

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Automatický skleník

Petr Štourač

Brno 2020

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

AUTOMATICKÝ SKLENÍK

AUTOMATIC GREENHOUSE

AUTOR	Petr Štourač
ŠKOLA	Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola Brno, Sokolská, příspěvková organizace
KRAJ	Jihomoravský
ŠKOLITEL	Mgr. Miroslav Burda
OBOR	10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Brno 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma *Automatický skleník* jsem vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Miroslava Burdy a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Brně dne: _____

Petr Štourač

Poděkování

Děkuji svému školiteli Mgr. Miroslavu Burdovi za obětavou pomoc, podnětné připomínky a nekonečnou trpělivost, kterou mi během práce poskytoval.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.



Anotace

Zahradničení je dnes naprosto běžnou zájmovou činností. Mnoho lidí má takovou zálibu je ovšem velmi časově vytížených. Kromě práce se musí starat mnohdy i o rodinu a na péči o rostliny jim často jednoduše nezbývá čas. Jedním z těchto lidí je i můj táta, který mě inspiroval k vytvoření ProtoPlantu - systému pro snadnou a levnou automatizaci skleníku.

Cílem práce je vytvořit univerzální a dostupný systém pro automatizaci skleníku, který by usnadnil péči o rostliny časově vytíženým lidem.

Klíčová slova

automatizace skleníku, ESP32, internet věcí, ProtoPlant

Annotation

TBD

Keywords

greenhouse automation, ESP32, internet of things, ProtoPlant

Obsah

Úvod	8
1 Konkurence	9
2 Jednotlivé moduly ProtoPlantu	10
2.1 PPCU - ProtoPlant Control Unit	10
2.2 Přídavné moduly ProtoPlantu	10
2.2.1 CIPM - Module Communication and Power Interface .	12
2.2.2 SHSM - Soil Humidity Sensorics Module	12
2.2.3 SEM - Sensorics Expansion Module	12
2.2.4 PCM - Pump Control Module	12
2.2.5 RCM - Remote Control Module	12
2.2.6 Instalace elektroniky do krabic - tzv. StoryMount . . .	13
2.2.7 Těsnění	13
3 Tištěné spoje	14
3.0.1 PPMB32 – Základní deska	14
3.1 Ochrana elektroniky před přehřátím a vlhkostí	17
3.1.1 PPSB - Deska se senzory teploty a vlhkosti	17
3.2 Senzorika	17
3.2.1 DS18B20	18
3.2.2 BME280	18
3.2.3 DHT22	18

4	Software základní desky	19
4.1	Sdílené knihovny	19
4.2	Datové sběrnice	20
4.3	Komunikace mezi řídicí jednotkou a jednotlivými moduly . . .	21
4.4	Bezdrátová komunikace	21
4.5	Kabelová komunikace a RS-485	22
5	Software dalších modulů	23
6	Zvláštní stavy	24
7	Funkce ProtoPlantu, aneb „Co to všechno umí?“	25
8	Průběh vývoje ProtoPlantu	26
8.1	ProtoPlant x1.0 až x4.0 (tzv. legacy verze)	26
8.1.1	Verze x1.0	26
8.1.2	Verze x2.0	27
8.1.3	Verze x3.0 a další	27
8.2	ProtoPlant verze 5.0	28
	Závěr	29
	Literatura	30
	Seznam obrázků	31
	Seznam tabulek	32
	Seznam rovnic	33

Úvod

Zahradničení je dnes naprosto běžnou zájmovou činností. Mnoho lidí majících takovou zálibu je ovšem velmi časově vytížených. Kromě práce se musí starat mnohdy i o rodinu a na péči o rostliny jim často jednoduše nezbývá čas. Jedním z těchto lidí je i můj táta, který mě inspiroval k vytvoření ProtoPlantu - systému pro snadnou a levnou automatizaci skleníku.

Tato práce navazuje na moji činnost z minulého ročníku SOČ. Cílem původní práce bylo vytvořit univerzální a dostupný systém pro automatizaci skleníku, který by usnadnil péči o rostliny časově vytíženým lidem. Tehdy jsem vytvořil systém schopný automaticky řídit ventilaci a závlahu ve skleníku, případně spínat topné těleso. Systém jsem později nazval ProtoPlant. Systém byl tehdy v rannější fázi vývoje a byl zde velký prostor pro jeho vylepšení v mnoha ohledech. V tomto roce jsem se zaměřil na zdokonalování stávajících funkcí a implementaci nových.

Kapitola 1

Konkurence

To be done.

Kapitola 2

Jednotlivé moduly ProtoPlantu

2.1 PPCU - ProtoPlant Control Unit

PPCU, neboli řídicí jednotka je hlavním modulem celého systému. Samotné PPCU tvoří elektroinstalační box s krytím IP65. Na přední části se nachází ovládací panel s LCD displejem a ovládacími tlačítky. Z bočních stran jsou instalovány vodotěsné průchodky pro provlečení kabelů.

Uvnitř se nachází základní deska (viz. Pododdíl 3.0.1) a zdroj napájení.

2.2 Přídavné moduly ProtoPlantu

Kromě samotné řídicí elektroniky je možno ProtoPlant rozšířit i o přídavné moduly. Na vývoji těchto modulů se zatím stále pracuje. Těchto modulů existuje hned několik:

- CIPM (Communication Interface and Power Module - modul potřebný pro drátové připojení ostatních modulů - viz. Pododdíl 2.2.1)
- PSpl (Power Splitter - rozdělovač napájení)
- SHSM (Soil Humidity Sensorics Module - modul vybavený senzory pro měření vlhkosti půdy - viz. Pododdíl 2.2.2)

- SEM (Sensorics Expansion Module - modul pro zvýšení počtu senzorů připojených k ProtoPlantu - viz. Pododdíl 2.2.3)
- PCM (Pump Control Module - modul pro sledování hladiny vody v nádrži a ovládání čerpadla - viz. Pododdíl 2.2.4)
- RCM (Remote Control Module - modul pro připojení vzdáleného ovládacího panelu - viz. Pododdíl 2.2.5)

Napájení přídatných modulů je prováděno ve čtyřech režimech.

- napájení přímo z řídicí jednotky
- napájení z externího zdroje přes CIPM
- napájení přes PSpl
- napájení každého modulu odděleně

Napájení přímo z řídicí jednotky je možno použít pouze tehdy, když je připojen maximálně jeden modul a to z důvodu, aby bylo zabráněno podpětí celého systému. Modul je takto připojen přímo k napájecímu okruhu A řídicí jednotky (viz. Oddíl 3.0.1).

Použití externího zdroje připojeného k CIPM je použitelné v případě, kdy uživatel upřednostňuje kabelovou komunikaci mezi moduly a řídicí jednotkou. Při napájení v tomto režimu je počet připojitelných modulů omezen pouze výkonem zdroje napájení připojeného k CIPM. Na vstupní napájecí svorkovnici je připojen externí zdroj. Kromě dvou kabelů pro komunikaci jsou na výstupu připojeny i napájecí kabely od jednotlivých modulů.

Napájení přes PSpl funguje na velmi podobném principu, jako předchozí varianta. K PSpl je na vstupní svorkovnici připojen externí zdroj napájení. Na výstupních svorkovnicích jsou připojeny napájecí kabely jednotlivých modulů. Tato metoda je určena primárně pro bezdrátovou komunikaci mezi řídicí jednotkou a moduly.

Napájení každého modulu odděleně je nejjednodušší metoda napájení. Každý z modulů je připojen vlastním kabelem přímo k napájecímu zdroji. Primárně je určena pro bezdrátovou komunikaci mezi jednotlivými moduly.

2.2.1 CIPM - Module Communication and Power Interface

Tento modul funguje jako propojovací uzel mezi řídicí jednotkou a všemi přídatnými moduly. Dále slouží pro připojení externího napájení pro jednotlivé další moduly (viz. Oddíl 2.2).

2.2.2 SHSM - Soil Humidity Sensorics Module

Modul určený pro připojení senzorů měřících vlhkost půdy. Tento modul je zatím stále ve stádiu konceptu.

2.2.3 SEM - Sensorics Expansion Module

Modul určený pro zvýšení pokrytí prostoru skleníku přidáním dalších environmentálních senzorů. Pro malé, případně středně velké skleníky není tento modul potřebný. Ve velkých sklenících již své uplatnění najde, vzhledem k tomu, že je vybaven vlastní řídicí elektronikou a jediným omezením je dosah zvoleného způsobu komunikace s řídicí jednotkou.

2.2.4 PCM - Pump Control Module

Valná většina zahrádkářů má pro svůj skleník i nádrž na vodu. Tento modul je určen pro sledování hladiny vody v ní a případné spínání čerpadla, které má za úkol v nádrži vodu doplňovat.

2.2.5 RCM - Remote Control Module

Byl vytvořen pro zjednodušení nastavení a ovládání ProtoPlantu. Skládá se ze dvou částí. Komunikační části, kterou lze připojit k základní desce

ProtoPlantu a ovládacího panelu. Uživatel ovládací panel nainstaluje na zeď přímo v domě a může díky němu vzdáleně ovládat celý ProtoPlant přímo z pohodlí domova.

2.2.6 Instalace elektroniky do krabic - tzv. StoryMount

To be done.

2.2.7 Těsnění

To be done.

Kapitola 3

Tištěné spoje

Všechny prototypy základních desek ProtoPlantu byly založeny na univerzálních tištěných spojích. Vzhledem k tomu, že jsem po stránce vzhledu i funkčnosti nebyl s takovýmto provedením spokojen, rozhodl jsem se nechat vyrobit vlastní tištěné spoje pro základní desku i senzorové moduly. Díky tomuto jsem se naučil návrhu tištěných spojů a tvorbě výrobních podkladů v programu Autodesk EAGLE.

3.0.1 PPMB32 – Základní deska

Základní deska je rozdělena do několika částí. Vzhledem k tomu, že umím pájet velmi dobře, rozhodl jsem se pro ruční osazení všech součástek, které byly doposud osazeny pouze na různých modulech připojených k základní desce, včetně procesoru ESP32-WROOM32D. Z důvodu přehlednosti jsem desku rozdělil do několika částí:

- Control (ESP32-WROOM32D a programátor)
- H-power (napájecí obvod a H-můstky)
- SIN (SensorIN - piny pro připojení senzorů)
- POUT (PowerOUT - výstup pro napájení dalších periférií)

- PanCon (PanelConnect - piny pro připojení tlačítek a displeje na ovládacím panelu)
- SelfProt (SelfProtection - senzor teploty a piny pro připojení vnitřního detektoru vody)

Samotná základní deska má dvě verze. Jejich rozdíly jsou vysvětleny níže. Obě verze desky jsou kromě sekce Control osazeny stejným hardwarem, tedy:

- 2x H-můstek VNH2SP30
- regulátory napětí 7805CV-DG od STMicroelectronics
- pinheady pro připojení senzorů, ovládacího panelu a dalších periférií
- svorkovnicemi pro připojení napájecích kabelů a silových výstupů

Kromě dalších součástí je přímo na desce osazen senzor DS18B20 chránící desku před přehřátím. Pokud teplota základní desky překročí 50 °C, automaticky se přeruší veškeré operace a systém přejde do nouzového režimu (viz. kapitola 6).

PPMB32-F Kompletní, samostatná deska. Je přímo osazena procesorem ESP32-WROOM32D i programátorem CP2102N. Má nižší profil, tudíž je možné ji použít i v menších prostorech. Integrovaný programátor lze s pomocí jumperů odpojit a přes programovací piny připojit externí. Tuto verzi jsem nazval PPMB32-F (označení F od anglického slova Full - kompletní).

PPMB32-E Vzhledem k tomu, že je ProtoPlant veřejně dostupný, nebyl jsem si jist, zda by kompletní osazení takto velké desky zvládl i laik. Napadlo mě proto vytvořit i druhou desku, na které by byly osazeny dutinkové lišty pro vsazení vývojové ESP32 DevKitC. Odpadla by tedy nutnost kompletně osazovat sekci Control. Tuto verzi jsem nazval PPMB32-E (označení E od anglického slova Easy - jednoduchý).

Sekce Control Jak již bylo zmíněno, tato část desky zahrnuje modul procesoru ESP32-WROOM32D a programovací obvod. Ten se skládá z převodníku USB-UART CP2102N, tranzistorů SS8050-G (sloužících pro reset procesoru), indikačních LED diod a mikro USB konektoru. Nachází se zde i jumper pro přepínání mezi externím programátorem a programátorem přímo na desce.

Sekce H-power V této části desky se nacházejí H-můstky VNH2SP30 společně s regulátory napětí 7805CV-DG (výstup 5VDC) a LM3940IT-3.3 (výstup 3,3VDC). Na verzi PPMB32-F je dále osazen AMS1117-3.3 pro napájení procesoru.

V dolní části desky se poté nacházejí dva integrované obvody VNH2SP30, z nichž jeden (VNH1) je určen pro ovládání aktuátorů manipulujících s okny a druhý (VNH2) má několik režimů funkce, podle připojeného výstupu:

- disabled (výstupy jsou deaktivovány)
- pump (VNH je použito pro spínání čerpadla, případně stykače řídicího čerpadlo)
- heating (VNH je použito pro řízení topné spirály)

Napájení desky je rozděleno do tří okruhů.

Okruh A Tento okruh je určen pro napájení řídicí elektroniky. Má celkově 3 části, oddělené s pomocí stabilizátorů napětí. Jejich propojení znázorňuje schéma .

Rozsah vstupního napětí pro tento okruh je 7,5 VDC až 18 VDC.

Okruhy V1 a V2 Použity pro oddělené napájení jednotlivých výstupů. Jejich napájecí rozsahy jsou rozepsány v tabulce 3.1.

Sekce SIN Sekce s piny pro připojení jednotlivých senzorů. S výjimkou ochranných rezistorů je složena pouze z pinheadů. Jednotlivé piny jsou pro lepší přehlednost označeny přímo na desce a podrobněji popsány v jejím datasheetu.

Parametr	Min.	Max.	Jednotka
Vstupní napětí	5,5	16	V
Výstupní napětí	-	16	V
Výstupní proud	-	30	A
Maximální kontinuální proud	-	14	A

Tabulka 3.1: Tabulka napájecích rozsahů napájecích větví VNH1 a VNH2

Sekce POUT Piny pro připojení napájení dalších periferií, modulů, či senzorů. Je připojena k napájecímu okruhu A. Piny jsou rozděleny na části připojené k subokruhům A1 a A2 s napětím 3,3 a 5 VDC.

Sekce PanCon Dvanácti-pinový konektor PanCon slouží pro připojení kabelu od hlavního řídicího panelu. Samotný konektor má dva zemnicí vývody, dva napájecí (1 x 5 V a 1 x 3,3 V), dva vývody sběrnice I²C a 6 vývodů pro připojení tlačítek a přepínačů. Přesnější zapojení je opět k dispozici v data-sheetech jednotlivých desek.

3.1 Ochrana elektroniky před přehřátím a vlhkostí

To be done.

3.1.1 PPSB - Deska se senzory teploty a vlhkosti

Deska osazená senzory pro měření teploty DS18B20 (viz. Pododdíl 3.2.1) a vlhkosti BME280 (viz. Pododdíl 3.2.2).

3.2 Senzorika

ProtoPlant primárně podporuje 3 typy senzorů. DS18B20 pro měření teploty, BME280 schopné velmi přesně měřit vzdušnou vlhkost a DHT22 schopné

měřit vlhkost i teplotu. Dále ProtoPlant podporuje připojení senzorů vlhkosti půdy pracujících na bázi elektrické vodivosti.

3.2.1 DS18B20

To be done.

3.2.2 BME280

To be done.

3.2.3 DHT22

To be done.

Kapitola 4

Software základní desky

Tato kapitola se zaměřuje na software základní desky ProtoPlantu a detailně popisuje jeho funkci. Na software ostatních modulů se zaměřuje následující kapitola 5.

Blokové schéma funkce softwaru základní desky Schéma funkce softwaru základní desky je shrnuto blokovým diagramem XXX.

4.1 Sdílené knihovny

Z důvodu usnadnění programování základní desky i ostatních rozšiřujících modulů jsem vytvořil několik sdílených knihoven. V nich je zahrnuto:

- konfigurace systému
- nastavení jednotlivých pinů dle standardního rozložení, vč. možnosti nastavení vlastního
- práce s displayem
- práce s tlačítky
- řízení H-můstků
- ovládání senzorů

Díky těmto knihovnám je většina zdrojového kódu uložena v nich. Koncový uživatel, který se rozhodne software modifikovat, poté pouze v hlavním programu definuje, které moduly spustit a do konfiguračního souboru zapíše nastavení daných modulů.

Konfigurace softwaru Celý software

4.2 Datové sběrnice

ProtoPlant primárně využívá dvě datové sběrnice:

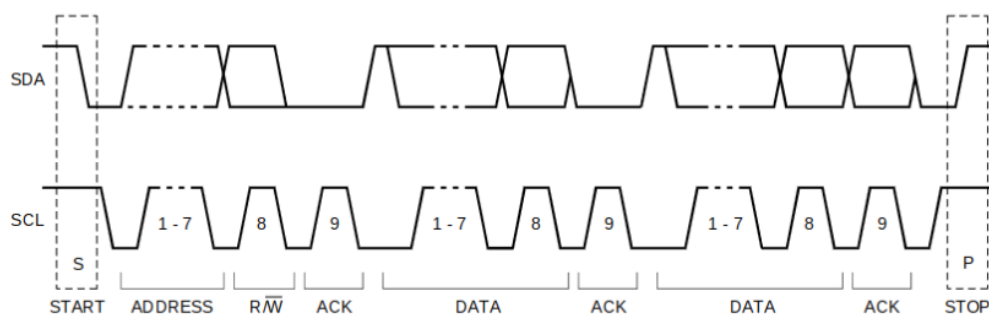
- I²C
- OneWire

Sběrnici I²C používá ProtoPlant pro komunikaci se zařízeními na stejné desce, případně pro řízení LCD displeje instalovaného na řídicím panelu (připojení přes PanCon).

Princip Na sběrnici je připojeno jedno zařízení jakožto master (řídící) a jedno, či více zařízení jako slave (řízená). Tato zařízení jsou navzájem propojena dvěma dráty (proto se I²C někdy přezdívá TwoWire), serial clock (SCL) a serial data (SDA). Každé ze slave zařízení má sedmibitovou adresu (např. 0xE0), která musí být pro každé zařízení na jedné sběrnici odlišná. Některá zařízení mají tuto adresu pevně zapsanou a nelze ji měnit, zatímco u jiných ji lze změnit. Zařízení připojené jako v režimu master tuto adresu nepotřebuje, vzhledem k tomu, že on sám vždy adresuje jen jedno ze zařízení.

Komunikační protokol Za klidového stavu (neprobíhá žádná komunikace) jsou obě linky (SDA i SCL) připojeny nastaveny na HIGH. Jakmile chce master zahájit komunikaci, vyšle takzvaný startovní signál, po kterém následuje adresa daného zařízení, jejíž nultý bit určí, zda chce master číst, nebo zapisovat. Dále následují datové bity. Jakmile jsou všechna data přenesena,

vyšle master stop signál, čímž ukončí komunikaci a sběrnice se vrátí do klidu. Rychlost celého přenosu určuje pulsování linky CLK. Celý proces názorně zobrazuje obrázek 4.1.



Obrázek 4.1: Celý datový přenos po I2C sběrnici.

Sběrnice OneWire Sběrnici OneWire používá ProtoPlant pro komunikaci s teplotními čidly DS18B20.

4.3 Komunikace mezi řídicí jednotkou a jednotlivými moduly

ProtoPlant podporuje dva režimy komunikace řídicí jednotky s přídatnými moduly:

- bezdrátová komunikace přes Wi-Fi
- kabelová komunikace přes UART (standart RS-485)

4.4 Bezdrátová komunikace

To be done.

4.5 Kabelová komunikace a RS-485

To be done.

Kapitola 5

Software dalších modulů

To be done.

Kapitola 6

Zvláštní stavy

To be done.

Nouzový režim To be done.

Kapitola 7

Funkce ProtoPlantu, aneb „Co to všechno umí?“

To be done.

Kapitola 8

Průběh vývoje ProtoPlantu

Za dobu vývoje ProtoPlant prošel můj systém spoustou velkých změn. Vývoj byl započat začátkem roku 2018. Za tu dobu vyšlo již několik verzí softwaru i hardwaru.

8.1 ProtoPlant x1.0 až x4.0 (tzv. legacy verze)

Původní verze ProtoPlantu byly celkem 4 stabilní a několik vývojových. Tyto 4 stabilní verze jsou ve zkratce popsány níže.

8.1.1 Verze x1.0

Nejstarší funkční verze ProtoPlantu, založená na Arduinu DUE. Jeho software tvořilo jedno, stále se opakující vlákno. Nevýhodou tohoto postupu bylo nepřesné časování některých úkonů způsobeném používáním blokujících operací. Tato verze byla pouze shluk kabelů, přes které byly k Arduinu připojeny jednotlivé moduly senzorů. Byla schopna pouze měřit teplotu a s pomocí relátek ovládat aktuátory, které následně otevíraly, nebo zavíraly okna. Inverze polarity napájení byla řešena použitím třech relé. Dvou, která křížově spínala kladný pól napájení aktuátorů a třetího, který připojoval zemnicí vodič. Toto zapojení nebylo zcela ideální, vzhledem k nutnosti použití tří

relé a tedy i velkému úbytku napětí. Použité Arduino bohužel další vývoj nepřežilo.

8.1.2 Verze x2.0

Největší změnou oproti předchozí verzi byl přechod z Arduina na ESP32 devkitC. Software byl kompletně přepsán a blokuující funkce odstraněny. Díky tomu běžel software mnohem plynuleji. Co se týče hardwaru, tato verze již používala první prototyp základní desky, který byl osazen na univerzálním tištěném spoji. Zároveň jsem přidal podporu LCD znakového displaye, na který se vypisovaly naměřené hodnoty ze senzorů a různé stavové hlášky. Během vývoje této verze jsem také systém začal nazývat ProtoPlant.

8.1.3 Verze x3.0 a další

Tato verze byla v minulém roce prezentována na okresním kole SOČ. Kromě několika prototypů základní desky, které se při jejím vývoji vystřídaly, došlo i k mnohým změnám ve funkci celého ProtoPlantu. Doposud používaná relé, kterými ProtoPlant spínal aktuátory, bylo nutno nahradit jiným řešením. Důvodem k tomu byl jejich příliš velký úbytek napětí, který způsoboval podpětí celé řídicí elektroniky. Hledal jsem tedy způsob, jak vyřešit spínání aktuátorů tak, aby byl napěťový úbytek co nejmenší. Nakonec jsem objevil H-můstky VNH2SP30. Ty umožňují kromě regulace výstupního napětí velmi jednoduše obracet polaritu výstupů. Pro zjednodušení zapojení při testování jsem využíval Monster Moto Shield, na kterém jsou tato VNH osazena hned dvě. Proto mne napadlo využít druhé VNH jako víceúčelový výstup, ke kterému lze připojit čerpadlo, elektromagnetický ventil, případně jiná zařízení. V softwaru přibyla podpora tlačítek a menu zobrazované na LCD displeji, přes které se dalo měnit nastavení systému za chodu. Dále jsem ProtoPlant uzavřel do průmyslového elektroinstalačního boxu s krytím IP67. Do víka boxu jsem nainstaloval LCD displej a ovládací tlačítka.

Verze x3.1 byla další ze stabilních verzí zaměřená primárně na opravu softwarových chyb. Tuto verzi jsem v minulém roce prezentoval v krajském kole SOČ. Menu nastavení bylo přeloženo do češtiny.

Verze x3.2 byla verzí prezentovanou na loňské celostátní přehlídce.

8.2 ProtoPlant verze 5.0

Závěr

Literatura

1. SEMICONDUCTORS, NXP. *I2C-bus specification and user manual* [online] [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>.
2. BERÁNEK, Roman. *Proč je citování nutná pakárna*. Brno, 21. října 2014.

Seznam obrázků

4.1	Celý datový přenos po I2C sběrnici.	21
-----	---	----

Seznam tabulek

- 3.1 Tabulka napájecích rozsahů napájecích větví VNH1 a VNH2 . 17

Seznam rovnic