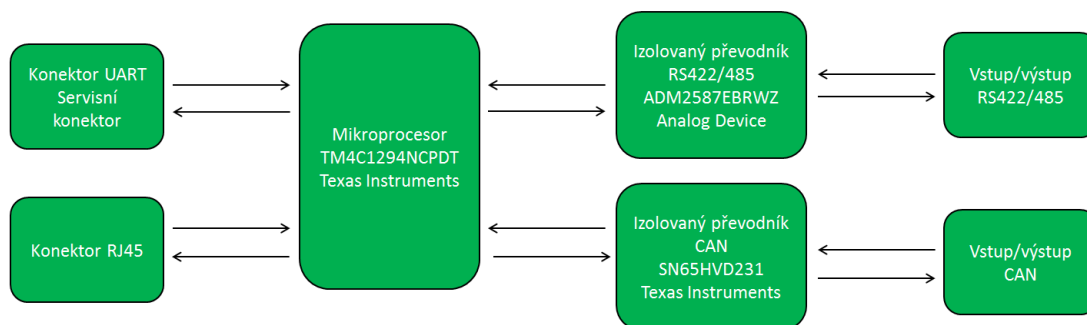
Základní charakteristika mikroprocesoru TM4C1294:

- 32-bit ARM Cortex M4

- Pracovní frekvence 120 MHz
- 1MB flash paměť
- 256 kB SRAM
- 10/100 Ethernet MAC+PHY
- 8x 32-bit časovač
- Watchdog
- CAN rozhraní
- 8x UART rozhraní
- SPI
- USB

Mikroprocesor disponuje implementovaným Ethernetovým rozhraním, tím umožňuje připojení přes webové rozhraní a s dostatečným výpočetním výkonem 150 DMIPS (milionů Dhrystone instrukcí za sekundu) při kmitočtu 120 MHz zabezpečuje běh webového rozhraní i při připojení více uživatelů nejdnou. Napájecí napětí procesoru je 3,3 VSS [4].

Komunikace mikroprocesoru a ostatního hardware je realizováno pomocí GPIO rozhraní, jak je znázorněno na Obr. 16.

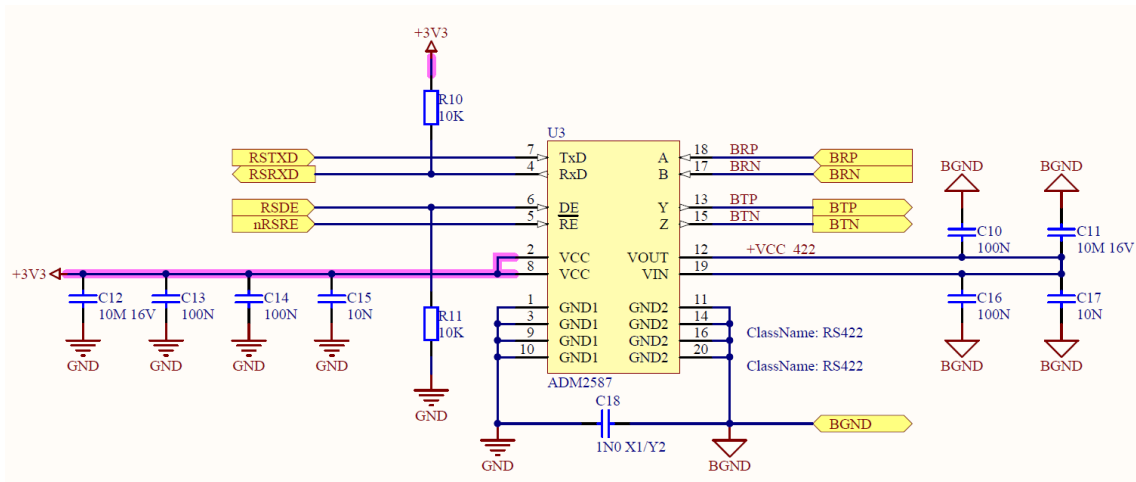


Obr. 16. Blokové schéma komunikace hardware

Zapojení mikroprocesoru TM4C1294 vychází z doporučeného zapojení podle katalogového listu [4] a z jeho zapojení na vývojovém kitu výrobce. Schéma zapojení mikroprocesoru je vloženo v příloze.

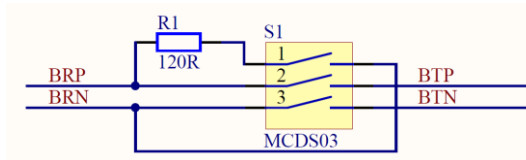
3.2.2 Převodník RS422/485

Pro převod na rozhraní RS422/485 byl vybrán integrovaný obvod od firmy Analog Devices typ ADM2582EBRWZ. Tento integrovaný obvod obsahuje izolované sériové rozhraní RS422/485 konfigurovatelné jako poloviční nebo plný duplex. Umožňuje připojení až 256 zařízení na jedné sériové lince a pracuje v teplotách od -40°C do +85°C při napájecím napětí 3,3 VSS nebo 5 VSS. Komunikace mezi mikroprocesorem a tímto integrovaným obvodem je realizována pomocí UART rozhraní mikroprocesoru a dvěma výstupy. Zapojení převodníku RS422/485 (Obr. 17) vychází z doporučeného zapojení podle katalogového listu [5].



Obr. 17. Zapojení integrovaného obvodu ADM2587 – RS422/485

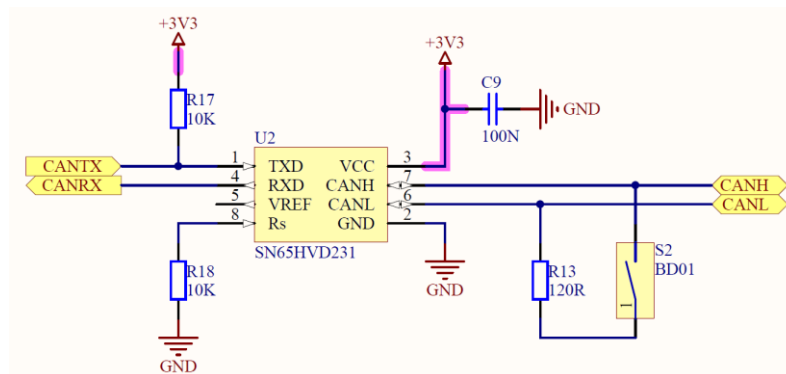
Pro zakončení komunikační linky je k obvodu přidán přepínač MCDS03 (Obr. 18). První přepínač slouží k připojení zakončovacího rezistoru velikosti 120 Ω . Druhý a třetí přepínač sloučí ke spojení výstupů při použití sériového rozhraní RS485.



Obr. 18. Přepínač zakončovacího odporu a výstupů linky RS422/485

3.2.3 Převodník CAN

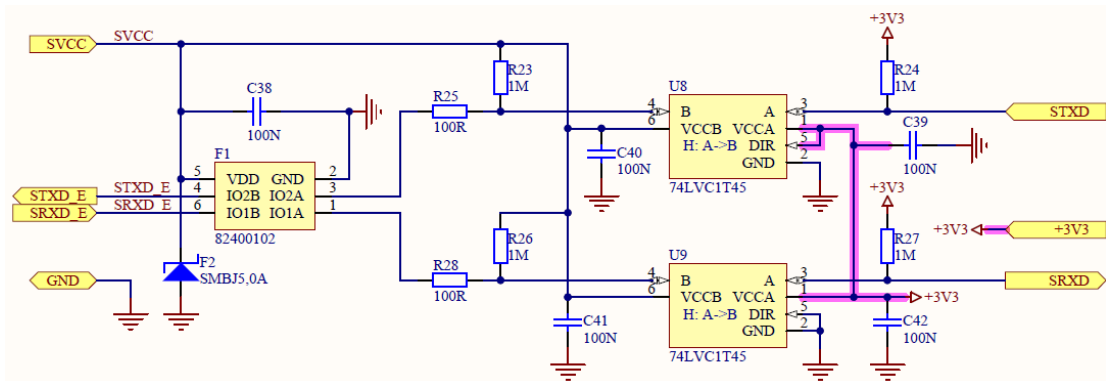
Pro převod na rozhraní CAN byl vybrán obvod od firmy Texas Instruments typ SN65HVD231. Pomocí tohoto obvodu je realizována sběrnice rozhraní CAN. Na tuto sběrnici může být připojeno maximálně třicet zařízení o celkové délce vedení čtyřicet metrů. Tento obvod pracuje při napájecím napětím 3,3 VSS. Komunikace mezi tímto obvodem a mikroprocesorem je provedena pomocí GPIO procesoru. Zapojení obvodu je podle katalogového zapojení výrobce s dodaným přepínačem pro přidání zakončovacího rezistoru linky [6].



Obr. 19. Zapojení integrovaného obvodu SN65HVD231 – CAN

3.2.4 Servisní konektor

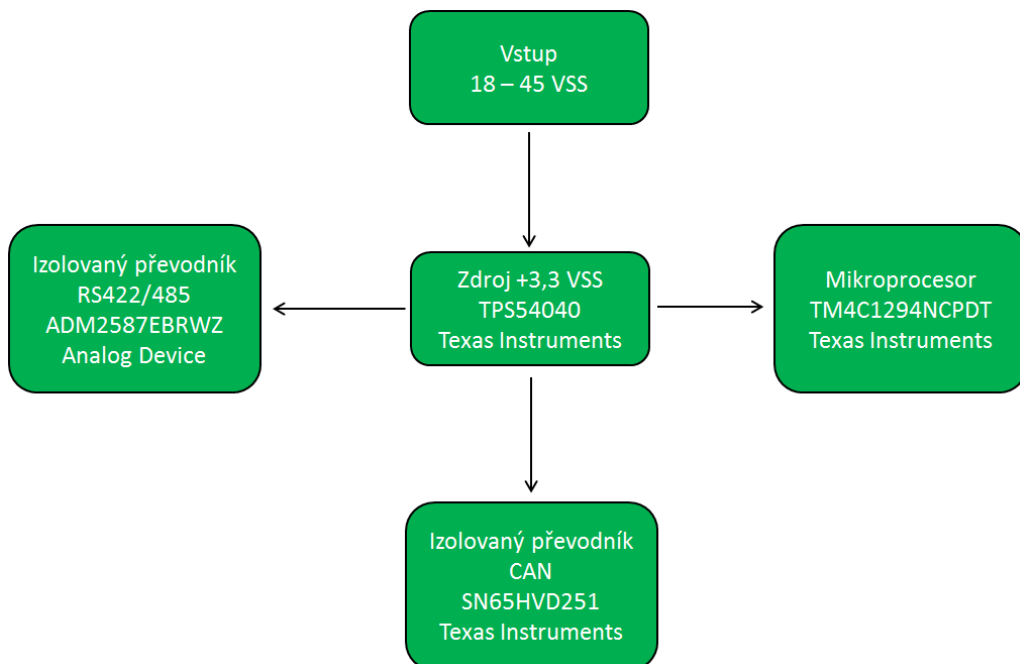
Pro účely servisu obsahuje převodník servisní konektor s komunikačním rozhraním UART. Pomocí tohoto konektoru, je možno z převodníku v případě zapomenutí IP adresy, adresu vyčíst. Kvůli oddělení servisního konektoru od mikroprocesoru je použit integrovaný obvod 74LVC1T45, který spolu s přepět'ovou ochranou 82400102 zabezpečuje ochranu proti nebezpečnému statickému výboji. Zapojení obvodu je znázorněno na Obr. 20.



Obr. 20. Zapojení servisního konektoru rozhraní UART

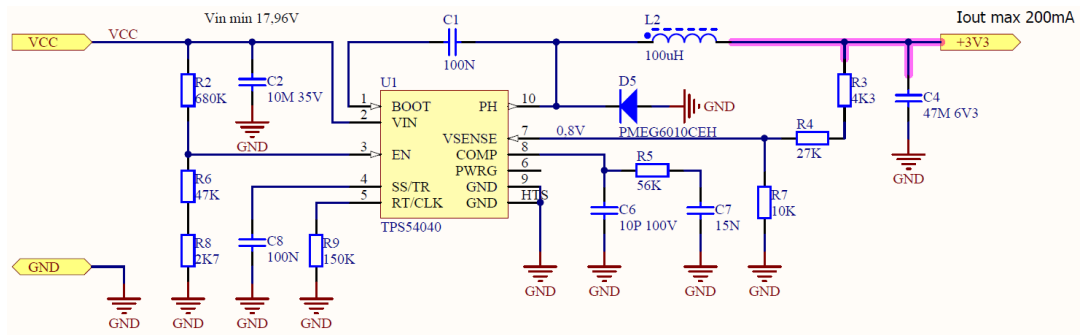
3.2.5 Napájení hardware

Podle požadavků na převodník má být HW převodníku napájen 3,3 VSS a samotný převodník 24 VSS. Pro napájení hardware je použit jeden zdroj napájení 3,3 VSS. Pro realizaci zdroje byl vybrán model TPS54040 od firmy Texas Instruments. Zapojení tohoto zdroje je jednoduché a lze použít pro rozsáhlé vstupní napětí. Blokové schéma napájení hardware je znázorněno na Obr. 21.



Obr. 21. Blokové schéma napájení hardware

Napájecí zdroj byl navržen pro minimální vstupní napětí 18 VSS a maximální 30 VSS. Maximální výstupní proud tohoto zdroje je 200 mA při 3,3 VSS. Schéma zapojení je na Obr. 22.



Obr. 22. Zapojení napájecího zdroje

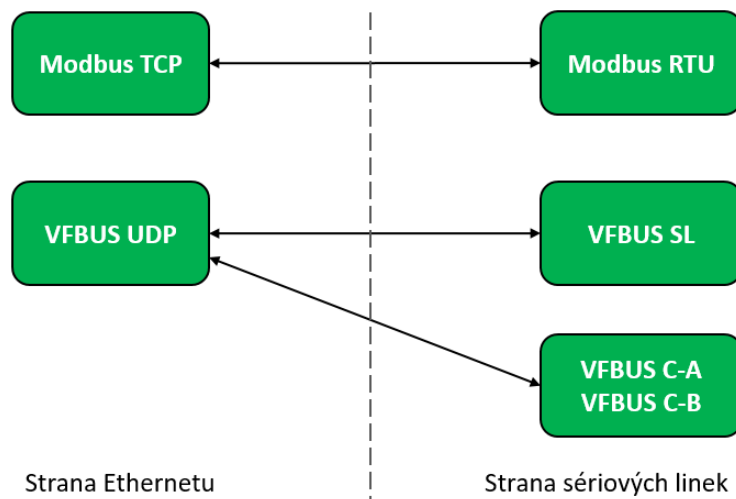
3.3 Software převodníku

Pro převodník byl vybrán operační systém TI-RTOS z důvodu, volného použití i pro komerční aplikace a je produktem stejné firmy jako mikroprocesor. Tento operační systém je velice dobře zdokumentovaný na stránkách výrobce.

TI-RTOS na rozdíl od operačních systémů OpenRTOS a FreeRTOS, které jsou volně dostupné, obsahuje TCP/IP stack. Proto není nutné pro využití připojení k Ethernetu doplňovat stack třetí strany (například uIP nebo lwIP).

Operační systém RTOS pracuje jako real-time aplikace. Může být strukturován jako množina nezávislých úloh. To znamená, že každá úloha pracuje v rámci svého kontextu, bez ohledu na ostatní úlohy. V jednom okamžiku může běžet vždy jen jedna úloha. Úkolem plánovače je zabezpečit přepínání jednotlivých úloh. Žádná úloha nemá informace o aktivitách real-time plánovače, je jeho povinností zabezpečit přepnutí kontextu procesoru (hodnoty registrů, obsah zásobníku, atd.), aby mohlo docházet k přepínání kontextů, ukládá /načítá do/ze zásobníku jednotlivých úloh.

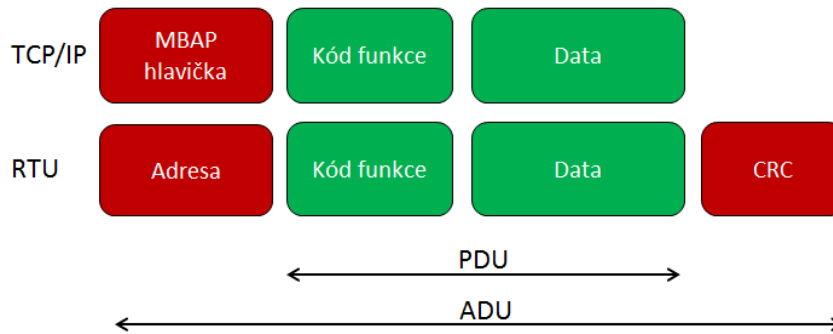
Převodník pracuje jako server s jedním vstupním komunikačním protokolem na jedné straně a jako klient s druhým výstupním komunikačním protokolem. Tyto komunikační protokoly lze zvolit v konfiguraci převodníku. Převod mezi protokoly je znázorněn na Obr. 23.



Obr. 23. Převody mezi protokoly

3.4 Převod protokolu Modbus TCP/IP na RTU

První funkce převodníku je převod protokolu Modbus TCP/IP na protokol Modbus RTU. Hlavní součástí protokolu Modbus je PDU, které je u obou typů protokolů stejné. Obsahuje kód funkce a data. U protokolu TCP/IP se využívá vlastností protokolu a není potřeba kontrolní součet (CRC). Obsahuje ovšem **MBAP** (Modbus Application Protocol Header), která obsahuje identifikaci odesílatele a příjemce. **ADU** (Application Data Unit) obou komunikačních protokolů je znázorněno na Obr. 24.



Obr. 24. Struktura ADU Modbus TCP/IP a RTU

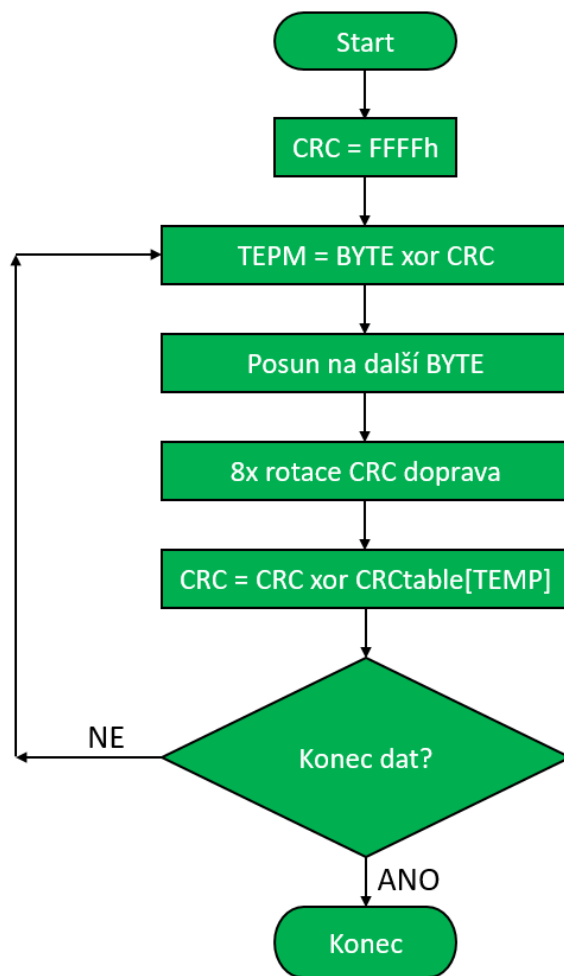
Protože protokol TCP/IP neobsahuje kontrolní součet, musí software převodníku tento součet spočítat a doplnit do protokolu RTU. Adresa zařízení na sériové lince je umístěna v hlavičce MBAP, stačí jí proto z této hlavičky vzít a vložit do protokolu RTU.

3.4.1 Kontrolní součet CRC

Kontrolní součet slouží pro ověření neporušenosti zprávy při komunikaci na sériových linkách. Kontrolní součet je proveden sečtením všech bajtů zprávy PDU a adresou zařízení.

Klient při příjmu zprávy provádí výpočet kontrolního součtu a porovná ho s kontrolním součtem ve zprávě. Pokud se tyto dva součty rovnají, dojde k přijetí zprávy a vykonání požadavku. Pokud se z nějakého důvodu kontrolní součty nerovnají, zařízení neprovádí nic a na straně klienta dojde k timeoutu. [21]

V případě RTU je použit kontrolní součet metodou CRC (Cyclical Redundancy Check). V případě Modbus se jedná o CRC-16, jež má polynomický zápis $1+x^2+x^{15}+x^{16}$ [21]. Způsobů výpočtu je několik. V tomto projektu je použit výpočet pomocí tabulky. Tento výpočet je efektivnější než cyklický redundantní součet. Algoritmus výpočtu pomocí tabulky je znázorněn na Obr. 25.



Obr. 25. Algoritmus výpočtu CRC pomocí tabulky [19]

Příklad výpočtu CRC pomocí tabulky v jazyku C [19]:

```

uint16 modbus_getCRC (uint8 *nData, uint16 len) {
uint8 Temp;
uint16 CRC = 0xFFFF;
while (len--) {
Temp = *nData++ ^ CRC;
CRC >>= 8;
CRC ^= CRCTable[Temp];
}
return CRC;
}
const uint16 CRCTable[] = {
0x0000, 0xC0C1, 0xC181, 0x0140, 0xC301, 0x03C0, 0x0280, 0xC241,
0xC601, 0x06C0, 0x0780, 0xC741, 0x0500, 0xC5C1, 0xC481, 0x0440,
0xCC01, 0x0CC0, 0x0D80, 0xCD41, 0x0F00, 0xCFC1, 0xCE81, 0x0E40,
0x0A00, 0xCAC1, 0xCB81, 0x0B40, 0xC901, 0x09C0, 0x0880, 0xC841,
0xD801, 0x18C0, 0x1980, 0xD941, 0x1B00, 0xDBC1, 0xDA81, 0x1A40,
0x1E00, 0xDEC1, 0xDF81, .....
}
  
```

3.4.2 Příklad transakce Modbus

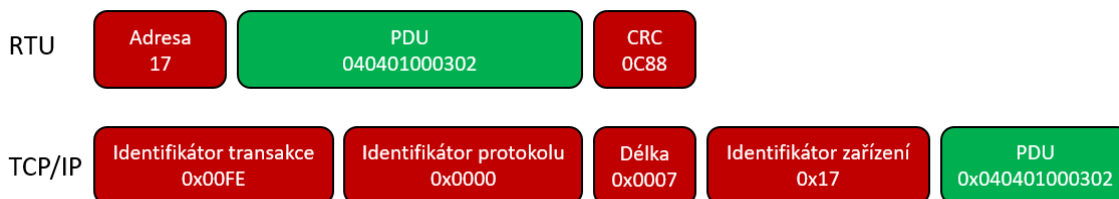
Na Obr. 8 je znázorněno rozložení PDU, které je použito v příkladu transakce Modbus.

Na Obr. 26 je znázorněn paket Modbus TCP/IP a RTU. Převodník přijme paket zprávy ze strany TCP/IP. Hlavičku protokolu si uloží do paměti a použije „Identifikátor zařízení“ jako adresu zařízení, na který je požadavek směřován. Data v PDU se nemění, pouze je tedy převezme a použije. Vypočítá kontrolní součet CRC (adresa zařízení plus PDU) a přiloží ho do paketu protokolu RTU. Tento paket je odeslán do zařízení připojené k sériové lince.



Obr. 26. Paket požadavku protokolu Modbus TCP/IP a přeloženého RTU

Pokud zařízení připojené k sériové lince paket přijme, a kontrolní součet souhlasí s kontrolním součtem v požadavku, provede požadavek a odpoví klientovi. Odpověď je znázorněna na Obr. 27.



Obr. 27. Paket odpovědi protokolu Modbus RTU a přeloženého TCP/IP

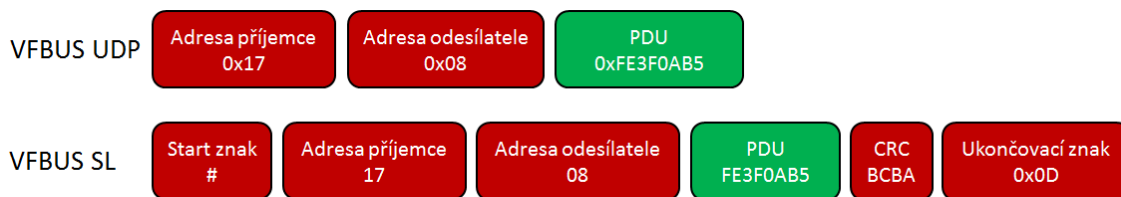
3.5 Převod protokolů VF, a. s.

Druhá funkce převodníku je převod mezi protokoly společnosti VF. Převod mezi protokoly je znázorněn na Obr. 23.

3.5.1 Příklad transakce mezi VFBUS UDP a VFBUS SL

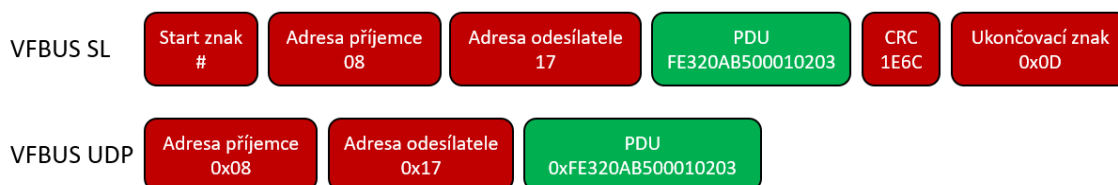
Použité VF PDU je znázorněno na Obr. 13.

Na Obr. 28 je znázorněn paket protokolu VFBUS UDP, který přijde ze strany IEEE 802.3. Pod ním je paket protokolu VFBUS SL, který je převodníkem převeden ze strany IEEE 802.3 na stranu sériové linky. Algoritmus pro výpočet kontrolního součtu je shodný s algoritmem Modbus RTU.



Obr. 28. Paket požadavku protokolu VFBUS UDP a přeloženého VFBUS SL

Pokud zařízení na sériové lince paket přijme a vykoná, začne vysílat paket s odpovědí, paket je znázorněn na Obr. 29.



Obr. 29. Paket odpovědi protokolu VFBUS SL a přeloženého VFBUS UDP

3.5.2 Příklad transakce mezi VFBUS UDP a VFBUS CAN

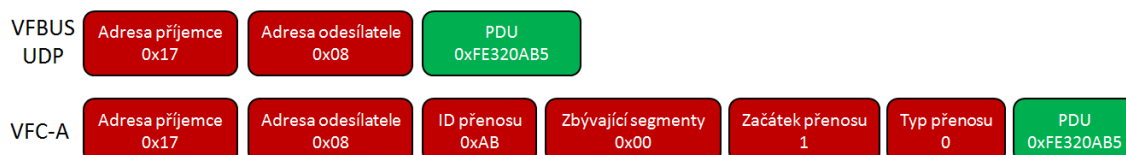
V každém zařízení jsou definovány vysílací a přijímací kanály. Jeden kanál je určen pro jeden blokový přenos. V každém kanálu (přijímacím i vysílacím) je uložen čas příjmu paketu od protějšího komunikujícího zařízení. Tento čas je aktualizován s každým příchozím paketem.

Přenos po sběrnici CAN-B by mohl vypadat následovně:

- Odesílatel oznamuje zahájení nového blokového přenosu nebo je z vyšší vrstvy požádán o přenos. Pokud má volný přenosový vysílací kanál a dostatek místa v bufferu pro uložení bloku dat, tento blok uloží a obsadí vysílací kanál. Zapiše aktuální čas a pošle zahajující info paket 0x00. Pokud odesílatel obdrží potvrzovací info paket 0x01, zahájí blokový přenos. Pokud tento paket nedostane, vyčká na timeout 250 ms a zopakuje zahajovací info paket. Když neobdrží potvrzení do 500 ms, zruší přenos a uvolní vysílací kanál.
- Příjemce potvrzuje připravenost přijmout nový blokový přenos a přijímá zahajovací info paket 0x00. Pokud má dostatek volného místa a volný přijímací kanál. Zapiše si aktuální čas a nuluje délku přijatých dat. Pošle potvrzovací paket 0x01 a čeká na příjem prvního bloku dat. Pokud nezačne přijímat data do 200 ms, zopakuje příjemce vyslání potvrzovacího info paketu 0x01. Když data stále nezačne přijímat do 400 ms, příjemce přenos ruší a uvolňuje komunikační kanál.
- Odesílatel prochází vysílací kanály. Pokud má nějaký kanál možnost vysílat a vysílací buffer CANovských zpráv není zaplněn, vezme z něj segment dat a vyše je. Kanály se procházejí postupně, z každého se vezme jedna část, aby nedocházelo k zahlcení CANu zprávami z prvních kanálů. Po odeslání segment označí jako odeslaný. Pokud odesílatel obdrží žádost o info paket žádostí o znovu zaslání segmentů 0x10, u žádaných segmentů ruší příznak odeslání. Pokud odesílatel přijme informaci o konci přenosu 0xFF, uvolňuje místo v bufferu a vysílací kanál.

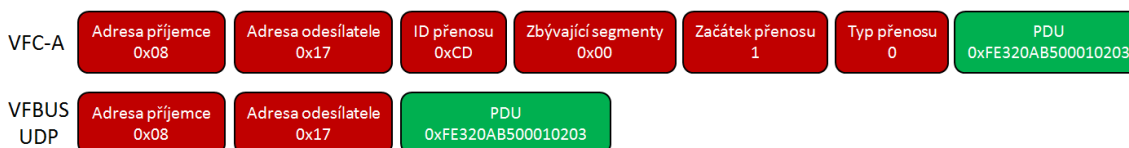
- d) Příjemce přijímá jednotlivé segmenty dat. Každý segment přiřadí příslušnému přijímacímu kanálu. Pokud daný segment ještě nepřijal, data uloží do bufferu na příslušné místo a označí segment jako přijatý. Po každé desáté zprávě přijaté v kanálu posílá příjemce synchronizační info paket 0x08 odesílateli, pokud není současně zprávou poslední. Pokud má příjemce všechny segmenty, posílá info paket konce přenosu 0xFF. Příjemce poté blok dat předává dál, uvolňuje místo v bufferu a uvolňuj přijímací kanál.

Na Obr. 30 je znázorněn paket požadavku VFBUS UDP, který byl použit v předchozím příkladu. Pod tímto paketem je znázorněn přeložený paket VFC-A.



Obr. 30. Paket požadavku protokolu VFBUS UDP a přeloženého VFC-A

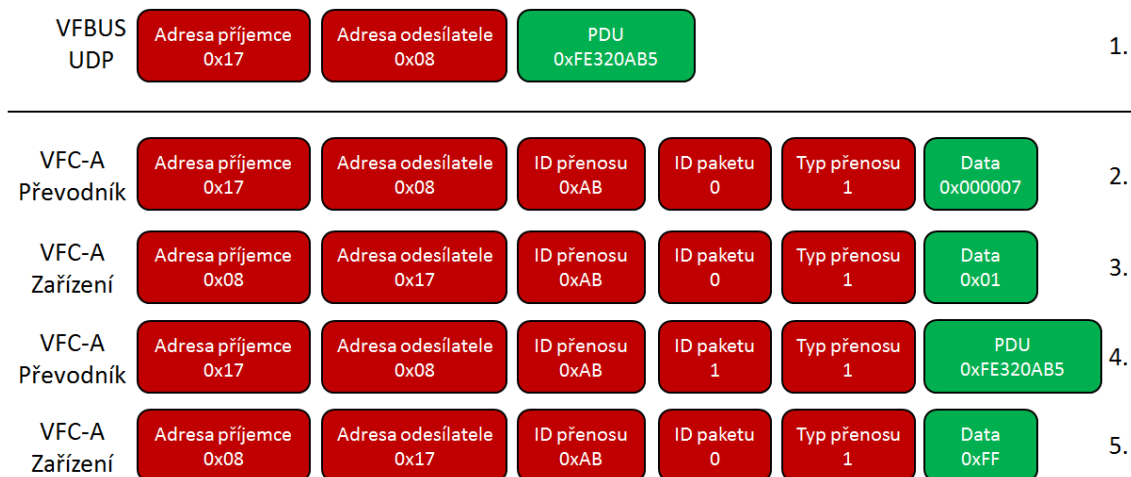
Na Obr. 31 je znázorněna odpověď zařízení a překlad zpět na protokol VFBUS UDP. ID přenosu se inkrementovalo. Protože se posílaly pouze dva registry dat, které se vešly do jednoho PDU, nebylo potřeba ho rozdělovat na více. Díky tomu je počet zbývajících segmentů nula. Kdyby bylo více segmentů, je v dalším paketu bit začátku přenosu nulován a počet zbývajících segmentů s každým přenosem dekrementován.



Obr. 31. Paket odpovědi VFC-A a přeloženého VFBUS UDP

Komunikace zařízení pomocí protokolu VFC-B, je náročnější na režii komunikace. Na Obr. 32 je znázorněn paket požadavku protokolem VFBUS UDP k zařízení komunikujícím protokolem VFC-B. Dále je na obrázku znázorněna komunikace mezi převodníkem a zařízením.

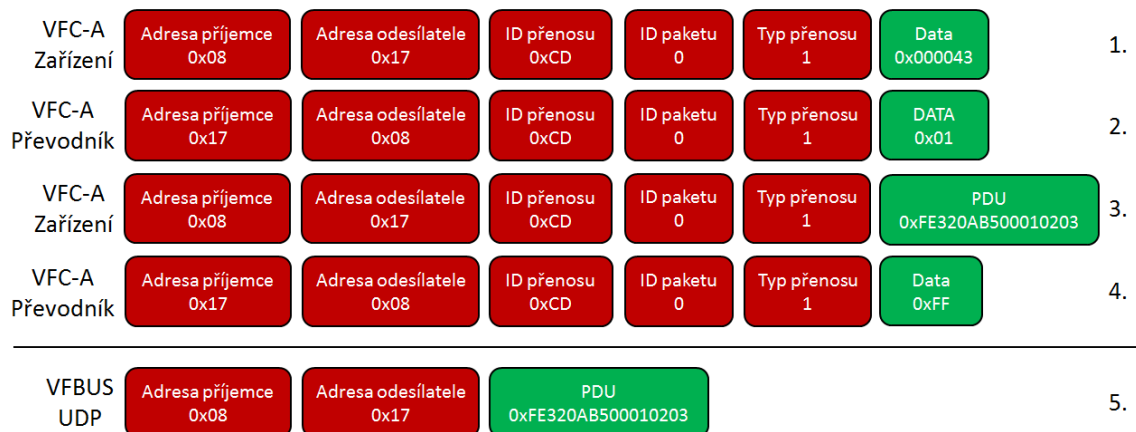
1. Paket ze strany IEEE 802.3 protokolem VFBUS UDP.
2. Žádost o nový přenos.
3. Potvrzení žádosti.
4. Odeslání segmentu dat požadavku.
5. Potvrzení přijetí požadavku a ukončení přenosu.



Obr. 32. Paket požadavku VFBUS UDP a znázornění komunikace převodníku

Po zpracování požadavku následuje odpověď zařízení. Na Obr. 33 je tato komunikace znázorněna.

1. Požadavek zařízení o zahájení vysílání dat.
2. Potvrzení požadavku.
3. Odeslání segmentu dat odpovědi.
4. Potvrzení přijetí odpovědi a ukončení přenosu.
5. Odpověď paketem po IEEE 802.3 protokolem VFBUS UDP



Obr. 33. Paket odpovědi VFC-B a znázornění komunikace převodníku

4 ZÁVĚR

V této práci byl popsán výběr vhodného hardware převodníku, aby plnil požadované funkce. Dále jsou v práci popsány komunikační protokoly, které jsou v převodníku implementovány a také příklady převodů mezi těmito protokoly. Pro práci, byl velkým přínosem vývojový kit EK-TM4C1294XL, z něhož jsem vycházel při návrhu DPS převodníku. Díky tomuto převodníku lze komunikovat vzdáleně se zařízením připojeným pomocí CAN nebo RS422/485 jen za pomoci síťového připojení.

Hlavní součástí převodníku je mikroprocesor s možností fyzického připojení k síti IEEE 802.3. Na připojení rozhraní je nutné připojit externí integrovaný obvod takzvaný PHY, který zajistí převod zvoleného rozhraní mikroprocesoru na IEEE 802.3 rozhraní. Proto byl na realizaci hardwaru převodníku zvolen mikroprocesor TM4C1294NCPDT od firmy Texas Instruments, který disponuje možností připojení rozhraní rovnou, bez nutnosti použití externího integrovaného obvodu. Fyzické vrstvy sériových linek jsou řešeny pomocí externích obvodů. Pro sériovou linku RS422/485 byl vybrán integrovaný obvod ADM2587EBRWZ, který realizuje fyzickou vrstvu sériové linky RS422/485 a převod na rozhraní mikroprocesoru. Tento integrovaný obvod má možnost hardwarového přepínat mezi rozhraními RS422 a RS485. Fyzickou vrstvu rozhraní CAN realizuje integrovaný obvod SN65HVD231, který zajišťuje převod mezi řadičem CAN v mikroprocesoru a vnější linkou. Konfigurace převodníku je možná pomocí rozhraní UART. Toto rozhraní není nutné realizovat pomocí externího integrovaného obvodu. Zvolený mikroprocesor má těchto rozhraní několik. Pro připojení rozhraní UART k počítači je nutné připojení převodníku z UART na USB nebo sériovou linku RS232. Napájení převodníku zajišťuje integrovaný obvod TPS54040.

Software převodníku obsahuje webserver pro konfiguraci převodníku a realizuje překlad protokolů mezi IEEE 802.3 rozhraním a sériovou linkou. Webserver umožňuje síťové nastavení převodníku a protokolů, které se budou používat při převodu z IEEE 802.3 rozhraní na rozhraní sériové linky. Software převodníku zajišťuje překlad mezi protokoly Modbus a překlad mezi protokoly společnosti VF, a. s.

V příloze této práce je schéma zapojení a DPS realizovaného převodníku.

Pro budoucí využití je možno převodník rozšířit o prezentaci dat přes webové rozhraní a ukládání dat do paměti FRAM při použití převodníku ve spojení s některým produktem společnosti VF, a. s.

LITERATURA

- [1] Phoenix Contact *FL COMSERVER UNI: datasheet* [online]. [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2313452&library=czcs&pcck=P-08-03-01&tab=1>.
- [2] Papouch s.r.o. *GNOME: datasheet* [online]. [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <https://www.papouch.com/cz/shop/product/gnome485-prevodnik-ethernet-rs485>.
- [3] Advantech *ADAM-4571: datasheet* [online]. [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: http://downloadt.advantech.com/ProductFile/PIS/ADAM-4571/Product%20-%20Datasheet/DS_ADAM%204571_L_ADAM%204570_L20141027133511.pdf.
- [4] Texas Instruments *TM4C1294NCPDT: datasheet* [online]. [cit. 2016-11-9]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tm4c1294ncpdt.pdf>.
- [5] Analog Devices *ADM2582EBRWZ: datasheet* [online]. [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: http://www.mouser.com/ds/2/609/ADM2582E_2587E-878666.pdf.
- [6] Texas Instrument *SN65HVD251: datasheet* [online]. [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn65hvd251.pdf>.
- [7] Learn.sparkfun.com, *Seriál communication* [online]. [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication>.
- [8] IEEE Standards association, *IEEE 802.3* [online]. [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <https://standards.ieee.org/about/get/802/802.3.html>.
- [9] Site.The.cz, *Model ISO/OSI*. [online]. [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://site.the.cz/index.php?id=4>.
- [10] Svět sítí, *Ethernet* [online]. [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://www.svetsiti.cz/clanek.asp?cid=Ethernet-1992000&s=CFE74B0513B385BE1F8FE7EC8CC13A105D7E1A86>.
- [11] KLAŠKA, L. *Z historie Ethernetu*. [online]. 1999 [cit. 2016-10-17]. Dostupné z: <http://www.svetsiti.cz/clanek.asp?cid=Z-historie-Ethernetu-991999>.
- [12] LAMMLE, T. *CCNA: Výukový průvodce přípravou na zkoušku 640-802*. Vyd. 1. Brno: Computer Press a. s., 2010. 928 s. ISBN 978-80-251-2359-1.
- [13] Wikipedie, *RS485* [online]. [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>.
- [14] VývojHw.cz, *Přenos dat po linkách RS485 a RS422* [online]. [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/prenos-dat-po-linkach-rs485-a-rs422.html>.
- [15] DUDÁČEK, K. *Sériová rozhraní SPI, Microwire, I2C a CAN* [online]. 2005 [cit. 2017-06-03]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/NMS_hlavni.htm.
- [16] Ronešová, A., *Přehled protokolu Modbus* [online]. [cit. 2016-11-6]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>.
- [17] Modbus.org., *Modbus Application Protocol Specification V1.1b3*, [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.modbus.org>.
- [18] Modbus.org., *Modbus over seriál line* [online]. [cit. 2016-11-6]. Dostupné z: http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf.

- [19] Kolektiv autorů VF, a.s., *Komunikace zařízení RMS*. VF Q-7P1-03z4.
- [20] Modbus.org., *Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b*, [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.modbus.org/>
- [21] CometSystém., *Popis komunikačních protokolů*, [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: www.cometsystem.cz/userfiles/file/manuals-Czech/.../I-HGS-Protokoly_Hx4xx.pdf

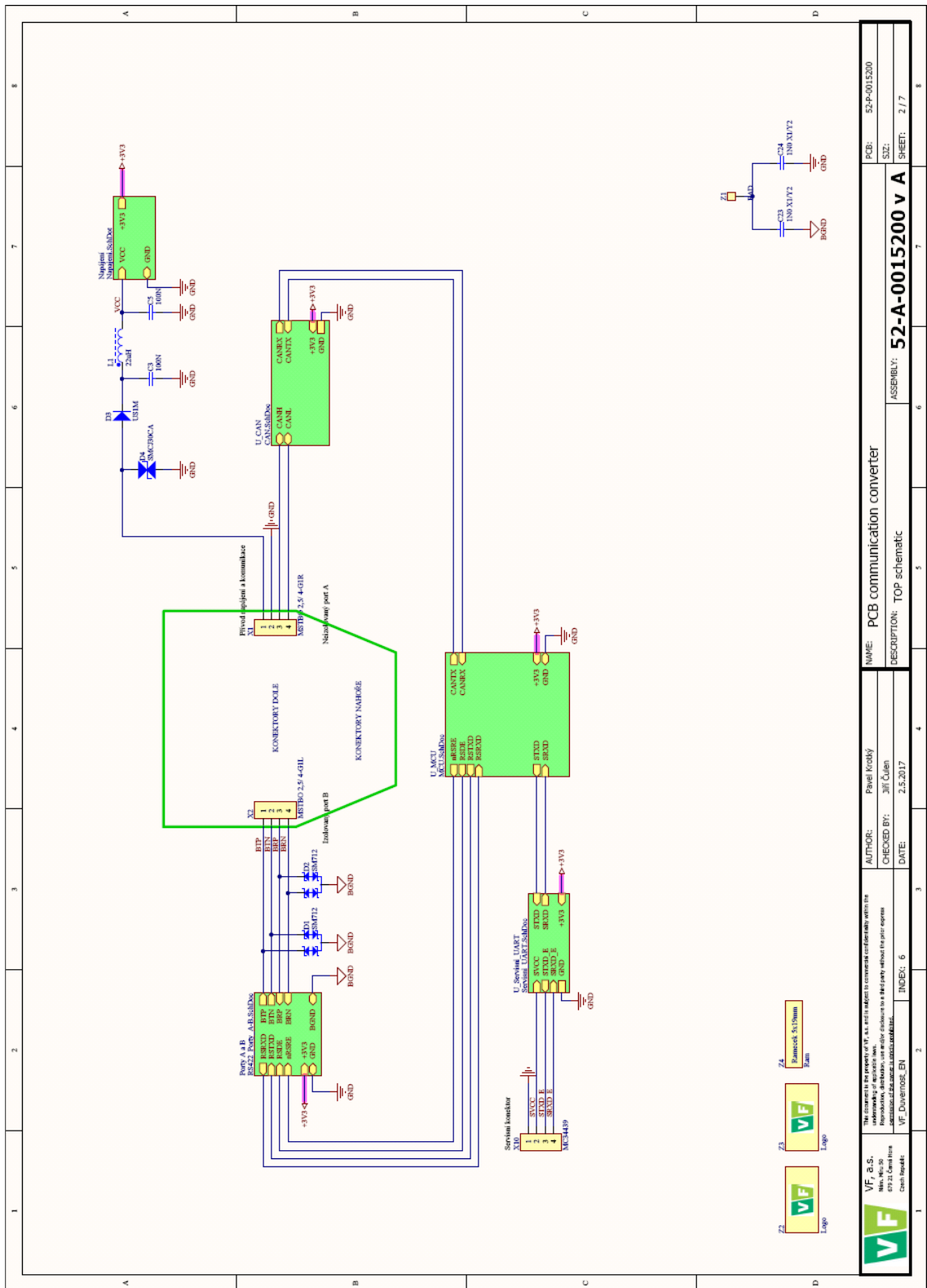
SEZNAM PŘÍLOH

A Úvodní list – řídicí deska	34
B Schéma zapojení – TOP schéma	35
C Schéma zapojení – zapojení MCU	36
D Schéma zapojení – servisní port	37
E Schéma zapojení – RS422/485	38
F Schéma zapojení – CAN.....	39
G Schéma zapojení – napájení.....	40
H Seznam součástek	41
I Návrh DPS převodníku TOP	43
J Osazovací předpis	44

A SCHÉMA ZAPOJENÍ – ÚVODNÍ LIST

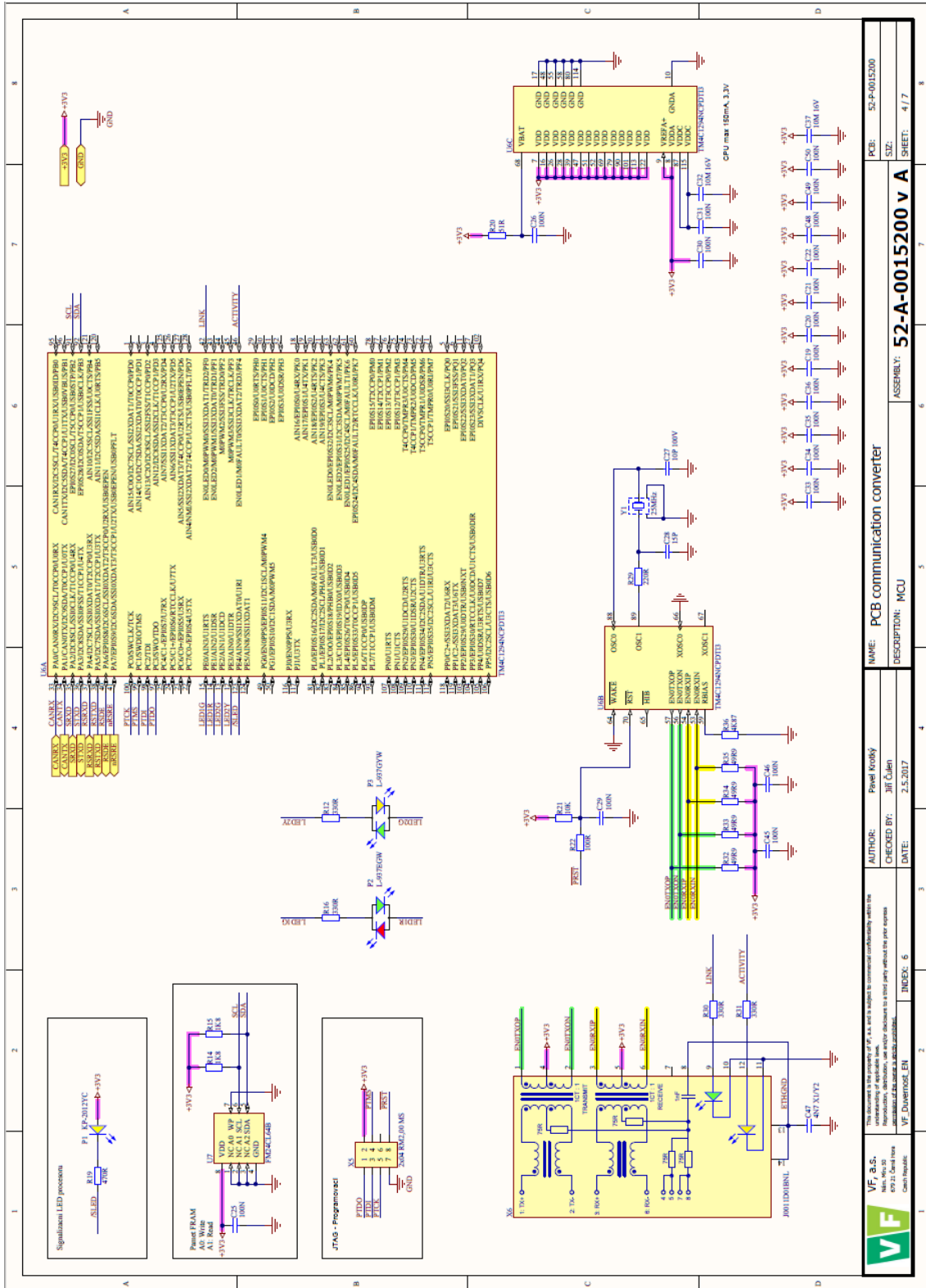
 <p>VF, a.s. Náim. Mlýn 50 679 21 Černá Hora Czech Republic</p>		<p>NAME: PCB communication converter DESCRIPTION: Komunikační převodník Modbus on TCP/IP <-> Modbus RTU, VFU <-> VFS, VFU <-> VFC-A, VFC-B PART: 52-A-0015200</p>									
<p>LIST OF REVISIONS:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>REVISION</th> <th>DATE</th> <th>AUTHOR</th> <th>DESCRIPTION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>21.12.2017</td> <td>Pavel Krátek</td> <td>První revize</td> </tr> </tbody> </table>		REVISION	DATE	AUTHOR	DESCRIPTION	A	21.12.2017	Pavel Krátek	První revize		
REVISION	DATE	AUTHOR	DESCRIPTION								
A	21.12.2017	Pavel Krátek	První revize								
<p>VF, a.s. Náim. Mlýn 50 679 21 Černá Hora Czech Republic</p>		<p>NAME: PCB communication converter DESCRIPTION: The sheet</p>									
<p>PCB: 52-P-0015200 SIZE: ASSEMBLY: 52-A-0015200 v A SHEET: 1 / 7</p>		<p>AUTHOR: Pavel Krátek CHECKED BY: Jiří Čálek DATE: 23.2.2017 INDEX: 6</p>									

B SCHÉMA ZAPOJENÍ – TOP SCHÉMA



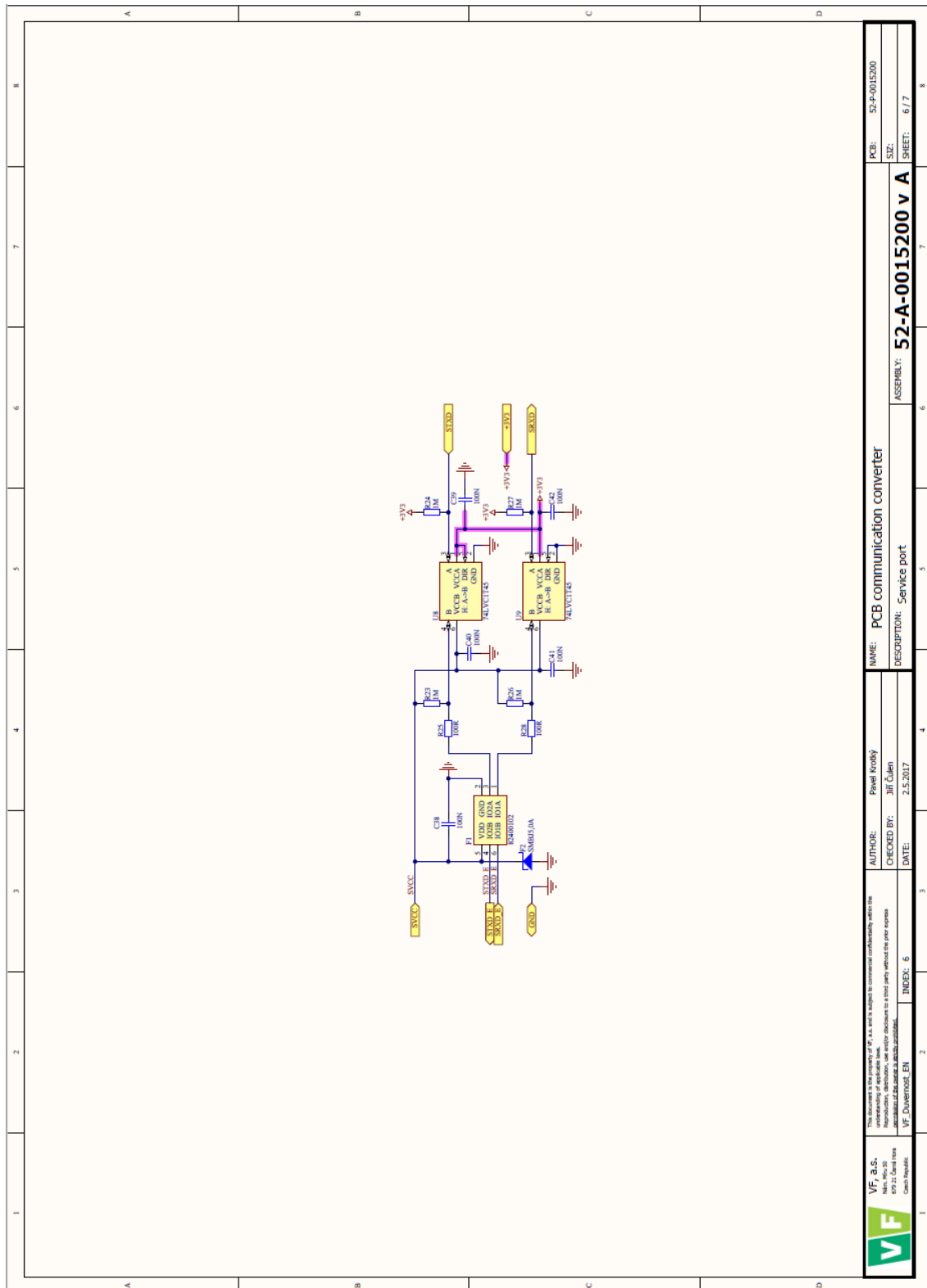
VF, s.r.o. Mlýnská 50 252 01 Dobruška Czech Republic		VF_Develop_EN		INDEXY: 6		DATE: 2.5.2017	
The information in this document is for reference only. It is not intended to constitute a contract. We do not assume any liability for damages or losses of any kind resulting from the use of this information.		AUTHOR: Pavel Křoký		NAME: PCB communication converter		PCB: 52-P-0015200	
Reproduction, distribution, use and/or disclosure to a third party without the prior express written consent of VF is strictly prohibited.		CHECKED BY: Jiří Čuhra		DESCRIPTION: TOP schematic		SZ:	
VF_Develop_EN		DATE: 2.5.2017		ASSEMBLY: 52-A-0015200 v A		SHEET: 2 / 7	


C SCHÉMA ZAPOJENÍ – ZAPOJENÍ MCU



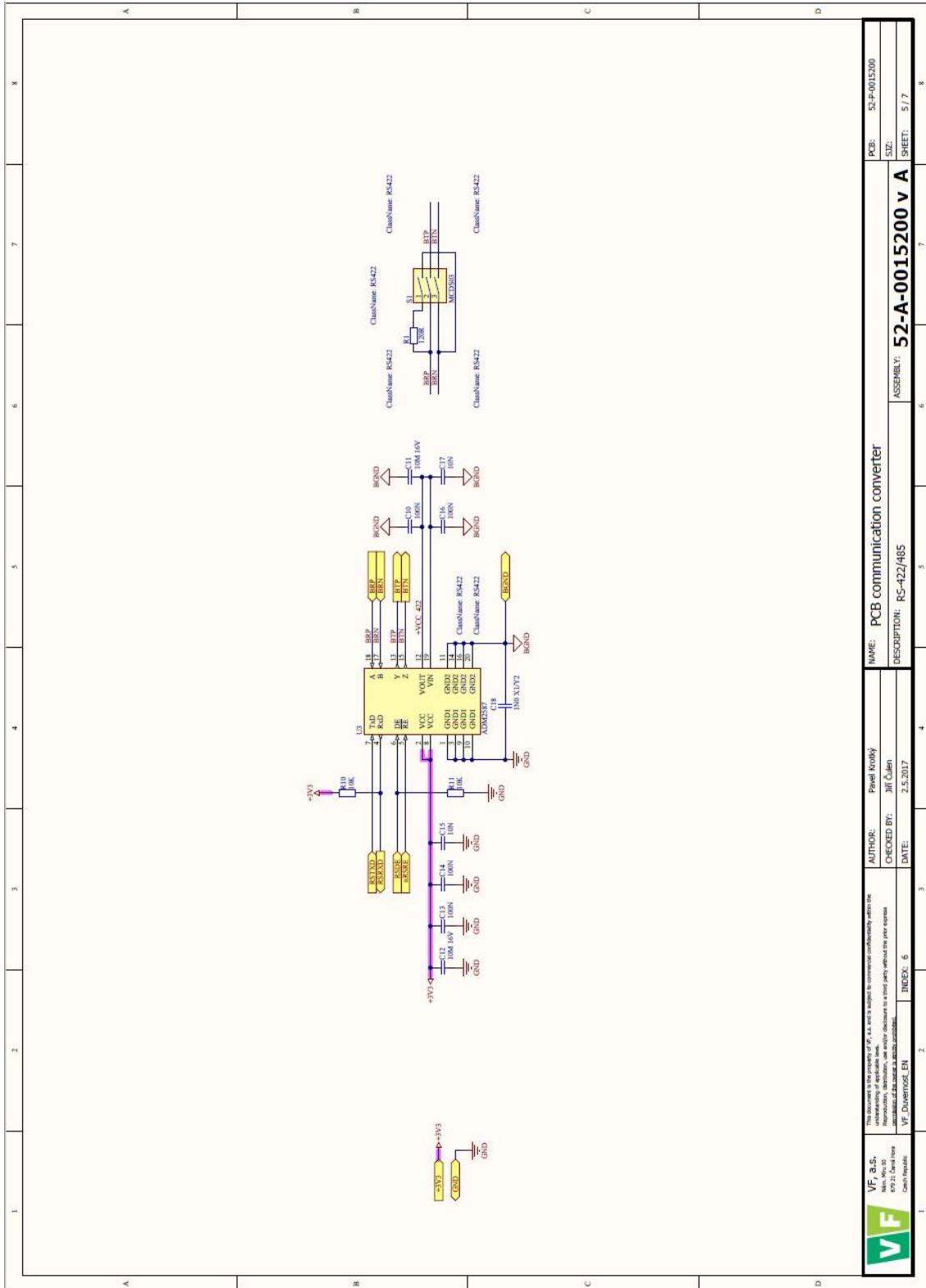
	VF, a.s. Mlýnská 109 252 01 Vlašim Czech Republic	NAME: PCB communication converter AUTHOR: Pavel Krobý CHECKED BY: Jiří Čájan DATE: 2.5.2017	PCB: 52-P-0015200 SZ: 4/7 ASSEMBLY: 52-A-0015200 v A DESCRIPTION: MCU INDCX: 6
--	---	--	--

D SCHÉMA ZAPOJENÍ – SERVISNÍ PORT



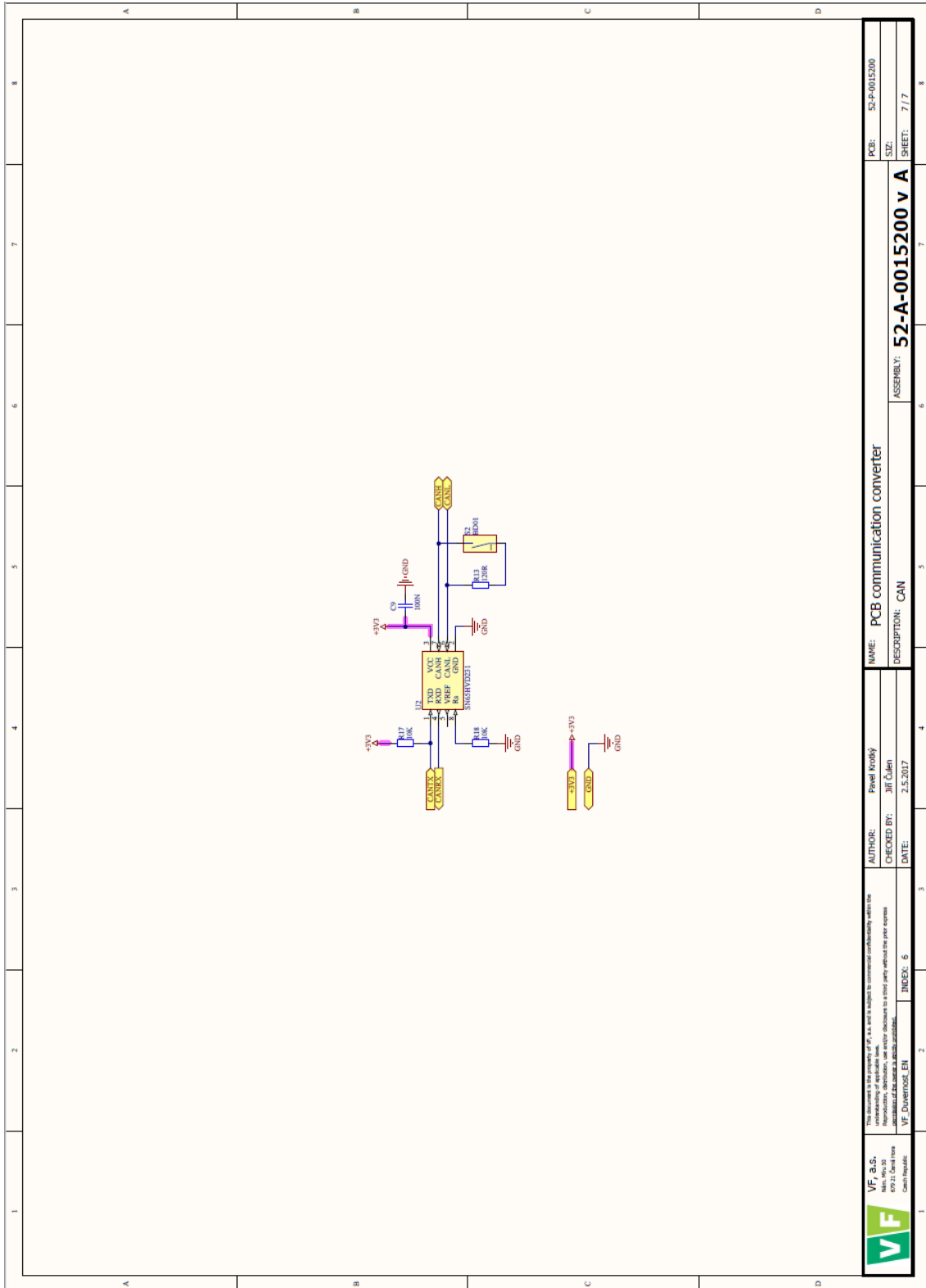
 VF, a.s. Mlýnský náhon 15 252 02 Dobruška Czech Republic	This document is the property of VF, a.s. and is subject to commercial confidentiality when the manufacturing of applicable items. Reproduction, distribution, use and/or disclosure to third party without the prior express written consent of VF, a.s. is strictly prohibited.		NAME: PCB communication converter DESCRIPTION: Service port	PCB: 52-P-0015200 SZ: 617 SHEET: 6/7
	AUTHOR: Pavel Krobký CHECKED BY: Jiří Čulán DATE: 2.5.2017	INDEX: 6	ASSEMBLY: 52-A-0015200 v A	

E SCHÉMA ZAPOJENÍ – RS422/485



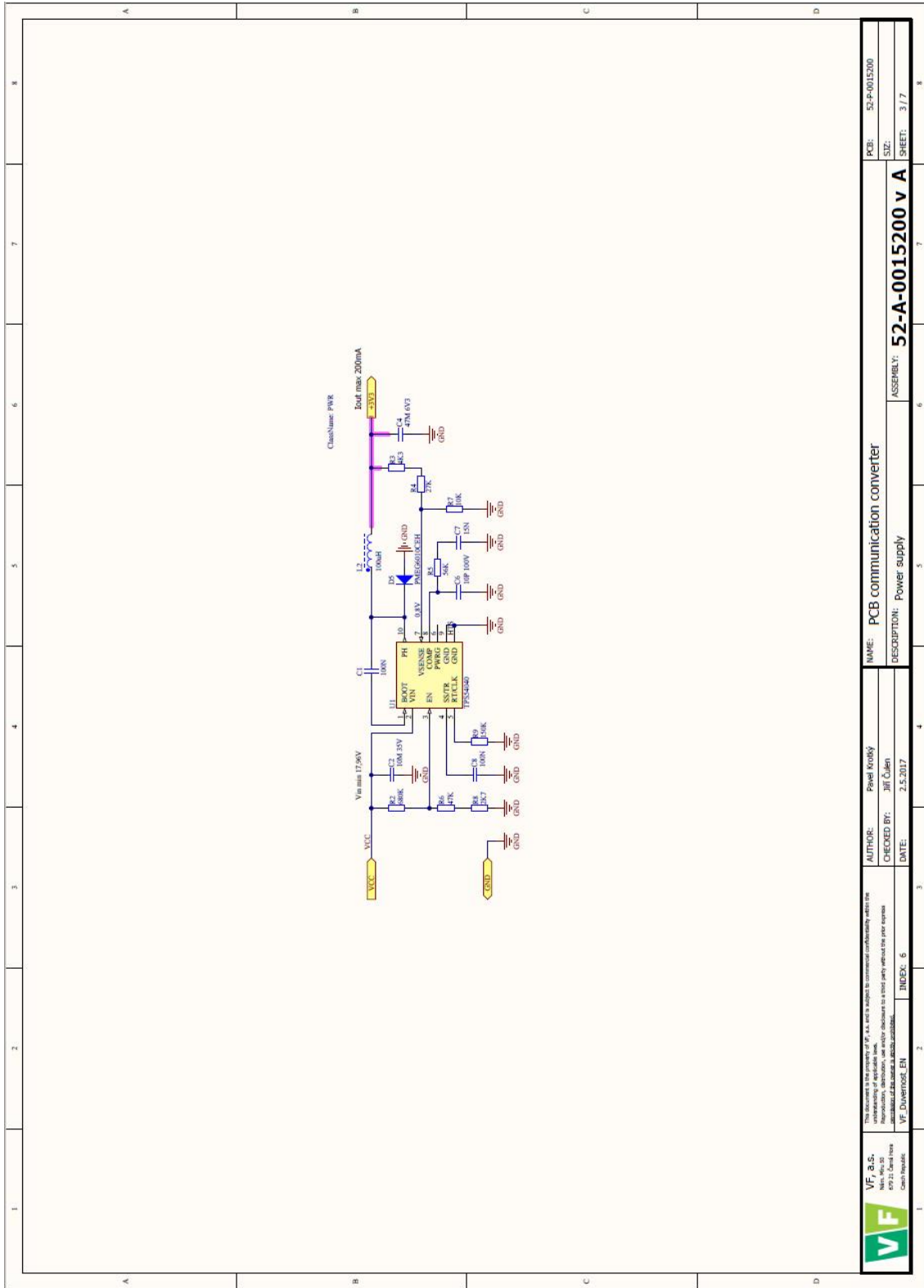
 VF, a.s. Našeho úřadu Česká republika	AUTOR: Pavel Krobý CHECKED BY: Jiří Čáslan DATE: 2.5.2017	NAME: PCB communication converter DESCRIPTION: RS-422/485	PCB: 52-P-0015200 SZ: 5/7 SHEET: 5/7
	This document is the property of VF, a.s. and is subject to commercial confidentiality until the manufacturing of applicable law. Reproductive, distribution, use and/or disclosure to a third party without the prior express written consent of VF, a.s. is strictly prohibited.	INDEX: 6	ASSEMBLY: 52-A-0015200 v A

F SCHÉMA ZAPOJENÍ – CAN



VF, a.s. Mlýnský náhon Česká republika	This document is the property of VF, a.s. and is subject to commercial confidentiality when the manufacturing of appliances takes place. Reproduction, distribution, use and/or disclosure to a third party without the prior express written consent of VF, a.s. is strictly prohibited.	VF_Dokument_EN	INDEX: 6	3	4	6	7	8
			AUTHOR: Pavel Krobký CHECKED BY: Jiří Čáslan DATE: 2.5.2017	NAME: PCB communication converter DESCRIPTION: CAN	ASSEMBLY: 52-A-0015200 v A	PCB: 52-P-0015200 SZ: 7/7		

G SCHÉMA ZAPOJENÍ – NAPÁJENÍ

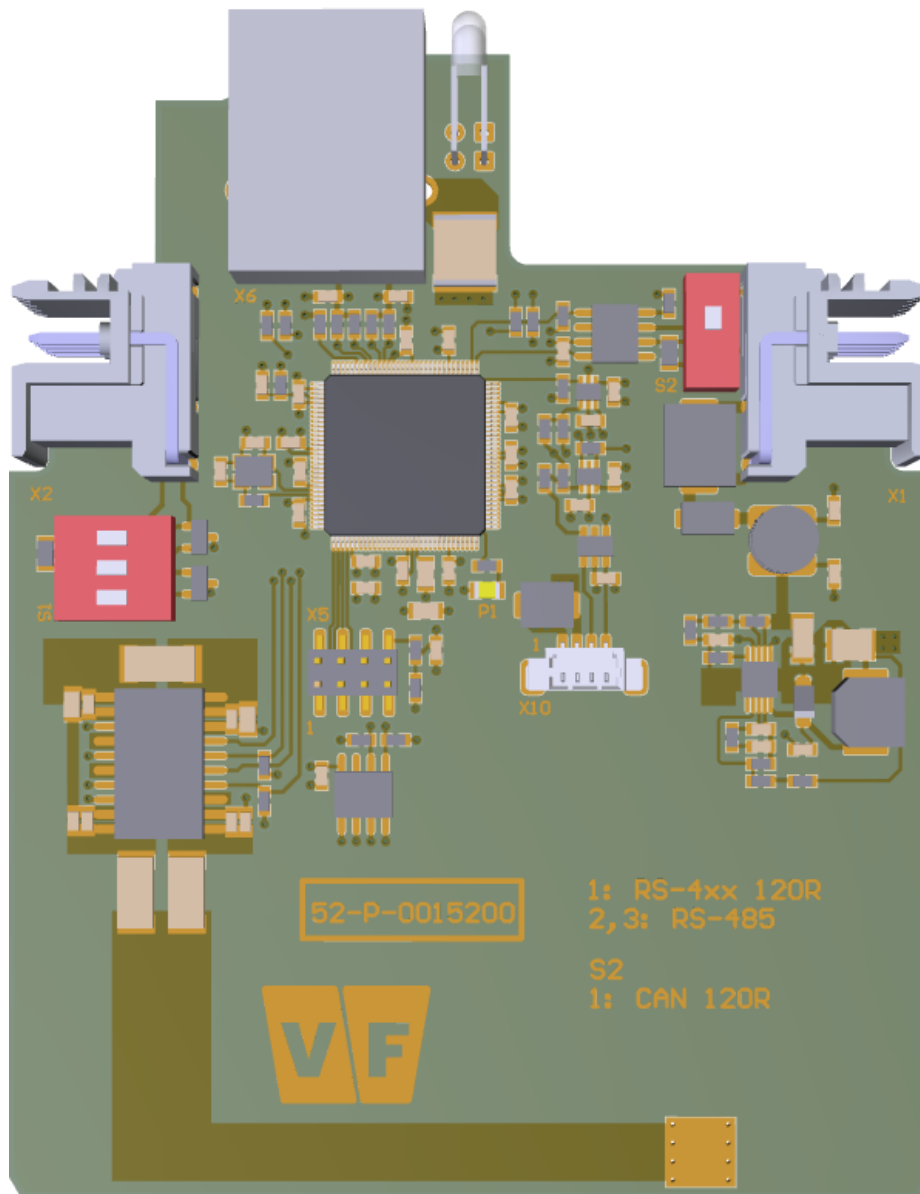


H SEZNAM SOUČÁSTEK

Název	Technologie	Počet ks.	Označení
Rezistor RC2012 120R 5% 150V	SMT	2	R1, R13
Rezistor RC1608 680K 1% 75V	SMT	1	R2
Rezistor RC1608 4K3 1% 75V	SMT	1	R3
Rezistor RC1608 27K 1% 75V	SMT	1	R4
Rezistor RC1608 56K 1% 75V	SMT	1	R5
Rezistor RC1608 47K 1% 75V	SMT	1	R6
Rezistor RC1608 10K 1% 75V	SMT	6	R7, R10, R11, R17, R18, R21
Rezistor RC1608 2K7 1% 75V	SMT	1	R8
Rezistor RC1608 150K 1% 75V	SMT	1	R9
Rezistor RC1608 330R 1% 75V	SMT	4	R12, R16, R30, R31
Rezistor RC1608 1K8 1% 75V	SMT	2	R14, R15
Rezistor RC1608 470R 1% 75V	SMT	1	R19
Rezistor RC1608 51R 1% 75V	SMT	1	R20
Rezistor RC1608 100R 1% 75V	SMT	3	R22, R25, R28
Rezistor RC1608 1M0 1% 75V	SMT	4	R23, R24, R26, R27
Rezistor RC1608 220R 1% 75V	SMT	1	R29
Rezistor RC1608 49R9 1% 75V	SMT	4	R32, R33, R34, R35
Rezistor RC1608 4K87 1% 75V	SMT	1	R36
Kondenzátor CC1608 100N X7R 5% 50V	SMT	32	C1, C3, C5, C8, C9, C10, C13, C14, C16, C19, C20, C21, C22, C25, C26, C29, C30, C31, C33, C34, C35, C36, C38, C39, C40, C41, C42, C45, C46, C48, C49, C50
Kondenzátor CC3216 10M X5R 10% 35V	SMT	1	C2
Kondenzátor CC3225 47M X5R 20% 6,3V	SMT	1	C4
Kondenzátor CC1608 10P NP0 5% 100V	SMT	2	C6, C27
Kondenzátor CC1608 15N X7R 5% 50V	SMT	1	C7
Kondenzátor CC2012 10M X7R 10% 16V	SMT	4	C11, C12, C32, C37
Kondenzátor CC1608 10N X7R 5% 50V	SMT	2	C15, C17
Kondenzátor	SMT	3	C18, C23, C24

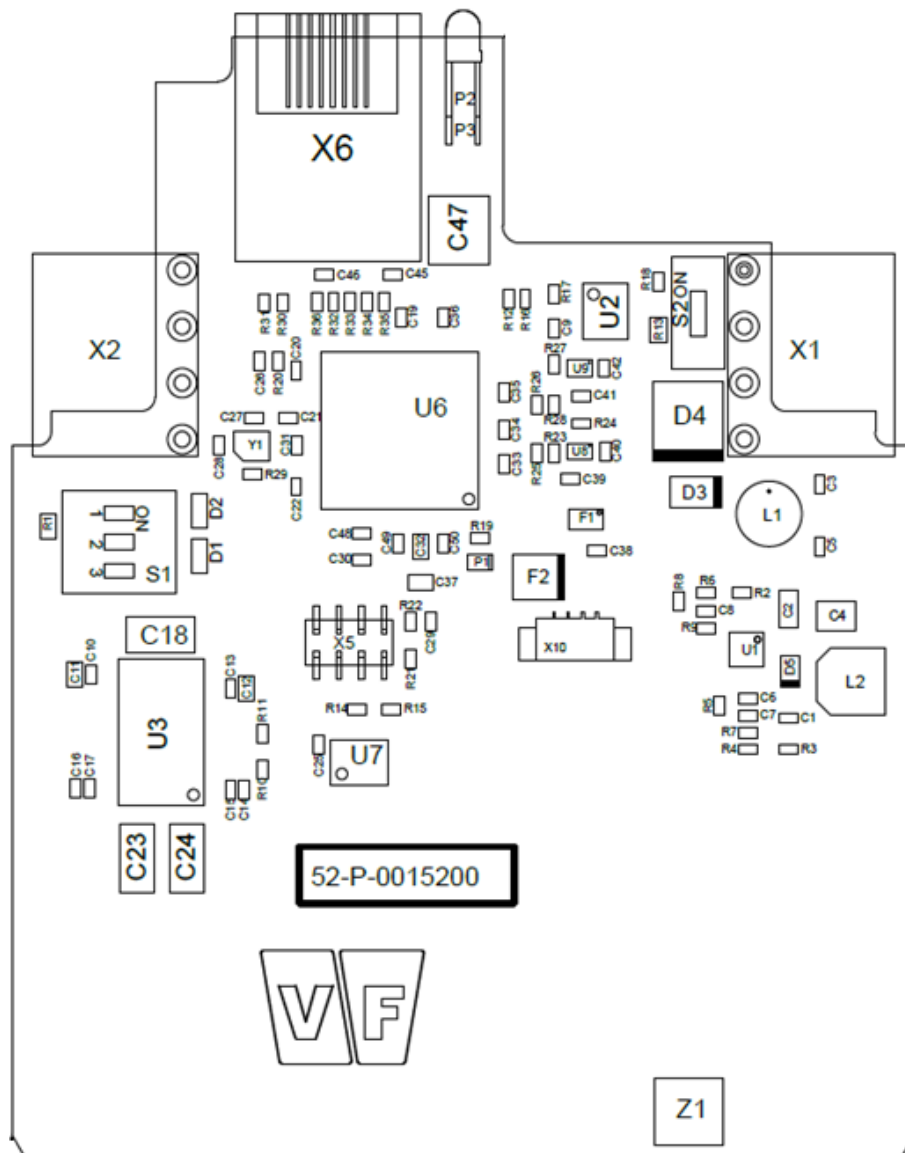
GA352QR7GF102KW01L			
Kondenzátor CC1608 15P NP0 5% 50V	SMT	1	C28
Kondenzátor GA355DR7GF472KW01L	SMT	1	C47
Tlumivka SDR0604-220YL	SMT	1	L1
Tlumivka ELL6UH101M	SMT	1	L2
Dioda US1M	SMT	1	D3
Dioda PMEG6010CEH	SMT	1	D5
Obvod TPS54040DGQ	SMT	1	U1
Obvod SN65HVD231D	SMT	1	U2
Obvod ADM2587EBRWZ	SMT	1	U3
Obvod TM4C1294NCPDTI3	SMT	1	U6
Obvod FM24CL64B-G	SMT	1	U7
Obvod SN74LVC1T45DCK	SMT	2	U8, U9
LED KP-2012YC	SMT	1	P1
LED L-937EGW	THT	1	P2
LED L-937GYW	THT	1	P3
Spínač MCDS03	THT	1	S1
Spínač BD01	THT	1	S2
Konektor MSTBO 2,5/ 4-G1R	THT	1	X1
Konektor MSTBO 2,5/ 4-G1L	THT	1	X2
Konektor SLY 8 SMD 045 8 G	SMT	1	X5
Konektor J0011D01BNL	THT	1	X6
Konektor MC34439	SMT	1	X10
Krystal 7M-25.000MEEQ-T	SMT	1	Y1
Transil SM712	SMT	2	D1, D2
Transil SM CJ30CA	SMT	1	D4
Pole ESD 82400102	SMT	1	F1
Transil SMBJ5,0A	SMT	1	F2

I NÁVRH DPS PŘEVODNÍKU TOP



Obr. 34. Návrh DPS převodníku TOP 80,00 x 99,30 [mm], měřítko M1:0,5

J OSAZOVACÍ PŘEDPIS TOP



Obr. 35. Osazovací předpis DPS TOP 80,00 x 99,30 [mm], měřítko M1:0,5