

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A

TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ethernetové rozhraní PLC řídicích systémů

Bc. Jan Lafata

2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jan LAFATA
Osobní číslo: E11N0083P
Studijní program: N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika
Název tématu: Ethernetové rozhraní PLC řídicích systémů
Zadávající katedra: Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Zásady pro vypracování:

1. Popište způsob využití Ethernetového rozhraní u PLC různých výrobců a specifikujte použité protokoly.
2. Popište způsoby implementace webového rozhraní u profesionálních PLC.
3. Implementujte převodník ETH/RS232 nebo RS485.
4. Implementujte na vybraném HW protokol ModBus/TCP.
5. Proveďte návrh webového rozhraní PLC a implementujte protokol http.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

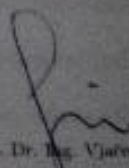
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Basl, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Basl, Ph.D.**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací
Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**




Doc. Ing. Jiří Hamoerbaeder, Ph.D.
děkan

L.S.


Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Gort
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Abstract

Bc. Lafata, Jan Ethernet interface of PLC control systems. University of West Bohemia in Pilsen, Faculty of electrical engineering, Department of applied electronics and telecommunications, 2013, head: Ing. Jiří Basl, Ph.D. The thesis describes methods of implementation of web interface for professional PLC. One part of this diploma thesis is implementation of http protocol and web interface for PLC. Next implementation of ModBus/TCP protocol and realization of RS232/RS485 to Ethernet convertors.

Key words

Ethernet, Web Server, Stellaris, TCP/IP, ModBus/TCP, PLC

Anotace

Bc. Lafata, Jan. Ethernetové rozhraní PLC řídicích systémů. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací, 2013, vedoucí práce: Ing. Jiří Basl, Ph.D. Obsahem této diplomové práce je popis způsobu využití Ethernetového rozhraní u PLC několika výrobců. Dále jsou zde popsány způsoby implementace webového rozhraní u profesionálních PLC. Součástí práce je implementace protokolu http a vlastní návrh webového rozhraní PLC. Dále implementace protokolu ModBus/TCP a realizace převodníků RS232/RS485 - Ethernet.

Klíčová slova

Ethernet, Web Server, Stellaris, TCP/IP, ModBus/TCP, PLC

Prohlášení

Tímto předkládám tuto diplomovou práci k posouzení a následovné obhajobě. Tuto práci jsem zpracoval na závěr mého magisterského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Práci jsem zpracoval zcela samostatně s využitím odborných konzultací s vedoucím práce a s využitím literatury a zdrojů, které uvádím. Dále prohlašuji, že veškerý použitý software je legální nebo vlastní.

Podpis:

V Plzni dne

.....

Bc. Jan Lafata

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali se zpracováním této diplomové práce. Zejména vedoucímu práce Ing. Jiřímu Baslovi, Ph.D., který mi poskytl cenné a profesionální rady. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům, kteří při mě stáli po celou dobu mého studia na této fakultě.

Obsah

1. Úvod	8
2. Ethernetové rozhraní PLC	9
2.1. Ethernet	9
2.2. Průmyslový Ethernet.....	16
3. Implementace Web. rozhraní u prof. PLC	18
3.1. Řídící systémy AMiT.....	18
3.2. Řídící systémy Siemens	20
3.3. Řídící systémy Bosch Rexroth	21
3.4. Řídící systémy Mitsubischi	21
4. Převodník RS232/RS485 - Ethernet	24
4.1. Použití	24
4.2. Popis komunikačního rozhraní RS232.....	24
4.3. Popis komunikačního rozhraní RS485.....	27
4.4. Realizace	29
4.4.1. RS232.....	29
4.4.2. RS485.....	30
5. Implementace MODBUS TCP/IP	31
5.1. Popis protokolu	31
5.2. Implementace MODBUS/TCP.....	33
6. Webserver	34
6.1. Webserver AWEB.....	34
6.2. Ukázková aplikace s webserverem AWEB.....	35
6.3. Vývojový kit - Stellaris LM3S8962.....	37
6.4. Projekt Ethernut	38
6.5. HTTP protokol	39
6.6. Implementace HTTP	40
7. Závěr	44

1. Úvod

Ethernet, jako přenosové rozhraní je stále více používáno v komunikaci a počítačových sítích. V dohledné době není předpoklad, že by toto rozhraní bylo nahrazeno jiným principem. Naopak, toto rozhraní stále více proniká do různých oblastí lidské činnosti. V prvních fázích vývoje této nové technologie bylo její použití v průmyslu velice drahé, tudíž se v průmyslu ve svých počátcích Ethernet prakticky nevyskytoval. S postupným rozvojem internetu a zlevňováním ethernetové technologie nastal průlom jeho použití i v oblasti průmyslových řídicích systémů. Prakticky každý sofistikovaný řídicí systém podporuje možnost použití Ethernetového rozhraní a pro větší aplikace se stalo jeho použití opodstatněné. Možnost sledování řízené aplikace pomocí internetu je značnou výhodou, neboť poskytuje možnost neustálého sledování a kontroly nad řízeným systémem.

Cílem této práce bylo prozkoumat možnosti jeho využití a implementace v řídicích systémech. Práce má také zhodnotit možnosti jeho budoucího využití, porovnat stávající implementace a jeho možnosti v řídicích systémech, například použití pro webový server nebo pro výměnu dat mezi ostatními řídicími systémy. Další částí bylo navržení převodníků Ethernet – RS232/RS485, jejich popis a realizace. V průmyslu je také rozšířen protokol MODBUS, zde byla prozkoumána a popsána implementace MODBUS/TCP, tedy implementace za použití rozhraní Ethernet.

Poslední částí této práce bylo prozkoumání jednoho z nabízených webových serverů a praktická ukázka jeho možností na předem daném příkladě s možností využití jako ukázky v další výuce. Dále navržení a vlastní realizace webového serveru a implementace protokolu HTTP do vývojového kitu s procesorem ARM a následné posouzení výhod a úskalí tohoto řešení oproti jiným řešením.

2. Ethernetové rozhraní PLC

2.1. Ethernet

2.1.1. Ethernet a jeho počátky v průmyslu

V současnosti se Ethernet stal pravděpodobně nejpoužívanějším komunikačním rozhraním v místních sítích. Jeho technologie začala vznikat v sedmdesátých letech dvacátého století, původně v laboratořích firmy Xerox Palo Alto Research Center. První vyvinutá verze byla schopná přenášet data až rychlostí 2,94 Mb/s (což bylo na tuto dobu velice rychlé), kdy přenosová cesta mohla být dlouhá až 1km. Jako první přenosové médium sloužil koaxiální kabel. Tyto vlastnosti dělaly technologii perspektivní a díky tomu se do vývoje této technologie také zapojily firmy Intel a DEC – vznikl DIX Ethernet. Společně se tyto firmy rozhodly technologii standardizovat společností IEEE (standard Ethernet II) a postupně jí i předat kontrolu nad dalším vývojem (IEEE 802.3). Postupně se měnily specifikace této technologie až do dnešní podoby a stavu. Další organizací, která se stará o normalizaci datových komunikací je normalizační úřad ISO, který zveřejnil referenční model OSI (Reference Model for Open System Interconnection), tedy referenční model rozdělení činností při komunikaci, který je popsán v následující podkapitole. Ethernet používá metodu přístupu CSMA/CD.

V oblasti osobních počítačů byl příchod Ethernetu logickým krokem a jeho nástup nebyl nikterak komplikovaný. Tato technologie slibovala vysoké přenosové rychlosti. O poznání složitější situace nastala v oblasti průmyslového nasazení. První pokus provedla firma Siemens v 80. letech minulého století, kdy pomocí technologie Ethernet propojila svá PLC. Tato síť byla postavena na základě standardu 802.3 [W4]. Ovšem se značnými úpravami pro průmyslové použití, jako upravené stíněné konektory a stíněný koaxiální kabel. Takto upravena byla z důvodu silného elektromagnetického rušení, který je v průmyslové praxi běžný. Tento problém mohl z části odstranit systém stejného výrobce, který kombinoval použití klasického koaxiálního a optického kabelu, což bylo sice účinné, ale také velmi drahé řešení. Ethernet nebyl od svého vzniku primárně určen pro použití v průmyslu, nebyl tedy vyvíjen s důrazem na bezpečnost přenosu a práci v reálném čase, byla dána přednost jiným komunikačním sběrnicím (například fieldbus), navíc nebyl důvod přecházet na jiný typ technologie. Změna přišla až v době rozvoje internetu a internetových technologií. Změnila se i topologie sítě (hvězdicová, rozšíření použití switchů a dalších síťových prvků) a jeho

fyzická vrstva. Výrobci komponent pro automatizaci mohli v Ethernetu vidět příležitost tuto technologii značně zhodnotit bez nutnosti velkých investic do vývoje. Navíc moderní Ethernet se od toho původního značně liší.

2.1.2. Referenční model ISO/OSI

Referenční model je model, který popisuje systém, jež je rozdělen na sedm vrstev. Každou vrstvu je možné si představit jako samostatný modul s komunikačním rozhraním připojeným na navazující vrstvy, přičemž model neřeší jednotlivé komunikační protokoly. Každá vrstva modelu má svou specifickou funkci, kdy služby, které poskytuje, využívá vyšší vrstva a zároveň využívá služeb nižší vrstvy. Toho se dá s výhodou použít při samotné aplikaci modelu, kdy je možno vyměnit nebo nahradit modul za jiný.

Komunikace probíhá tím způsobem, že nejdříve musí vzniknout určitý požadavek na komunikaci v aplikační vrstvě, která požadavek zpracuje. Zároveň je vytvořen komunikační kanál s nižší vrstvou (prezentační). Takto se postupuje až na nejnižší vrstvu. Žádná z vrstev nesmí být přeskočena. Je ale možno přeskočit vrstvu, která není potřebná (bude transparentní). Na nejnižší vrstvě, tedy fyzické, proběhne komunikace mezi dvěma zařízeními. Na straně příjemce je zpráva předávána od nejnižší vrstvy k nejvyšší [5].

7	Aplikační vrstva - Application Layer
6	Prezentační vrstva - Presentation Layer
5	Spojová vrstva - Session Layer
4	Transportní vrstva - Transport Layer
3	Síťová vrstva - Network Layer
2	Linková vrstva - Data Link Layer
1	Fyzická vrstva - Physical layer

Obrázek 1: Referenční model ISO/OSI

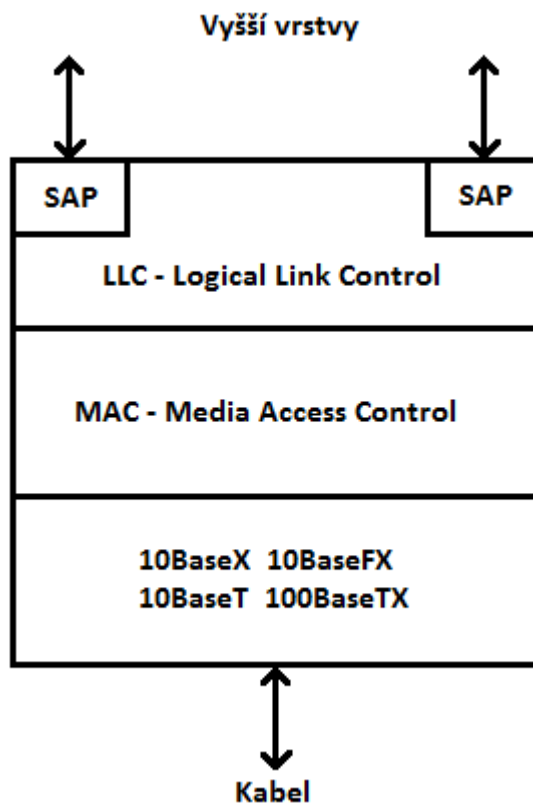
- **Fyzická vrstva** – Jde o vrstvu, která blíže specifikuje fyzickou komunikaci, tedy elektrické a fyzikální vlastnosti, jako druh a typ kabelu, typ a zapojení konektoru, doporučené standardní obvody, napěťové úrovně, tvary pulsů, způsob synchronizace, způsob přenosu a ostatní zařízení, která pracují v této vrstvě. Vrstva se dále stará o navazování spojení.

- **Linková vrstva** – Tato vrstva slouží k uspořádání příchozích dat z Fyzické vrstvy. Data skládá do rámců a tyto rámce také seřazuje podle toho, jak k sobě patří. Přípravuje rámce pro Fyzickou vrstvu. Dále se stará o nastavení parametrů spoje a o detekci případných chyb. Pro Ethernet Spojová vrstva také definuje přístupovou metodu CSMA/CD.
- **Síťová vrstva** – Stará se o směrování a adresování v síti, také může propojovat systémy, které spolu přímo nesousedí. Její funkcí je také správné rozdělení dat o různých délkách na správně dlouhé úseky (pakety). V této vrstvě také můžeme nalézt protokol IP. Také se stará o správné předávání dat do uzlů.
- **Transportní vrstva** – Jejím úkolem je zajistit bezpečný přenos dat mezi uzly. V této vrstvě jsou zahrnuty protokoly TCP a UDP. Také zde probíhá rozložení a složení zpráv do paketů, dále je její funkcí kontrola přijetí a případné opakování při zjištěné chybě.
- **Spojová vrstva** – Úkolem této vrstvy je vytvoření a ukončení relace, přiřazování synchronizačních znaků paketům. Dále má možnost ovlivňovat přístupová práva.
- **Prezentační vrstva** – Transformuje přijatá data do tvaru, který je vhodný pro další zpracování aplikacemi nebo v opačném případě odesílaná data může upravit do formátu vhodnějšího pro nižší vrstvy. Data může například komprimovat, šifrovat a upravovat pořadí bitů.
- **Aplikační vrstva** – Aplikační vrstva je v podstatě rozhraní mezi modelem ISO/OSI a ostatními aplikacemi (uživatelským softwarem), které využívají síťovou komunikaci. Do této vrstvy se řadí protokoly DHCP, FTP, SMTP, DNS, POP3 a další.

2.1.3. Struktura protokolu Ethernet

Struktura komunikační technologie Ethernet se skládá z několika vrstev, jako LLC (Logical Link Control), MAC (Media Access Control) apod. Vrstva LLC, v překladu vrstva řízení logického spoje, je nezávislá na implementaci sítě a na fyzické vrstvě. Hlavním

úkolem LLC je vytváření linkových spojení, rušení linkových spojení a kontrola chyb. Tuto vrstvu je také možno chápat jako rozhraní mezi MAC vrstvou a síťovou vrstvou. Pro komunikaci s vyšší vrstvou slouží v LLC bloky SAP (Service Access Point), což jsou v podstatě komunikační přístupové body [5]. Návaznost bloků je zobrazena na následujícím obrázku (obrázek č. 2).



Obrázek 2: Struktura Ethernet protokolu - návaznost LLC a MAC.

SAP bloky můžeme dále rozdělit na dva, a to na DSAP¹ a SSAP², kde v bloku podvrstvy LLC mají oba velikost 1 bajt. DSAP je cílový přístupový bod, který slouží k odesílání datových bloků, kde jeho LSB bit rozhoduje, zda cílová adresa je skupinová (log.1) nebo individuální (log.0). Podobná situace nastává i u SSAP, tedy zdrojového přístupového bodu. SSAP je určen k příjmu dat. Zde LSB bit udává, zda jde o odpověď (log.1) nebo o příkaz (log.0). Jednou z funkcí vrstvy LLC je také poskytovat datagramovou službu a službu virtuálního spojování. Pro datagramovou službu (UCS - Unacknowledged Connectionless Service) platí, že se vykonává přenos dat, kdy rámce jsou přeneseny k cílové stanici, ale vysílací stanice nepožaduje potvrzování příjmu od cílové stanice. Z toho plyne, že se zde

¹ Destination Service Access Point

² Source Service Access Point

vykonává nezabezpečený přenos dat, tudíž pokud chceme data zabezpečit, musíme to udělat ve vyšší vrstvě. U druhé služby, tedy služby virtuálního spojování (COS - Connection Oriented Service) komunikace probíhá tak, že vrstva LLC je nucena nejdříve navázat spojení mezi koncovými uzly sítě. Zde lze také použít jen individuální adresaci stanice.

Další důležitá vrstva, tedy vrstva, která se stará o řízení přístupu ke sběrnici se jmenuje MAC. Přístup ke sběrnici je u Ethernetu řešen pomocí přístupové metody CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection), tedy metody náhodného přístupu. Princip přístupu na sběrnici spočívá v tom, že v jednom časovém okamžiku může vysílat pouze jedna stanice. V tento okamžik všechny zbývající stanice, které jsou na sběrnici připojeny, sledují stav sběrnice a provoz na sběrnici. V okamžiku, kdy stanice, která je připravena k vysílání dat, zjistí, že na sběrnici je volno (klidový stav), začne stanice vysílat. Podmínka pro klidový stav je mezera mezi rámci dlouhá 6 μ s (pro přenosovou rychlost 10 Mbit/s) [5]. Při větším množství stanic připojených na sběrnici je možné, že dojde ke kolizi, tedy ke stavu kdy alespoň dvě stanice začnou vysílat současně. Tento stav je ošetřen tím způsobem, že stanice, která první zjistí kolizní stav, začne vysílat JAM posloupnost, tedy posloupnost 0 a 1 po dobu 45 μ s. Tím i ostatní stanice zjistí, že došlo ke kolizi. V tomto okamžiku veškeré stanice přeruší aktivitu. Ta se opět obnoví až za náhodný čas. Tím je zaručeno, že kolize se nebude opakovat ihned po konci JAM. Specifikací je dána minimální doba, kdy může být znovu zopakován pokus o přístup na sběrnici. Tento čas je odvozen od minimální doby, která je potřebná pro odeslání 512 bitů. Ovšem datový rámec musí mít určitou minimální délku (vztaženo k délce vedení), aby bylo vůbec možné detekovat kolizi na sběrnici. Tím bylo určeno, že minimální délka pole dat Ethernetového rámce je 46 bytů (či 46 oktetů) a celková minimální délka rámce musí být alespoň 72 bytů. Formát rámce je podrobněji popsán v následující kapitole (2.1.4 Formát Ethernetového rámce).

Pro Ethernet je možné zvolit i duplexní režim, kdy přenos dat probíhá po obou párech vedení (přijímací i vysílací). V tomto režimu nemůže dojít ke kolizím na sběrnici, tudíž nemůže ani dojít ke ztrátě dat na sběrnici. Toto vede k výhodě, kdy krátký datový rámec není nutno uměle dále rozšiřovat na požadovaných minimálních 46 bytů. Je zde ale nutnost použití řízení toku dat kvůli možnosti vyslání požadavku na zastavení vysílání dat v vyslání rámce PauseFrame (pokud má příjemce naplněný buffer). Ve chvíli, kdy je přijímací stanice schopná znovu přijímat data, odešle vysílací stanici znovu rámec PauseFrame, tentokrát ovšem s nulovým čekacím časem, a komunikace se opět zprovozní. Musí být zajištěno, aby

PauseFrame nebyl dále předáván do vyšších vrstev. Toto řízení je realizováno na úrovni MAC. Tento typ přenosu je podporován všemi MAC specifikacemi.

2.1.4. Formát Ethernetového rámce

Počet bitů v jednotlivých polích je popsán jako počet oktetů, kdy jeden oktet je 8 bitů. Tento popis vznikl z důvodu rozdílné interpretace velikosti bajtu některými počítači. Formát rámce můžeme rozdělit na několik základních typů. Celkem se používaly čtyři typy rámců, dnes je ovšem používán jen rámec Ethernet II, kde je LLC průchozí a jsou zde využity pouze služby navazujících vyšších vrstev. Dalšími typy rámců jsou rámece formátu Ethernet 802.3, 802.2 a SNAP.

Tabulka 1: Formát Ethernetového rámce - Ethernet II

Preamble	SFD	MAC cíle	MAC zdroje	Typ / délka	Data	CRC	Mezera
7 x 10101010 (0xAA)	1 x 10101011 (0xAB)	6 oktetů	6 oktetů	2 oktety	46 - 1500 oktetů	4 oktety	12 oktetů

- **Preamble** - Slouží k synchronizaci hodin vysílací stanice a všech přijímacích stanic. Jde o 7 po sobě jdoucích oktetů, kdy každý oktet je složen ze střídajících se log.0 a log.1, tedy z čísla 0xAA.
- **SFD** - Tento oktet slouží k signalizaci začátku ethernetového rámce. Začátek rámce značí dvě po sobě jdoucí log.1 na konci oktetu.
- **MAC adresa cíle** - Délka 6 oktetů (48 bitů).
- **MAC adresa zdroje** - Délka 6 oktetů, stejně jako u MAC adresy cíle.
- **Typ / délka** - Toto pole označuje buď typ rámce, nebo udává délku datového pole.
- **Data** - Datové pole o velikosti 46 - 1500 oktetů. Minimální délka pole je 46 oktetů a to z důvodu detekce kolizí.

- **CRC** - Jde o 32 bitový kontrolní součet, který slouží ke kontrole přijímaných dat. Při příjmu je vypočítán ze všech polí kromě Preamble. Pokud je vypočítaný výsledek rozdílný od hodnoty tohoto pole, je celý rámeček vyhodnocen jako vadný.

2.1.5. Přenosová média - fyzická vrstva

S postupným vývojem Ethernetu přicházely i různá přenosová média. Specifikace Ethernetu je popsána tak, aby umožňovala volbu přenosového média a dokonce i volbu topologie sítě. Jako první médium byl použit takzvaný tlustý koaxiální kabel. K síťové kartě se připojoval pomocí AUI portu (15 - pin konektor). Tento kabel nosil označení 10Base5 - 10 Mb/s, 50 Ω , MDI konektor, délka segmentu 500 m. Jeho nástupcem byl kabel 10Base2, tedy takzvaný tenký koaxiální kabel - 10 Mb/s, 50 Ω , délka segmentu 185 m. Zde bylo nutno použít terminátor sběrnice (50 Ω). Používaným konektorem byl typ BNC. Jelikož bylo zakázáno větvení linky (sběrnice topologie), pro připojení více zařízení sloužil konektor typu BNC-T, který byl vkládán mezi BNC konektor a ostatní zařízení na lince. Tento typ přenosového média se stal nevyhovujícím a začalo se používat dnes nejrozšířenější médium, tedy kroucená dvojlinka.

S příchodem tohoto média se změnila i topologie sítě. Ze sběrnice topologie se stala topologie hvězdicová, která ovšem vykazuje prvky sběrnice topologie. Tyto změny nastaly díky novým síťovým prvkům. Jedním z nich byl Hub (rozbočovač), který se stará o to, aby signál, který bude odeslán do jednoho zařízení, bylo možné získat i ostatními síťovými prvky. Dalším, dnes častěji používanějším prvkem, je Switch (přepínač). Zde se po přijetí ethernetového rámce tento rámeček dočasně uloží do vyrovnávací paměti. Následně je vyhodnocena adresa příjemce. Příchozí data jsou pak odeslána k příslušnému portu. V současnosti se rozbočovače prakticky nepoužívají a jsou nahrazeny přepínači.

Provedení kabelu může být buď stíněné nebo nestíněné. Stíněný kabel nese označení STP (Shielded Twisted Pair) je používán právě v průmyslu. Díky stínění je odolnější vůči elektromagnetickému rušení. Kabel také můžeme rozlišit podle kategorie, se kterou souvisí maximální přenosová rychlost (10Base-T, 100Base-T2, 1000Base-T atd.). Z označení lze jednoduše poznat, o jaký typ fyzického média přesně jde. První číslice udává přenosovou rychlost v Mb/s, slovo Base znamená, že signál je přenášen v základním pásmu. Poslední

písmeno za pomlčkou označuje délku segmentu sběrnice (2 - 200 m, 5 - 500 m) a typ kabeláže (T - Twisted, F - Fiber).

Nákladnějším řešením je použití optického vlákna. Technologie využívající optická vlákna jsou stále rozšířenější. Mohou se použít jak mnohavidová tak i jednovidová vlákna. Jejich použití závisí na požadované přenosové rychlosti a přenosové vzdálenosti. Jejich velkou výhodou je odolnost proti elektromagnetickému rušení a galvanické oddělení síťových prvků.

2.2. Průmyslový Ethernet

Jelikož byl původní Ethernet (IEEE 802.3) navrhován zejména pro použití v domácích nebo kancelářských sítích, pro průmysl nebyl příliš vhodný. Jak již bylo výše popsáno a vysvětleno, Ethernet používá přístupovou metodu CSMA/CD. Tato metoda není pro průmyslové použití příliš vhodná. CDMA/CD nabízí v podstatě náhodný přístup na sběrnici, není tedy zcela jasně definováno, kdy dané zařízení na sběrnici bude schopno data vysílat. Průmyslová zařízení jsou navrhována pro práci v reálném čase. Jednou z možností, jak použít Ethernet v průmyslu při stávající metodě přístupu bylo zrychlení celé technologie natolik, aby se odezvy celého systému minimalizovaly a nebyl by veliký rozdíl v rozpětí latence. Tento problém byl minimalizován s příchodem Fast Ethernetu (rok 1995) a Gigabit Ethernetu. Na rozdíl od domácích nebo kancelářských sítí je v průmyslové praxi zavedený přenos malých datových bloků, které jsou posílány v krátkých časových intervalech. Toto souvisí zejména s aplikacemi, které jsou časově kritické. Například logické obvody elektromotoru, který pohybuje s jednou osou frézky, získá informaci o posunu vpřed. Pokud by nedostal informaci o zastavení pohybu včas, mohlo by dojít například k chybám při výrobě nebo v horším případě k poškození stroje. Dalším problémem standardního Ethernetu použitého v průmyslu by mohla být odolnost vůči EMC nebo i použití obyčejných konektorů málo odolných vůči vibracím (z toho plyne možné poškození konektorů i samotného kabelu).

Tento typ komunikace je v průmyslu stále rozšířenější, protože s sebou nese značné výhody jako možnost připojení převodníků Ethernet - RS232/RS485/USB apod. a dále nabízí možnost připojení systému k síti Internet pomocí FTP serverů, Webserverů a e-mail serverů (bývá součástí Webserveru) a z toho plynoucí možnost vzdáleného ovládní a monitorování systému. Průmyslový Ethernet nese znaky vyšší odolnosti jako lepší spolehlivost HW, vyšší

mechanická odolnost, větší rozpětí pracovních teplot a také lepší zabezpečení proti neoprávněnému přístupu.

3. Implementace Web. rozhraní u prof. PLC

3.1. Řídicí systémy AMiT

Společnost AMiT je český výrobce a vývojář řídicích systémů a elektroniky pro průmyslovou automatizaci. Firma vznikla již v roce 1992. Do tohoto výběru byl tento výrobce zařazen také z toho důvodu, že jeho řídicí systémy jsou používány při výuce programování PLC na ZČU. Dalším důvodem byla následná ukázka použití webserveru tohoto výrobce v kapitole 6.1. Webserver AWEB.

Tento výrobce vyvinul vlastní komunikační systém pro komunikaci pomocí Ethernetu. Tento systém se jmenuje DB-Net/IP. V podstatě se jedná o souhrn prostředků, který zaručuje funkčnost jejich PLC v intranetových sítích. DB-Net/IP využívá protokol TCP/IP a je v něm implementována komunikace pomocí UDP. Data posílaná pomocí DB-Net/IP jsou šifrována. Strana, která posílá data příjemci, musí ovšem znát heslo příjemce. Pokud bude heslo nesprávné, příjemce zprávy bude komunikaci ignorovat. Tím se může zamezit neoprávněnému přístupu k cílové stanici. Pomocí DB-Net/IP také lze vzdáleně nahrávat do cílové stanice sítě nové programy, tedy bez nutnosti fyzické přítomnosti programátora nebo servisního technika. Ze sítě DB-Net/IP lze komunikovat i do sítě DB-Net, která se používá například pro připojení segmentů rozhraní RS485. Adresace segmentů v síti DB-Net je realizována číslem, které určuje adresu stanice. Toto číslo je možné změnit u každého přístroje pomocí DIP přepínače (většinou bývá značen jako SW). Zařízení sítě DB-Net/IP tedy rozpozná danou stanici pomocí IP adresy a adresy sítě DB-Net.

Samotný přenos dat v DB-Net/IP síti je realizován tak, že vysílací stanice odešle požadavek k cílové stanici. Poté čeká na odpověď stanice. Ovšem samotná doba potřebná pro zpětné odeslání potvrzení není vždy stejná, protože není v síti Ethernet definována. Zpoždění tedy závisí na momentálním vytížení sítě. Tato doba je také závislá na verzi NOS (operační systém přístroje) přístroje. Komunikační rychlost pro nejnovější verze NOS (od verze 3.50) je pro řídicí systémy s procesorem C167 76800 bps a pro systémy s procesory ST10F269 192000 bps. Zároveň platí, že maximální počet požadavků pro PLC s procesory C167 je 200 (doporučeno 100) a pro systémy s procesory ST10F269 je 500 (doporučeno 250). Pokud je zadán vyšší počet požadavků, může dojít ke zbytečnému zatížení procesoru. Problém může nastat za současného použití starší verze NOS (do 3.50) a komunikace sériové linky (RS232 nebo RS485). V tuto chvíli je doporučeno nastavit komunikační rychlost

sériové linky na 38 400bps. Pokud by byla nastavena vyšší rychlost, byl by příliš zatěžován procesor. Pokud by byla ovšem nastavena nižší rychlost, mohlo by docházet ke konfliktu s komunikací prostřednictvím Ethernetu [7].

V současné době jsou k dispozici řídicí systémy s implementovaným Ethernet modulem. Výrobce nabízí několik různých řad PLC pro různé účely a s různou složitostí či možnostmi vylepšení nebo s různými přídatnými moduly. Podpora komunikace přes Ethernet je nabízena i pro malé řídicí systémy řady AMiNi (ES, S/I, 4DS). V nejmenším řídicím systému ADiR není Ethernet přímo implementován, ale jeho připojení do sítě DB-Net/IP lze realizovat pomocí převodníku RS232-Ethernet. Mezi řadu kompaktních řídicích systémů patří systémy AMiRiS99 (S, S/I2) a AMAP99 (S, S/I2) které již v základních verzích nabízejí Ethernet³. Vyšší řada PLC je modulární systém ADiS. CPU jednotky tohoto systému jsou nabízeny ve dvou variantách. První je AD-CPU167, kde není Ethernet implementován, druhá CPU jednotka AD-CPUW2 již Ethernet obsahuje. Pro tyto dvě desky ovšem existují další rozšiřující vstupní/výstupní moduly a dále i komunikační moduly mezi kterými je i modul AD-ETH100, který nabízí rozšíření i o Ethernet. Výrobce dále nabízí řídicí terminály, tedy terminál, jehož součástí je i řídicí systém. Řídicí terminály ART267A a ART4000⁴ mají implementovanou pouze sériovou komunikaci RS232 nebo RS485, ale lze je rozšířit o převodníky RS232/RS485 - Ethernet. Nejvyšší řada těchto terminálů MEST110S má Ethernet implementovaný.



Obrázek 3: Řídicí systém ADiS.

³ Volitelně lze přidat i RS485, RS232, CAN a M-Bus

⁴ Řídicí terminál ART4000 má implementované i rozhraní CAN.

3.2. Řídicí systémy Siemens

Koncern Siemens je jedním z nejstarších společností zabývajících se elektrotechnikou a elektronikou. Vznikla již v roce 1847 v Berlíně Wernerem von Siemensem, kterou založil spolu s Johannem G. Haskem. Prvotně se zabývala konstrukcí a vývojem nových technologií v oblasti komunikací a telegrafního vedení, ale její portfolio⁵ se do dnešních dnů značně rozrostlo. Firma se stala jedním z největších a nejvlivnějších výrobců elektrotechniky (firma je brána jako největší evropský průmyslový koncern). Na území České republiky působí již 122 let a má tedy u nás značnou historii [W5]. Nacházejí se zde jak výzkumná, tak i vývojová centra v oblasti vývoje software, konstrukcí elektromotorů, energetických systémů a automatizace.



Obrázek 4: Siemens SIMATIC S7-200.

Siemens nabízí poměrně širokou paletu řídicích systémů. Mezi ty jednodušší patří systém LOGO. Tímto systémem se zde ale nebudu dále zabývat, protože daleko zajímavějšími systémy z pohledu komunikace a implementace Ethernetu jsou řady SIMATIC. Tyto systémy jsou značeny S7-200, S7-300 a S7-400. Do každé CPU jednotky lze vybrat různé procesory. Od toho se odvíjí také možnosti celé řady. Siemens byl jeden z prvních výrobců řídicích systémů, který ve svých zařízeních použil standard Ethernet. V dnešní době je v jejich výrobcích zaveden systém průmyslového Ethernetu, který je blíže popsán v kapitole 2.2. Průmyslový Ethernet. Z toho důvodu lze implementace průmyslového Ethernetu lze nalézt i v jejich řídicích systémech (například vedle rozhraní Profibus). Pro příklad lze vybrat SIMATIC S7-200 s procesory 222 až 226 (verze s procesorem 221 nepodporuje Ethernet). K tomuto PLC lze připojit řadu přídatných modulů, mezi které patří modul

⁵ Koncern zahrnuje i známé značky jako OSRAM, BOSCH a NOKIA.

CP 243-1, ve kterém je implementováno Ethernetové komunikační rozhraní. Dalším modulem je CP 243-1 IT. Tento modul umožňuje implementaci HTTP, e-mail a FTP serveru a připojení PLC k internetu. Také umožňuje vzdálenou správu PLC. Zároveň nemůže být připojeno více než jeden tento modul současně (ovšem současné připojení CP 243-1IT a CP 243-1 se nevylučuje). Pro vývoj aplikací a programování PLC byl vyvinut software STEP 7 [8].

3.3. Řídicí systémy Bosch Rexroth

Dalším evropským průmyslovým obrem je firma Bosch. Její divize Rexroth se také stará o vývoj průmyslových řídicích systémů. Rexroth nabízí celkem tři řady PLC - IndraLogic XLC, L, V. Řada XLC (eXtended Logic Control) má v sobě implementovány nejnovější technologie v PLC praxi. Vyrábí se ve třech verzích L25, L45 a L65. Pro všechny tři verze platí, že Ethernetový modul je integrován přímo v procesorovém modulu a výrobce již nenabízí další rozšíření o tento typ komunikace. Výrobce ho značí jako Real Time Ethernet. Řada XLC je určena pro rychlé zpracování signálů z I/O portů a pro rychlé a dynamické řízení pohybu. Řada L je zaměřena na bezproblémovou údržbu a chod v průmyslovém prostředí. Dále nabízí široké možnosti škálování výkonu dle potřeby. Naopak řada V je založena na platformě PC spolu s realtimovými operačními systémy. Obě tyto řady nabízejí možnosti klasické Ethernetové komunikace, tudíž nabízejí i možnost připojení webserveru.

3.4. Řídicí systémy Mitsubishi

Japonská společnost Mitsubishi je známá po celém světě zejména výrobou automobilů. Oblast zájmu této společnosti je ovšem daleko širší, protože sahá od oblasti loďařství a přepravy až po oblast bankovníctví. Zajímavou oblastí jejich zaměření je i oblast automatizace a vývoje PLC. Jde o zcela logickou oblast zájmu, neboť pro řízení výroby v tolika odvětvích je pro takovouto společnost výhodnější vývoj vlastních PLC, než nakupování PLC druhých stran. Podobně tomu bylo i u výrobců Siemens a BOSCH, které mají také své PLC systémy uzpůsobené primárně jejich vlastní výrobě. K samotnému vývoji slouží dceřiná společnost Mitsubishi Electric.

Stejně jako ostatní výrobci, nabízí společnost Mitsubishi několik variant svých PLC. Těmi nejjednoduššími a nejlevnějšími jsou opět mikroautomaty nebo-li malé řídicí systémy, s označením ALPHA [9]. Tyto přístroje jsou určeny pro řízení malých a méně náročných systémů, jako ovládání klimatizace, osvětlovací systémy, čerpací automaty, ovládání vytápění či poplachové systémy. Z oblasti použití plyne i počet vstupů / výstupů, kterými jsou tato PLC vybavena. V základní verzi disponuje pouze deseti I/O piny, zatímco v nejvyšší verzi jich můžeme nalézt až 28, což už se zdá být poměrně slušný a použitelný počet. Poměrně významnou výhodou tohoto systému je možnost připojení rozšiřujících modulů, což u takto malých systémů nebývá pravidlem. Připojit lze digitální vstupy, dále tranzistorové, reléové a analogové výstupy a výhodou je i možnost připojení bloku pro připojení dvou teplotních senzorů Pt100 nebo dvou termočlánků typu K⁶. Také disponuje komunikačním modulem pro připojení na průmyslovou AS-i sběrnici (actuator/sensor interface), kde pracuje jako slave stanice. Sběrnice AS-i je určena pro nejnižší úroveň komunikace v provozu. Je navržena tak, aby umožnila komunikaci se senzory. Pracuje tím způsobem, že master stanice v pravidelných intervalech dotazuje postupně ostatní slave stanice. Každá slave stanice tedy musí mít vlastní adresu (až 32 stanic). Jako zajímavější varianta připojení k venkovní síti, je možnost připojení GSM modemu pomocí RS232 rozhraní. Díky tomuto přídatnému bloku lze toto PLC jak spravovat, tak i ovládat a zjišťovat současný stav řízeného systému - například pomocí zasílání SMS zpráv nebo e-mailů.



Obrázek 5: Řídicí systém Mitsubischi ALPHA 2.

Další zajímavou řadou je řada kompaktních řídicích systémů FX, konkrétně verze FX3UC [10]. Jde o rozměrově malý systém který zároveň nabízí i vysoký výkon. Z toho plyne možnost vložit celý modul i do menší rozvaděčové skříně a umístit ji tak, aby zbytečně nevadila v práci pracovníkům na lince (vycházím z předpokladu, že toto PLC je vhodné pro

⁶ Termočlánek typu K: Cr-Al, -200°C až 1250°C, 40μV/°C

řízení strojů na lince) nebo naopak ji umístit dle potřeby tak, aby programátor měl v případě nutnosti k přístroji lepší přístup. FX3UC disponuje systémovou vysokorychlostní sběrnici pro komunikaci s přídatnými moduly. Pokud je k procesorovému modulu připojen model stejné řady, který je připraven tuto sběrnici využít, je automaticky zvýšena komunikační rychlost. Lze ale připojit i moduly, které nejsou schopny komunikovat takto rychle a z toho důvodu umí komunikační rychlost i automaticky snížit. Samozřejmostí je možnost připojení komunikačních modulů Ethernet, Profibus, AS-i, CANopen, CC-Link, DeviceNet, Modbus/RTU a RS232/RS485.

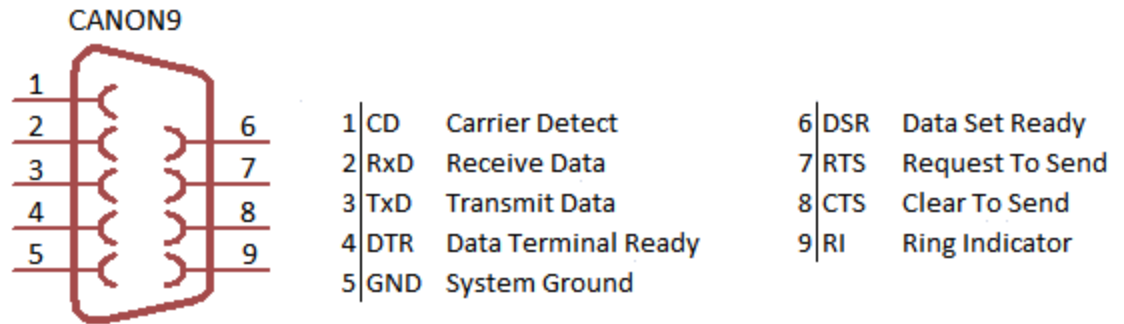
4. Převodník RS232/RS485 - Ethernet

4.1. Použití

U průmyslových zařízení jako PLC jsou rozhraní RS232 a RS485 používána pro různé úkoly. Nejčastějším z nich je přístup do zařízení. Protože zpravidla není nutnost, aby programátor byl od tohoto zařízení vzdálen (předpokládá se, že k zařízení může přijít), často je používáno právě rozhraní RS232 nebo i RS485. Pokud by tato nutnost nastala, mají některá PLC možnost přístupu například po rozhraní Ethernet. Další možnost použití těchto rozhraní nastává při použití externího webserveru (není integrován v PLC), ke kterému může být PLC připojeno právě pomocí rozhraní RS232 nebo RS485. Pokud webserver nemá možnost přímého připojení po těchto komunikačních rozhraních, ale pouze pomocí rozhraní Ethernet, nastává nutnost použití převodníku RS232/RS485 – Ethernet, tedy za předpokladu, že PLC nemá integrovaný Ethernet. V tomto případě může být webserver od PLC vzdálen a je možné připojit k webserveru více PLC, než pouze jedno. Dalším možným použitím převodníku RS232/RS485 – Ethernet je propojení více PLC a jejich vzájemná komunikace - také za předpokladu, že PLC nemá integrovaný Ethernet. Některá PLC, která nemají rozhraní Ethernet, mohou mít integrována jak RS232, tak i RS485. Příkladem může být dále blíže popisované PLC AMiT ART4000.

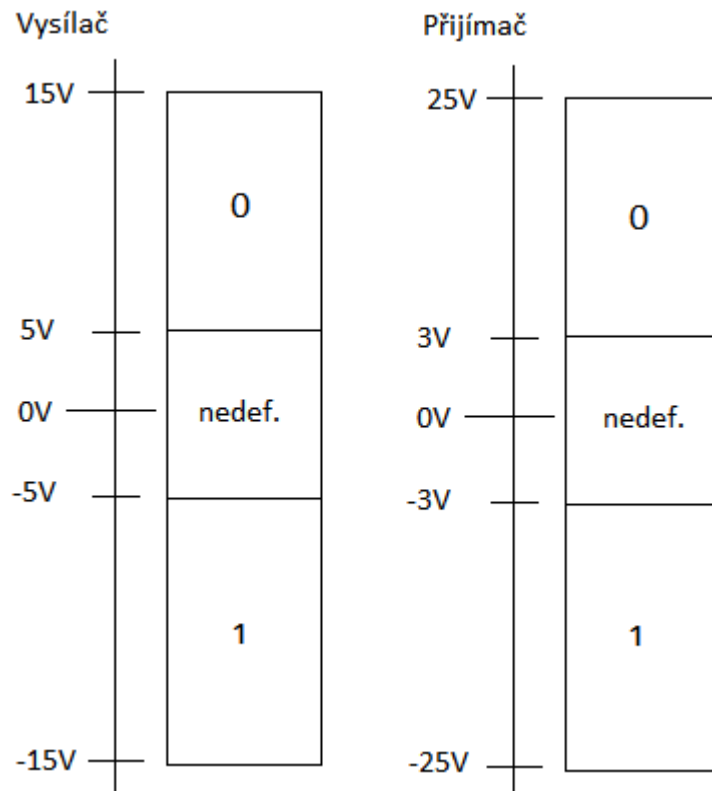
4.2. Popis komunikačního rozhraní RS232

Komunikační rozhraní RS232 je nesymetrické asynchronní sériové komunikační rozhraní určené pro komunikaci mezi dvěma zařízeními (původně pro komunikaci mezi modemem a PC, poté hojně používané i pro ostatní periferie jako myši, tiskárny apod.) převážně na krátkou vzdálenost. Nejčastěji používané konektory jsou CANON25 a CANON9, přičemž dnes častěji používaný je CANON9. A to také z toho důvodu, že množství signálových vodičů, které bylo dříve nutné použít, by byly dnes nevyužité. Jednalo se hlavně o signály potřebné pro handshake v half-duplex komunikaci s modemem. Některé piny konektoru byly také nezapojené. Pro samotnou komunikaci ovšem stačí pouze tři signály a to RxD – přijímaná data, TxD – odesílaná data a GND – zem.



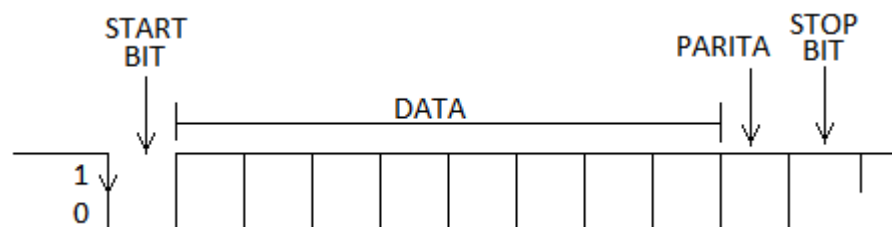
Obrázek 6: Zapojení konektoru CANON9 pro RS232.

Logické úrovně log. 0 a log. 1 jsou charakterizovány různými napěťovými úrovněmi, kdy přijímač je schopný detekovat Log. 0 v rozmezí napětí 3V až 25V a Log. 1 zápornou úrovní napětí -3V až -25V. Nedefinovaná úroveň je v rozmezí hodnot -3V až 3V. V praxi jsou logické úrovně reprezentovány napětím +/- 10V. Těchto napěťových úrovní může být dosaženo zdvojovačem napětí 5V – nábojovou pumpou. Z těchto napěťových úrovní je patrné, že nejsou přímo kompatibilní s žádnou používanou logikou. Z toho důvodu je nutné před zpracováním konvertovat napěťové úrovně (viz. podkapitola 4.4. Realizace). Popsané napěťové úrovně jsou zobrazeny pro lepší přehlednost na následujícím obrázku. Kvůli relativně krátké komunikační vzdálenosti je možno použít proudovou smyčku, která je odolná proti rušení.



Obrázek 7: Definované napěťové úrovně RS232.

S větší přenosovou vzdáleností se dramaticky snižují přenosové rychlosti. Podle specifikace je možné použít toto rozhraní jen na vzdálenost 15 metrů, kdy maximální komunikační rychlost je 20 kb/s (19200 Bd). Komunikační vzdálenost a komunikační rychlost jsou omezeny maximální povolenou jmenovitou kapacitou kabelu a ohmickým odporem vedení. Reálně je možné tuto nevýhodu zmírnit a dosáhnout podobné komunikační rychlosti na delší vzdálenost za podmínky použití lepších kabelů s nižší jmenovitou kapacitou. Přenos dat je zde zajištěn asynchronně, tedy každý datový byte je přenášen konstantní rychlostí, kde k synchronizaci bytu dochází vždy pomocí sestupné hrany Start bitu.



Obrázek 8: Naznačení pořadí odesílaných bitů pro RS232.

Toto rozhraní není pro použití na delší vzdálenosti v průmyslových aplikacích nejvhodnější z důvodu relativně malé odolnosti proti rušení. Toto lze odstranit použitím stíněných kabelů. Na větší vzdálenosti a použití v rušeném prostředí je vhodnější použít spíše rozhraní RS485. Důvody jsou popsány v následující kapitole

4.3. Popis komunikačního rozhraní RS485

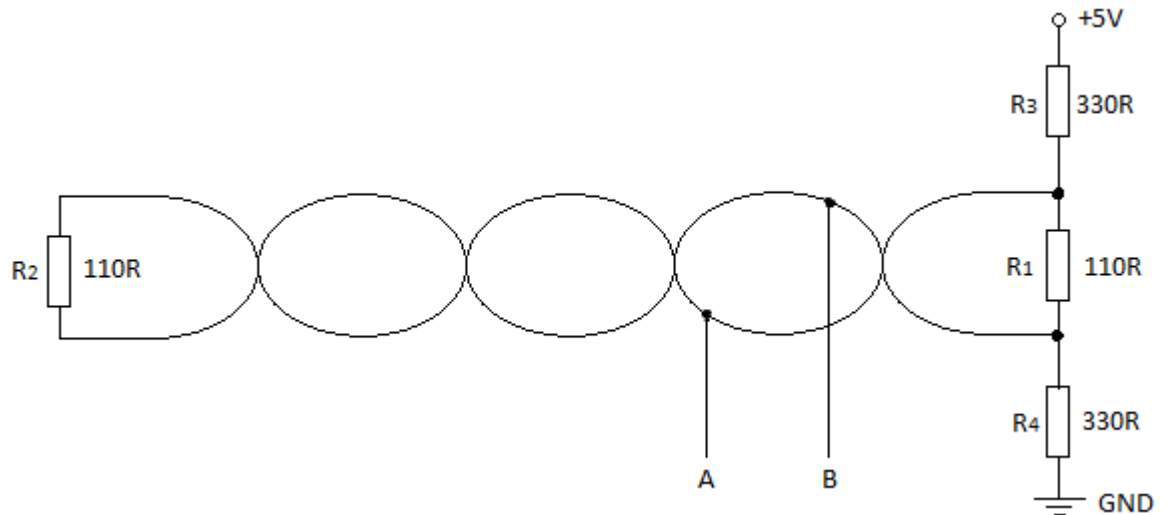
Jedná se opět o sériové komunikační rozhraní. Oproti RS232 je toto rozhraní výhodnější kvůli vyšším komunikačním rychlostem, možnosti použít podstatně delší komunikační vedení (až 1200 m) a kvůli zvýšené odolnosti proti rušení. Jde o symetrické rozhraní s třístavovým výstupem. Pokud je použito dvou vodičové zapojení, jsou svorky označeny jako A a B. V závislosti na polaritách těchto signálů můžeme rozhodnout o tom, zda je signál aktivní či nikoli. Je možné použít dvě různá zapojení. Prvním způsobem je použití pouze jednoho páru vodičů ke komunikaci a zemního vodiče, kdy data mohou být přenášena vždy jen jedním směrem, a komunikace probíhá po jednom vedení v obou směrech. Pro tento způsob zapojení je znám název Single TwistedPair. Zde musejí mít všechna zařízení třístavové budiče. Zároveň je nutno softwarově sledovat, aby některá zařízení nezačala vysílat najednou. Druhá možnost zapojení je tzv. Double TwistedPair, kdy jsou použity dva páry vodičů. Jeden pár pro příjem dat z Master zařízení a druhý pro odesílání dat ze Slave zařízení k Master zařízení. V tomto případě můžeme mluvit o full duplex přenosu. Také zde již nemusí být ovládání směru přenosu a sběrnice nemusí mít třístavové budiče.

Pro zapojení RS485 je vždy nutné použít na obou koncích vedení budiče sběrnice. Tyto obvody zajišťují vyhodnocení difference napětí na vodičích A a B. Výhodou diferenčních vstupů těchto budičů je i eliminace rozdílných zemních potenciálů. Na vzdálenosti přenosové cesty se při paralelním vedení vodičů může do vedení naindukovat rušení nebo přeslechy ze sousedních kanálů nebo jiných sběrnic. Z toho důvodu je signál přenášen krouceným párem vodičů (twisted pair), protože při tomto způsobu vedení je rušení eliminováno. Na koncích sběrnice je nutná její terminace terminačními odpory z důvodu eliminace odrazů.

Vyhodnocení logické úrovně je tedy závislé na diferenci napětí na vodičích A a B, jak je napsáno výše. Pokud je tento rozdíl napětí $U = U_A - U_B$ větší nebo rovno 200mV, je vyhodnocena logická úroveň log.1. V opačném případě, kdy $U \leq -200$ mV, bude budičem sběrnice vyhodnocena logická úroveň log.0. Při hodnotách -200 mV $< U < 200$ mV bude na

výstupu budiče (většinou značen jako RO) nedefinovaná úroveň napětí. Pokud vysílač nevysílá, je budič v režimu vysoké impedance.

Důležitým problémem, kterému je třeba se věnovat při použití rozhraní RS485 je zakončení (terminace) sběrnice. Ta je velice důležitá především při vyšších přenosových



Obrázek 9: Příklad způsobu terminace sběrnice

rychlostech nebo při nutnosti použití delší přenosové cesty. Na nezakončeném vedení může docházet k odrazům signálu zpět na stranu vysílače. Terminaci je možno provést pomocí rezistorů o hodnotách $R_{1,2} = 110\Omega$ připojených na konce vedení vždy mezi vodiče A a B. Dále je nutné zajistit, aby klidové napětí bylo $U > 0$. Toho lze dosáhnout pomocí dvou rezistorů o hodnotách $R_{3,4} = 330\Omega$. První rezistor je zapojen k napájecímu napětí 5V a rezistoru R_1 , druhý k rezistoru R_1 a na zem. Popsaný způsob je vyobrazen na Obrázku 8.

Maximální rychlost přenosu dat pro krátké vzdálenosti je až 10Mbit/s. Tato maximální rychlost je dána především výstupními parametry vysílače, jako je strmota hran signálu. Krátkou vzdáleností je zde myšlena vzdálenost do 10m. V tomto případě lze zanedbat vliv vedení. Pokud chceme použít delší vedení, než 10m, je nutnost uvažovat i s negativními vlivy, jako je skin efekt a tudíž i se snížením přenosové rychlosti. Pro velmi dlouhá vedení se navíc začíná uplatňovat vlastní ohmický odpor vedení, který způsobuje útlum signálu. Dalším faktorem je kapacita vedení.

4.4. Realizace

Pro realizaci převodníků byl použit vývojový kit Stellaris LM3S8962 blíže popsany v kapitole 6.3. Vývojový kit - Stellaris LM3S8962, který byl vhodný z důvodu jeho použití jako webserveru. Daná aplikace tedy v konečném důsledku může pracovat jak v režimu webserver, tak převodníku Ethernet – RS232/RS485. Toto se zdálo jako značná výhoda především z toho důvodu, že běžně nabízené webservery různých výrobců (například AMiT) mají stejnou vlastnost. Na jeho základě byly postaveny tři desky plošných spojů (dále DPS).

Jednotlivé DPS byly konstruovány jako vyměnitelné moduly, které je možno na sebe nasazovat. Zároveň mohou být použity maximálně dva moduly. Toto omezení plyne z použití sběrnice UART, které jsou na desce vývojového kitu vyvedeny také právě dva. Sběrnice UART byly použity pro svou jednoduchost a snadnou implementaci. DPS byly osazeny přepínači jumper, kterými lze přepínat používaný port (UART0 / UART1). Je nutno dbát na to, aby oba převodníky zároveň nepoužívaly stejný UART. V tom případě by totiž správně pracoval jen jeden z převodníků.

4.4.1. RS232

Pro převod logických úrovní u RS232 byl použit integrovaný obvod MAX3232. Jeho napájecí napětí je maximálně 6V. Umí ovšem pracovat i s nižším napětím, proto je možnost na DPS přepnout napájení na 5V nebo 3,3V (jumper JP1). Při návrhu jsem vycházel z doporučeného zapojení uvedeného v datasheetu. Od toho se odvíjely i hodnoty použitých kondenzátorů (100nF), které se mění podle napájecího napětí. Hodnoty jsou pevně nastavené pro napájecí napětí 3,3V, ovšem převodník bez problémů pracuje s těmito hodnotami i při napájecím napětí 5V. Výstupní úroveň napětí budiče sběrnice je podle logické úrovně $\pm 5V$. Obvod umožňuje použití až dvou kanálů, zde byl použit jeden. Vstupní signál lze přepnout pomocí jumperů JP2 a JP3. Způsob přepínání signálu je stejný i pro ostatní DPS, stejně tak i způsob napájení, kdy není nutno použít externí napájecí zdroj. Obvody jsou napájeny přímo z vývojového kitu. Ke konektoru jsou přivedeny signály Rx, Tx a GND.

4.4.2. RS485

Pro realizaci převodníku Ethernet – RS485 byly zvoleny dvě varianty. Zapojení Single TwistedPair a Double TwistedPair. Rozdíly těchto zapojení jsou vysvětleny v kapitole 4.3. Popis komunikačního rozhraní RS485. Pro první z nich byl použit integrovaný obvod MAX481. Pro správnou funkci má tento obvod vyvedeny vstupy pro ovládání směru toku dat. Zapojení umožňuje automatické směřování i možnost použití vlastního ovládání směru. Tato vlastnost se ovlivňuje jumperem SV1. Takzvané ruční řízení bylo připojeno na výstup, který zároveň ovládá i LED diodu LED1 na vývojové desce kitu Stellaris, takže uživatel může i vizuálně kontrolovat, v jakém stavu se zařízení nachází. Pokud je ruční řízení vypnuto, zapojení je provedeno tak, aby se přepnul směr vždy, když procesor začne posílat data. O tuto funkci se stará PNP tranzistor Q1 (univerzální BC857 v SMD provedení). Kolektor tranzistoru je připojen na napájecí napětí 5V, emitor je připojen na vstupní piny 2 a 3 obvodu MAX481. Na těchto pinech jsou totiž připojeny řízení aktivity příjmu a vysílání - značeno jako RE/ na pinu 2 a DE na pinu 3. Přičemž pin 2 je negován, takže v tomto zapojení nemůže dojít ke stavu, kdy jsou aktivovány obě funkce současně. Uživatel má také možnost použít jednoduchý způsob terminace sběrnice pomocí připojení terminačního rezistoru o velikosti $R_T = 120\Omega$. Druhé zapojení, tedy zapojení pro Double TwistedPair je v podstatě modifikované první zapojení. Zde byl použit integrovaný obvod MAX488 bohužel pouze v DIL pouzdře. Tento obvod již nemá vyvedeny piny pro řízení směru. Zde to totiž není nutné, jelikož zde probíhá full duplex komunikace. Obvod je napájen také přímo z desky vývojového kitu. Schémata a návrhy desek plošných spojů jsou přiloženy v přílohách diplomové práce.

5. Implementace MODBUS TCP/IP

5.1. Popis protokolu

Protokol MODBUS se stal poměrně často používaným standardem v průmyslové praxi. Jde o komunikační protokol, který je určený zejména pro dohled a komunikaci zařízení určených pro automatizaci. Podporováno je více komunikačních médií. Může být použita sériová linka – RS232/RS422/RS485 nebo i Ethernet. Varianta, kterou se zde budu blíže zabývat je MODBUS TCP/IP, tedy protokol určený k posílání MODBUS zpráv v síti intranet nebo internet pomocí protokolu TCP/IP a jeho zpráv. Jeho použití se stalo vhodným s rozšíření Ethernetu v průmyslu. Dnes skoro každý výrobce PLC nabízí možnost implementace Ethernetu [W6].

MODBUS TCP/IP byl vyvíjen od svého začátku jako průmyslový standard. Model tohoto protokolu je založen na komunikaci typu klient – server. V tomto protokolu jsou předem definované zprávy. Některé jsou v zařízeních povinně implementovány a jiné, speciální, jsou určeny právě pro komunikaci s PLC. Jejich struktura je definována již na úrovni protokolu a z toho důvodu nezávisí na typu komunikačního média nebo na typu použitém typu sítě. Datový přenos je zde odolný proti rušení, a ke ztrátě dat dochází jen zřídka, tudíž na přijímací straně není nutné klást takový důraz na obnovení ztracených dat. MODBUS je spojově orientovaný protokol. K navázání spojení slouží prvek „login“. Spojení trvá do té doby, než je přerušeno. Toho je s výhodou využíváno právě zde, kdy TCP/IP umožňuje velký počet současných spojení. Jedno spojení může také provádět současně více operací. Komunikace probíhá tím způsobem, že server odešle zprávu typu požadavek, klient tuto zprávu přijme, následně vyhodnotí a poté pošle zpět na stranu serveru odpověď. Požadovaná funkce nebo příkaz, který má klient vykonat, je blíže specifikována pomocí request kódu (v podstatě typ požadavku). Hodnoty těchto kódů jsou v rozmezí 1 – 255. Pokud je třeba, aby byla serveru zpět oznámena chyba, jsou využity kódy 128 – 255, které jsou pro tento účel zvláště vyhrazeny.

Tabulka 2: Obecný formát rámce protokolu MODBUS

Adresa	Request kód	Data	CRC
--------	-------------	------	-----

Jako odpověď na přijatou zprávu může klient odeslat dva druhy zpráv. Pokud je vše v pořádku a během provádění požadované funkce se nevyskytne žádný problém, klient vrátí serveru zprávu s původním Request kódem, který server odeslal. Tím server zjistí, že vše proběhlo v pořádku. Pokud ovšem nastane nějaký problém, vrátí klient serveru zprávu, kde v Request kódu je sice požadovaný kód, ovšem MSB bit kódu bude nastaven na log.1. Dále je v datovém bloku zprávy upřesněn problém, ke kterému došlo. Za běžného bezchybného provozu mohou být v datovém bloku posílány informace o adresách nebo doplňková data k příkazům apod. Tento blok může ale zůstat i prázdný. Blok kontrolního součtu CRC je v klasické verzi pro RS485 přítomný, ovšem v MODBUS TCP/IP ztrácí svůj smysl a není zde zaveden⁷. Také pro MODBUS TCP/IP neplatí blok adresy, ale je zde zavedena MBAP hlavička.

MODBUS protokol, tedy i verze MODBUS TCP/IP používá big-endian reprezentaci dat [W6]. Tedy reprezentaci, kde na paměťové místo s nejnižší adresou je ukládán nejvýznamnější bajt (MSB) a na paměťové místo s nejvyšší adresou je ukládán nejméně významný bajt (LSB). Pokud tedy budou vysílána data o velikosti větší, než jeden bajt, bude odeslán nejdříve bajt s vyšším pořadím. Pro příklad, pokud se budou odesílat 16-bitová data ve tvaru 0xABCD, nejprve se odešle bajt 0xAB a poté bajt 0xCD. To stejné samozřejmě platí i pro data o větší délce. Programátor musí tedy počítat s big-endian reprezentací dat a podle toho správně řadit příchozí data.

Model protokolu MODBUS je založen celkem na čtyřech tabulkách, z nichž každá má svůj model a specifickou funkci, přičemž tyto tabulky mají svůj adresní prostor (adresní prostory se mohou také překrývat). V podstatě se jedná o vstupní a výstupní datové registry (16bit) a diskretní vstupy a výstupy (1bit).

Tabulka 3: Popis tabulek protokolu MODBUS.

Tabulka	Velikost	Adresa	
Diskretní vstupy	1bit	10000 - 19999	poskytované I/O
Diskretní výstupy	1bit	0 - 9999	modifikované aplikací
Vstupní registry	16bit	30000 - 39999	poskytované I/O
Výstupní registry	16bit	40000 - 49999	modifikované aplikací

⁷ Ethernetový rámec má svůj vlastní blok kontrolního součtu a další kontrola by zde byla nadbytečná.

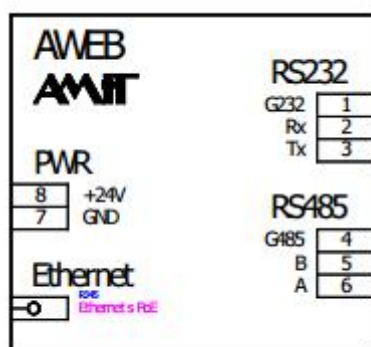
5.2. Implementace MODBUS/TCP

Pro implementaci protokolu MODBUS/TCP se zpočátku zdál být vhodný SCADA systém Promotic, který jsem měl původně k tomuto účelu využít. Tento systém má v sobě implementovány knihovny pro práci s protokolem MODBUS, který využívá sériovou komunikaci i Ethernet. Pro tento typ Fyzické vrstvy lze vytvořit jak MODBUS Master, tak i Slave. Promotic umožňuje i použití MODBUS/TCP, ovšem pouze účastníka typu Master. Z toho důvodu bylo nutno změnit prvotní předpoklad a pro vytvoření účastníka Slave použít jiný způsob. Pro vytvoření Slave účastníka je vhodná ukázková aplikace webserveru (jeho implementace je blíže popsána v kapitole 6.6), kde již je implementován protokol TCP a jeho využití se zde vyloženě nabízelo. V systému Promotic tedy byl vytvořen Master účastník a ve vývojovém kitu byl implementován MODBUS Slave účastník. Výhoda toho, že na jedné straně je PC je v tom, že díky programu Wireshark lze snadno odchytil komunikaci po TCP/IP a tím i MODBUS, jelikož MODBUS rámec je v podstatě vložen do Rámce Ethernet.

6. Webservice

6.1. Webservice AWEB

Webový server AWEB je určen pro řídicí systémy výrobce AMiT. Jde o samostatnou komunikační jednotku, jejíž hlavní výhodou je, že ji lze přidat ke všem řídicím systémům tohoto výrobce. To je výhodné zejména z toho důvodu, že stačí tento samostatný modul připojit k již stávající aplikaci bez větších úprav. Přístroj může být připojen buď přímo pomocí rozhraní RS232 nebo výhodněji pomocí rozhraní RS485. Při použití RS232 by každý řídicí systém musel mít vlastní webserver. Oproti tomu výhoda použití rozhraní RS485 je možnost práce přístroje pro celou síť řídicích systémů. Přístroj se totiž navenek chová jako další stanice v systému. Výhodou tohoto přístroje je implementace obou těchto rozhraní, z toho důvodu, že přístroj může zároveň fungovat jako převodník RS232/485 - Ethernet. Další výhodou je možnost připojit přístroj do switchu, kdy může komunikovat zároveň až s 12 segmenty sítě Ethernet.



Obrázek 10: Webový server AWEB.

Napájení přístroje je 24V (WAGO konektor), jak bývá zvykem v oblasti řídicích systémů a automatizace, nebo pomocí Power over Ethernet (PoE) 48V. Přenosové rychlosti RS232/485 jsou 9,6 - 115,2kBd a podporované rychlosti Ethernetu jsou 10/100Mbps. Přístroj podporuje protokoly DB-Net a DB-Net/IP.

Pro samotnou tvorbu webového rozhraní výrobce poskytuje vývojový WYSIWYG editor AWDet. Ten je dostupný zcela zdarma po registraci na webových stránkách výrobce. Pomocí něho lze rychle vytvořit požadovanou webovou prezentaci. K zobrazení a změně

požadovaných proměnných je třeba tyto proměnné pro webserver získat. To probíhá tím způsobem, že se do prostředí AWDet jsou naimportovány zdrojové kódy z prostředí DetStudio, ve kterém je vyvíjena samotná aplikace pro PLC AMiT. Tím jsou automaticky získány všechny potřebné informace o proměnných, včetně komentářů. Automaticky jsou získány i nastavení komunikačních adres. Toto platí pro verzi 1.4.0. V aktuální verzi 1.5.0. byla přepracována struktura adresářů projektu, a importu staršího projektu z předchozí verze bylo nutno mírně upravit nastavení projektu. Do stanice lze nahrát data o velikosti maximálně 3072kB. Na běžné stránky je to dostatečná velikost a nedostatek prostoru se dá vyřešit například načítáním obsahu (zejména větších obrázků) z dalšího internetového zdroje.

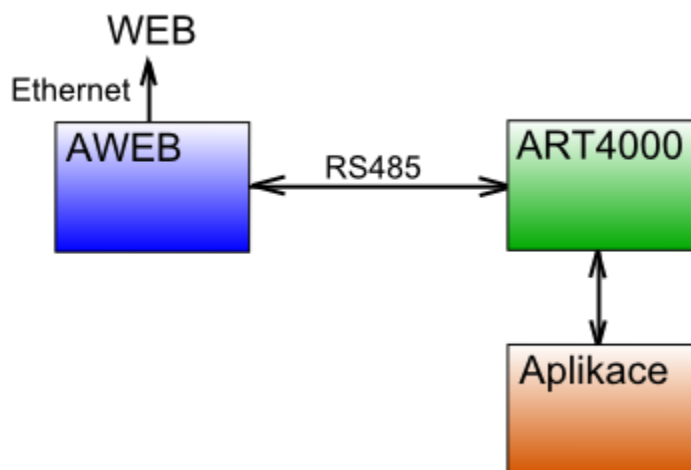
6.2. Ukázková aplikace s webserverem AWEB

Cílem ukázkové aplikace bylo ukázat základní možnosti webserveru AWEB s připojeným PLC AMiT ART4000 a nahradit webový server vytvořený ve SCADA systému (například Promotic). Jako výchozí aplikace byla zvolena vzorová semestrální práce pro předmět KAE/UPR, která byla vytvářena právě pro toto PLC. AWEB a PLC byly propojeny pomocí rozhraní RS485 a to z důvodu možného pozdějšího rozšíření o další PLC (celkem až 32 stanic na sběrnici), což při použití RS232 nebylo možné [2]. Díky tomu zůstal volný port RS232, který může sloužit pro komunikaci s PC. Obě stanice jsou koncové, bylo nutné tedy nastavit i terminační rezistory [3]. Jelikož je AWEB připojen k PC pomocí sítě Ethernet, je možné zároveň ladit program v PLC a podle potřeb upravovat webovou stránku v AWEB. Identifikační číslo PLC stanice bylo nastaveno na hodnotu 1, číslo AWEB na hodnotu 30 a číslo PC na hodnotu 31. Kde identifikační číslo PC je potřebné při komunikaci po sériové lince při přehrávání programu do PLC. Takto vysoké identifikační číslo AWEB bylo zvoleno záměrně z toho důvodu, aby nenastal zmatek při případném přidávání dalších stanic. Konfigurace RS485 na straně PLC ART4000 byla nastavena pomocí DIP přepínače SW na zadní straně přístroje. Zde se nastavuje identifikační číslo přístroje v síti DB-Net (adresa 1), dále komunikační rychlost (38400bps), aktivní komunikační rozhraní sítě DB-Net (RS485) a stav aplikace. Použité nastavení je zobrazeno následující tabulce. Přesnější vysvětlení jednotlivých bitů lze nalézt v manuálu [4].

Tabulka 4: Nastavení přepínače SW.

Adresa sítě DB-Net					Rychlost		Rozhraní	ON / OFF	Uživatelské
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	1	1	1	0

Konfigurační data a data projektu pro AWEB je možné aktualizovat v prostředí AWDet nebo přístupem na FTP. Vhodné je omezení práv na provádění změn pouze určitým uživatelům. Defaultně jsou nastaveny tři typy uživatelů, a to root, service, user. Všem je přiřazeno přístupové heslo amit [2]. Jména a hesla uživatelů se dají změnit po získání komunikačních parametrů v editoru.

**Obrázek 11:** Příklad možného připojení AWEB k PLC AMiT ART4000.

Síťová konfigurace AWEB má defaultně nastavenou statickou adresu. Jakékoliv změny je možno zrušit resetováním přístroje do továrního nastavení. To proběhne po odpojení přístroje od napájení, stisknutím funkčního tlačítka a opětovným zapnutím napájení (tlačítko musí být sepnuto po dobu minimálně 15s po zapnutí napájení). Vrácení konfigurace do továrního nastavení je vhodná v případě nechtěného nastavení, po kterém například není možné se spojit s webserverem. AWEB má v sobě také integrován DHCP, takže není nutné nastavovat veškeré IP adresy ručně.

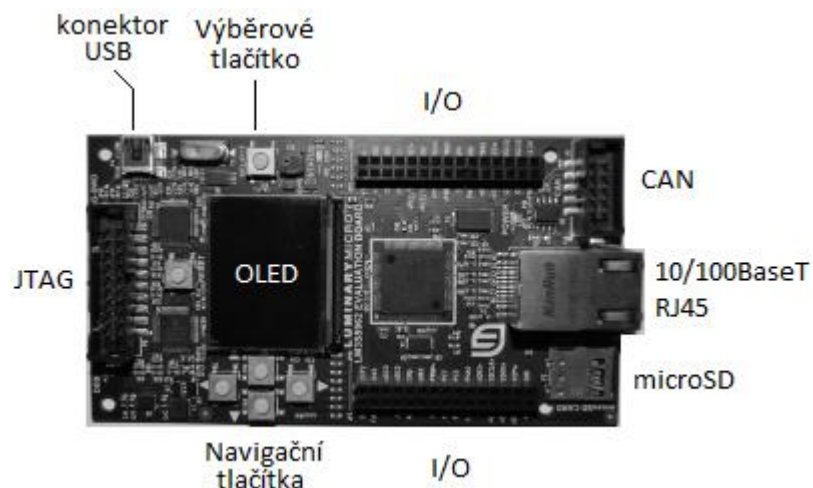
Při vytvoření nového projektu v prostředí AWDet je nutno zadat zdrojový soubor z DetStudia. Tím se přenesou informace o všech proměnných a uživatel s nimi může dále

pracovat. Editor nabízí řadu možností jak s proměnnými pracovat. Od běžného zobrazení po editaci pomocí webových formulářů. Editor je zaměřen na co nejmenší velikost kódu, a tak nabízí práci jen pouze pomocí CGI příkazů (blíže popsány v kapitole 6.5. HTTP protokol) nebo JavaScript. Je ovšem možné vkládat obrázky (co nejmenší velikost souboru), formuláře, tlačítka, tabulky, hypertextové odkazy, grafy a podobné prvky. Zajímavou komponentou je možnost odeslání e-mailu při změně libovolné proměnné.

Celý vytvořený projekt je připojen v příloze. V aplikaci bylo předvedeno vzdálené ovládání PLC, tedy změna režimu ovládání kompresoru (ruční / automatický), zobrazení požadovaných proměnných a jejich editace, dále graf a ukázka použití provozního deníku.

6.3. Vývojový kit - Stellaris LM3S8962

Jedná se o vývojový kit od firmy Texas Instruments. Jako procesor je zde použit obvod LM3S8962. Jedná se o 32-bitový RISC procesor založený na jádře ARM® Cortex™ M3 architektury s 256kB Flash pamětí a 64kB pamětí SRAM. Pro účely hodin a časování jsou zde čtyři oscilátory. Vnitřní 12MHz oscilátor, dále 8MHz krystalový oscilátor, který je primárně určen pro časování vnitřních obvodů – jeho kmitočet je znásoben pomocí konfigurovatelného fázového závěsu na 50MHz. Je možno použít čtyři 32-bit časovače, dva PWM generátory, z nichž jeden používá 16-bit čítač. Mikrokontrolér dále obsahuje čtyři 10-bit A/D převodníky, analogový komparátor, I²C a UART moduly a další periférie.



Obrázek 12: Vývojový kit Stellaris LM3S8962.

Součástí balíku vývojového kitu je i vývojový nástroj Code Composer Studio (CCS) ve verzi 4. V současné době již existuje pokročilejší nástroj ve verzi 5. Projekty z předchozí verze lze bez problémů použít i v novější verzi 5. Samotný ukázkový software byl vyvíjen ve verzi 4. Toto vývojové prostředí původně vychází z oblíbeného prostředí Eclipse (například pro vývoj JAVA aplikací). Z toho plyne i podobný vzhled aplikace, možnosti a import projektů. Ovládání je intuitivní a lze si na prostředí poměrně rychle zvyknout. Z počátku může být nepříjemný způsob importu projektů. Spolu s vývojovým prostředím uživatel získá i množství ukázkových kódů a knihoven, díky kterým je usnadněný proces učení a práce s kitem.

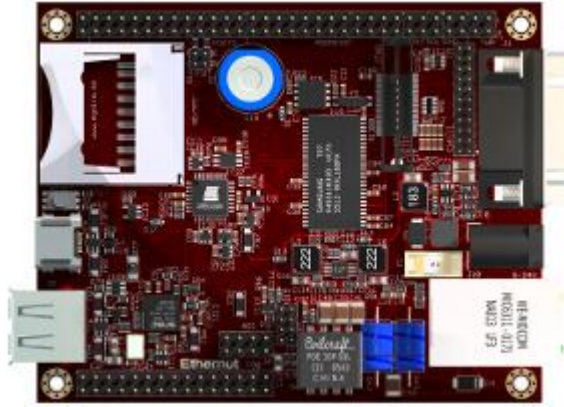
Vývojový kit je vybaven procesorem ARM® Cortex™ M3. Tento procesor byl na trh uveden již v roce 2006. Při jeho vývoji byl kladen důraz na nízkou cenu, zároveň na vysoký výkon a jednoduchý a rychlý vývoj aplikací. Také z těchto důvodů byl kit Stellaris zvolen pro ukázkovou aplikaci webservera a převodníků RS232/RS485 - Ethernet.

6.4. Projekt Ethernut

Projekt Ethernut je projekt, který vznikl v Německu. Jeho autorem je Harald Kipp. Projekt je šířen pod BSD licenci. Veškerý obsah je tedy možné volně šířit pod podmínkou, že v projektu je uvedeno jméno autora. Díky tomu je možné použít i původní schémata zapojení. Původním cílem projektu bylo zahrnout síťové technologie do embedded zařízení.

V první verzi byl využit mikrokontrolér ATmega128. Výpočetní výkon tohoto 8 - bit mikroprocesoru časem přestal stačit a tak je nyní dostupná již pátá verze s 32 - bit procesorem s jádrem ARM9, konkrétně AT91SAM9XE. Tento procesor již poskytuje dostatečný výkon pro náročnější aplikace, jakou je i webserver.

V prvních verzích byl použit pouze operační systém Nut/OS. Je zde patrná snaha o jednoduchost a o snahu umožnit programátorovi, aby použil služby operačního systému, díky kterým může snadno vytvořit vlastní aplikace. Nut/OS má některé zajímavé vlastnosti, jako například dynamickou správu paměti, možnost ukončit program za běhu nebo multitasking. Nad Nut/OS je nadstavba Nut/Net, což je v podstatě implementace TCP/IP stacku. Projekt Ethernut byl od začátku spíše minimalistický, přesto s novější architekturou procesorů přišla možnost použít operační systém Linux (výrobce [W1] doporučuje Ubuntu 10.4 LTS 32-bit).



Obrázek 23: Deska systému Ethernet V.

Periferie:

- USB2.0
- 10/100 Ethernet
- 10-bit A/D převodník
- interface pro SD/MMC karty
- 4xUSART, 1xUART
- 2xSPI, 2xI²C, 2xI²S
- 2x16-bit čítač

6.5. HTTP protokol

Hypertext Transfer Protocol (dále jen HTTP) je protokol používaný v aplikační vrstvě. Jedná se o protokol, který zajišťuje výměnu dokumentů v HTML formátu. Začal se používat na síti WWW v roce 1990. První verze je označována jako HTTP/1.9. Jednalo se o jednoduchý protokol pro předávání dat přes internet. V té době se používala pouze metoda GET (popsáno v další části kapitoly v odstavci pojednávajícím o popisu dotazovacích metod). V této metodě byl pouze jeden parametr (název dokumentu, který požadoval klient). Odpovědí serveru na tento požadavek bylo odeslání dokumentu bez hlavičky. Pokud došlo k chybě, byl jako chybové hlášení odeslán k tomu připravený HTML dokument. V následující verzi HTTP/1.0 byly přidány další metody – POST, HEAD. Také umožňovala používání zpráv ve formátu MIME. Jde o formát, který obsahuje metainformace o přenášených datech. Formát MIME používaný v internetové poště (e-mail) Dále přinesla použití HTTP hlavičky.

Podstatnější pokrok přišel s verzí HTTP/1.1 (v roce 1997 a používaným dodnes). Protokol byl rozšířen o další metody – PUT, OPTIONS, TRACE a CONNECT. Podstatným vylepšením byla možnost udržovat TCP spojení. Z toho plyne možnost zpracování většího množství požadavků jdoucích po sobě v jednom spojení. HTTP protokol také může být použit pro komunikaci s bránami do jiných internetových systémů včetně SMTP, NNTP, FTP a další [W3].

Popis dotazovacích metod:

- **GET** – Jde zřejmě o nejpoužívanější metodu – požadavek na zobrazení hypertextových stránek. Jedná se o požadavek na určitý objekt, následuje zaslání dat klientovi. (Velikost požadavku je 512byte)
- **POST** – Metoda vhodná pro odesílání většího množství dat na server – například formuláře apod. Po předání dat serveru se s ní pracuje jako s metodou GET.
- **HEAD** – Metoda je v podstatě ta samá jako metoda GET. Rozdíl je v tom, že server již neposílá zpět data, ale jen metadata o požadovaném dokumentu, tedy například datum, velikost, typ apod.
- **PUT** – Tato metoda slouží k nahrání dat na server. Místo ní je vhodnější použít jiný typ přístupu jako FTP.
- **OPTIONS** – Jde o dotaz na server, díky kterému zjistíme, jaké metody podporuje daný server.
- **TRACE** – Díky tomuto požadavku se může klient dozvědět, jak je požadavek změněn při průchodu ostatními servery.
- **CONNECT** – Použití je při průchodu přes proxy server.

6.6. Implementace HTTP

Jedním ze zadaných bodů této diplomové práce bylo implementovat HTTP protokol a navrhnout webové rozhraní PLC. Nejprve bylo nutno navrhnout samotné rozvržení systému. webové rozhraní bylo nutno připojit k PLC. Toho bylo dosaženo použitím rozhraní RS232. Možnost použití tohoto rozhraní mají prakticky všechny PLC, proto se použití tohoto rozhraní zdálo být vhodným. Jako prostředek pro připojení do sítě Internet slouží rozhraní Ethernet. Z toho důvodu je také nutné, aby jím disponovalo i toto webové rozhraní. Jinak by bylo nutné

používat převodníky například RS232-Ethernet nebo jiné, což by bylo poněkud nepraktické. Na trhu je množství vývojových kitů od výrobců elektroniky, které jsou určeny pro výuku programátorů a ukázkou možností současných technologií. Bylo tedy vhodné postavit webové rozhraní PLC také na vývojovém kitu, který bude disponovat těmito rozhraními a zároveň bude disponovat dostatečně výkonným hardwarem. Z těchto důvodů byl také vybrán vývojový kit Stellaris LM3S8962, který byl blíže popsán v kapitole 6.3. Kit sice přímo nedisponuje rozhraním RS232, ale to je upraveno díky desce použité pro převodník RS232-Ethernet, která se shoduje. Signál pro převodník je možno použít z rozhraní UART. Výrobce kitu nabízí poměrně dobrou podporu díky vývojovému studiu CodeComposer, který vyvíjí již řadu let. Další výhodou je množství ukázkových kódů, díky nimž je snazší naučit se pracovat s kitem. Ukázkových kódů bylo bylo využito i při samotném psaní kódů pro webserver.

Aplikace webserveru je již poměrně náročná pro implementaci v embedded zařízení, jakým je právě i vývojový kit Stellaris. Do zařízení je totiž nutno implementovat i vyšší vrstvy referenčního modelu ISO/OSI. Do aplikace tedy bylo nutno implementovat protokol TCP (protokol Transportní vrstvy - 4.) a také IP protokol (protokol vrstvy Síťové - 3.). Implementace Fyzické a Linkové vrstvy nebyla nutná, protože tyto vrstvy jsou již implementovány v samotném vývojovém kitu. V této aplikaci byl implementován LwIP stack (v originále LightWeight IP), který je původně určen právě ebedded systémům. Tento stack je open source a je napsán v jazyku C, tedy v jazyku, který je v tomto oboru rozšířen a ve kterém je napsán i zbytek kódu této práce. LwIP stack také podporuje protokoly IP, TCP, UDP, DHCP a ARP. Mezi jeho hlavní výhody patří mimo jiné i to, že při jeho psaní byl kladen důraz na malou velikost kódu a na co nejmenší nároky na operační paměť. Uchování datových struktur v LwIP stacku je řešeno tak, že datové struktury síťového rozhraní jsou propojeny do seznamů. V každé datové struktuře jsou tři pointery. První z nich je pointer na následující strukturu, IP adresu a jméno síťového rozhraní. Další je pointer, který má za úkol ukazovat na funkce, které budou zpracovávat přicházející data. Posledním je pointer, který ukazuje na funkce, jež jsou zde pro odesílání dat. Samotná funkce webserveru je možno popsat tak, že server naslouchá na portu 80. Samotné spojení je ovšem zakládáno klienty, kteří se chtějí k serveru připojit. V nejvyšší, tedy Aplikační vrstvě je implementován samotný HTTP protokol.

Veškerá data, která jsou nutná pro chod webových stránek je nutno ukládat na předem připravené místo. V toto chvíli bylo nutné zvážit výhody a nevýhody dvou nabízejících se řešení. Prvním řešením bylo použití programové paměti. V tomto případě je

nutné předem převést veškerá data na pole bytů, tedy i včetně obrázků. Výhoda tohoto řešení je v minimální latenci serveru. Velká nevýhoda nastává při požadované změně obsahu internetových stránek, kdy je nutno opět znovu převést veškerá data na pole bytů a následně opět zkompilovat zdrojový kód, což dělá samotnou správu internetových stránek zdlouhavou a správce by byl nucen disponovat alespoň minimálními znalostmi jazyka C. Samotný převod dat na bytové pole není nikterak složitý. K převodu dat může sloužit například program „makefsdata“. Uživatel pouze zadá, která data se mají převést. Program následně vygeneruje bytové pole do souboru „fsdata.c“, které pouze stačí vložit do kódu. Tento způsob je vhodný pro aplikace, kde není nutnost časté změny obsahu, je vyžadována co nejmenší latence serveru a kde nevadí případné zasahování do zdrojových kódů. Při použití tohoto způsobu byla latence přibližně 2 až 3ms. Ve srovnání s webserverem AWEB je tento způsob rychlejší, neboť latence AWEB byla řádově 20ms (je zde s největší pravděpodobností použita modifikace druhého způsobu).

Druhým způsobem je použití SD karty. Slot pro SD kartu je umístěn na vývojovém kitu, takže není nutnost vytvářet přídavný modul, který by vývojový kit rozšiřoval. Toto řešení má mnoho výhod. Tou nejzásadnější výhodou je možnost uchování většího množství dat. Například obrázky použité pro prezentaci nemusí být odkazovány z externích internetových stránek, ale mohou být uloženy přímo na kartě. Další výhodou je snadná možnost aktualizace a správy vlastního obsahu webové stránky. Správce již nemusí znát jazyk C a může se plně soustředit na vývoj své webové aplikace. Aktualizace lze provést několika způsoby. Prvním způsobem je klasický fyzický přístup k výměnnému médiu, krátká odstávka serveru a výměna použité SD karty. Dalším způsobem by bylo vytvoření FTP serveru přímo v embedded aplikaci a nahrání nových dat přes FTP. Pro práci s daty uloženými na SD kartě je uzpůsoben FAT file system. Nevýhodou tohoto způsobu přístupu k datům je znatelně vyšší latence, než při předchozím způsobu.

Ve webserveru, který slouží jako ukázka jsou použity obě tyto možnosti. Z důvodu vyšší rychlosti (i přes jeho zjevné další nedostatky) ale preferuji první způsob, protože pro použití v kombinaci s PLC a možností ovládání některých parametrů řízeného systému (například nastavení požadované teploty v místnosti nebo zvýšení rychlosti servomotoru ovládaného pomocí PWM modulace apod.) je důležitá rychlost odezvy systému a tolik nezáleží například na grafické podobě internetové stránky. Také lze s výhodou použít skript, který může cyklicky aktualizovat obsah stránky (místo ruční aktualizace), tedy i zobrazované

parametry a údaje o řízeném systému. Aktualizace takovéto stránky netrvá dlouho a uživatel má poměrně dobrý přehled o dějích v řízeném systému.

Samotné zobrazení proměnných a stavů PLC může být řešeno pomocí tzv. SSI tagů (Server Side Include). V podstatě jde o speciální příkazy, které umožňují dynamicky měnit obsah webové stránky. Výhodou je možnost využití předem naprogramovaných funkcí a následné zobrazování vypočtených hodnot. Dokument, ve kterém jsou použity SSI tagy, musí mít použitou příponu *.shtml, *.shtm nebo *.ssi, tedy se v podstatě jedná o HTML dokument. Samotné SSI tagy nejsou ve výsledku nikde zobrazeny. Formát jejich zápisu je shodný s formou zápisu HTML komentáře. Přitom k samotnému vkládání hodnot v proměnných při odesílání dat přes TCP protokol. Pokud program narazí na SSI tag, zavolá funkci, která ho obsluhuje. Po vykonání této funkce je její výsledek vložen přímo do HTML souboru, které je v případě, že již handler nenarazí na další SSI tag, odeslán ke klientovi. Kvůli tomu musí být napsán i tzv. SSI handler. SSI tagy jsou definovány v poli tagů *ssi_tags[]. Použití SSI tagů není jediný možný způsob práce s proměnnými použitými přímo v programu v embedded zařízení. Další možností může být použití JavaScriptu. Výhodou je, že na rozdíl například od PHP není nutné vytvořit další server, který se bude starat o jeho obsluhu. JavaScript je skriptovací jazyk, který překládá až samotný internetový prohlížeč, tudíž neklade žádné další nároky na webserver. Dalším způsobem, jak obohatit webové stránky a učinit je použitelnějšími pro spolupráci s PLC je použití CGI (Common Gateway Interface), který může být vhodný například pro práci s formuláři (v PLC to může znamenat například úpravu provozních deníků apod.).

V ukázkové aplikaci a ukázkové webové stránce jsou nastíněny možnosti použití SSI a CGI tagů a dále je zde nastíněna možnost použití i JavaScriptu. Dále jsou zde použity i kaskádové styly CCS pro ukázkou lepších možností formátování textu.

7. Závěr

Jak již plyne z výše popsaných poznatků, Ethernet a jeho modifikace tzv. Průmyslový Ethernet se v dnešní době stal nepostradatelným komunikačním rozhraním v průmyslové automatizaci. Díky jeho širokým možnostem použití a všestrannosti je vhodným rozhraním pro využití právě pro připojení webserveru a z toho plynoucích výhod. Díky webserveru připojenému k PLC je možno sledovat stav řízené aplikace na velké vzdálenosti bez nutnosti přítomnosti přímo u aplikace. Výrobci nabízejí ke svým PLC přístroje typu webserver. Většinou k modulárním systémům, ale jak bylo ukázáno na vzorové aplikaci s PLC AMiT, je možné připojit i malá PLC s terminálem. Byly zde popsány některé PLC výrobců jako Siemens, AMiT či Mitsubischi a jejich možnosti připojení k webovému rozhraní, což přináší nesporné výhody, ať již pomocí webserveru nebo pomocí SCADA systému.

Dále byla naznačena možnost použití pro webové rozhraní, tedy pro vytvoření webserveru, vývojový kit Stellaris LM3S8962 a následná implementace http protokolu. Také byly popsány možnosti použití jednodušších kitů, jako je Projekt Ethernut. Výhodou těchto zařízení je to, že mohou komunikovat s připojeným PLC prostřednictvím rozhraní RS232/RS485, což poskytuje možnost použití webového rozhraní i u menších a levnějších PLC. V práci jsou uvedeny možnosti použití převodníků RS232/RS485 na Ethernet a dále zde byl uveden jejich návrh včetně desek plošných spojů, které lze nalézt v příloze. Převodníky mohou být použity například pro připojení webového rozhraní k PLC, jež nemají implementovaný Ethernet. Dále byl popsán protokol ModBus/TCP a naznačena možnost jeho implementace například do vývojového kitu LM3S8962.

Použitá literatura

- [1] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C - 1.díl*. České Budějovice: Nakladatelství KOPP, 2009. 272s. ISBN 978-80-7232-383-8.
- [2] AMiT, spol. s r.o. 2011. *Katalogový list AWEB*. V příloze na CD: aweb_g_cz_100.pdf.
- [3] AMiT, spol. s r.o. 2000. *Katalogový list ART4000*. V příloze na CD: art4000m.pdf.
- [4] AMiT, spol. s r.o. 2011. *Uživatelský manuál vývojového prostředí DetStudio*. V příloze na CD: detstudio_g_cs.pdf.
- [5] KOSTURIK, Kamil. KRIST, Petr. *Přednášky z předmětu KAE/RIS, 2012*.
- [6] MAXIM, integrated Products 2003. *Katalogový list obvodu MAX3232*. V příloze na CD: dsh.433-240.1.pdf.
- [7] AMiT, spol. s r.o. 2012. *Aplikační poznámka Ethernet AP0006*. V příloze na CD: ap0006_cz_03.pdf.
- [8] SIEMENS AG, 2008. *Katalogový list Siemens SIMATIC*. V příloze na CD: cat_st_70_2009_en.pdf.
- [9] MITSUBISCHI ELECTRIC, 2008. *Katalogový list Mitsubishi ALPHA 2*. V příloze na CD: mitsubischi_alfa.pdf.
- [10] MITSUBISCHI ELECTRIC, 2010. *Katalogový list Mitsubishi FX3U*. V příloze na CD: mitsubischi_FX3UC.pdf

Použité internetové zdroje

- [W1] Projektová dokumentace projektu Ethernut [online]. Poslední změna 13.2.2013 [cit. 4.5.2013]. Dostupné z: <http://www.ethernut.de/en/hardware/ethernuts.html>
- [W2] Internetové stránky výrobce automatizační techniky AMiT [online]. Poslední změna 30.4.2013. [cit 4.5.2013]. Dostupné z: <http://www.amit.cz>
- [W3] Hypertext Transfer Protocol – http/1.1 – dokumentace [online]. Poslední změna červen 1999. [cit 4.5.2013]. Dostupné z: <http://tools.ietf.org/html/rfc2616#section-9.5>
- [W4] ZEŽULKA, František. HYNČICA, Ondřej. Časopis Automa číslo 01 2007 Průmyslový Ethernet I: Historický úvod [online]. [cit 4.5.2013]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34298
- [W5] Internetové stránky výrobce automatizační techniky SIEMENS [online]. [cit 4.5.2013]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/entry/cc/en/>
- [W6] Real Time Automation, Inc. ModBus TCP/IP overview 2009 – Úvod do protokolu ModBus TCP/IP [online]. [cit 4.5.2013]. Dostupné z: <http://www.rtaautomation.com/modbustcp/>

Přílohy

Seznam příloh:

Příloha A – DPS převodníku Ethernet-RS232

Příloha B – DPS převodníku Ethernet-RS485 SingleTwisted Pair

Příloha C – DPS převodníku Ethernet-RS485 DoubleTwisted Pair

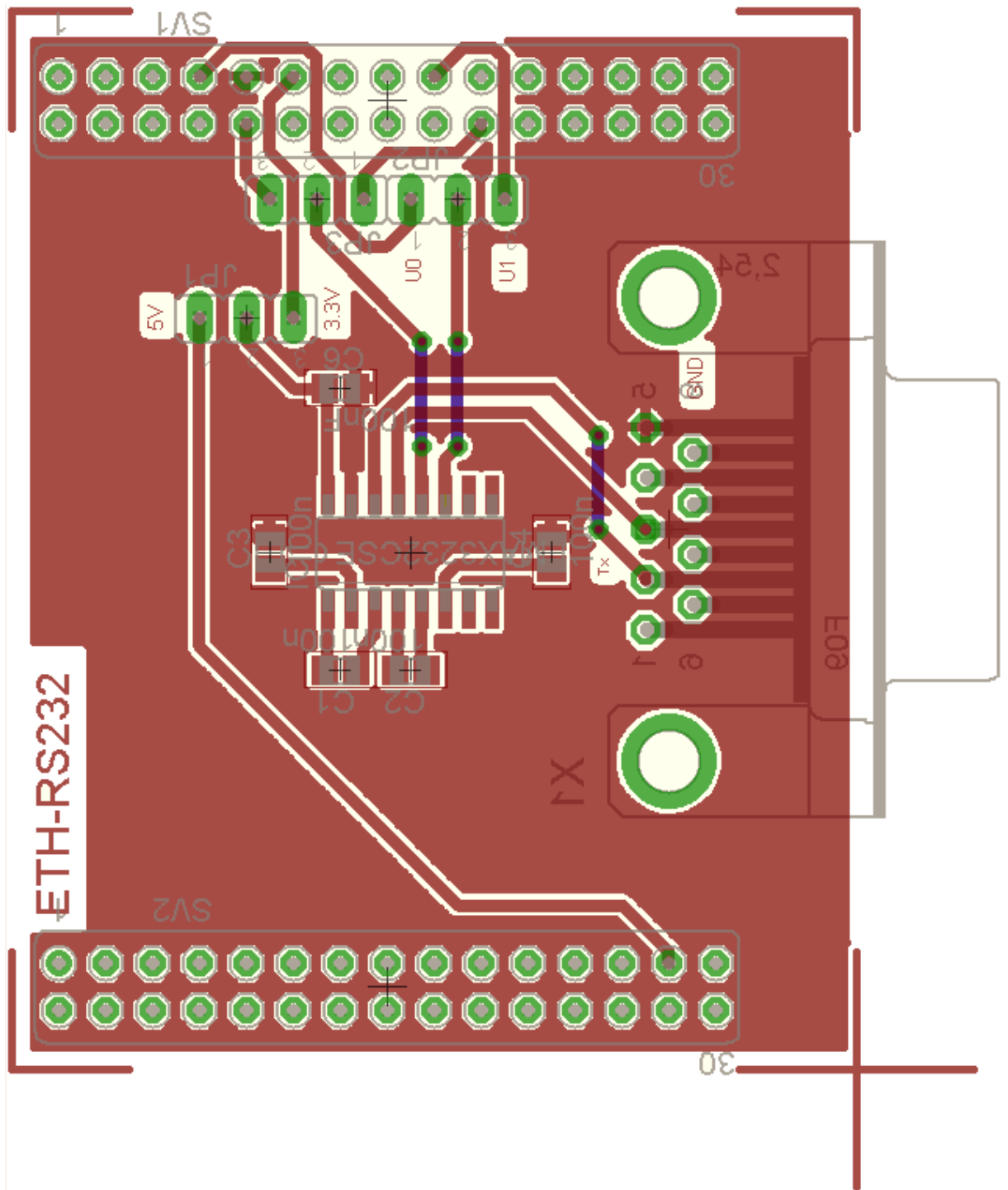
Příloha D – Schéma převodníku Ethernet-RS232

Příloha E – Schéma převodníku Ethernet-RS485 SingleTwisted Pair

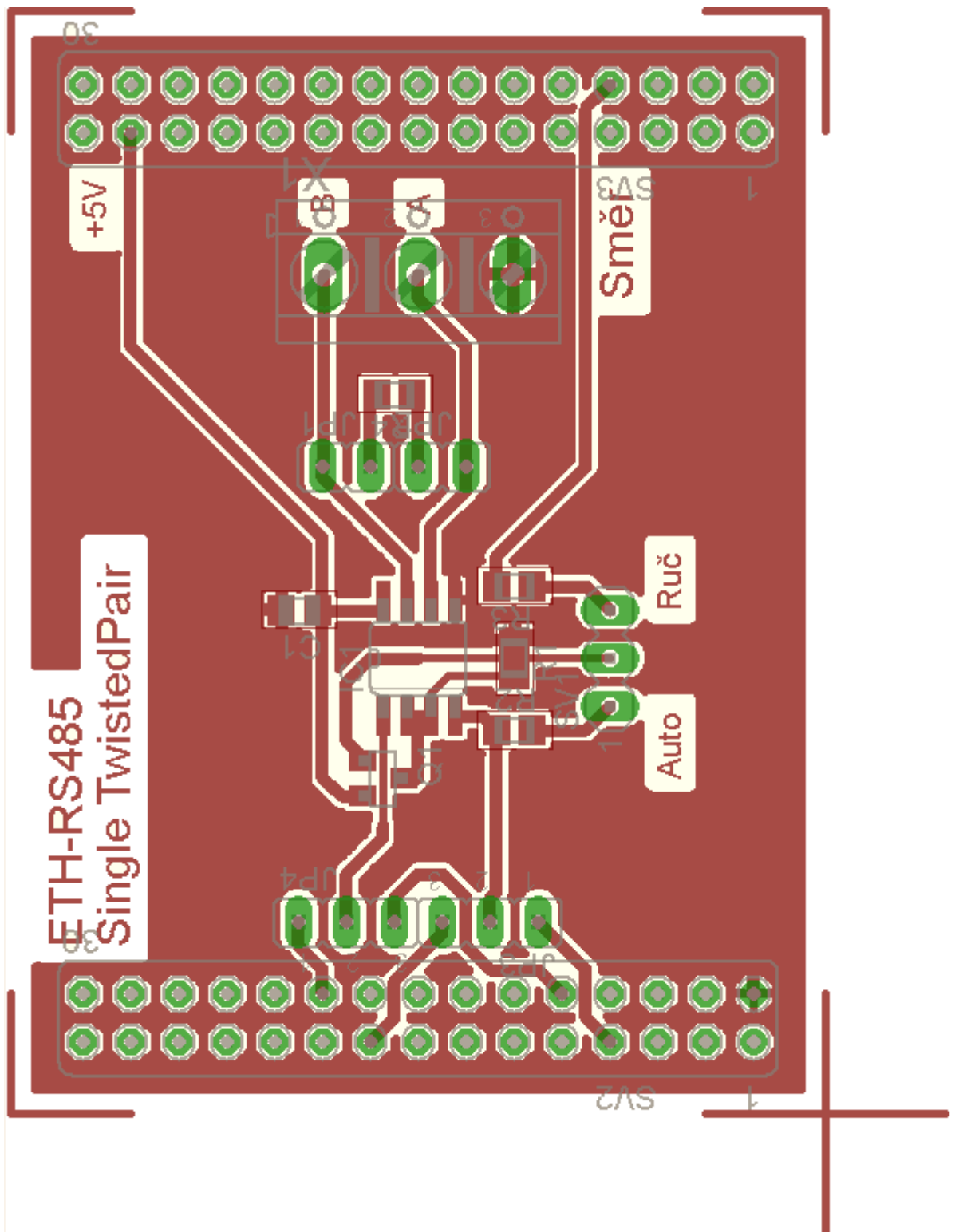
Příloha F – Schéma převodníku Ethernet-RS485 DoubleTwisted Pair

Příloha G – Návrh webového rozhraní pro webserver AWEB

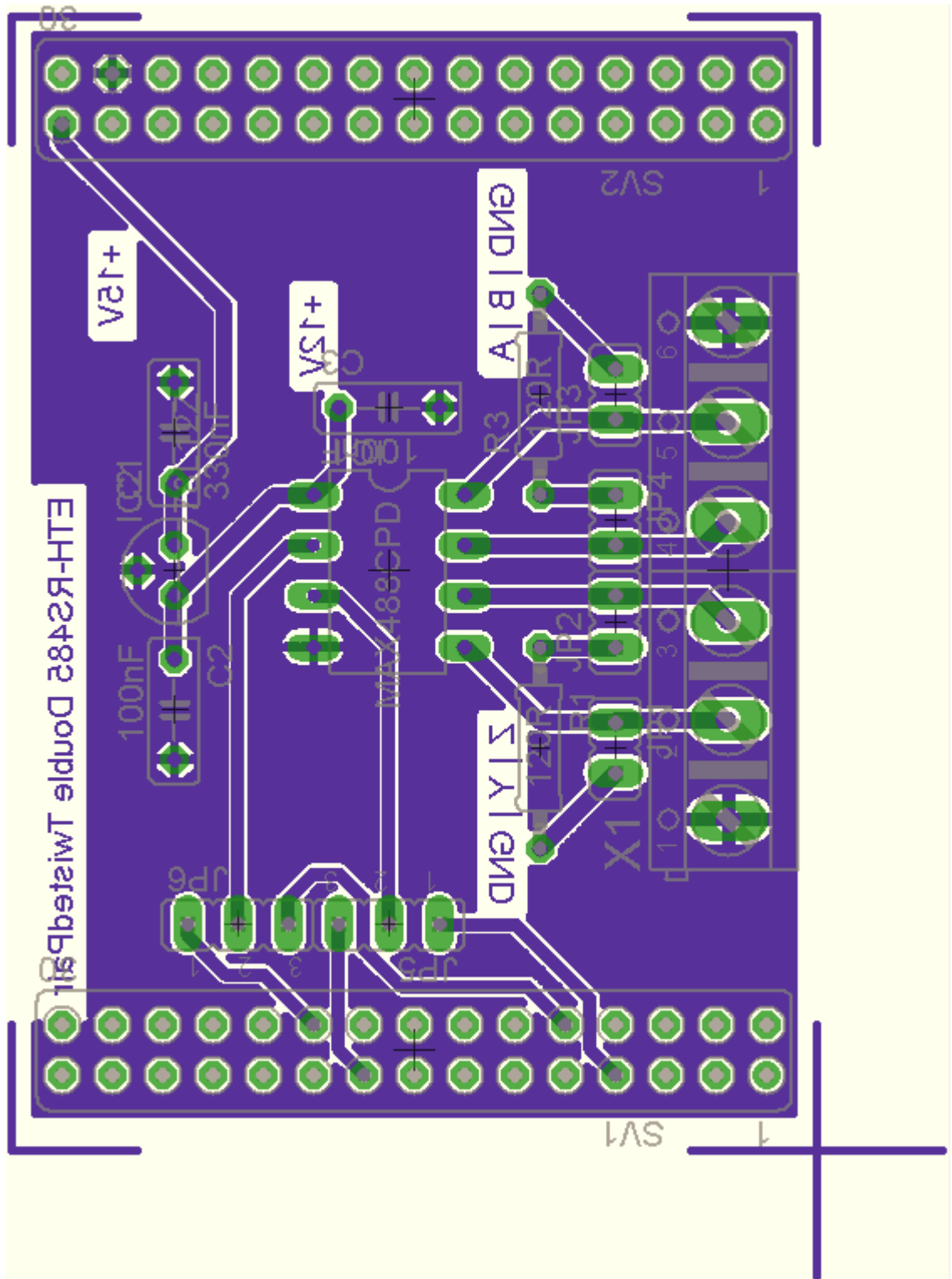
Příloha A



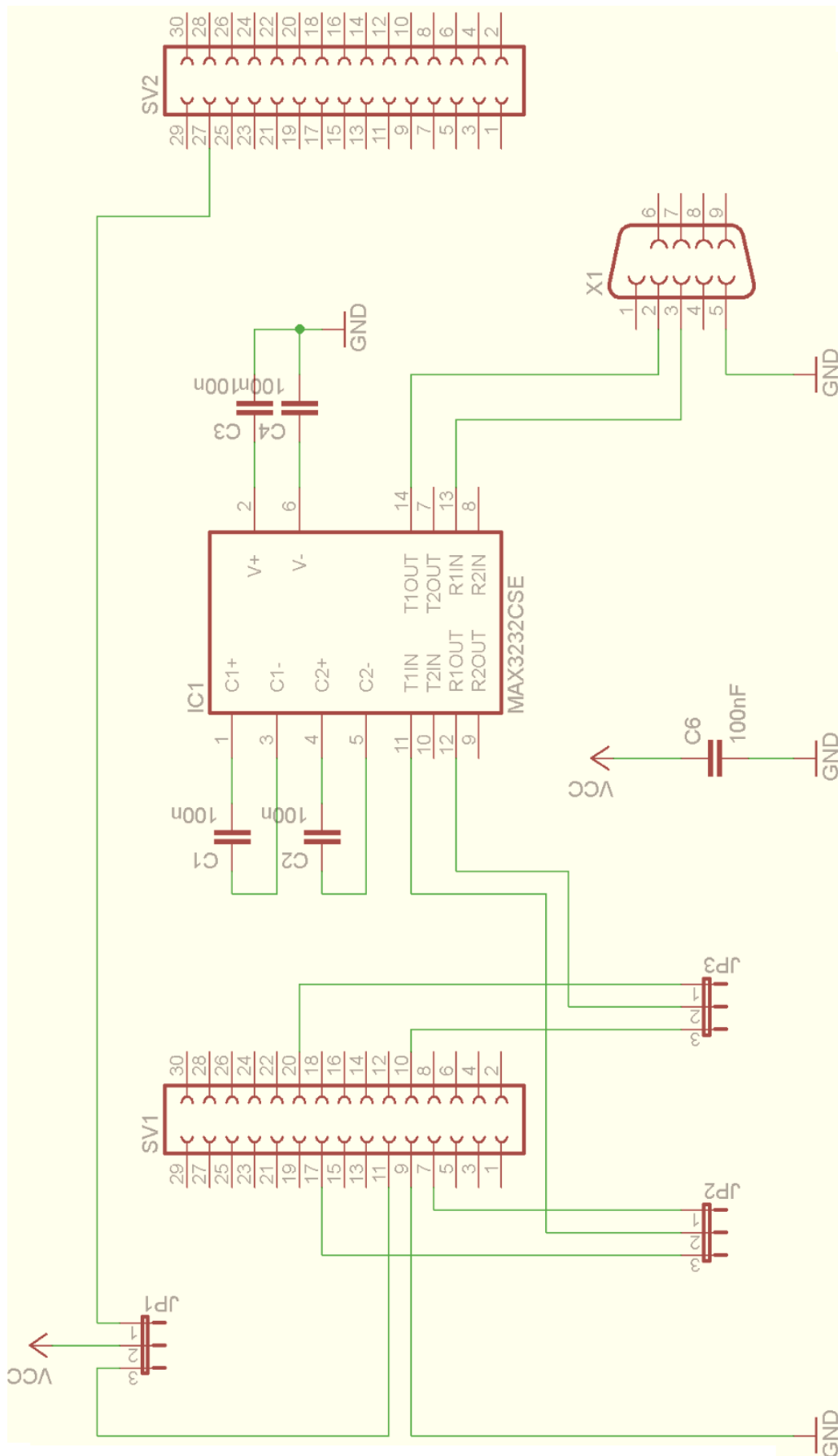
Příloha B



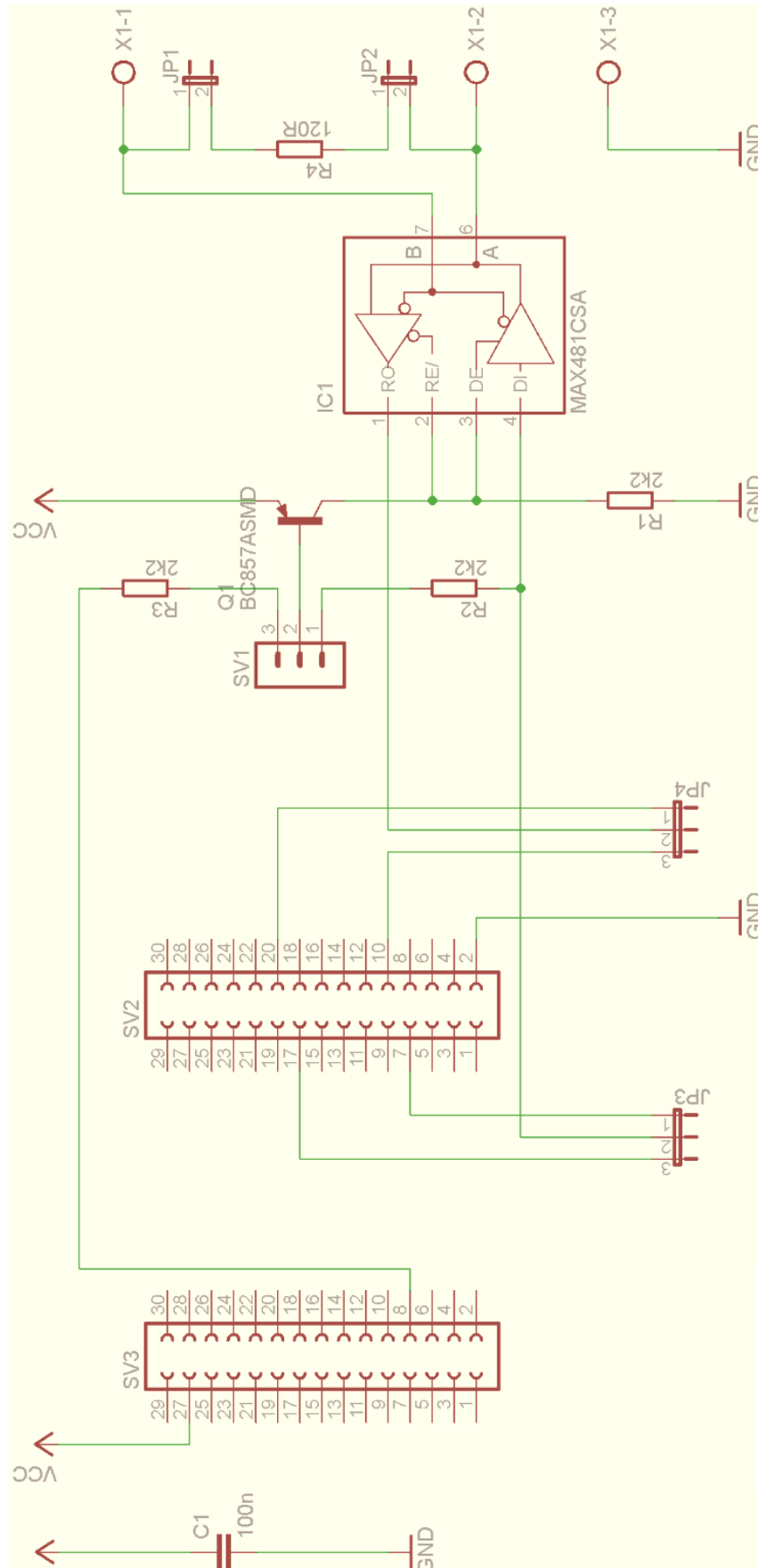
Příloha C



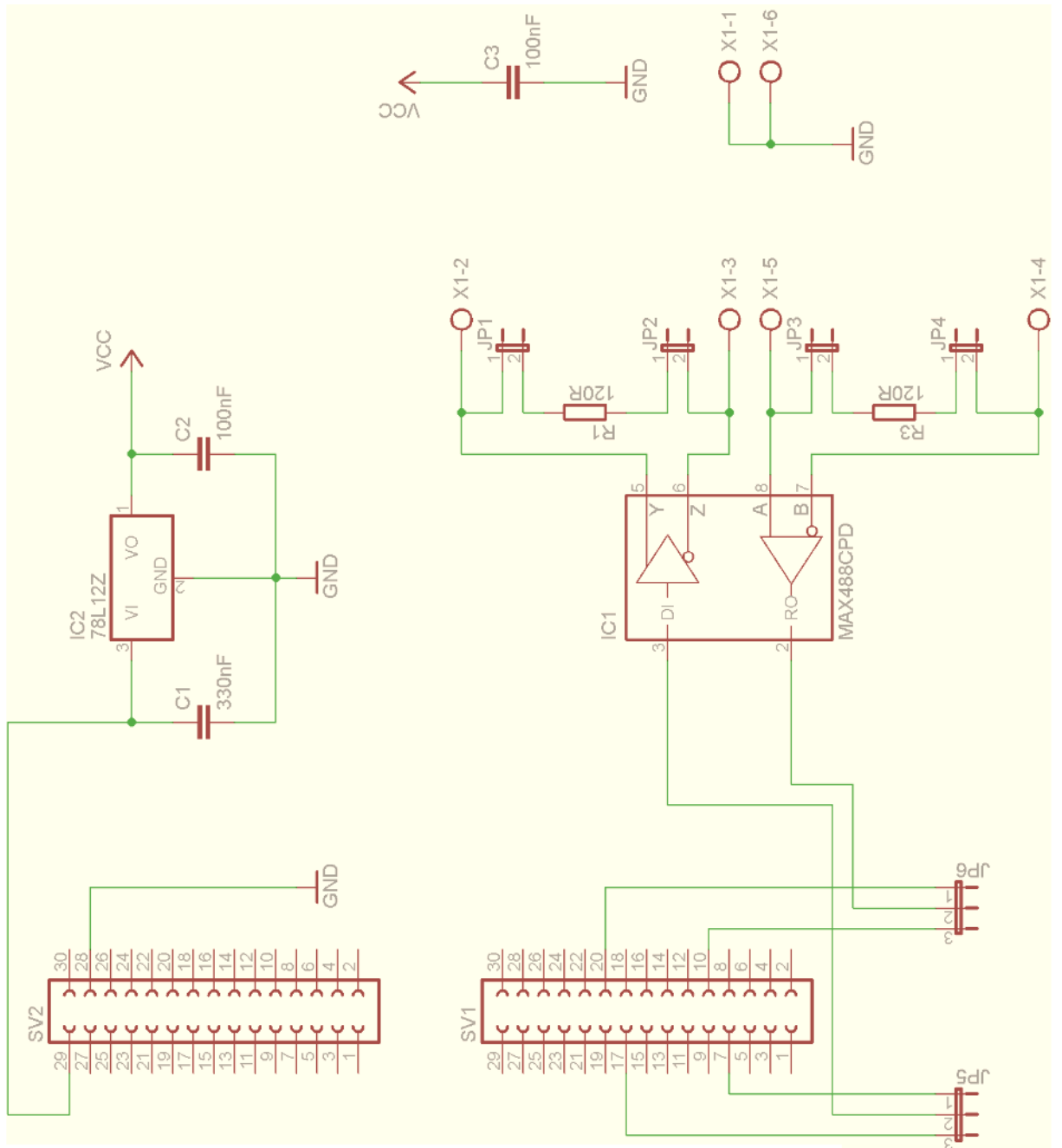
Příloha D



Příloha E



Příloha F

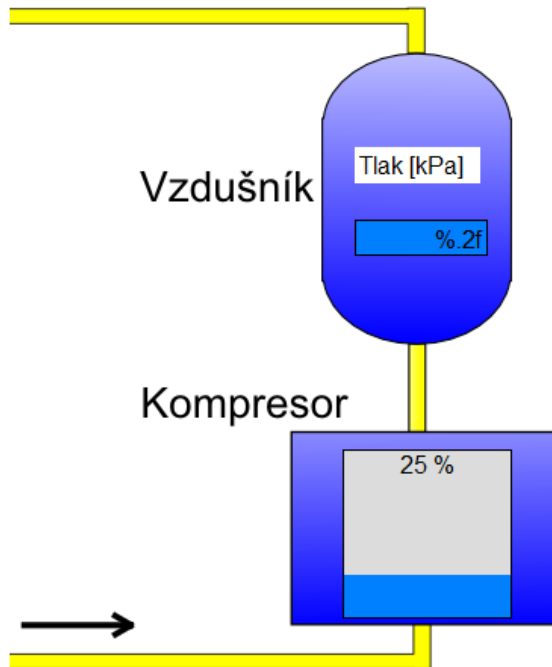


Příloha G

WEBSERVER

Ukázková aplikace

KOMPRESSE



Mezní hodnoty tlaku [kPa]

Automatický režim

Max Zapsat

Min Zapsat

Ruční režim

Max Zapsat

Min Zapsat

Změna režimu řízení

Výkon [%] Zapsat

[Průběh tlaku](#) | [Průběh výkonu](#) | [Provozní deník](#) | [O aplikaci](#)