



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

AUTONOMNÍ AKVÁRIUM

AUTONOMOUS AQUARIUM

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Charvot

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Tomíček

BRNO 2023

Semestrální práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Jakub Charvot

ID: 240844

Ročník: 3

Akademický rok: 2023/24

NÁZEV TÉMATU:

Autonomní akvárium

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout systém, který umožní plně automaticky monitorovat a řídit akvárium. Provedtě průzkum trhu a analyzujte existující komerční i hobby řešení. Určete faktory, které je nutné regulovat, popřípadě pouze monitorovat, pro úspěšný provoz akvária. Vyberte vhodné snímače a akční členy. V rámci bakalářské práce systém zhotovte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 18.9.2023

Termín odevzdání: 15.12.2023

Vedoucí práce: Ing. Pavel Tomíček

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Abstrakt práce v originálním jazyce TODO

KLÍČOVÁ SLOVA

Klíčová slova v originálním jazyce TODO

ABSTRACT

Překlad abstraktu TODO (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

KEYWORDS

Překlad klíčových slov TODO (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

CHARVOT, Jakub. *Autonomní akvárium*. Semestrální práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2024. Vedoucí práce: Ing. Pavel Tomíček,

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Jakub Charvot
VUT ID autora: 240844
Typ práce: Semestrální práce
Akademický rok: 2023/24
Téma závěrečné práce: Autonomní akvárium

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské/diplomové/disertační práce panu Ing. XXX
YYY, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. TODO

Obsah

Úvod	21
1 Základní teorie akvaristiky	23
1.1 Historie	23
1.1.1 Počátky	23
1.1.2 Věda a technika	23
1.2 Rozdělení akvárií	23
1.3 Technické vybavení akvária	24
1.3.1 Filtrace vody	24
1.3.2 Osvětlení	25
1.3.3 Ohřev	27
1.3.4 Monitorování	28
1.3.5 Dostupná komplexní řešení	28
2 Systémový návrh	29
2.1 Požadavky	29
2.2 Blokové schéma	29
3 Návrh dílčích bloků	33
3.1 Komunikační rozhraní	33
3.1.1 Výběr datové sběrnice	33
3.1.2 Počet a funkce vodičů	35
3.1.3 Konektor	36
3.2 Řídící jednotka	36
3.2.1 MCU	37
3.2.2 Zapojení ESP32 modulu	37
3.2.3 Napájecí obvod	37
3.2.4 Ochrana konektorů	37
3.3 Ovládání 230V periferií	38
3.4 Obecný modul periferie	38
3.5 Konkrétní periferie	39
Závěr	41
Literatura	43
Seznam symbolů a zkratk	45
Seznam příloh	47

A	Některé příkazy balíčku <code>thesis</code>	49
A.1	Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	49
A.2	Příkazy pro sazbu symbolů	49
B	Druhá příloha	51
C	Příklad sazby zdrojových kódů	53
C.1	Balíček <code>listings</code>	53
D	Obsah elektronické přílohy	57

Seznam obrázků

1.1	Příklad různých typů filtrů. Fotografie převzaty z [1]	25
1.2	Trubice s LED páskem a manuální stmívač a časovač. Převzato z [1].	26
1.3	SUNSUN topítka 100W s termostatem. Převzato z [1].	27
2.1	Ilustrační obrázek pro vzhled zařízení. CoralVue HYDROS Control XP8 [2].	30
2.2	Blokové schéma systému.	31
3.1	Ukázka koncepce sběrnice pro periferie.	35
3.2	Blokové schéma řídicí jednotky. Vytvořeno v KiCad 7.0.	36
3.3	Podpůrné obvody pro modul ESP32-WROOM-E. Vytvořeno v KiCad 7.0.	38
3.4	Napájecí obvod řídicí jednotky. Vytvořeno v KiCad 7.0.	39
B.1	Alenčino zrcadlo	51

Seznam tabulek

3.1	Datové sběrnice, porovnání [3].	34
3.2	Popis vodičů komunikačního rozhraní periferií.	35
A.1	Přehled příkazů	49

Seznam výpisů

C.1	Ukázka sazby zkratk	53
C.2	Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.	54
C.3	Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.	55

Úvod

V dnešní době, kdy jsou na vzestupu fenomény jako chytrá domácnost, IoT (Internet of Things) nebo Průmysl 4.0, se na trhu objevuje stále více výrobků, které se snaží automatizovat a zjednodušit různé oblasti našeho života. Tento trend se dnes dotýká nejen volnočasové aktivity a to včetně akvaristiky. Tu lze samozřejmě provozovat na různé úrovni, ale i majitelé malých domácích akvárií potřebují k provozu svého koníčku relativně velké množství elektroniky. Běžnou praxí je, že každé z použitých zařízení je ovládáno buďto zcela ručně nebo, pokud disponuje možností vzdáleného přístupu a automatizace, má svou samostanou aplikaci a uživatel tak provoz akvária musí ovládat z několika různých míst, což může být značně nepohodlné a nepřehledné.

Na trhu samozřejmě existují také velmi sofistikované a komplexní systémy, ty ovšem svou cenou vysoce přesahují rozpočet běžného "domácího" akvaristy. Tato práce se věnuje návrhu a tvorbě zařízení, které má za cíl nabídnout pohodlnou kontrolu a ovládání všech potřebných součástí domácího akvária, a to při zachování jednoduchosti a nízké pořizovací ceny.

1 Základní teorie akvaristiky

1.1 Historie

1.1.1 Počátky

Akvaristika v různých podobách provází lidstvo téměř od prvopočátku. Nejprve se jednalo spíše o chov ryb užitkových, tedy rybářství, ovšem už ve starověké Mezopotámii docházelo také k chovu ryb okrasných. Počátky akvaristiky byly prováděny spíše metodou pokusů a omylů, protože lidem nebyla známa velká část přírodních zákonitostí – životní potřeby chovaných ryb, způsob jejich rozmnožování a v neposlední řadě také procesy, odehrávající se v přírodním ekosystému, zajišťující jeho rovnováhu. Základem udržení chovaných ryb naživu byla zejména častá výměna vody, ani tak ale dlouho nebylo možné udržet ryby při životě dlouhodobě.

V období středověku se poprvé objevuje také dovoz exotických okrasných rybek z cizích zemí, pro naprostý nedostatek znalostí ale často brzo hynou, např. jen proto, že chovatele nenapadne je nakrmit.

1.1.2 Věda a technika

Na konci 18. století dochází k rozvoji vědy a několika objevům, které historii akvaristiky zásadně ovlivnili. Poprvé byl izolován kyslík, byl objasněn princip dýchání živočichů a následně také fotosyntéza. Akvaristika, v tehdejší době umělý chov ryb za účelem pozorování a výzkumu, byla provozována zejména na vědecké půdě a byl zde zájem o zdokonalení používaných technik a postupů. V roce 1837 S. H. Ward prakticky prokázal, že osvětlené akvárium obsahující jak rybky, tak i rostliny, vydrží velmi dlouho bez nutnosti výměny vody [4]. Princip výměny plynů byl významným milníkem ve snaze dosáhnout v akváriu rovnováhy podobné přírodnímu prostředí.

Při stále nových poznatcích o životních potřebách ryb a o akvariijní rovnováze bylo nutné přijít s různými technickými řešeními. Akvária 19. a 20. století už byla vytápěná a uměle okysličovaná. Původní mechanická řešení a lihové kahany byly postupně nahrazovány elektrickými přístroji. V pozdějších letech pak přibýlo i umělé osvětlení a systémy filtrace vody.

1.2 Rozdělení akvárií

Akvária je možné rozdělit na základě mnoha různých parametrů jako je např. velikost, materiál a tvar anebo jejich funkce. Pro účely této práce jsou však relevantní zejména rozdělení, která jsou zásadní pro rozsah použité akvaristické techniky.

V jednoduchosti tedy můžeme akvária rozdělit podle biotopu [5]:

- Sladkovodní
- Brakická – salinita přibližně 5 až 15 ‰
- Mořská – salinita přibližně 30 až 40 ‰

Asi není potřeba vysvětlovat, že pro akvária mořská a brakická nestačí použít běžnou kohoutkovou vodu, ale je potřeba ji před použitím upravit. Pokud chceme systém automatizovat, je potřeba přidat zařízení, které bude salinitu průběžně monitorovat a upravovat. Komplexní profesionální systémy (např. GHL, Neptune Apex, ...) tyto možnosti nabízejí, ale pořizovací cena je relativně vysoká. Můžeme tedy říci, že po technické stránce je provoz sladkovodních akvárií jednodušší než provoz akvárií mořských.

Další dělení akvárií je možné z hlediska jejich obsazení:

- Čistě rostlinná akvária
- S běžnými druhy ryb
- Se speciálními druhy – zvýšené nároky na parametry vody

Rozsah použité akvaristické techniky a zejména požadavek na její přesnost je závislý na volbě umístěných druhů rostlin a živočichů. Každý druh má své optimální životní podmínky a zatímco některým živočichům se bude dařit ve vodě o teplotě v rozsahu klidně i 15 °C, jiné vyžadují téměř konstantní teplotu v rozsahu třeba jen 2 °C, to zásadně ovlivní požadavky na přesnost měření teploty i způsob její regulace. Stejně tak je tomu i s dalšími parametry.

Zařízení vytvořené v rámci této práce bude určeno pro použití v menším sladkovodním akváriu osazeném běžnými druhy rostlin a živočichů bez speciálních životních potřeb – tedy scénář běžného domácího akvaristy s omezeným rozpočtem. Není ale vyloučeno jeho budoucí rozšíření i pro náročnější aplikace.

1.3 Technické vybavení akvária

V této kapitole je uveden výčet základní akvaristické techniky nutné k provozu domácího akvária, sekce je rozdělena podle způsobu určení daného vybavení a jejím cílem je seznámit čtenáře blíže s problematikou založení a provozu akvária.

1.3.1 Filtrace vody

Úkolem filtru je průběžně odstraňovat z vody nečistoty a to jak mechanické, tak zejména v podobě škodlivých látek vznikajících v akváriu. Filtrační materiál je volen tak, aby tvořil vhodné prostředí pro život filtračních bakterií, které se těmito škodlivými látkami živí [6]. Rozlišujeme tři základní typy akvariálních filtrů – vnější,

vnitřní a závěsné. Na obr. 1.1 se nachází ukázka vybraných zástupců jednotlivých typů.

Vnější filtr se rozumí zařízení umístěné obvykle ve skřínce pod akváriem, mívá připojeny dvě hadice – na vstup a výstup vody. Toto řešení je považováno za nejlepší, protože filtr není omezen rozměry a může tak dosahovat daleko vyššího výkonu a účinnější filtrace díky většímu množství filtračních materiálů.

Vnitřní filtr (někdy také ponorný) je levným, ale nepřiliš účinným řešením pro malá akvária. Nachází se z velké části v akváriu a za pomoci motorku tlačí vodu přes obvykle molitanovou náplň.

Závěsný filtr je kompromisním řešením. Cenou i účinností filtrace se pohybuje mezi oběma zmíněnými typy. Nezabírá prostor uvnitř akvária a může tak využít větší objem filtrační hmoty než filtr vnitřní. Instalace je provedena zavěšením na stěnu akvária, je tedy velmi jednoduchá.



SUNSUN HJ-752
vnitřní filtr



SUNSUN CBG-500
závěsný filtr



Oase BioMaster 350
vnější filtr

Obr. 1.1: Příklad různých typů filtrů. Fotografie převzaty z [1]

1.3.2 Osvětlení

Funkce osvětlení akvária je dvojitá. Jednak jde o estetický dojem z pohledu pozorovatele, kdy vhodné nasvícení přidává akváriu na atraktivitě. Druhá se osvětlení snaží nasimulovat osazenstvu akvária přirozené životní podmínky, aby celý ekosystém mohl fungovat.

Hlavními parametry při výběru svítidla je jeho **intenzita**, **spektrální charakteristika** a **spotřeba**.

Příliš intenzivní světlo zvyšuje riziko nežádoucí tvorby řas a pro ryby může být stresovým faktorem, nízká intenzita zase může způsobit špatný růst rostlin. Na internetu existuje mnoho návodů a tipů na stanovení správné intenzity, ale protože zde hraje roli spousta dalších parametrů jako např. výška hladiny nebo konkrétní typ rostlin, je vhodné tyto hodnoty brát pouze jako orientační a intenzitu osvětlení upravit během provozu podle potřeby. Výpočet se také liší pro jednotlivé typy svítidel.

Spektrum světla hraje roli hned z několika důvodů. Rostliny pro tvorbu chlorofylu a následnou fotosyntézu potřebují světlo zejména vlnových délek 440 nm (modrá barva) a 660 nm (červená barva) [7], pokud by zvolené osvětlení tyto vlnové délky neobsahovalo, nemohou rostliny správně fungovat. Akvárium osvětlené pouze těmito dvěma barvami by ale nevypadalo vizuálně dobře, proto se využívá také širokospektrální bílé světlo, které svým spektrem odpovídá co nejlépe dennímu světlu. Specializovaná svítidla pak nabízejí možnost napodobit světelné spektrum různých vodních prostředí a přizpůsobit se tak i rostlinám a živočichům žijícím ve velkých hloubkách.



Obr. 1.2: Trubice s LED páskem a manuální stmívač a časovač. Převzato z [1].

Na trhu jsou v současné době tři typy akvaristických světel: **zářivky**, **výbojky** a **LED svítidla** [8]. Zářivky jsou považovány za dnes již nepříliš moderní řešení a bývají nahrazovány LED svítidly, ty se vyznačují lepší účinností (tedy nižší spotřebou), delší životností a širší paletou barev. U zářivek také nebylo možné plynule regulovat intenzitu jako je tomu u LED, skoková změna při zhasnutí světla na noc je pro ryby také zbytečným stresovým faktorem. Co se týče výbojek, ty nacházejí uplatnění zejména pro hluboké nádrže, protože jejich světlo je bodové a intenzita

dostačující k prosvícení velkého objemu vody, spotřeba energie je ale v porovnání s LED vysoká, takže pokud to není nezbytně nutné, je lepší se jim vyhnout.

Typické domácí akvárium je osvětleno jedním nebo několika samostatně stmívatelnými LED svítidly a to buďto v podobě LED pásků nalepených na hliníkovém profilu anebo hotového svítidla, ve kterém jsou čipy s LED zabudovány napevno. Stmívání je nastavováno buď ručně anebo za pomoci mobilní aplikace dodané výrobcem stmívače. Příklad běžně dostupného výrobku lze vidět na obr. 1.2.

1.3.3 Ohřev

Většina okrasných sladkovodních ryb běžně chovaných akvaristy pochází z tropických krajů a vyžaduje teplotu vody v rozmezí 22 – 26 °C [9], to je o něco málo vyšší teplota než bývá v domácnosti typická a proto je nutné zajistit akváriu možnost dodatečného ohřevu. Nejčastějším řešením je ponorné topné těleso na odporové bázi s vlastní termostatovou regulací, viz obr. 1.3.



Obr. 1.3: SUNSUN topítka 100W s termostatem. Převzato z [1].

Z principu fungování termostatu vyplývá, že výsledná teplota vody není v čase konstantní, ale osciluje okolo nastavené hodnoty. Rozsah kolísání teploty je pak závislý na hysterezi termostatu, obecně lze říci, že to může být i několik stupňů. Pro většinu aplikací to není velký problém, ale některé druhy ryb mohou být na změny

teploty náchylnější, v takovém případě je potřeba buďto vybrat topítko takové, kde výrobce rozsah teplot uvádí a nebo zvolit jiný způsob regulace.

1.3.4 Monitorování

Jak již vyplynulo z úvodních kapitol, v akváriu probíhá celá řada procesů ovlivňujících jeho stav. Klíčem k vytvoření prosperujícího akvária je dosažení rovnováhy a stability mezi nimi za pomoci vhodně nastavené akvarijní techniky. Nejen u začínajících akvaristů se mohou vyskytnout problémy s růstem rostlin, zdravím ryb a nebo třeba výskytem řasy a odhalit příčiny těchto problémů může být mnohdy obtížné, ovzvláště pokud není k dispozici dostatečné množství informací o tom, co se v akváriu děje.

Existuje několik veličin, které úzce souvisí s procesy v akváriu a které je možné také poměrně jednoduše sledovat. Na trhu je celá řada produktů sloužících k tomuto účelu. Většinou je na výběr možnost analogového nebo čistě mechanického přístroje a nebo samostatného digitálního čidla, existují však také komplexní systémy, těm se dále věnuje kapitola 1.3.5.

Teplota

Umístěním teploměru (ať už v analogové nebo digitální podobě) je možné zkontrolovat správné nastavení topného tělesa a následně provést jeho úpravu. Také lze včas získat informaci o jeho případné poruše a nebo třeba jen nedostatečném výkonu.

pH a CO₂

Hodnota pH udává koncentraci *TODO dopsat asi...*

1.3.5 Dostupná komplexní řešení

TODO: 1-2 strany podle počtu obrázků, porovnání následujících firem včetně hrubé cenové relace; porovnání s řešením s jednotlivými komponentami viz. výše

GHL

Neptune Systems - Apex

Hydros

Seneye

2 Systémový návrh

Tato část práce popisuje proces tvorby návrhu výsledného zařízení, věnuje se konkretizaci požadavků na zařízení a následnému hledání vhodných technických řešení pro tyto požadavky včetně výběru odpovídajících komponent.

TODO: přepsat

2.1 Požadavky

Cílem je vytvořit zařízení, které umožní co nejvíce automatizovat provoz akvária. Hlavním aspektem by měla být jednoduchost použití pro koncového uživatele, vše by mělo být nanejvýš intuitivní a přehledné. Zařízení musí mít možnost připojení k internetu prostřednictvím sítě Wi-Fi, uživatel tak bude moci zařízení konfigurovat a sledovat z libovolného místa za pomoci webové stránky popř. mobilní aplikace.

Požadavky jednotlivých akvaristů se mohou lišit a zároveň se v čase měnit. Vytvoření dokonalého a všestaránného zařízení, které vyhoví všem účelům použití není v časových ani finančních možnostech bakalářské práce, proto byl stanoven požadavek, aby bylo zařízení co nejvíce modulární a rozšiřitelné. Musí být zvolena taková architektura, aby bylo možné v budoucnu přidat další funkce a periferie bez nutnosti modifikovat stávající hardware.

V rámci této práce by mělo zařízení být schopné monitorovat některé akvaristické veličiny a na základě jejich hodnoty informovat uživatele a ovládat akvárium. Zařízení bude přímo řídit LED páskové osvětlení na 12 nebo 24 V a spínat popř. vypínat již existující akvaristické přístroje pracující se síťovým napětím 230 V.

Jelikož modulární architektura bude nepochybně vyžadovat použití více než jednoho mikrokontroleru a tedy také více různých firmwarů, je potřeba zajistit jejich vzájemnou kompatibilitu a stabilitu celého systému. Veškerý firmware tak musí být verzovaný a po připojení nové periferie musí řídicí jednotka rozpoznat, o jakou periferii se jedná. V případě připojení nekompatibilní periferie (např. z důvodu zastaralého firmwaru řídicí jednotky) musí být uživatel upozorněn a nesmí být nijak narušena funkce zbytku systému. Aby bylo možné těmto situacím předejít, musí mít řídicí jednotka možnost vzdálené aktualizace firmwaru.

2.2 Blokové schéma

Pro pohodlné použití je hlavní část zařízení soustředěna do jedné krabičky napájené přívodním síťovým kabelem. Uživatel pak dle potřeby zapojí zařízení využívající 230 V a veškeré další periferie připojí za pomoci jednoho z vlastních konektorů. O stavu zařízení pak bude informován sérií notificačních LED a malým displayem.

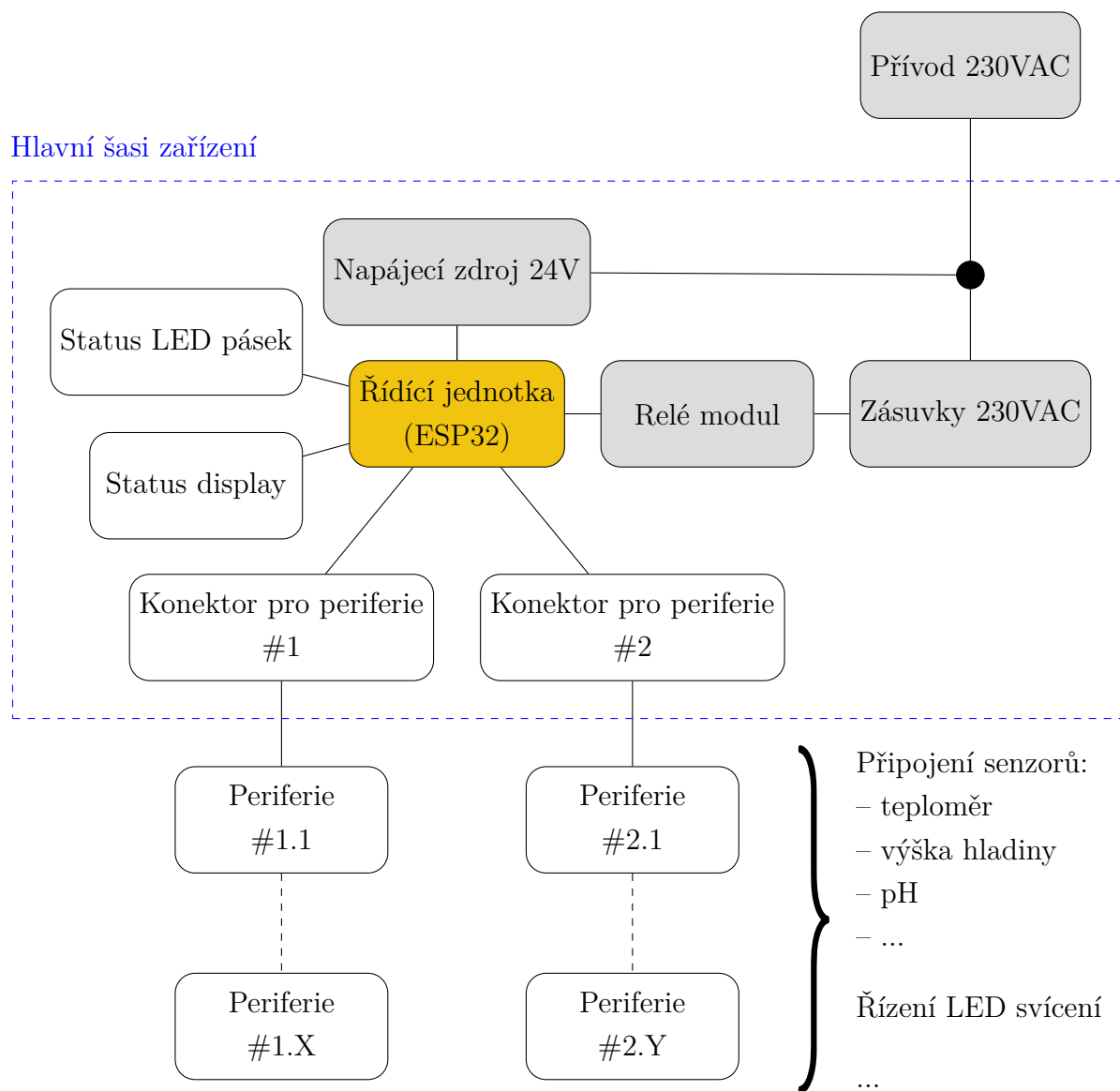
Pro ilustraci je na obr. 2.1 uveden jeden z produktů řady HYDROS, který zvolil podobnou koncepci.



Obr. 2.1: Ilustrační obrázek pro vzhled zařízení. CoralVue HYDROS Control XP8 [2].

Blokové schéma zařízení se nachází na obr. 2.2, podrobnějšímu popisu jednotlivých bloků se pak věnuje kapitola 3.

Z hlediska bezpečnosti je potřeba zajistit, aby se uživatel ani samotná nízkonapěťová část obvodu nemohli dostat do kontaktu s nebezpečným napětím. Toho bude dosaženo galvanickým oddělením částí zařízení pracujících se síťovým napětím. V blokovém schématu (obr. 2.2) jsou všechny tyto části podbarveny šedou barvou. Galvanického oddělení bude zajištěno použitím vhodných komerčně dostupných modulů, které již mají tento problém vyřešen. U relé modulu je potřeba zvolit variantu s optočlenem a pro napájecí zdroj s výstupem 24 V pak zkontrolovat v dokumentaci přítomnost galvanického oddělení.



Obr. 2.2: Blokové schéma systému.

3 Návrh dílčích bloků

Tato kapitola se důkladněji věnuje návrhu jednotlivých částí zařízení tak, aby splnily požadavky specifikované v sekci 2.1. Je zde vždy stručně rozebrána problematika týkající se daného modulu, popsán princip jeho funkce a následně popsána (TODO synonymum jiné) tvorba elektrického schématu spolu s výběrem vhodných komponent.

3.1 Komunikační rozhraní

Komunikační rozhraní mezi řídicím modulem a periferiemi není samo o sobě funkčním modulem, ale je zde rozebráno jako první, protože právě od jeho specifikace se následně odvíjí tvorba zbytku zařízení.

Úkolem rozhraní je obousměrně komunikovat s periferiemi, tedy stahovat data z připojených sensorů a zároveň za pomoci příkazů periferie řídit. Kromě datové komunikace musí rozhraní periferie také napájet a to i v případě energeticky náročnějších obvodů jako např. osvětlení.

3.1.1 Výběr datové sběrnice

Srovnání sběrnic

Existuje celá řada datových sběrnic, které jsou v elektrotechnice hojně využívány. Každá z nich má své výhody a nevýhody stejně jako jisté limitace použití. V tab. 3.1 se nachází výčet různých sběrnic, které byly při výběru uvažovány.

Protože hlavní šasi zařízení nabízí dva konektory pro periferie, ale žádoucí je připojit jich větší předem nedefinovaný počet, je potřeba, aby sběrnice umožnila připojení více zařízení. Obecný problém všech sběrnic je omezení jejich délky, s rostoucí délkou se sběrnice snáze zaruší, navíc z důvodu parazitních vlastností vedení dochází k zaoblení ostrých hran signálu, dlouhé vedení se chová jako filtr typu dolní propust.

Sběrnice SPI nebo I²C je obecně doporučeno používat pouze v rámci DPS, tedy na krátké vzdálenosti. Při snížení rychlosti je možné je používat i na větší vzdálenost, ovšem modulární scénář vytvářeného systému teoreticky nestanovuje žádný délkový limit a bylo by velmi obtížné spolehlivě určit, kolik periférií uživatel může za sebe zapojit při zachování spolehlivé komunikace.

Sběrnice CAN je určena pro provoz v průmyslovém prostředí (zejména je používána v automobilovém průmyslu) a díky své složitější konstrukci ji lze bez problému použít i na delší vzdálenosti a pro více zařízení. Při komunikaci je používán diferenční pár vodičů, takže i odolnost proti rušení je výrazně lepší. Velkou nevýhodou

Tab. 3.1: Datové sběrnice, porovnání [3].

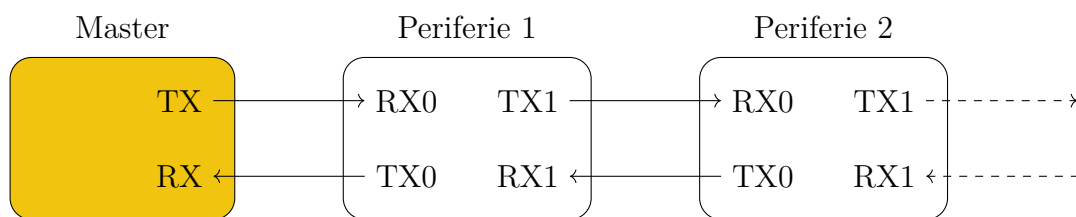
Typ	Výhody	Nevýhody	Limitace
SPI	<ul style="list-style-type: none"> - Více zařízení na sběrnici - Vysoká rychlost přenosu dat - Jednoduchý protokol 	<ul style="list-style-type: none"> - Nutný CS pin pro každé zařízení 	<ul style="list-style-type: none"> - Určeno na krátkou vzdálenost
I ² C	<ul style="list-style-type: none"> - Pouze 2 piny - Více zařízení – 128 adres 	<ul style="list-style-type: none"> - Riziko kolize adres - Nižší rychlost přenosu dat proti SPI 	<ul style="list-style-type: none"> - Určeno na krátkou vzdálenost
CAN	<ul style="list-style-type: none"> - Vysoká spolehlivost - Dlouhé propojení 	<ul style="list-style-type: none"> - Vyšší náklady na implementaci - Nižší rychlost přenosu dat 	<ul style="list-style-type: none"> - Nepodporovano běžnými MCU – nutný externí řadič
UART	<ul style="list-style-type: none"> - Jednoduchá implementace - Možnost asynchronní komunikace 	<ul style="list-style-type: none"> - Nižší rychlost přenosu dat proti SPI - Pouze 2 zařízení 	<ul style="list-style-type: none"> - Pouze 2 zařízení - Určeno na krátkou vzdálenost

je ale její složitá a drahá implementace. Většina běžných mikrokontrolerů nemá pro CAN vestavěnou periférii a je tak třeba připojit externí ovladač připojený např. přes SPI, dále vhodné přidat i řadič, aby sběrnice mohla pracovat s vyšším provozním napětím, 12 nebo 24 V.

Zvolené řešení

Po důkladné rešerši a zvážení zmíněných problémů bylo zvoleno řešení inspirované adresovatelnými LED pásky (např. NEOPIXEL). Princip spočívá v řetězení jednotlivých zařízení za sebe. Nejsou ale připojeny ke stejné sběrnici, každé z nich je zvlášť připojeno ke svým dvěma sousedním zařízením, se kterými komunikuje pomocí UART. Uživatel tak může do série zapojit libovolné množství zařízení a na kvalitu komunikace to nebude mít vliv. Jednotlivé úseky jsou definované délky, pro kterou je komunikace řádně otestována. Znázornění se nachází na obr. 3.1.

Pro komunikaci mezi jednotlivými zařízeními byl zvolen UART z důvodu velmi snadné implementace a flexibilního nastavení rychlosti. Při výběru mikrokontroleru pro periférie stačí zvolit libovolný model se dvěma UART rozhraními, toto kritérium splňuje většina mikrokontrolerů.



Obr. 3.1: Ukázka koncepce sběrnice pro periferie.

3.1.2 Počet a funkce vodičů

Z hlediska datové komunikace jsou zapotřebí dva vodiče (TX a RX), kromě toho je ale nutné periferiím dodat napájení. Většina periferií by měla být v principu dosti jednoduchá a energeticky nenáročná zařízení, typicky obsahující mikrokontroler pracující s napětím 3,3 nebo 5 V s jedním nebo několika málo připojenými senzory. Pro jejich napájení postačí další dva vodiče, jeden zemní, společný i pro datové vodiče, a druhý s napětím 5,2 V. Periferie musí být navrženy tak, aby je drobné změny této hodnoty neovlivnily. V případě několika periferií zapojených za sebe bude na delším vedení zákonitě docházet k poklesu napětí, proto byla zvolena návrhová rezerva 0,2 V, která na základě praktického testu bude možná v budoucnu ještě navýšena. Každá periferie musí obsahovat vlastní regulátor, kterým si pro svůj provoz vytvoří potřebné stabilní napětí 5 nebo 3,3 V.

Tab. 3.2: Popis vodičů komunikačního rozhraní periferií.

Č.	Zkratka	Popis	Napětí
1	24V	Napájení z externího zdroje, pro náročné periferie	24 V
2	GND0	Zem pro výkonové napájení	0 V
3	5V	Napájení pro MCU periferií	5,2 V
4	GND1	Zem pro datové linky a napájení MCU	0 V
5	TX	Datový výstup	0 až 3,3 V
6	RX	Datový vstup	0 až 3,3 V

Některé periferie mohou mít vyšší výkonové nároky a navržené nízkonapěťové napájení by jim nemuselo stačit, zároveň by vysokým odběrem proudu klesala stabilita celé sběrnice. Pro tyto periferie je proto potřeba přivést další napájecí větev, opět o dvou vodičích. Krom zemního vodiče přivedeme napájení 24 V, které pochází přímo z externího zdroje v hlavním šasi zařízení. Daná periferie pak musí obsahovat vlastní měnič, kterým si vytvoří napětí o potřebné velikosti.

Všechny zmíněné vodiče jsou pro lepší přehlednost shrnuty v tab. 3.2.

3.1.3 Konektor

Hlavní šasi bude disponovat dvěma konektory typu samice. Každá periferie bude mít napevno připevněn kabel zakončený konektorem typu samce a na své krabičce pak opět jeden konektor typu samice. Periferie tedy bude možné připojit buďto přímo do jednoho ze slotů hlavního šasi anebo do série s některou jinou již připojenou periferií.

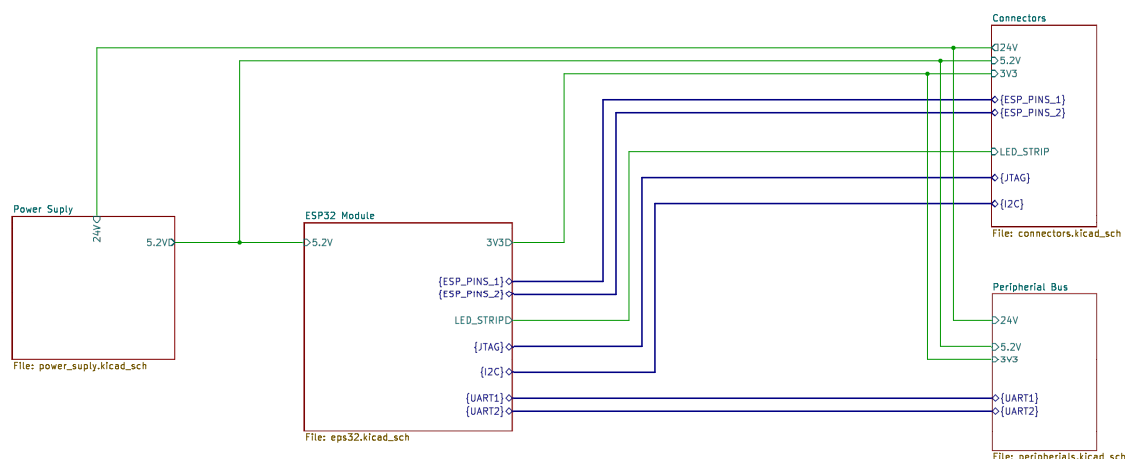
V principu lze zvolit jakýkoliv typ konektoru disponující alespoň šesti piny.

TODO: vybrat teda něco, co jde namontovat do panelu a nestojí granát...

3.2 Řídící jednotka

Jedná se o jádro celého zařízení. Její funkcí je řízení celého systému a zároveň komunikace s uživatelem za pomoci Wi-Fi. Musí v sobě nést informaci o konfiguraci systému a na jejím základě zpracovávat data z jednotlivých připojených periférií. Podle uživatelem nastavených scénářů pak dynamicky reaguje na změny hodnot měřených akvaristických veličin a ovládá akční členy (osvětlení, ohřev, filtr vody). Za pomoci displaye a LED pásku také informuje uživatele o stavu zařízení.

Řídící jednotka bude tvořena jednou speciálně navrženou DPS, které kromě samotného mikrokontroleru bude obsahovat také obvody ke snížení napájecího napětí externího zdroje na hodnotu 5,2 V (odůvodnění v sekci 3.1.2). Toto napětí pak bude dále používáno pro napájení samotného mikrokontroleru řídicí jednotky a zároveň vyvedeno na konektor pro připojení periférií. Blokové schéma na úrovni logických bloků v rámci jedné DPS je na obr. 3.2, jednotlivým částem se blíže věnují další sekce.



Obr. 3.2: Blokové schéma řídicí jednotky. Vytvořeno v KiCad 7.0.

3.2.1 MCU

Při výběru vhodného mikrokontroleru bylo potřeba zohlednit výše zmíněné požadavky, tedy zejména Wi-Fi konektivita a dostatečný výkon k její obsluze, dvě volné UART periferie a dostatek GPIO pinů pro připojení zbylých modulů v hlavním šasi (viz obr. 2.2). Na trhu existuje vícero výrobců nabízejících mikrokontrolery s vhodnými parametry, z důvodu jednoduchosti použití a nízké ceny byl nakonec zvolen model ESP32 od firmy Espressif, konkrétně modul WROOM-32E [10] s čipem ESP32-D0WDR2-V3 [11]. Tento mikrokontroler je často využíván v různých hobby projektech, ale také v komerčních aplikacích zejména v oblasti chytré domácnosti. Z tohoto důvodu k němu existuje velká škála softwarových knihoven a v rámci komunity uživatelů je také sdíleno mnoho projektů, kterými je možné se inspirovat.

3.2.2 Zapojení ESP32 modulu

Při tvorbě schématu bylo vycházeno z dokumentace výrobce [10] a také ze schématů různých vývojových desek. K zajištění správné a spolehlivé funkce modulu je potřeba dodržet několik věcí. Výřez schématu obsahující potřebné doplňující obvody je na obr. 3.3, schéma celé řídicí jednotky se pak nachází v příloze (*TODO reference*).

Na napájecí pin (3V3) je třeba přivést stabilní napětí a opatřit ho blokovacími kondenzátory (C1, C3). Ke snížení napětí z původních 5,2V na požadovaných 3,3V je použit lineární regulátor TLV76133 (U4).

Dále je potřeba přivést kladné napětí na povolovací pin (EN), z dokumentace vyplývá, že by mělo být přivedeno až po ustálení napájecí linky. Uvedený časnutný ke stabilizaci je roven $t_{STBL} = 50\mu s$ [11]. Požadované zpoždění zajistí RC článek (R1, C2) s časovou konstantou τ :

$$\tau = R_1 C_2 = 10\text{ k}\Omega \cdot 1\text{ }\mu\text{F} = 10\text{ ms} \quad (3.1)$$

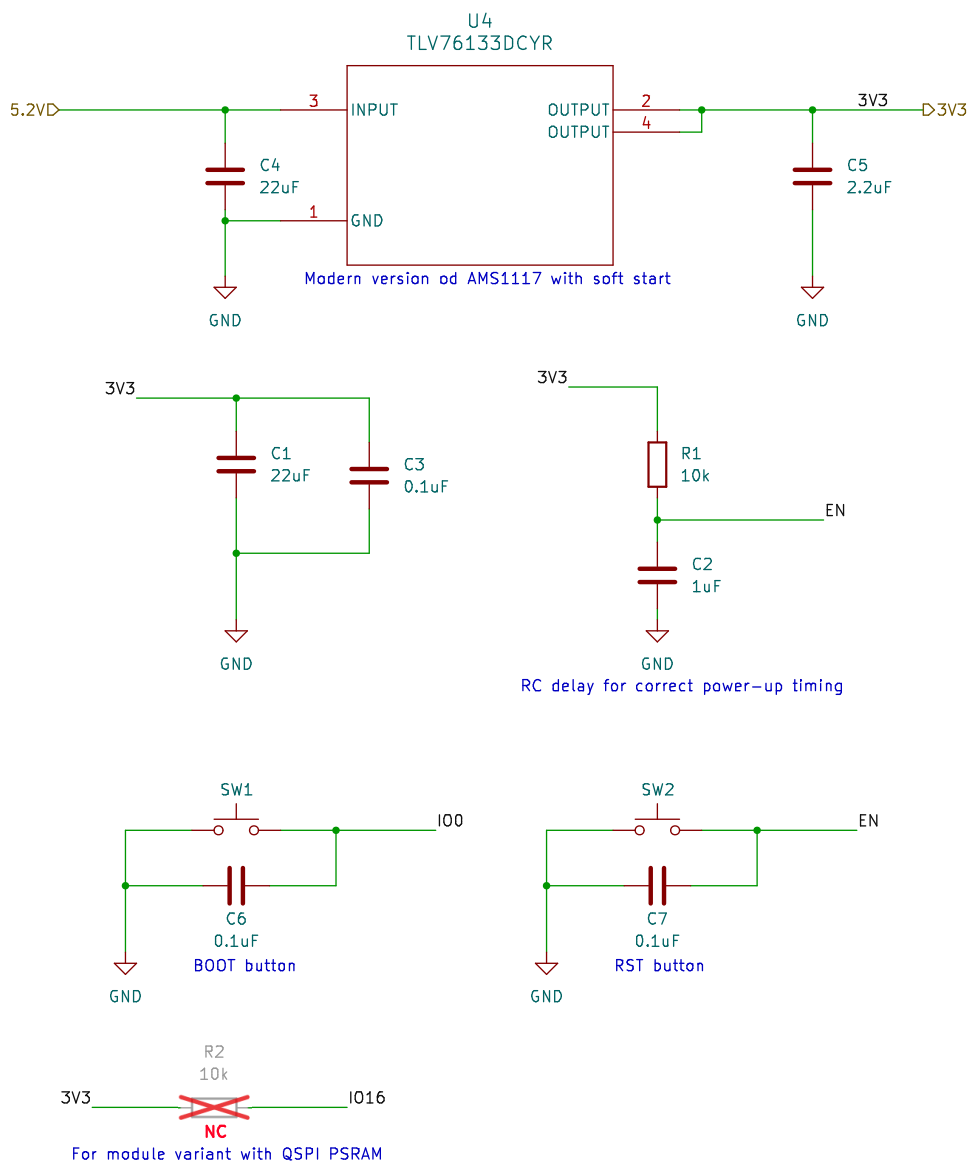
Jak je vidět, byla zvolena dostatečná návrhová rezerva.

Pro možnost resetu zařízení a nahrání nového firmware byly doplněny také dvě tlačítka (SW1, SW2)

3.2.3 Napájecí obvod

3.2.4 Ochrana konektorů

TODO: popsat principy ochrany, schéma



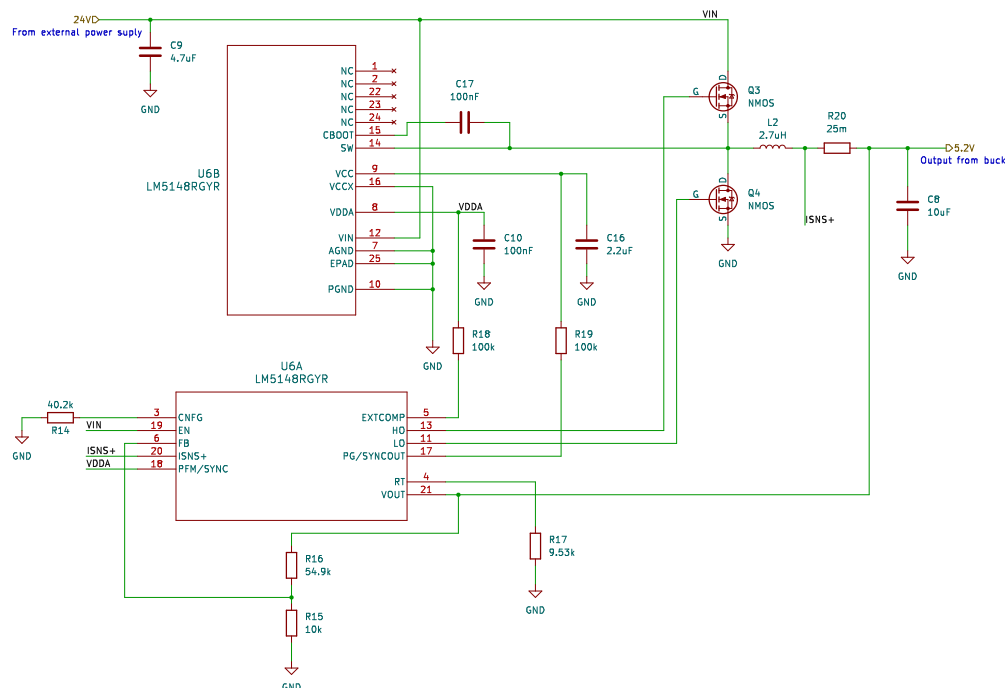
Obr. 3.3: Podpůrné obvody pro modul ESP32-WROOM-E. Vytvořeno v KiCad 7.0.

3.3 Ovládání 230V periferií

TODO: vybrán GPIO expandér (<https://www.laskakit.cz/pcf8574-i2c-8bit-i-o-expander>) a relé modul, řízeno přímo z ESP32 – je to v jedné krabici, tak je zbytečně složité tam dávat další MCU.

3.4 Obecný modul periferie

TODO: vybrán MCU PIC16F15325 – jednoduché zapojení + znám použití ze školy, cenově vychází nejlépe, když zohledníme požadavky na periferie (2x UART, PWM).



Obr. 3.4: Napájecí obvod řídicí jednotky. Vytvořeno v KiCad 7.0.

Moje představa je navrhnout jednoduchou univerzální desku, která bude mít PICku, LDO a napojené vstupní a výstupní UARTy + ochrany na výstupech, k ní budou pin headery a možnost vložit shield/dauther board, který bude mít případnou další elektroniku k obsluze senzoru atd. Když nebudu stíhat, což určitě nebudu :), tak může být třeba na prototypové desce, což bude asi rozumnější než objednávat 10 různých DPS a pak v každé řešit chyby.

3.5 Konkrétní periferie

TODO: stačí se jim věnovat až v BP a nebo je to porušení zadání, které způsobí rozložení studia? :) Jen ať vím, jak moc a na čem musím zabrat.

Závěr

Shrnutí studentské práce.

Literatura

- [1] Rostlinná akvária. E-shop, 2023. URL: <https://www.rostlinna-akvaria.cz/eshop>.
- [2] CoralVue Hydros Control XP8. <https://www.coralvuehydros.com/control/control-xp8/>.
- [3] Prodigy Technovations. I2c vs spi: Difference between i2c and spi, 2021. URL: <https://prodigytechno.com/i2c-vs-spi/>.
- [4] Jiří Vítek. Akvaristika včera, dnes a zítra, rok vydání neuveden. URL: https://www.akvarijni.cz/texty/historie_akvaristiky.htm.
- [5] Barbora Hásková. Společenstva prvoků a bezobratlých živočichů ve sladkovodních akváriích a možnosti jejich využití ve výuce, 2011. URL: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/39224/BPTX_2010_2__0_258158_0_107901.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [6] Rostlinná akvaria | INVITAL. Akvariijní filtrace, 2023. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=XRoeJDoC10k>.
- [7] E shop LED SOLUTION. Jak osvětlit akvárium?, 2023. URL: <https://eshop.ledsolution.cz/jak-osvetlit-akvarium-led-paskem/>.
- [8] E shop Rostlinná akvária. Jaké osvětlení vybrat pro vaše akvárium, 2023. URL: <https://www.rostlinna-akvaria.cz/jak-vybrat-osvetleni-pro-vase-akvarium-a-usetrit>.
- [9] J. Slavotínek. Systém podpory akvariijních životních podmínek, 2014.
- [10] Espressif Systems. *ESP32-WROOM-32E/ESP32-WROOM-32UE Datasheet*. Espressif Systems, 2023. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf.
- [11] Espressif Systems. *ESP32 Series Datasheet*. Espressif Systems, 2023. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf.

Seznam symbolů a zkratek

Šířka levého sloupce Seznamu symbolů a zkratek je určena šířkou parametru prostředí `acronym` (viz řádek 1 výpisu zdrojáku na str. 53)

IoT Internet of Things

DSP číslicové zpracování signálů – Digital Signal Processing

f_{vz} vzorkovací kmitočet

Seznam příloh

A	Některé příkazy balíčku <code>thesis</code>	49
A.1	Příkazy pro sazbu veličin a jednotek	49
A.2	Příkazy pro sazbu symbolů	49
B	Druhá příloha	51
C	Příklad sazby zdrojových kódů	53
C.1	Balíček <code>listings</code>	53
D	Obsah elektronické přílohy	57

A Některé příkazy balíčku thesis

A.1 Příkazy pro sazbu veličin a jednotek

Tab. A.1: Přehled příkazů pro matematické prostředí

Příkaz	Příklad	Zdroj příkladu	Význam
<code>\textind{...}</code>	β_{\max}	<code>\$\beta_{\textind{max}}\$</code>	textový index
<code>\const{...}</code>	U_{in}	<code>\$\const{U}_{\textind{in}}\$</code>	konstantní veličina
<code>\var{...}</code>	u_{in}	<code>\$\var{u}_{\textind{in}}\$</code>	proměnná veličina
<code>\complex{...}</code>	\mathbf{u}_{in}	<code>\$\complex{u}_{\textind{in}}\$</code>	komplexní veličina
<code>\vect{...}</code>	\mathbf{y}	<code>\$\vect{y}\$</code>	vektor
<code>\mat{...}</code>	\mathbf{Z}	<code>\$\mat{Z}\$</code>	matice
<code>\unit{...}</code>	kV	<code>\$\unit{kV}\$</code> či <code>\unit{kV}</code>	jednotka

A.2 Příkazy pro sazbu symbolů

- `\E`, `\eul` – sazba Eulerova čísla: e ,
- `\J`, `\jmag`, `\I`, `\imag` – sazba imaginární jednotky: j , i ,
- `\dif` – sazba diferenciálu: d ,
- `\sinc` – sazba funkce: sinc ,
- `\mikro` – sazba symbolu mikro stojatým písmem¹: μ ,
- `\uppi` – sazba symbolu π (stojaté řecké pí, na rozdíl od `\pi`, což sází π).

Všechny symboly jsou určeny pro matematický mód, vyjma `\mikro`, jenž je použitelný rovněž v textovém módu.

¹znak pochází z balíčku `textcomp`

B Druhá příloha



Obr. B.1: Zlepšené Wilsonovo proudové zrcadlo.

Pro sazbu vektorových obrázků přímo v \LaTeX je možné doporučit balíček `TikZ`. Příklady sazby je možné najít na `\TeX`ample. Pro vyzkoušení je možné použít programy `QTikz` nebo `TikzEdt`.

C Příklad sazby zdrojových kódů

C.1 Balíček listings

Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít balíček `listings`. Balíček zavádí nové prostředí `lstlisting` pro sazbu zdrojových kódů, jako například:

```
\section{Balíček lstlistings}
Pro vysázení zdrojových souborů je možné použít
  balíček \href{https://www.ctan.org/pkg/listings}%
  {\texttt{listings}}.
Balíček zavádí nové prostředí \texttt{lstlisting} pro
  sazbu zdrojových kódů.
```

Podporuje množství programovacích jazyků. Kód k vysázení může být načítán přímo ze zdrojových souborů. Umožňuje vkládat čísla řádků nebo vypisovat jen vybrané úseky kódu. Např.:

Zkratky jsou sázeny v prostředí `acronym`:

6 `\begin{acronym}[]`

Šířka textu volitelného parametru `KolikMista` udává šířku prvního sloupce se zkratkami. Proto by měla být zadávána nejdelší zkratka nebo symbol. Příklad definice zkratky f_{vz} je na výpisu C.1.

Výpis C.1: Ukázka sazby zkratek

```
21 \acro{symfvz}           % název
22   [\ensuremath{f_{\text{vz}}}] % symbol
23   {vzorkovací kmitočety} % popis
```

Ukončení seznamu je provedeno ukončením prostředí:

26 `\end{acronym}`

Poznámka k výpisům s použitím volby jazyka `czech` nebo `slovak`:

Pokud Váš zdrojový kód obsahuje znak spojovníku `-`, pak překlad může skončit chybou. Ta je způsobená tím, že znak `-` je v českém nebo slovenském nastavení balíčku `babel` tzv. aktivním znakem. Přepněte znak `-` na neaktivní příkazem `\shorthandoff{-}` těsně před výpisem a hned za ním jej vraťte na aktivní příkazem `\shorthandon{-}`. Podobně jako to je ukázáno ve zdrojovém kódu šablony.

Na výpisu C.2 naleznete příklad kódu pro Matlab, na výpisu C.3 zase pro jazyk C.

Výpis C.2: Příklad Schur-Cohnova testu stability v prostředí Matlab.

```
1 %% Příklad testování stability filtru
2
3 % koeficienty polynomu ve jmenovateli
4 a = [ 5, 11.2, 5.44, -0.384, -2.3552, -1.2288];
5 disp('Polynom:'); disp(poly2str(a, 'z'))
6
7 disp('Kontrola pomocí kořenů polynomu:');
8 zx = roots(a);
9 if( all( abs( zx) < 1))
10     disp('System je stabilní')
11 else
12     disp('System je nestabilní nebo na mezí stability');
13 end
14
15 disp(' '); disp('Kontrola pomocí Schur-Cohn:');
16 ma = zeros( length(a)-1, length(a));
17 ma(1,:) = a/a(1);
18 for( k = 1:length(a)-2)
19     aa = ma(k,1:end-k+1);
20     bb = fliplr(aa);
21     ma(k+1,1:end-k+1) = (aa-aa(end)*bb)/(1-aa(end)^2);
22 end
23
24 if( all( abs( diag( ma.'))))
25     disp('System je stabilní')
26 else
27     disp('System je nestabilní nebo na mezí stability');
28 end
```

Výpis C.3: Příklad implementace první kanonické formy v jazyce C.

<i>// první kanonická forma</i>	1
<u>short</u> fxdf2t(<u>short</u> coef[][5], <u>short</u> sample)	2
{	3
<u>static int</u> v1[SECTIONS] = {0,0}, v2[SECTIONS] = {0,0};	4
<u>int</u> x, y, accu;	5
<u>short</u> k;	6
	7
x = sample;	8
<u>for</u> (k = 0; k < SECTIONS; k++){	9
accu = v1[k] >> 1;	10
y = _sadd(accu, _smpy(coef[k][0], x));	11
y = _sshl(y, 1) >> 16;	12
	13
accu = v2[k] >> 1;	14
accu = _sadd(accu, _smpy(coef[k][1], x));	15
accu = _sadd(accu, _smpy(coef[k][2], y));	16
v1[k] = _sshl(accu, 1);	17
	18
accu = _smpy(coef[k][3], x);	19
accu = _sadd(accu, _smpy(coef[k][4], y));	20
v2[k] = _sshl(accu, 1);	21
	22
x = y;	23
}	24
<u>return</u> (y);	25
}	26

D Obsah elektronické přílohy

Elektronická příloha je často nedílnou součástí semestrální nebo závěrečné práce. Vkládá se do informačního systému VUT v Brně ve vhodném formátu (ZIP, PDF ...).

Nezapomeňte uvést, co čtenář v této příloze najde. Je vhodné okomentovat obsah každého adresáře, specifikovat, který soubor obsahuje důležitá nastavení, který soubor je určen ke spuštění, uvést nastavení kompilátoru atd. Také je dobře napsat, v jaké verzi software byl kód testován (např. Matlab 2018b). Pokud bylo cílem práce vytvořit hardwarové zařízení, musí elektronická příloha obsahovat veškeré podklady pro výrobu (např. soubory s návrhem DPS v Eagle).

Pokud je souborů hodně a jsou organizovány ve více složkách, je možné pro výpis adresářové struktury použít balíček `dirtree`.

```
/ .....kořenový adresář přiloženého archivu
├── logo .....loga školy a fakulty
│   ├── BUT_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── BUT_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEEC_abbreviation_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── FEKT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── UTKO_color_PANTONE_EN.pdf
│   ├── VUT_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   ├── VUT_symbol_barevne_PANTONE_CZ.pdf
│   └── VUT_zkratka_barevne_PANTONE_CZ.pdf
├── obrazky .....ostatní obrázky
│   ├── soucastky.png
│   ├── spoje.png
│   ├── ZlepseneWilsonovoZrcadloNPN.png
│   └── ZlepseneWilsonovoZrcadloPNP.png
├── pdf .....pdf stránky generované informačním systémem
│   ├── student-desky.pdf
│   ├── student-titulka.pdf
│   └── student-zadani.pdf
├── text .....zdrojové textové soubory
│   ├── literatura.tex
│   ├── prilohy.tex
│   ├── reseni.tex
│   ├── uvod.tex
│   ├── vysledky.tex
│   ├── zaver.tex
│   └── zkratky.tex
├── sablona-obhaj.tex .....hlavní soubor pro sazbu prezentace k obhajobě
├── sablona-prace.tex .....hlavní soubor pro sazbu kvalifikační práce
└── thesis.sty .....balíček pro sazbu kvalifikačních prací
```