



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

AUTOMATIZOVANÝ SYSTÉM PRO UDRŽENÍ ŽIVOTNÍCH PODMÍNEK V AKVÁRIÍCH

THE SYSTEM FOR REGULATION OF THE ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN THE
AQUARIUMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JOSEF JANDA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LADISLAV MACHÁŇ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Mikroelektronika

Student: Bc. Josef Janda

ID: 106493

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Automatizovaný systém pro udržení životních podmínek v akváriích

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a zrealizujte řídicí systém, který umožní regulaci životních podmínek v akváriích. Mezi základní řízené veličiny patří: teplota, intenzita osvětlení a množství CO₂. Řídicí systém vybavte přídatnými funkcemi pro dávkování hnojiva, krmiva, případně dalšími programovatelnými výstupy pro pozdější rozšíření funkce. Při návrhu se zaměřte na uživatelskou přívětivost ovládání a možnost snadné instalace systému do krytu akvarijního osvětlení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 24.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Macháň

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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:

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací automatizovaného systému pro udržení životních podmínek v akváriích. Úkolem systému je do jisté míry automatizovat určité procedury a zajistit regulaci důležitých parametrů prostředí s ohledem na zvýšení spolehlivosti a komfortu umělého chovu akvariálních živočichů a rostlin. Zařízení zajišťuje řízení osvětlení, regulaci teploty, a regulaci koncentrace CO₂. Zobrazování údajů a ovládání zprostředkovává grafický displej s dotykovou vrstvou.

Abstract:

This thesis project describes the design and construction of an automated system for maintaining live conditions in aquarium. The main purpose of the system is to automate certain procedures and to ensure control of important environmental parameters of artificial breeding of aquarium animals and plants. The device regulates lighting, temperature, CO₂ concentration and other parameters. The LCD with touch screen is used to system control and to display measured values.

Klíčová slova:

Akvárium, pH, teplota, osvětlení, mikrokontrolér, MSP430, QVGA LCD, jazyk C.

Key words:

Aquarium, pH, temperature, lighting, microcontroller, MSP430, QVGA LCD, C language.

Bibliografické citace díla:

JANDA, J. *Automatizovaný systém pro udržení životních podmínek v akváriích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 58 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Macháň.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení.

V Brně dne 24. května 2012

.....

podpis autora

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavu Macháňovi za předání cenných rad a zkušeností, které mi pomohly nejen ke zdárnému dokončení diplomové práce, ale budou mi také pevnou oporou v mé budoucí odborné činnosti. Dále děkuji své rodině za podporu v průběhu celého studia.

V Brně dne 24. května 2012

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	6
1 Teoretický úvod do řešené problematiky	7
1.1 Chemické vlastnosti vody	7
1.2 Teplota vody	12
1.3 Osvětlení	14
2 Přehled komerčních řešení	16
2.1 Regulace pH.....	16
2.2 Regulace teploty	16
2.3 Řízení osvětlení.....	17
2.4 Komplexní systémy	18
3 Topologie systému a popis konstrukce	21
3.1 Popis konstrukce hlavní desky.....	22
3.2 Modul HY32D - LCD s odporovou dotykovou vrstvou.....	33
3.3 Popis konstrukce výkonové desky	35
3.4 Popis konstrukce obvodu pro ochranu záložního akumulátoru Li-Pol.....	39
4 Programové vybavení mikrokontroléru a ovládání systému.....	41
4.1 Funkce programu a struktura uživatelského rozhraní.....	41
4.2 Popis programu	48
5 Závěr.....	52
6 Seznam použitých zdrojů	53
7 Seznam obrázků	56
8 Seznam použitých zkratk a symbolů	58
9 Seznam příloh.....	60

Úvod

Na vodní živočichy a rostliny působí v přírodě mnoho různých vlivů. Živé organismy se na své přirozené prostředí v průběhu svého vývoje natolik adaptovaly, že jakékoli změny vlastností okolí mají velmi nepříznivý vliv na kvalitu jejich života. Malé odchylky způsobují různá onemocnění, nechuť k přijímání potravy atd., zatímco velké nebo prudké změny mohou vést až ke smrti jedinců a odumření rostlin. Aby byl chov vodních rostlin a živočichů v umělém prostředí akvária úspěšný, musí zde chovatel co možná nejvěrněji napodobit podmínky přirozeného prostředí.

Cílem diplomové práce je navrhnout a realizovat automatizovaný systém pro udržení životních podmínek ve sladkovodním akváriu. Úkolem navrhovaného systému je do jisté míry automatizovat určité procedury a zajistit regulaci důležitých parametrů prostředí s ohledem na zvýšení spolehlivosti a komfortu umělého chovu akvarijních živočichů a rostlin. Mezi základní vlivy působící na vodní živočichy patří chemické vlastnosti vody, její teplota a intenzita osvětlení. Systém kontinuálně měří hodnotu pH a může ji přímo ovlivňovat prostřednictvím dávkování CO_2 do vody. Nutnost dávkování CO_2 závisí především na poměru rostlin a živočichů v akváriu. Pokud je pěstováno velké množství rostlin, tak živočichové nestačí produkovat dostatečné množství oxidu uhličitého a ten musí být dodáván uměle. Různým druhům chovaných živočichů a pěstovaných rostlin vyhovují rozdílné teploty. V akvaristické literatuře je uvedeno, že optimální teploty se pohybují v rozmezí 20 až 30 °C. Systém zajistí regulaci optimální teploty vody na základě uživatelského nastavení. Pro dobrý růst vodních rostlin je důležité také zajistit dostatečnou intenzitu osvětlení. Živočichové nesnáší prudké změny jeho intenzity, které vznikají například při zapalování výboje v zářivkách s klasickým startérem a tlumivkou. Použití elektronického předřadníku umožňuje plynulý náběh intenzity a navíc zvyšuje účinnost osvětlení. Pro napodobení cyklu dne a noci je v systému k dispozici konfigurovatelný časový plán osvětlení. Zářivka s elektronickým předřadníkem poslouží jako hlavní zdroj osvětlení a výkonové RGB LED slouží jako zdroj sekundární a také pro tvorbu různých efektů (např. rozednívání a stmívání).

V kapitole 1 jsou shrnuty základní teoretické poznatky, které jsou nutné pro pochopení významu jednotlivých funkcí systému. V kapitole 2 jsou uvedeny příklady komerčních systémů proudu živých podmínek v prostředí akvária. V kapitole 3 je popsána konstrukce zařízení a význam jednotlivých komponentů. Kapitola 4 se zabývá programovým vybavením. Jsou zde zmíněny jednotlivé funkce systému a také podrobněji rozebrány základní části zdrojového kódu pomocí vývojových diagramů. Výkresová dokumentace desek plošných spojů je přiložena formou samostatných příloh na konci práce.

1 Teoretický úvod do řešené problematiky

Pro umělý chov je v akváriu důležité co nejvěrněji napodobit přírodní životní podmínky. Zodpovědný chovatel musí pečlivě nastudovat akvaristickou literaturu. Na základě těchto znalostí může do svého akvária vybrat druhy rostlin a živočichů, které mají podobné nároky na prostředí a mohou spolu společně žít (navzájem snášlivé druhy). Mezi nejdůležitější oblasti, ze kterých pochází akvariijní ryby, patří Jižní a Střední Amerika (neotropická zoogeografická oblast), Afrika (etiopská zoogeografická oblast) a jižní a jihovýchodní Asie (orientální zoogeografická oblast)[3]. Mezi faktory, které ovlivňují ekosystém akvária, patří chemické vlastnosti vody a množství rozpuštěných látek, teplota vody a osvětlení. Následující kapitoly rozvedou tyto tři základní vlivy s ohledem na možnosti jejich ovlivňování a měření automatizovaným systémem pro udržení životních podmínek v akváriu.

1.1 Chemické vlastnosti vody

Jednou z důležitých chemických vlastností je tzv. reakce vody. Voda obsahuje část molekul v disociovaném stavu jako H^+ a OH^- . V chemicky čisté vodě je koncentrace takových částic 10^{-14} mol/l. Obě složky se vyskytují ve stejném množství, což znamená, že koncentrace H^+ je rovna 10^{-7} mol/l. Hodnota pH je definována jako záporný logaritmus této hodnoty (1) a pohybuje se v rozmezí 0 až 14 [4], [5].

$$pH = \log\left(\frac{1}{c_{H^+}}\right) \quad (1)$$

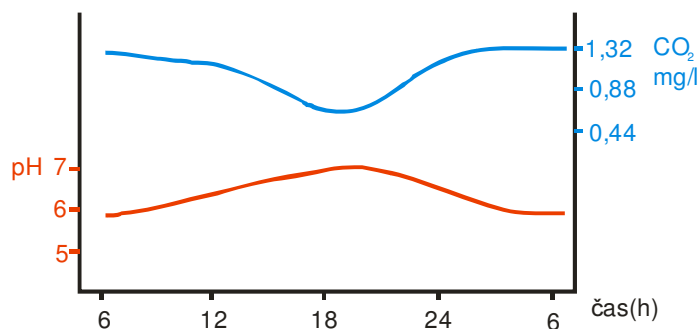
V případě neutrální vody je hodnota pH rovna 7. Hodnota pH je určena podílem v dekadickém logaritmu, proto při snížení hodnoty pH o jednotku vzroste koncentrace H^+ iontů desetinásobně. Pokud má měřený roztok hodnotu menší než pH 7, je označován jako kyselý. Roztoky zásadité mají hodnotu pH vyšší než 7 [4]. V akvaristické praxi se běžné používá dělení uvedené v tabulce 1.

Tabulka 1: Rozdělení hodnot pH podle akvariijní praxe [1]

Označení vody	Hodnota pH
velmi kyselá	4,5 až 5,5
kyselá	5,6 až 6,5
slabě kyselá	6,6 až 6,9
slabě zásaditá	7,1 až 7,5
zásaditá	7,6 až 8,5
velmi zásaditá	8,6 až 9,5

V některých případech není nutné věnovat velkou pozornost regulaci pH, neboť jisté druhy akvarijských ryb žijí v podmínkách, kde jsou změny pH přirozené. Jihoamerická *CichlidaTahuantinsuyoamacantzatza* žije ve vodách, kde se pH přirozeně mění v rozmezí od 6,3 do 7,6. Existují ale druhy, které jsou na změny citlivé více a hlídání hodnoty pH je podmínkou jejich úspěšného chovu (například zástupci čeledi *Apterodontidae*). Hodnota pH je ovlivňována především rovnováhou mezi volným a vázaným oxidem uhličitým. Alkalitu a kyselost přírodních vod ovlivňuje tzv. uhličitanový systém. Obsahuje celkem sedm různých složek, které spolu vzájemně reagují: oxid uhličitý (CO_2), kyselinu uhličitou (H_2CO_3), anionty hydrogenuhličitanové (HCO_3^-), anionty uhličitanové (CO_3^{2-}), anionty hydroxylové (OH^-), kationty vápenaté (Ca_2^+) a anionty vodíkové (H^+). Uhličitanový systém se mimo jiné podílí také na pufracích vlastnostech vody. Jedná se o schopnost roztoku udržet si určitou hodnotu pH i po přidání malého množství kyseliny nebo zásady[4].

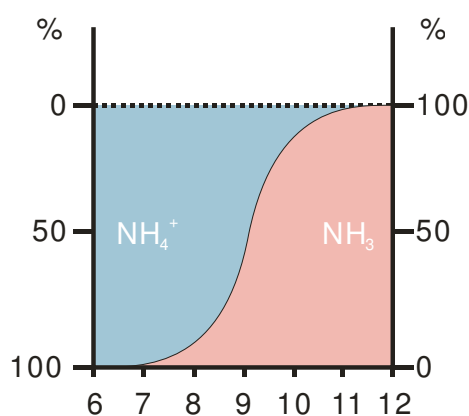
Hodnota pH se může v akváriu výrazně měnit v průběhu cyklu dne a noci. Rostliny stejně jako živočichové spotřebovávají kyslík a produkují oxid uhličitý. Během dne je ale jejich produkce oxidu uhličitého kompenzována fotosyntézou, při které se oxid uhličitý spotřebovává. Ten se podobně jako ostatní plyny ve vodě rozpouští. Vzniká nestálá kyselina uhličitá (H_2CO_3), která se rozkládá na vodíkový kation (H^+) a hydrogenuhličitanový anion (HCO_3^-). Je tedy zřejmé, že v průběhu noci, kdy se zvyšuje koncentrace oxidu uhličitého, klesá hodnota pH a akvarijská voda se stává kyslejší. Pokud je v akváriu velké množství rostlin, může se kolísání pohybovat až v rozmezí 2 stupňů pH [4]. K tomuto jevu dochází běžně i v přírodě (obr. 1). V hustě zarostlých akváriích může přes den docházet k situaci, kdy



Obr. 1: Kolísání hodnoty pH (červený průběh) a obsahu oxidu uhličitého (modrý průběh) v brazilské řece Rio Negro v průběhu jednoho dne [4]

rostliny mají nedostatečné množství oxidu uhličitého pro fotosyntézu. V tomto případě je nutné oxid uhličitý dodávat do vody uměle. Pro orientační určení koncentrace oxidu uhličitého v akvaristice se běžně používá tzv. Tillmanova tabulka. Pokud známe hodnotu pH a alkalitu vody, lze podle ní odhadnout koncentraci CO_2 . Určování koncentrace CO_2 je ale tímto způsobem vždy poměrně nepřesné a je důležité, aby hodnota pH byla ovlivněna převážně uhličitanovou složkou [8].

Ryby vylučují amoniak (NH_3) jako odpadní produkt svého metabolismu. Ten se vytváří také při rozkladu zbytků mrtvých živočichů a zbytků potravy. Amoniak (NH_3) je pro ryby a ostatní živočichy toxický již ve velmi malé koncentraci. V mírně kyselé vodě však amoniak reaguje s vodíkovými kationty (H^+) a vytváří mnohem méně jedovatý amonný kation (NH_4^+). V těchto podmínkách je pro ryby voda bezpečná, i když obsahuje velké množství nečistot a zbytků tlejících organismů. Pokud však hodnota pH začne z nějakého důvodu růst, amonný kation se mění na amoniak a živočichům hrozí nebezpečí otravy. Obr. 2 zachycuje závislost poměrného zastoupení amoniaku a amonného kationu na pH. Pokud v akváriu udržujeme mírně kyselé prostředí, je důležité hlídat hodnotu pH, aby nepřekročila kritickou mez. V případě mírně zásaditého prostředí je důležité udržovat čisté akvárium, neboť větší část organických nečistot se rozkládá na amoniak [2].

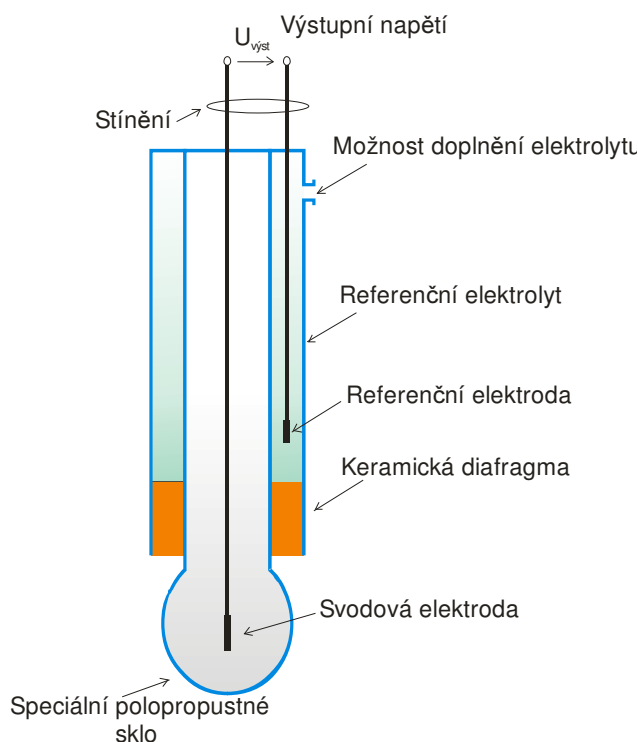


Obr. 2: Závislost proměnného zastoupení amonných kationtů a amoniaku na pH vody [4]

Snížení hodnoty pH v akváriu je možné docílit např.: přidáním kyseliny, použitím rašeliny, doplněním vody nebo dávkováním oxidu uhličitého. Zvýšit hodnotu pH lze například: vápencem nebo korálovou drtí, jedlou sodou nebo hydroxidem sodným. Nejlepším způsobem ovlivnění pH z hlediska automatizované regulace je řízené dávkování oxidu uhličitého. Tento způsob dovozuje účinné a definovatelné změny hodnoty pH. V akváriích, kde je málo ryb slouží dávkování CO_2 také jako hnojení rostlin. Pro efektivní dávkování oxidu uhličitého musí být akvarista vybaven lahví se stlačeným CO_2 a elektromagnetickým tlakovým ventilem. Dále je používán tzv. reaktor. Jedná se o nádobu, kde nuceným prouděním vody a plynu dochází k jeho efektivnímu rozpouštění. Nedostatkem této metody je ale fakt, že hodnotu pH je možné pouze snižovat (výše popsané reakce v rámci uhličitanového systému). Pro oboustrannou regulaci je důležité udržovat složení vody tak, aby vykazovala pufrační vlastnosti (uhličitanový systém) pro mírně vyšší hodnotu pH, než jakou požadujeme udržovat. Po přerušení dodávky CO_2 bude mít potom voda snahu pH zvyšovat a při kontinuálním měření je možné realizovat regulaci[9].

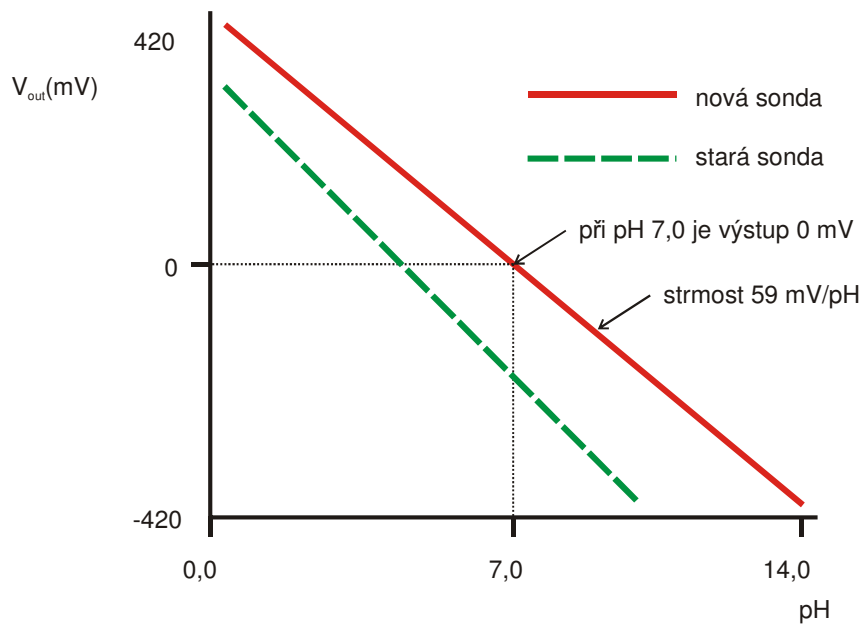
Měření pH

V akvaristické praxi se používá několik způsobů měření pH. Ty nejjednodušší jsou realizovány pomocí chemických reakcí roztoků nebo látek nanesených na detekčních papírkách. Tyto způsoby jsou ale nevhodné pro další elektronické zpracování informací. Pro automatizované měření pH se používají tzv. pH elektrody. Jedná se o dvojici elektrochemických článků, kde potenciál jednoho článku je referenční a druhý potenciál je závislý na pH měřeného roztoku. Na svorkách sondy ponořené do měřeného roztoku vznikne napětí, které je úměrné hodnotě jeho pH. V akvaristice je nejpoužívanějším typem sonda, která se skládá ze dvou článků – tzv. „kombinovaná sonda“ (viz. obr. 3). Referenční



Obr. 3: Příklad konstrukce pH sondy [9]

článek je naplněn referenčním elektrolytem roztokem KCl o koncentraci 3 mol. U některých sond je možné referenční elektrolyt doplňovat. Ve vnitřní části se nachází měřicí článek. Svodová elektroda prochází celou délkou sondy až do spodní části. Spodní část má většinou kulovitý tvar a její stěny jsou tvořeny speciálním sklem, které je propustné pro H^+ ionty. Ty se dostávají do elektrolytu měřicího článku a vytvářejí elektrický potenciál. Elektrody jsou ze sondy vyvedené koaxiálním kabelem zakončeným konektorem typu BNC. Sonda je velice citlivá na mechanické a chemické poškození. Nesmí nikdy vyschnout a také se nesmí uchovávat v destilované vodě, aby nedošlo k jejímu nevratnému zničení. Sonda stárne, také pokud není používána. Při dobré péči se její životnost pohybuje okolo jednoho roku [9].



Obr. 4: Závislost výstupního napětí sondy na měřeném pH [9]

Zpracování signálu z pH sondy

Na obr. 4 je uvedena závislost výstupního napětí na měřeném pH. Napětí na sondě je závislé na pH lineárně podle rovnice (2):

$$E = K - 2,303 \cdot \frac{RT}{F} \cdot pH [V] \quad (2)$$

kde: E – měřený potenciál [V],

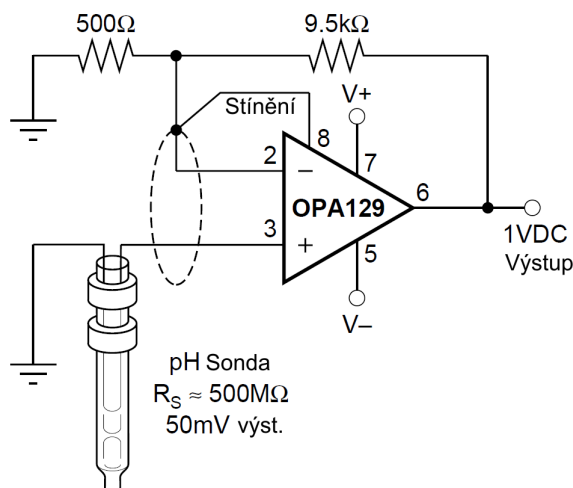
K – konstanta závislá na konstrukci sondy [-],

R – Plynová konstanta ($8,314 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$),

T – termodynamická teplota [K],

F – Faradayova konstanta ($9,6481 \cdot 10^{-1} C \cdot mol^{-1}$).

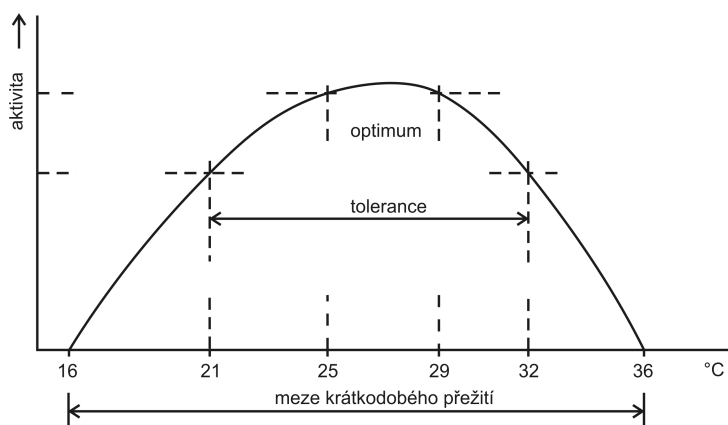
Tento vztah však přesně platí pouze pro ideální a přibližně pro novou sondu. Před měřením je nutné sondu kalibrovat minimálně ve dvou bodech převodní charakteristiky, pro určení posunutí a strmosti. Pro přesnější kalibraci je vhodné použít bodů více. S postupným stárnutím sondy se mění posunutí a sklon charakteristiky. Je proto nutné zajistit pravidelnou kalibraci, která se provádí pomocí speciálních roztoků (tzv. pufrů). Pufrů obsahují ne zcela disociovanou látku a zaručují definovanou hodnotu pH. Dodání malého množství H^+ nebo OH^- iontů nezmění jejich pH [9].



Obr. 5: Příklad zapojení operačního zesilovače s pH sondou [20]

Výstupní impedance sondy pH v řádech stovek megaohmů klade nároky na nízký vstupní proud operačního zesilovače, který je použit ke zpracování signálu. Je nutností použít operační zesilovač, který má vstup realizovaný technologií CMOS. U takových operačních zesilovačů se vstupní klidový proud pohybuje pod hodnotou 100 fA. Signál ze sondy je náchylný na rušení a na svodové proudy desky plošných spojů. Je proto důležité vést co nejkratší cestu od konektoru k operačnímu zesilovači. Naobr. 5 je příklad zapojení zesilovače signálu z pH sondy, které je uvedeno v katalogovém listu výrobce [20]. Pro dosažení nejvyššího možného vstupního odporu je operační zesilovač zapojen jako neinvertující. Pomocí rezistorů je možné nastavit zesílení.

1.2 Teplota vody



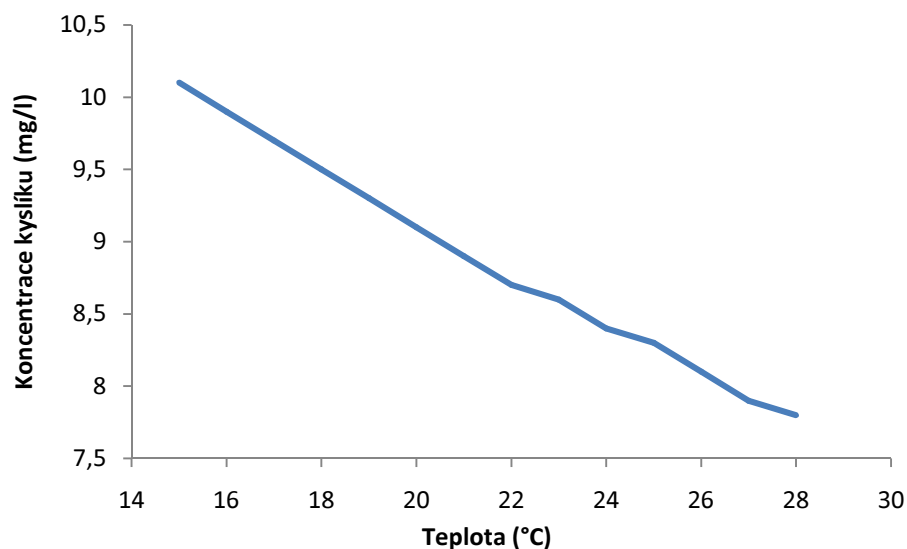
Obr. 6: Příklad závislosti aktivity na teplotě u Cichlidky *Julidochromis transcriptus* [4]

Teplota je dalším důležitým parametrem životního prostředí chovaných živočichů. Ovlivňuje přímo jejich metabolismus, neboť ryby a ostatní živočichové běžně chovaní v akváriu nejsou schopni regulovat svojí tělesnou teplotu. Různé druhy mají různou citlivost na rozmezí změn okolní teploty. Obecně platí, že na rychlé změny živočichové reagují nepříznivě. Na pomalejší změny, které se vyskytují i v přírodě, se živočichové mohou v určitých mezích adaptovat. Na obr. 6 je znázorněna závislost aktivity akvariijní ryby *Cichlidky Julidochromistranscriptus*. Je zde patrné optimální rozmezí teplot, které tomuto druhu nejvíce vyhovuje [4]. V mezích tolerance je druh schopný dlouhodobě přežít a omezeně se rozmnožovat. V mezích krátkodobého přežití se druh nerozmnožuje a slabší jedinci hynou. Každý druh má zmíněné meze různě široké, což je důležité v případě potřeby zajistit optimální podmínky více chovaným druhům v jedné nádrži. Typické teploty sladkovodních vod v tropických oblastech se pohybují v rozmezí 20 až 30 °C. Vyznačují se malými změnami v porovnání se subtropickým a mírným podnebným pásem a to především v průběhu cyklu dne a noci. V případě, že je vodní hladina krytá porostem, se rozdíly ještě snižují. Tabulka 2 obsahuje informace o různých teplotách v různých oblastech světa. Chovatel proto musí zajistit v akváriu ideální teplotní podmínky pohybující se v optimálních mezích chovaných druhů. Dostatečný výkon topidla ve vytápěných místnostech se pohybuje kolem 1 W na litr vody, v málo vytápěných místnostech je potřeba výkon větší [4], [7].

Tabulka 2: Příklady teplot v různých oblastech (v °C) [7]

Mírný podnebný pás		Tropický podnebný pás		
Horské řeky	Řeky na úrovni moře	Jižní Amerika, povodí Amazonky	Jihovýchodní Asie, bažinaté oblasti	Afrika, Velká jezera
4 – 14/15	6 – 18/20	23 – 28	26 – 28	25 – 27

Teplota vody souvisí také s maximálním možným množstvím plynu rozpustitelného ve vodě. Se stoupající jeho množství klesá. Na obr. 7 je zachycena tato závislost. Při vysokých teplotách mohou ryby hynout jak na přehřátí organismu, tak i na udušení [7].

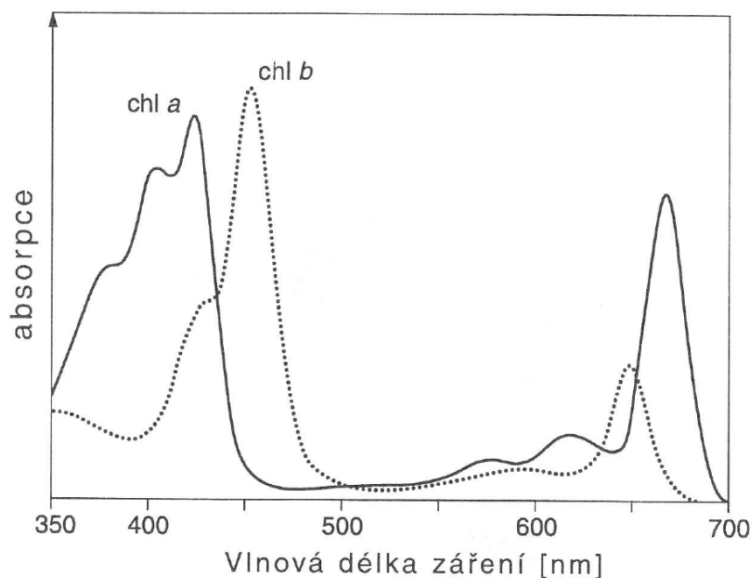


Obr. 7: Závislost maximální koncentrace kyslíku na teplotě [7]

1.3 Osvětlení

Živé organismy žijící v akváriu potřebují pravidelný cyklus střídání dne a noci. Rostliny světlo zase nezbytně potřebují, aby mohly provádět fotosyntézu. V přírodě je přirozeným zdrojem světla slunce. V umělých podmínkách je ale obtížné sluneční svit využít. Není možné jednoduše zajistit, aby bylo akvárium osvětleno svisle shora, a intenzita světla v místnostech se v průběhu dne výrazně mění. Je proto nezbytné zajistit umělé osvětlení. Intenzita musí být taková, aby se dostatečné množství světla dostalo až na dno. Ve vodě je světlo pohlcováno a na dno (50 cm hloubky) pronikne přibližně 20 až 30 % intenzity světla u hladiny. K největším ztrátám dochází ve vodě a v krycím skle hladiny. Pro jejich omezení je důležité udržovat vodu a kryt akvária v čistotě. Aby bylo zajištěno správné osvětlení, je důležité vybrat správný zdroj. Konstrukčně nejjednodušší jsou žárovky, které mají poměrně vhodné spektrum záření. Jejich velkou nevýhodou je velmi nízká účinnost přeměny elektrické energie na světlo a malá životnost. Jejich použití v akváriích je proto nevhodné. Halogenové žárovky vykazují mírně lepší vlastnosti, ale v akváriích se rovněž nepoužívají. Výbojky se vyznačují velkou intenzitou vyzařovaného světla. Pro svoje vlastnosti nacházejí využití v hlubších akváriích mořského typu. Asi nejlepší variantou pro osvětlení akvárií jsou zářivky. Světlo vzniklé v důsledku elektrického výboje se nachází v neviditelné oblasti UV spektra. Luminofor na stěnách trubice pohlcuje UV záření a emituje světlo ve viditelné oblasti spektra. V závislosti na složení luminoforu se mění dominantní vlnová délka vyzařovaná zářivkou. Optimální vlnová délka pro fotosyntézu rostlin se pohybuje ve spodních vlnových délkách viditelného světla (červenooranžová barva) a částečně také v oblasti barvy modré (viz. obr. 8). Na trhu je množství speciálních zářivek, které mají vyzařované spektrum přizpůsobené na pěstování rostlin. Pro dosažení takového osvětlení akvária, které věrně reprezentuje barvy

a je příjemné na pohled, je vhodné využít kombinaci speciálních svítidel se svítidly s širším spektrem vyzařování. Vedle intenzity a spektra osvětlení je také nezbytné hlídat dobu, po kterou je osvětlení aktivní. Den v tropických oblastech trvá 12 hodin. Tuto dobu by mělo respektovat i trvání umělého osvětlení [3], [7], [6].



Obr. 8: Absorpční spektrum chlorofylů [6]

Jako zdroj sekundárního osvětlení je možné použít RGB LED. Tento zdroj slouží především k dekoraci, neboť může generovat různé světelné efekty. Například v ranních a večerních hodinách může oranžovým světlem napodobovat východ a západ slunce. V nočních hodinách bude modré světlo podtrhovat estetický význam akvária.

2 Přehled komerčních řešení

Jednou z možností, jak udržovat životní podmínky v prostředí akvária, je použití více jednoúčelových zařízení pro zajištění jednotlivých funkcí. Další možnost je využití komplexního systému. Na zahraničním trhu existuje několik řešení, která se liší cenou a množstvím nabízených funkcí. Český trh nabízí pouze jednodušší a často neziskové produkty, které jsou vyvíjeny ve volném čase. Pro integraci složitějších funkcí do jednoho systému je také možné použít průmyslové programovatelné logické automaty (PLC). Nevýhodou je ale vysoká cena jednotlivých komponent a nutnost znalosti automatizační techniky. PLC naleznou využití především u profesionálních chovatelů, kteří vlastní velké množství nádrží.

2.1 Regulace pH

Systém pro regulaci pH patří k těm nákladnějším. Cena nabízených řídicích jednotek pH často přesahuje částku deseti tisíc korun. Jako příklad je možné uvést *seramic pH controller* (viz. obr. 9). Mezi vlastnosti této jednotky patří: dávkování CO₂ hnojícího systému, řízení Ca reaktoru, napájecího čerpadla a kalibrační funkce. LED displej informuje o aktuálním stavu a ukazuje měřenou hodnotu pH[12].



Obr. 9: Seramic pH controller[12]

2.2 Regulace teploty

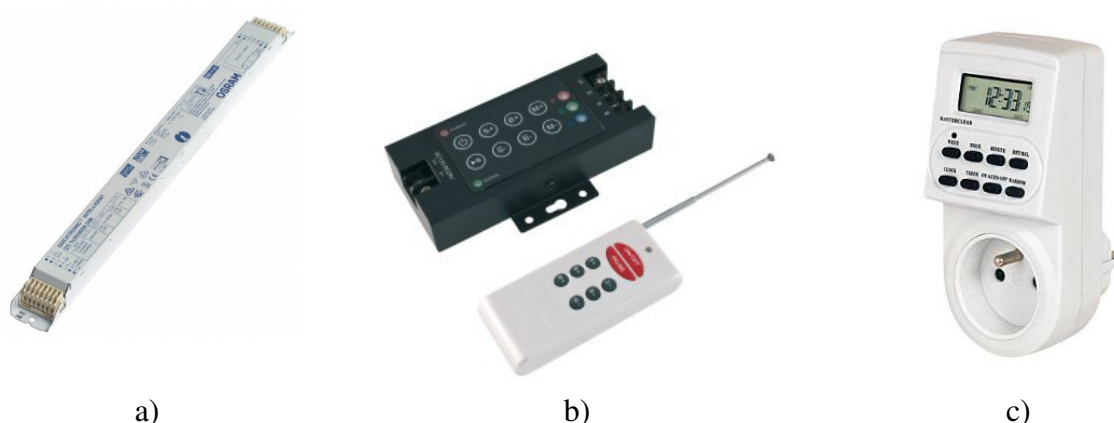
Pro regulaci teploty je možné využít topné těleso s integrovaným termostatem (viz. příklad uvedený na obr. 10, a) nebo externí termostát (viz. příklad uvedený na obr. 9, b). První varianta má výhodu především v jednoduchosti a nízké ceně. Druhá varianta vyniká větší přesností a komfortem. Využití kombinace integrovaného a externího termostatu zajišťuje vyšší bezpečnost vytápění.



Obr. 10: Zleva: akvarijní topení Trixie[10], externí termostat ATC-300 [11]

2.3 Řízení osvětlení

Zdroje osvětlení v akváriu bez centralizované řídicí jednotky se příliš neliší od akvária s nějakým druhem složitějšího řízení. Používají se především zářivky, u kterých je výhodné používat elektronický předřadník. Příklad předřadníku *DIM T5* od firmy Osram je uveden na obr. 11, a. Elektronická varianta předřadníku nabízí lepší efektivitu v porovnání s běžnou tlumivkou a startérem. Mezi další vlastnosti patří možnost regulace jasu bez vlivu na životnost zářivek, automatické odpojení defektivních a starých výbojek, ochrana proti přehřátí a přetížení [14]. Pro napájení výkonových LED se používají proudové zdroje, u kterých je možné využít možnosti zapojení více LED do série. Na obr. 11, b je uveden *LED RGB driver HHX*. Tento ovladač nabízí nastavení libovolné barvy, intenzity a délky přechodů. Funkce je možné ovládat přímo na zařízení nebo prostřednictvím dálkového ovládání [15].



Obr. 11: Zleva: Elektronický předřadník DIM T5[14], LED RGB driver HHX[15], Programovatelné spínací hodiny ZSD16 [13]

Praktickou pomůckou pro řízení osvětlení jsou časové spínací hodiny. Na obr. 11, c je uvedena spínací programovatelná zásuvka ZSD16. Umožňuje nastavit až 8 programů, různé kombinace bloků dnů a jednoduché nastavení letního času [13]. Pro jednoduché řízení intenzity jasu v průběhu rozednávání nebo stmívání je možné zapojit více okruhů osvětlení a ovládat je s použitím nezávislých spínacích hodin.

2.4 Komplexní systémy

ReefKeeperEliteAquariumController

Komplexní systémy pro udržení životních podmínek prostředí akvária poskytují větší komfort a přehlednost ovládání. Jako příklad takového systému lze uvést *ReefKeeperEliteAquariumController* (viz. obr. 12). Jedná se o pokročilý systém, který v sobě integruje veškeré funkce pro řízení prostředků ovlivňujících prostředí akvária. Centrální řídicí jednotka je s ostatními komponenty propojena prostřednictvím komunikační sběrnice. Pro zobrazování informací je použit monochromatický grafický displej s rozlišením 128x64 obrazových bodů. K ovládání slouží 11 tlačítek. Systém obsahuje baterii pro zálohování času v případě výpadku síťového napětí a nabízí rozšíření modulem, který umožňuje komunikaci prostřednictvím ethernetového rozhraní. Díky velkému počtu různých komponent je tento systém variabilní a nabízí snadnou rozšiřitelnost. Systém je určen k použití především v akváriích mořského typu a mezi jeho další vlastnosti patří:

- regulace pH,
- regulace teploty,
- regulace redox potenciálu,
- regulace salinity,
- funkce generování vln prostřednictvím sekvenčního spínání více čerpadel[16].



Obr. 12: ReefKeeperEliteAquariumController[16]

AquariumControllerEvolution (ACQ110)

Tento systém umožňuje řízení jednoho nebo většího množství sladkovodních a mořských akvárií (viz. obr. 13). Řídicí jednotka nabízí možnost připojení k PC pro snadnou aktualizaci programového vybavení. Grafický displej informuje uživatele o aktuálním stavu řízeného prostředí a umožňuje přehledné ovládání. Mezi nejvýznamnější vlastnosti systému patří:

- správa jednoho nebo více akvárií,
- možnost manuálního ovládání výstupů,
- větší množství časovačů pro každý výstup,
- funkce generování vln prostřednictvím sekvenčního spínání čerpadel,
- akustické a vizuální varování,
- řízení jasu osvětlení,
- zobrazení grafického průběhu měřených veličin [17].



Obr. 13: AquariumControllerEvolution (ACQ110)[17]

ASTA (Automatizovaný Systém pro Terária a Akvária)

Tento systém (viz. obr. 14) byl navržen především s ohledem na nízkou cenu. Centrální jednotka disponuje dvouřádkovým maticovým displejem a k ovládání slouží celkem čtyři tlačítka. Systém je založen podobně jako předchozí příklady na modulárním principu a mezi jeho funkce patří:

- univerzální výstupy pro spínání 230 V spotřebičů (osvětlení, filtr atd.),
- komunikace se stmívačem žárovek,
- spínání ventilátorů,
- regulace teploty [18].



Obr. 14: ASTA – Automatizovaný Systém pro Terária a Akvária[18]

„Amatérská“ řídicí jednotka pro akvárium

Dalším podobným systémem je „Amatérská“ řídicí jednotka pro akvárium (viz. obr. 15). Systém je tvořen dvěma deskami plošných spojů, které tvoří kompaktní celek spojený distančními sloupky. K ovládání slouží čtveřice tlačítek a o zobrazování údajů se stará monochromatický grafický LCD. Mezi nejdůležitější funkce systému patří:

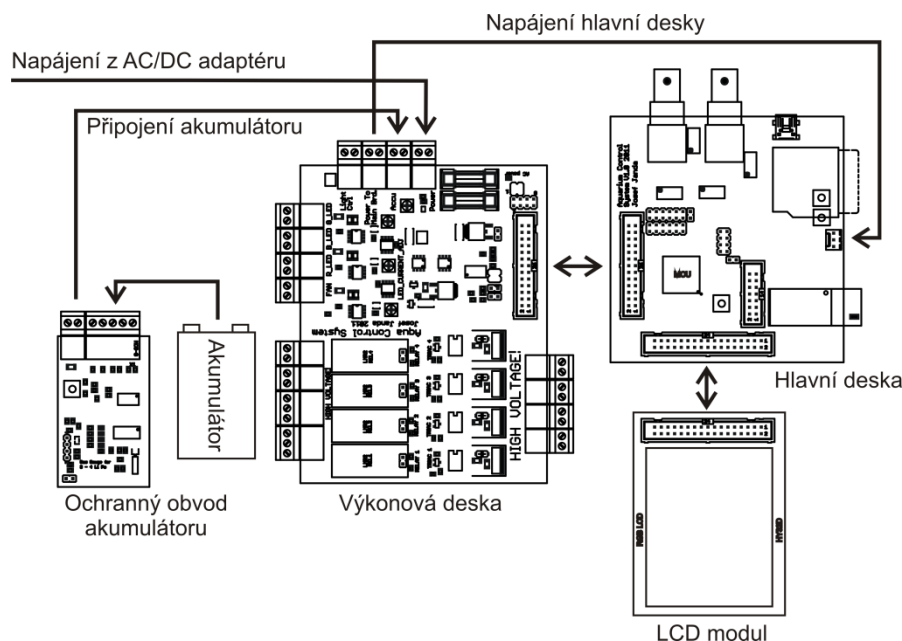
- regulace pH,
- řízení osvětlení s rozlišením dne a noci, funkce rozednívání/stmívání,
- výstup pro LED osvětlení,
- přehledný černobílý grafický displej, ovládání tlačítka [19].



Obr. 15: „Amatérská“ řídicí jednotka pro akvárium[19]

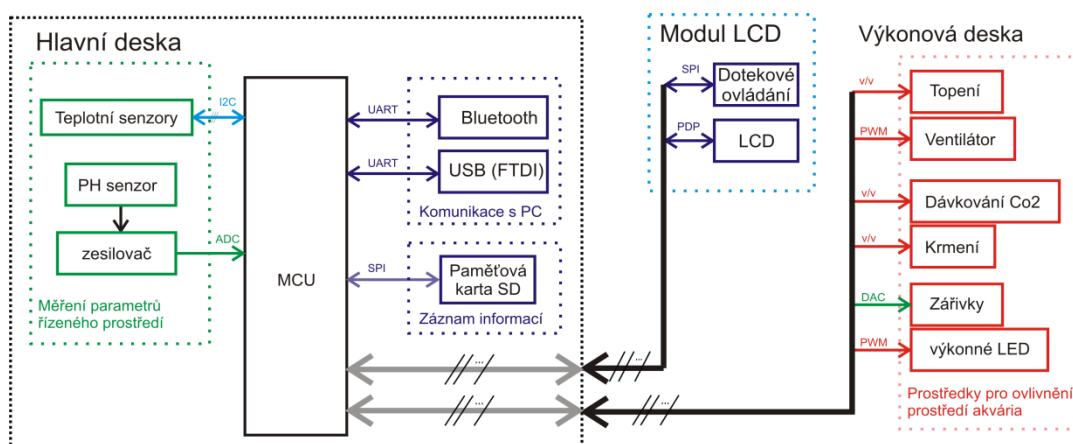
U profesionálních systémů se ceny pohybují v řádech desítek tisíc korun, přičemž velmi záleží na množství dokoupených rozšiřujících modulů. Ceny nízkorozpočtových produktů jsou nižší a pohybují se v řádech tisíců korun.

3 Topologie systému a popis konstrukce



Obr. 16: Topologie systému

Realizovaný systém pro udržení životních podmínek v akváriu se skládá celkem ze čtyř modulů (obr. 16). Hlavní deska zajišťuje ovládání a řízení. Na výkonové desce jsou relé a další obvody, které spínají výkonové komponenty elektroniky akvária. Desky jsou propojeny prostřednictvím plochých kabelů. Třetí deska plošných spojů slouží jako ochranný

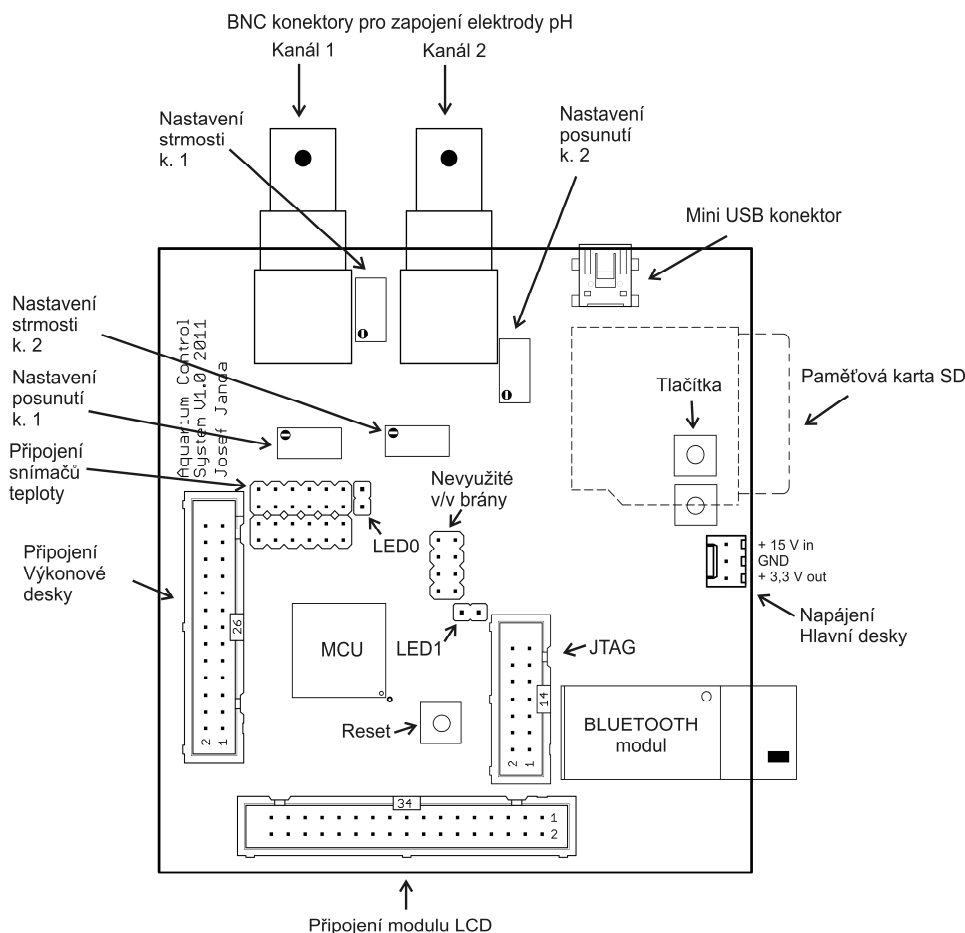


Obr. 17: Blokové schéma systému pro řízení prostředí akvária

obvod záložního akumulátoru. Modul LCD obsahuje dotykový displej, který umožňuje pohodlné ovládání. Pro lepší představu o komponentech jednotlivých desek slouží obr. 17, na kterém je uvedeno blokové schéma systému. Bližší popis napájení je možné nalézt v kapitole 3.3. Mechanickou konstrukci zařízení nebylo nutné podrobněji řešit, protože desky

plošných spojů budou připevněny spolu s ostatními komponenty přímo v krytu osvětlení akvária. V příloze 1 je uvedeno schéma zapojení a návrh všech desek plošných spojů. Následující kapitoly popisují konstrukci jednotlivých modulů.

3.1 Popis konstrukce hlavní desky



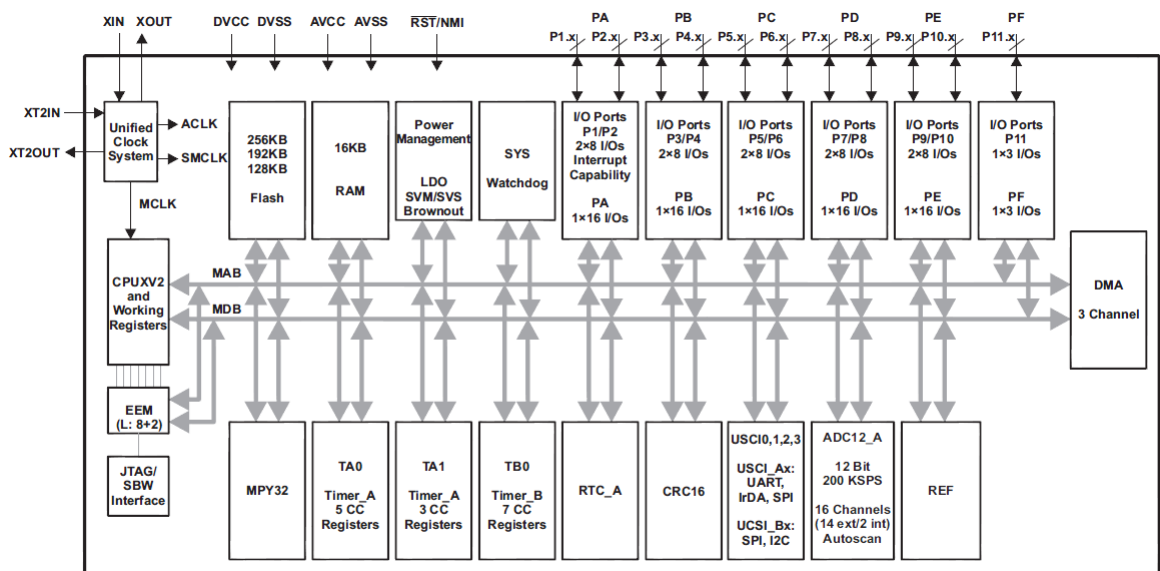
Obr. 18: Rozložení nejvýznamnějších komponent na hlavní desce

Obr. 18 znázorňuje rozložení důležitých komponent hlavní desky, která má rozměry 89x94 mm. Mikrokontrolér zpracovává měřené veličiny, řídí výstupy, zajišťuje zobrazení, přijímá pokyny od uživatele a komunikuje s připojeným PC prostřednictvím USB. K hlavní desce je prostřednictvím plochého kabelu připojen modul LCD s rozlišením 240x320 obrazových bodů. Pomocí dotykového ovládání je nastavování parametrů rychlé a intuitivní. Paměťová karta typu SD poskytne prostor pro uložení konfigurace. Pokud by byly rozšířeny ovladače systému souborů, bylo by možné kartu SD využít také pro záznam měřených veličin. Pro měření teploty může být použito až pět senzorů. Jeden ze senzorů slouží k regulaci topení, druhý hlídá teplotu v krytu akvária, kde je umístěno osvětlení a elektronika. Ostatní senzory mohou být umístěny podle potřeby uživatele pro informativní účely. Více informací o funkcích systému je uvedeno v kapitole 4.1.

Mikrokontrolér MSP430F5438A

Pro řízení systému byl zvolen 16bitový mikrokontrolér řady MSP430, který je hardwarově optimalizován pro implementaci jazyka C jako vývojového prostředku. Vývojář může využít velké množství periférií, které usnadňují vývoj aplikace a šetří výpočetní výkon procesoru. Dále je k dispozici několik režimů snížené spotřeby, které se nejvíce uplatní v aplikacích napájených bateriemi. Z důvodu snadného osazení je v řídicí jednotce použita varianta pouzdra LQFP 100. Mezi vybrané vlastnosti mikrokontroléru MSP430F5438A patří[21]:

- napájecí napětí v rozsahu: 2,2V až 3,6V,
- spotřeba 340 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ při 8 MHz,
- paměť pro program typu FLASH o velikosti 256 kB, paměť dat typu SRAM o velikosti 16 kB,
- provozní frekvence až 25MHz,
- integrovaný obvod reálného času (RTC),
- několik 16bitových časovačů s porovnávacím a zachytávacím režimem (*compare/capture*),
- komunikační rozhraní UART, SPI, I²C,
- převodník AD o rozlišení 12 bitů.



Obr. 19: Blokové schéma mikrokontroléru MSP430F5438A [21]

Na obr. 19 je uvedeno blokové schéma použitého mikrokontroléru podle katalogového listu výrobce [21], [22].

CPU

Mikrokontroléry řady MSP430 mají CPU s 16bitovou RISC architekturou. Všechny operace kromě instrukcí řídících běh programu jsou vykonávány jako operace s registry. K dispozici je sedm způsobů adresování pro zdrojový operand a čtyři způsoby pro adresování operandu cílového. Instrukce pracující s registry (celkem 16) jsou vykonávány během jednoho hodinového cyklu CPU. Čtyři registry (R0 až R3) mají speciální funkce. Registr R0 pracuje jako programový čítač, registr R1 jako ukazatel zásobníku, registr R2 jako stavový registr a registr R3 jako generátor konstant. Ostatní jsou určeny pro obecné použití. Periferie a jejich speciální registry jsou přístupné pro všechny instrukce. Instrukční sada čítá 51 základních instrukcí ve třech formátech. K přístupu do rozšířené paměti jsou k dispozici zvláštní registry. Každá instrukce může zpracovávat jak „slovo“, tak i „byte“ [21], [22].

Generování hodinových taktů mikrokontroléru

Mikrokontroléry MSP430F5438A jsou vybaveny systémem UCS (Unified Clock System), který generuje několik nezávislých hodinových signálů. Jako zdroje signálů mohou sloužit:

- XT1CLK – Oscilátor, který vyžaduje připojení krystalu, rezonátoru nebo externího zdroje hodinového signálu. Může pracovat ve dvou režimech. V režimu s nízkým kmitočtem pracuje se standardními hodinovými krystaly o frekvenci 32,768 kHz. Tato frekvence je vhodná ke generování sekundových intervalů pro obvod reálného času. Druhý režim akceptuje zdroje hodinového signálu v rozsahu 4 až 32 MHz. V tomto projektu se využívá možnost připojení hodinkového krystalu jako zdroje signálu pro RTC.
- VLOCLK – Integrovaný nízkopříkonový oscilátor s typickou frekvencí 10 kHz. Tento oscilátor není v projektu využit.
- REFOCLK – Integrovaný trimovaný oscilátor s frekvencí 32,768 kHz. V projektu není použit.
- DCOCLK – *Digitally-controlled oscillator (DCO)* – Číslicově říditelný oscilátor. Používá se s frekvenčně fázovým závěsem. V projektu není využíván.
- XT2CLK – Oscilátor má stejné vlastnosti jako XT1CLK v režimu pro vysoké frekvence. Tento zdroj hodinového signálu je použit s krystalem 25 MHz pro generování hlavního hodinového signálu systému (MCLK a SMCLK).

Modul UCS je vybaven strukturou přepínačů a děliček, které generují tři nezávislé zdroje hodinových signálů pro jádro a periferie mikrokontroléru [21], [22]:

- ACLK – Auxiliary clock. Pomocný hodinový signál. V tomto projektu se používá k rozvodu signálu o frekvenci 32,768 kHz.

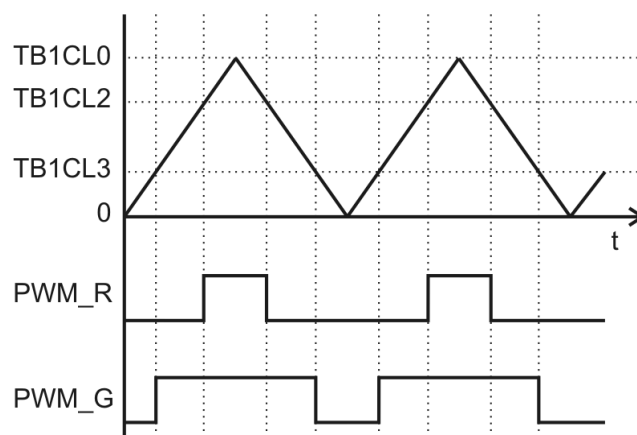
- MCLK – Master clock. Hlavní hodinový signál. Je používán CPU a periferiemi.
- SMCLK – Subsystem master clock. Hlavní hodinový signál vedlejších systémů.

Obvod reálného času RTC (Real TimeCounter)

Logika RTC každou sekundu aktualizuje obsah svých registrů, kde je uchován čas a datum. Jako zdroj hodinového signálu slouží krystal o frekvenci 32,768 kHz. Registry uchovávající čas poskytují hodnotu aktuální hodiny, minuty a sekundy. Registry data obsahují hodnotu dne v týdnu, dne v měsíci, měsíce a roku. V obvodu RTC je implementován algoritmus kalendáře, který počítá dny v týdnu a hlídá přestupné roky. Přestože inkrementace je plně automatická, uživatel musí při manuální editaci údajů (nastavování času) zajistit platnávstupní data (například správný den v týdnu, počet dní v měsíci musí souhlasit s právě nastaveným měsícem apod.). Systém reálného času u použitého typu mikrokontroléru nenabízí možnost zálohovat funkci pomocí záložní baterie[21], [22].

Časovač mikrokontroléru MSP430F5438A

Mikrokontrolér MSP430F5438A je vybaven třemi šestnáctibitovými časovači. Každý z nich má dva vektory přerušení a několik zachytávacích/porovnávacích registrů. V porovnávacím režimu mohou být s výhodou použity ke generování pulsně šířkové modulace (PWM – *Pulse Width Modulation*) signálu bez zatížení CPU. Na obr. 20 je znázorněna konfigurace výstupních bran mikrokontroléru, které prostřednictvím PWM ovládají



Obr. 20: Konfigurace časovače pro generování pulsně šířkové modulace [22]

výkonovou RGB LED. Průběh hodnoty registru časovače je znázorněn trojúhelníkovým průběhem ve vrchní části obrázku. Časovač je nakonfigurovaný tak, aby čítal od nuly až k hodnotě porovnávacího registru TB1CL0. Jakmile této hodnoty dosáhne, začne odčítat opět k nule. V momentě, kdy se hodnota registru časovače rovná hodnotě příslušného porovnávacího registru, změní výstupní brána binární hodnotu výstupního signálu. Obrázek

ukazuje konfiguraci použitou pro regulaci červené (PWM_R) a zelené (PWM_G) výkonové LED.

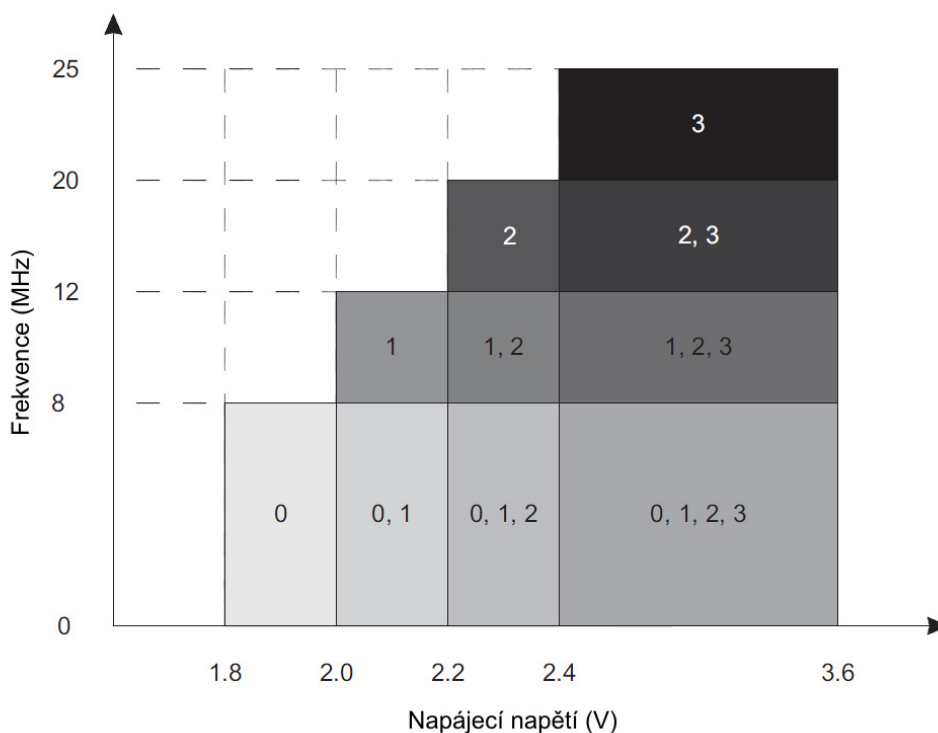
Stejným způsobem je regulován jas podsvícení LCD displeje. Perioda pulsně šířkové modulace je nastavena přibližně na frekvenci 200 Hz. Lidské oko není schopno tak rychlé změny rozlišit a vnímá pouze měnící se jas LED podle nastavené střídy signálu[21], [22].

Analogově digitální převodník

Mezi periferie mikrokontroléru MSP430F5438A patří analogově digitální převodník. Výsledky převodu mohou být poskytovány s rozlišením až 12 bitů. Pro účely měření pH je převodník AD nastaven na maximální rozlišení. Převod je spouštěn softwarově každou sekundu.

Paměť flash a způsoby programování

Pro zapisování do paměti flash bylo při vývoji aplikace používáno rozhraní JTAG. Mikrokontroléry řady MSP430 mají periferii, která na základě komunikace s USB



Obr. 21: Vztah mezi frekvencí a napájením mikrokontroléru [21]

emulátorem poskytuje možnost plnohodnotného ladění. Krokování programu a kontrola obsahu proměnných a paměti velice usnadňuje především hledání chyb v aplikaci. Paměť flash použitého mikrokontroléru lze také programovat pomocí tzv. „bootstraploaderu“. Tento

způsob se používá pro snadnou a rychlou aktualizaci programového vybavení v aplikaci. Často je realizována přímo na místě instalace embedded systému.

Napájení a spotřeba mikrokontroléru

Mikrokontroléry řady MSP430 se vyznačují velmi nízkým odběrem proudu. Při taktovacím kmitočtu 1 MHz a napájecím napětí 3 V je spotřeba maximálně 0,33 mA. V případě taktovacího kmitočtu 25 MHz použitého v aplikaci se spotřeba pohybuje mírně nad 10 mA. V souvislosti s nízkopříkonovou koncepcí mikrokontroléru je k dispozici několik režimů snížené spotřeby, ve kterých se odběr proudu pohybuje v řádech μA . Dalším prostředkem jak snížit příkon mikrokontroléru, je konfigurace vnitřního LDO, který napájí jádro. Pro nižší frekvence stačí nižší napětí, což snižuje celkový odebíraný proud. Nastavení probíhá pomocí speciálního funkčního registru. Obr. 21 znázorňuje, jaké systémové frekvence je možné použít v závislosti na napájecím napětí. Čísla v plných oblastech diagramu jsou přípustné konfigurace speciálního funkčního registru LDO pro danou kombinaci napájecího napětí a provozní frekvence. Nastavení nedostatečného napětí jádra vede k nedefinovatelnému chování mikrokontroléru. Systém bude po většinu doby svého provozu napájen ze sítě, spotřeba mikrokontroléru je tedy téměř zanedbatelná.

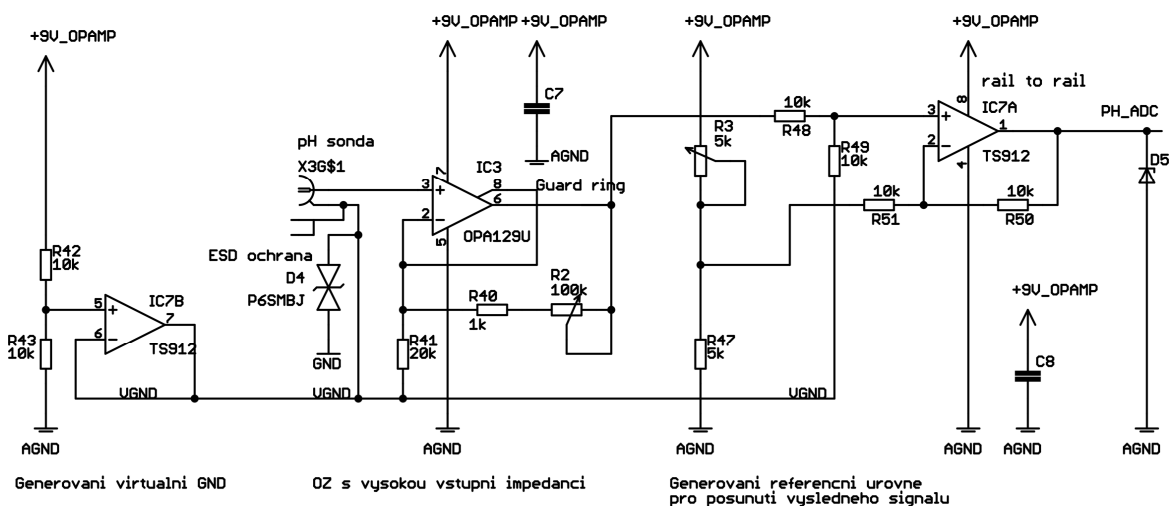
Zapojení mikrokontroléru

V příloze 1 je uvedeno schéma zapojení bezprostředního okolí MCU. Mikrokontrolér je zapojen podle doporučení výrobce a všeobecně platných návrhových pravidel. V těsné blízkosti každé dvojice napájecích bran je umístěn blokovací kondenzátor, který kompenzuje špičky v odběru proudu. Pro programování a ladění je použito rozhraní JTAG. Jako zdroj hlavního hodinového signálu slouží krystal o frekvenci 25 MHz. Krystal s taktem 32,768 kHz poskytuje časovou základnu pro integrovaný modul reálného času.

Obvod pro zpracování signálu ze sondy pH

Na obr. 22 je uvedeno schéma zapojení obvodu pro zpracování signálu ze sondy pH. Kritickým parametrem je vstupní odpor zesilovače. Výstupní odpor sondy pH se pohybuje v řádech stovek megaohmů, což vyžaduje použití operačního zesilovače s velmi nízkým vstupním proudem. V popisovaném zapojení je použit operační zesilovač OPA129 (IC3), který se vyznačuje vstupním proudem v řádu stovek fA. Je zapojen jako neinvertující zesilovač a pomocí víceotáčkového odporového trimru R2 je možné nastavit jeho zesílení.

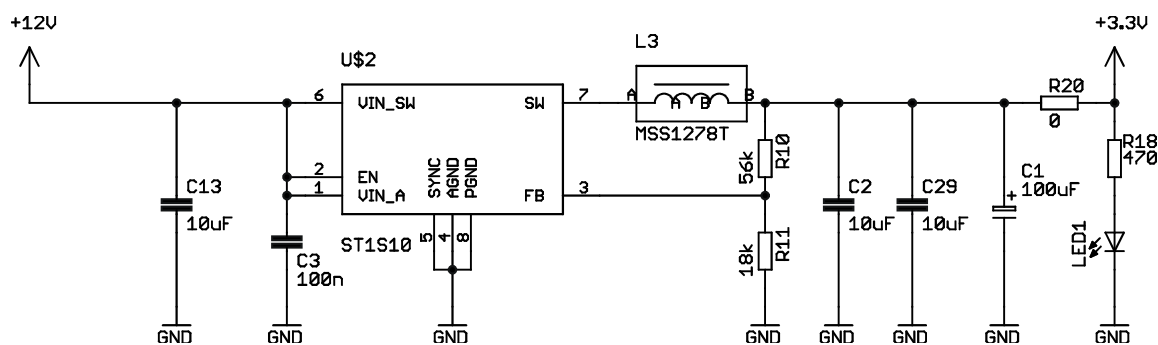
Operační zesilovač TS912 (IC7B) a rezistory R42 a R43 slouží ke generování tzv. virtuální země. Je to způsob, jak se vyhnout nutnosti generovat záporné napětí pro napájení operačních zesilovačů a jedná se o úroveň napětí, která je rovna polovině napětí napájecího. Napěťový dělič tvořený rezistorem R27 a trimrem R3 a diferenční zesilovač realizován OZ IC7A slouží k posunutí signálu z OPA129 směrem k zemi napájecího napětí. Pomocí dvojice trimrů R2 a R3 je také možné pH sondu kalibrovat. Kalibrace pH sondy je podrobně popsána v kapitole 1.1



Obr. 22: Obvod pro zpracování signálu ze sondy pH

Přesnost měření pH je ovlivněna chybami celého řetězce od elektrody pH přes obvod pro zpracování signálu až po převodník AD mikrokontroléru. Přesnost elektrody je obtížné vyjádřit, neboť v průběhu času mění svoje vlastnosti a vyžaduje průběžnou kalibraci. Pro akvarijní účely dostačuje celková přesnost měření pH kolem $\pm 0,1$ pH. V případě nutnosti jejího zvýšení by bylo zapotřebí provést několik úprav obvodu. Jedná se především o využití přesné reference pro generování napěťové úrovně virtuální země obvodu. Dalo by se také uvažovat o zvýšení napájecího napětí operačního zesilovače OPA129U, neboť použitá úroveň je na spodní hranici napájecího rozsahu. Praktické měření vlastností obvodu potvrdilo lineární odezvu, a proto s ohledem na požadavky na měření nejsou změny nutné.

Spínaný měnič napětí typu step down ST1S10PHR



Obr. 23: Schéma zapojení obvodu ST1S10[23]

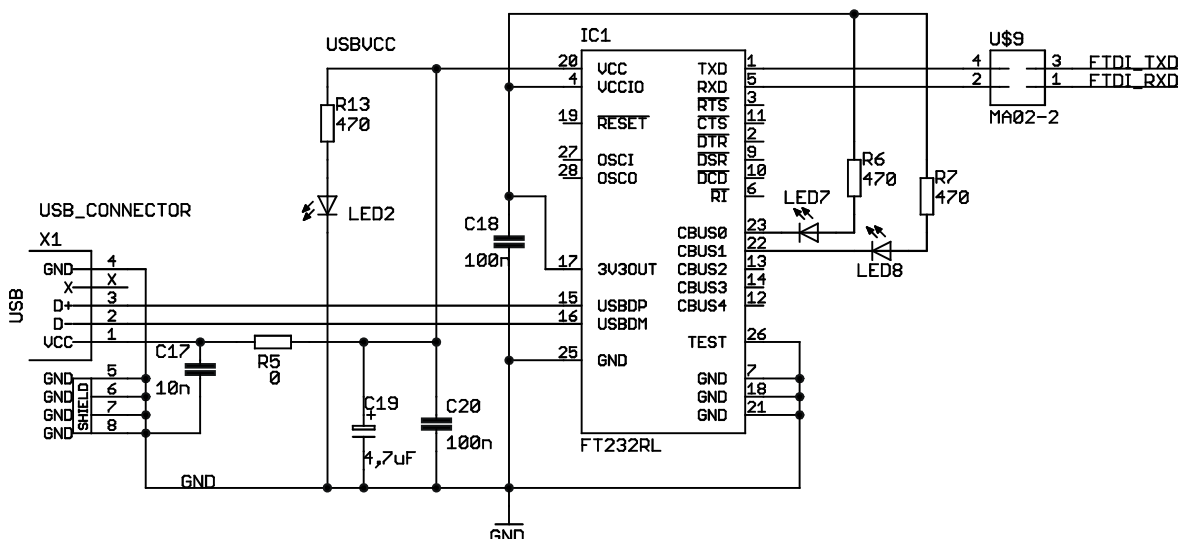
Pro větší efektivitu generování napájecího napětí bude použit v 3,3 V větvi spínaný měnič napětí typu step down. Výhodou ST1S10PHR je potřeba minimálního množství vnějších

součástí. Naobr. 23 je uvedeno schéma zapojení spínaného měniče vycházející ze základního zapojení uvedené v [23]. Mezi vlastnosti ST1S10PHR patří[23]:

- vstupní napětí v rozsahu 2,5 V až 18 V,
- výstupní napětí od 0,8 V do 85 % ze vstupního napětí,
- výstupní proud až 3 A,
- efektivita až 90%,
- ochrana proti zkratu na výstupu.

Obvod FT232RL

Obvod FT232RL je zapojen (obr. 24) podle doporučeného zapojení uvedeného v katalogovém listu výrobce[28]. Je použita asynchronní sériová komunikace bez hardwarového řízení toku. Celý obvod je napájen z USB a logické obvody komunikačního rozhraní jsou napájeny z vnitřního stabilizátoru 3,3 V pro přizpůsobení napěťové úrovní mikrokontroléru[28].



Obr. 24: Schéma zapojení obvodu FT232RL[28]

Vlastnosti obvodu

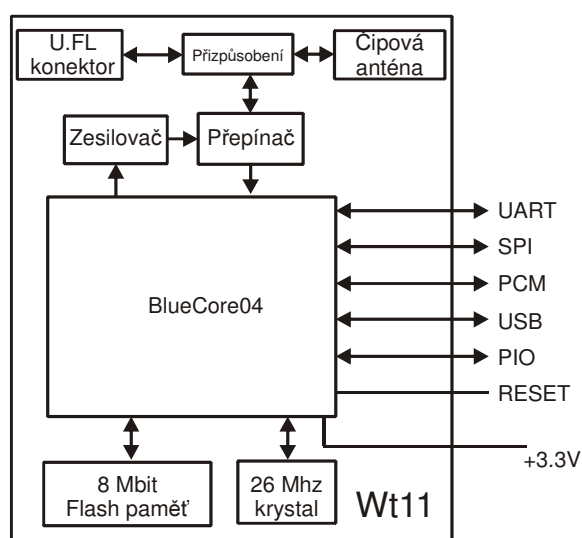
- Převodník USB na UART,
- integrovaná 1024 bit EEPROM pro ukládání konfigurace,
- rychlost přenosu dat od 300 baud do 300 Mbaud (RS422, RS485, RS232) v TTL úrovních,
- 256 byte přijímací a 128 byte vysílací vyrovnávací paměť,
- USB 2.0 *Full speed* kompatibilní[28].

Modul bezdrátového rozhraní Bluetooth WT11

WT11 nabízí jednoduché řešení implementace bezdrátové technologie Bluetooth bez ohledu na podrobné znalosti v oblasti vysokofrekvenční techniky. V tomto projektu je použita verze s integrovanou čipovou anténou. Modul je vybaven firmwaremi WRAP, který umožňuje konfiguraci pomocí příkazů ASCII přes sériovou linku, podobně jako běžný modem. Na obr. 25 je uvedeno blokové schéma modulu. Mezi další vlastnosti modulu patří [29]:

- specifikace Bluetooth v2.0,
- třída 1, dosah až 300 metrů,
- provozní teplotní rozsah: -40 až 85°C,
- 8Mbit interní paměť typu flash,
- uživatelsky programovatelné v/v brány.

Modul bluetooth je osazen na hlavní desce, ale není zatím využíván. Doplnění programového vybavení pro komunikaci s modulem je jeden z námětů pro budoucí vylepšení systému.



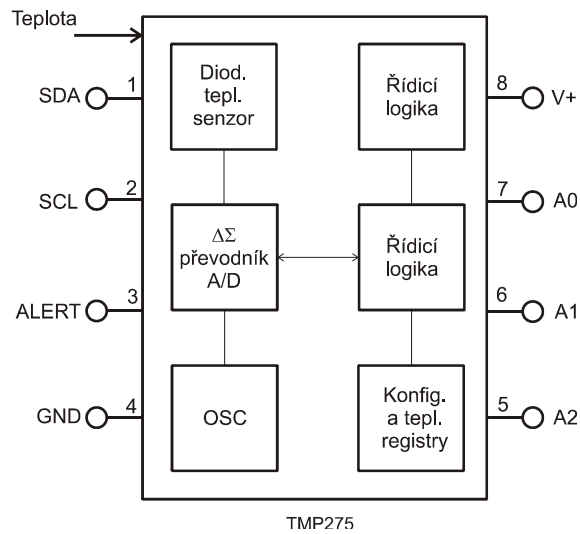
Obr. 25: Blokové schéma Bluetooth modulu WT11[29]

Snímač teploty TMP275

Snímač teploty TMP275 měří s přesností 0,5 °C. Komunikace s mikrokontrolérem je realizována pomocí sériového rozhraní I²C. Teplota je snímána přímo na čipu obvodu. Na obr. 26 je znázorněno blokové schéma. Mezi základní vlastnosti patří:

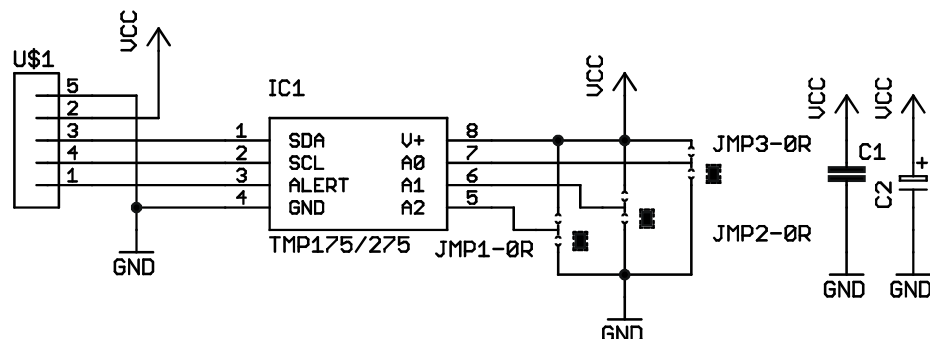
- sériové komunikační rozhraní I²C,
- rozlišení 9 až 12 bitů,

- přesnost $\pm 0,5$ °C v rozsahu teplot -20 °C až $+100$ °C,
- rozsah napájecího napětí 2,7 V až 5,5 V [27].



Obr. 26: Blokové schéma obvodu TMP275[27]

Obvod je osazen na samostatném modulu, který je připojen do hlavní desky. Digitální přenos dat zajistí, aby měřená teplota nebyla ovlivněna rušením i při použití delších přívodních vodičů. Na obr. 27 je zobrazeno schéma zapojení modulu. Prostřednictvím vstupních bran A0, A1 a A3 se provádí konfigurace adresy obvodu v rámci komunikační sběrnice I²C.



Obr. 27: Schéma zapojení modulu s teplotním senzorem

Paměťová karta SD

Karty typu SD mohou komunikovat pomocí protokolu SD nebo pomocí protokolu SPI. Pro komunikaci s mikrokontrolérem je vhodné použít protokol SPI, protože je mikrokontrolérem podporován na hardwarové úrovni. Paměťové karty typu SD obsahují řadič, který zprostředkovává komunikaci mezi hostitelským systémem a pamětí karty. To znamená, že při vývoji paměťové části je zajištěna zpětná kompatibilita integrace

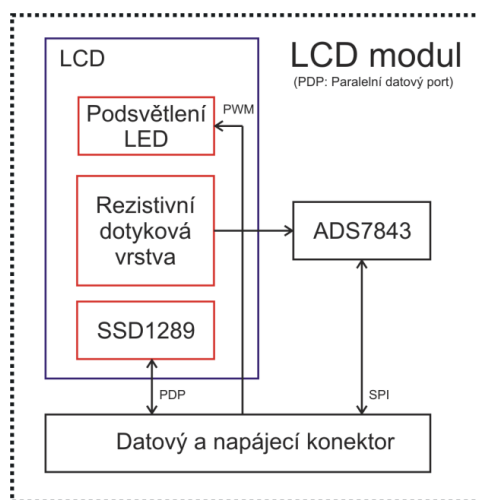
paměťového média v systému, neboť způsob komunikace s hostitelem zůstane zachován. Mezi další vlastnosti karty SD patří:

- automatické přepnutí do úsporného režimu při nečinnosti,
- ochrana proti zápisu určité oblasti paměti,
- systém označení chybných částí paměti (podobně jako u magnetických disků), atd.

Nejmenší zapisovaná a čtená jednotka dat je blok o velikosti 512 bajtů. U některých typech karet je možné tuto velikost změnit, standardní hodnota je však nejvíce kompatibilní se souborovým systémem. Sektor je nejmenší část, která se dá samostatně mazat a je v něm seskupeno vždy několik bloků[35].

3.2 Modul HY32D - LCD s odporovou dotykovou vrstvou

Jako zobrazovací a ovládací jednotka slouží barevný LCD o úhlopříčce 3,2 palce s integrovanou dotykovou snímací plochou. Rozlišení 320 x 230 obrazových bodů umožní přehledné zobrazení většího množství údajů najednou. Modul displeje je realizován na samostatné desce plošných spojů a byl zakoupen jako hotový výrobek. Na obr. 28 je uvedeno jeho blokové schéma.

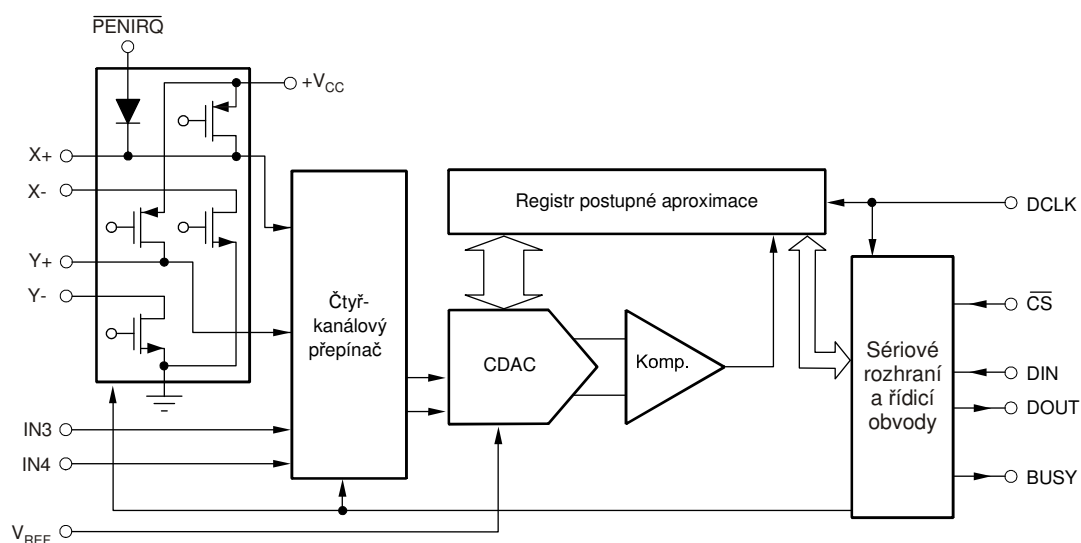


Obr. 28: Blokové schéma LCD modulu

Displej je řízen pomocí integrovaného řadiče SSD1289 od firmy SolomonSystech, který komunikuje s mikrokontrolérem prostřednictvím 16bitového paralelního rozhraní. Funkce integrované v řadiči usnadňují a urychlují vykreslování grafiky na displej. Mezi základní funkce kontroléru SSD1289 patří:

- automatická inkrementace adresy při zápisu dat obrazového bodu,
- režim *window mode* pro snadné vykreslování obdélníkových tvarů,
- volitelné směry automatické inkrementace adresy obrazového bodu[25].

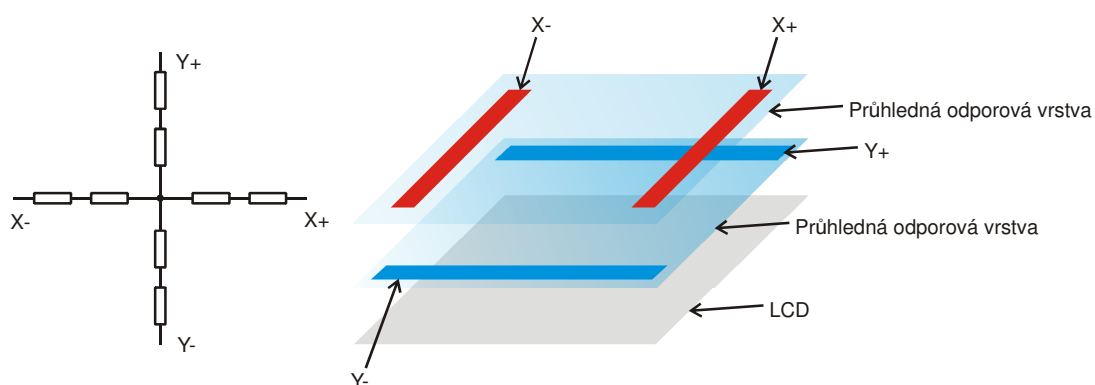
Informace o poloze z dotkové vrstvy zpracovává obvod ADS7843, který je integrován na modulu HY32D. Komunikace mikrokontroléru s obvodem je realizována prostřednictvím SPI. Na obr. 29 je uvedeno blokové schéma obvodu [26].



Obr. 29: Blokové schéma obvodu ADS7843[26]

Princip funkce odporové vrstvy dotekového ovládání

Na pravé straně obr. 30 je znázorněna struktura dotekového ovládání, které je založené na odporovém principu. Tvoří ho dvě průhledné fólie, na kterých je rovnoměrně nanesena odporová vrstva. Napařené elektrody zajišťují propojení s vyhodnocujícími obvody a určují, v jakém směru bude příslušná vrstva snímat souřadnice doteku. Na levé straně obrázku je náhradní elektrické schéma odporového dotekového ovládání. Uzel uprostřed představuje místo doteku[26].

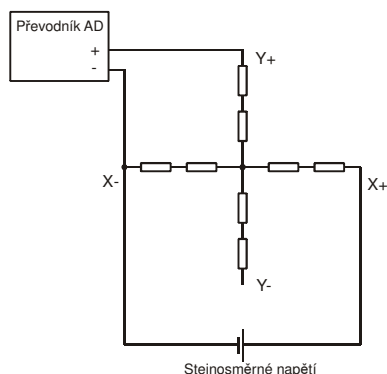


Obr. 30: Náhradní schéma odporového dotekového ovládání a jeho struktura [26]

Příklad vyhodnocení souřadnice X

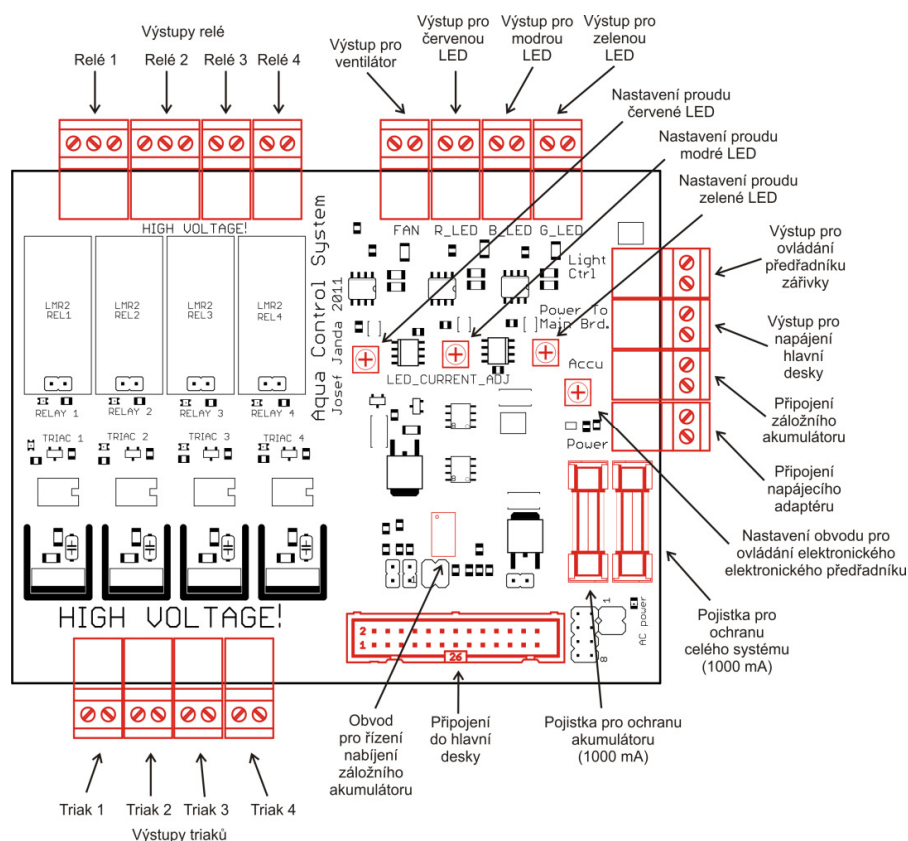
Na obr. 31 je znázorněn princip vyhodnocování souřadnice doteku v ose X. Na elektrody X+ a X- je přivedeno stejnosměrné napětí. Prostřednictvím elektrody Y+ nebo Y- je možné

měřit napětí na děliči mezi elektrodami X+ a X-. Napětí je přímo úměrné souřadnici X místa dotyku. Místo doteku souřadnice Y je vyhodnocena podobným způsobem jako místo doteku souřadnice X[26].



Obr. 31: Příklad vyhodnocení souřadnice doteku v ose X[26]

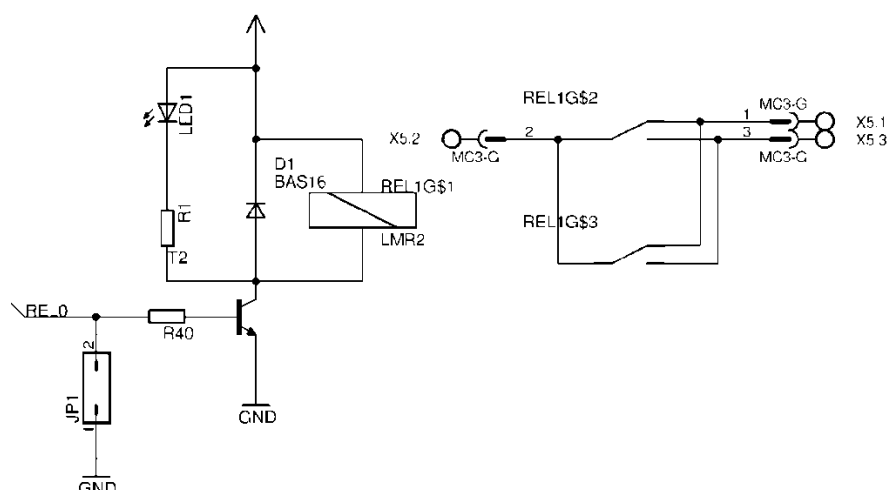
3.3 Popis konstrukce výkonové desky



Obr. 32: Rozložení komponent na výkonové desce

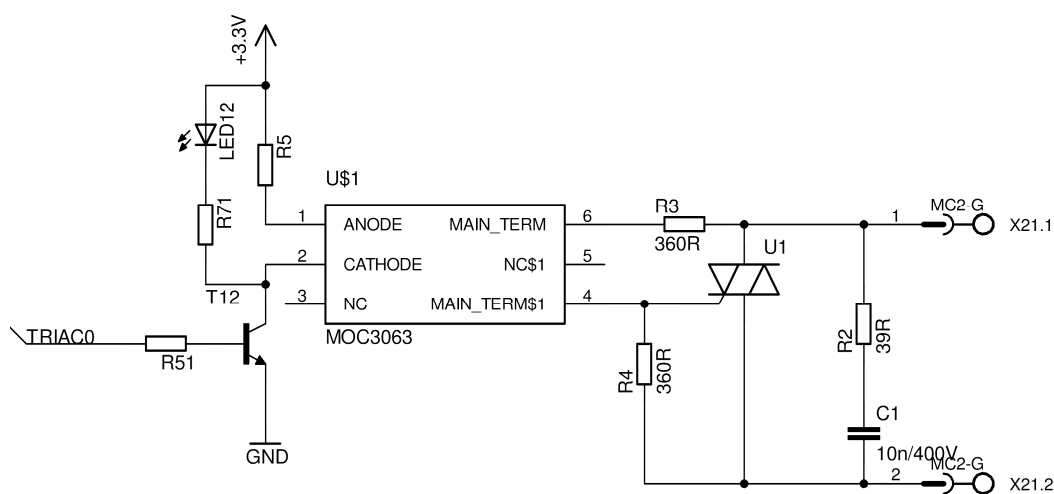
Výkonová deska má rozměry 120x94 mm a na obr. 32 je uveden popis nejdůležitějších komponent. Obsahuje čtyři relé a čtyři triaky. Dále obsahuje obvody pro řízení výkonových RGB LED a nabíječ záložního Li-Pol akumulátoru spolu se systémem přepínání zdrojů. Tyto komponenty jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách.

Obvody relé a triaků pro spínání výkonové zátěže



Obr. 33: Schéma zapojení relé

Na obr. 33 je uvedeno schéma zapojení relé. Vodič označený REL0 je přímo připojen na v/v bránu mikrokontroléru na hlavní desce přes plochý signálový kabel. Tranzistor T2 je zapojen jako spínač a pracuje v režimu saturace. Dioda D1 je zapojena antiparalelně s cívkou relé LMR2. LED1 signalizuje sepnuté relé.

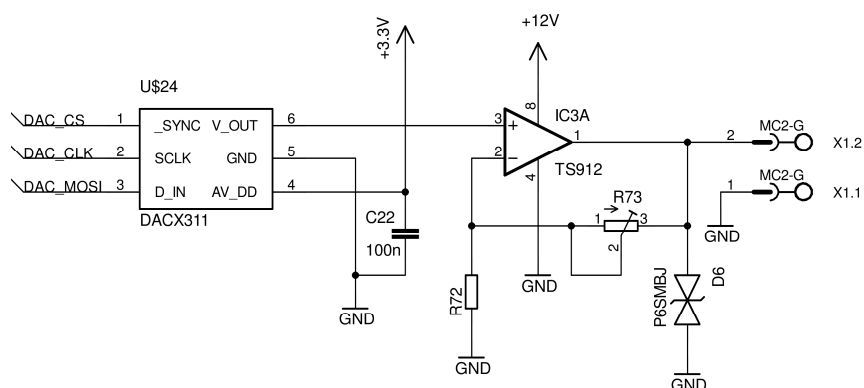


Obr. 34: Schéma zapojení triaku

Na obr. 34 je uvedeno schéma zapojení triaku pro spínání výkonové zátěže na síťové napětí. Integrovaný obvod MOC3063 je optotriak s obvodem zajišťujícím spínání v nule. Součástka U1 je triak BTA08 v pouzdru TO220. Dovoluje spínat proud o hodnotě až 8 A. Celý obvod je zapojený podle doporučení výrobce optotriaku v katalogovém listu[31].

Obvod pro ovládání předřadníku zářivky hlavního osvětlení

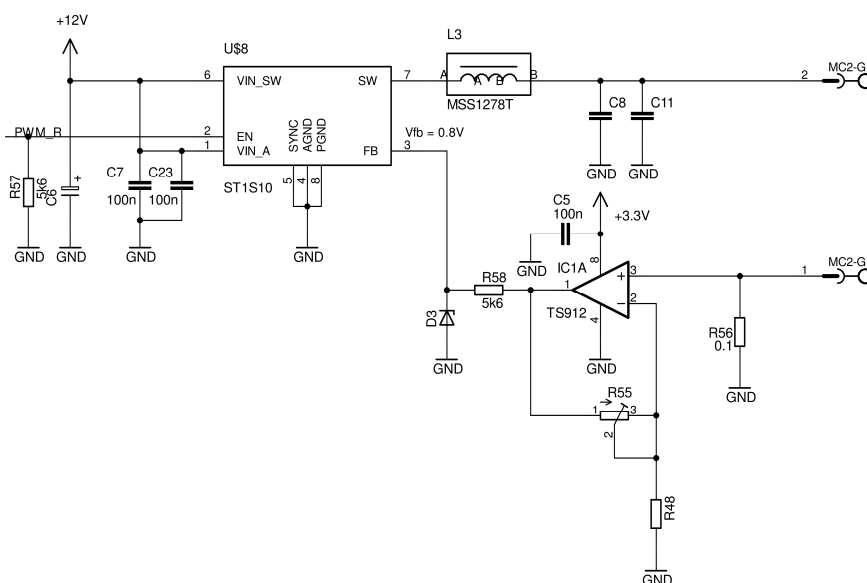
Hlavní osvětlení akvária bude zajištěno zářivkou řízenou elektronickým předřadníkem. Předřadník umožňuje plynulé řízení jasu od zhasnutého svítidla až po plný jas. Standardní řídicí signál u elektronických předřadníků je napětí v rozsahu 0 (zhasnuto) až 10 V (plný jas).



Obr. 35: Schéma zapojení obvodu pro ovládání elektronického předřadníku zářivky

Na obr. 35 je uvedeno schéma obvodu, který generuje ovládací napětí. Integrovaný obvod DAC5311 je převodník DA[32], jehož výstup je připojen k neinvertujícímu vstupu operačního zesilovače TS912. Operační zesilovač je zapojen jako neinvertující. Pomocí trimru R73 je možné nastavit zesílení a tím i nejvyšší napětí na výstupu obvodu.

Proudový zdroj pro napájení výkonové RGB LED



Obr. 36: Schéma zapojení proudového zdroje výkonové LED

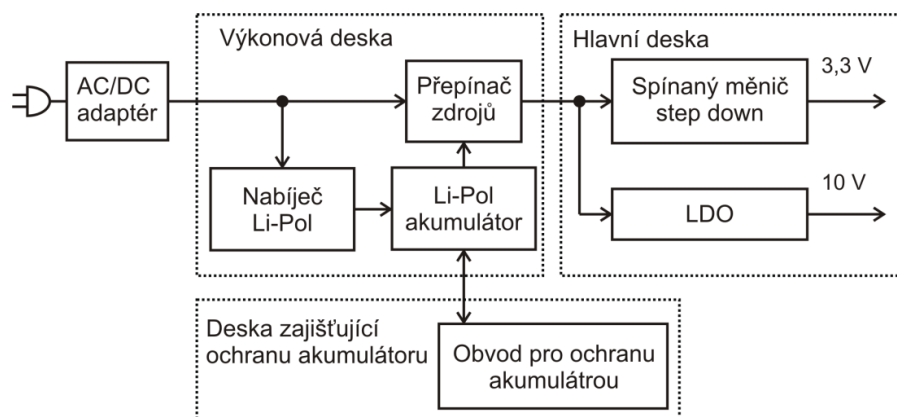
Obvod uvedený na obr. 36 slouží jako proudový zdroj pro napájení výkonové LED diody. Zapojení respektuje doporučení výrobce obvodu ST1S10 v aplikační poznámce [24]. Zpětná vazba obvodu ST1S10 (snižující DC – DC měnič) nastavuje výstup takovým způsobem, aby bylo na vstupu FB napětí rovno 0,8V. Generovaný proud prochází snímacím odporem R56 o malé hodnotě (0,1 Ω). Zesilovač realizovaný OZ TS912 zesiluje nízký úbytek napětí. Trimr R55 určuje hodnotu regulovaného proudu. Jas výkonové LED je řízen prostřednictvím PWM signálu o frekvenci 100 Hz přivedeného na vstup EN, který v log. 0 vyřadí z činnosti spínaný zdroj. Vzhledem k tomu, že frekvence oscilátoru ST1S10 je přibližně 1 MHz, PWM signál s frekvencí 100 Hz neovlivní funkci DC – DC převodu. Více informací o principu zapojení je možné nalézt v aplikační poznámce [24].

Vstupní napětí obvodu může být až 18 V (limit ST1S10). Výstupní napětí se pohybuje v rozsahu 0,8 V až 85 % z napájecího napětí. Při napájení systému napětím 15 V ze síťového zdroje je možné bez problému připojit jednu až tři výkonové LED sériově (max. 3 x 3,5 V). Současné zapojení dovoluje regulovat (trimr R55) výstupní proud v rozsahu přibližně od 250 mA do 600 mA. Pokud by se upravily hodnoty konfiguračních odporů zpětnovazebního zesilovače, mohl by zdroj poskytnout teoreticky až 3 A kontinuálně (limit ST1S10). Změřené zvlnění výstupního napětí se pohybuje do 200 mV (napájení 15 V, výstupní proud 600 mA, výstupní napětí 6 V). Účinnost převodu napětí je až 90 %.

Problémy se stabilitou zpětné vazby

Při oživování spínaného proudového zdroje bylo zjištěno, že výstupní napětí spínaného zdroje má zvlnění větší než 1 V při frekvenci přibližně 1 kHz. Pro tyto případy doporučuje katalogový list [23] doplnit kapacitu mezi vstupní bránu zpětné vazby a výstup spínaného zdroje. Po přidání kondenzátoru o hodnotě přibližně 1 nF již zvlnění výstupu nepřesahuje 100 mV na frekvenci přibližně 1 MHz, což je frekvence DC-DC převodu.

Obvody zajišťující napájení systému



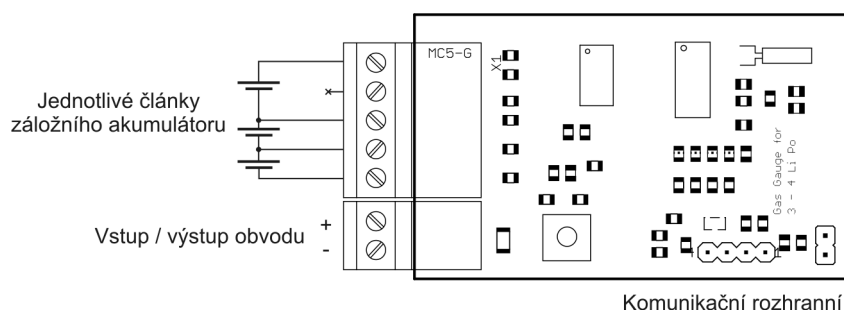
Obr. 37: Blokové schéma napájení systému

Hlavním zdrojem elektrické energie je AC/DC adaptér připojený k síťovému napětí. V případě výpadku síťového napětí zajišťuje tříčlánkový akumulátor Li-Pol zálohu napájení. Na obr. 37 je uvedeno blokové schéma napájení celého systému.

Napětí z adaptéru je přivedeno do rozšiřující desky. Zde je z něho napájen obvod pro nabíjení záložního akumulátoru. Přepínač zdrojů preferuje AC/DC adaptér a pouze v případě jeho výpadku automaticky přepne na akumulátor. V katalogovém listu [23] je možné nalézt podrobnější informace o principu přepínání zdrojů.

V příloze 2 je uvedeno schéma zapojení, které slouží jako nabíjecí obvod a přepínač zdrojů. Nabíječ je založen na specializovaném integrovaném obvodu BQ24703 od firmy Texas Instruments. Obvod funguje na principu DC – DC měniče a zajišťuje plně automatické nabití připojeného Li-Pol akumulátoru. Nastavení všech parametrů je realizováno prostřednictvím rezistorů. Zapojení vychází z doporučeného zapojení výrobce a je blíže popsáno v katalogovém listu [34].

3.4 Popis konstrukce obvodu pro ochranu záložního akumulátoru Li-Pol



Obr. 38: Obvod pro ochranu záložního akumulátoru Li-Pol

Akumulátory Li-Pol jsou citlivé na změnu napětí jednotlivých článků mimo stanovené meze. Při překročení napětí článku nad 4,2 V dochází k jeho degradaci a při dlouhodobějším přebíjení může dojít k úniku elektrolytu a následně k požáru. Pokles napětí pod 2,5 V neznamená možnou příčinu požáru, ale článek také nevratně poškozuje. Na obr. 38 je znázorněno připojení záložního akumulátoru k realizovanému modulu, který má rozměry 58x35 mm. Dvojice integrovaných obvodů BQ29311 a BQ2083 od firmy Texas Instruments zajišťují kompletní monitorování a ochranu připojeného tří nebo čtyř článkového akumulátoru. Jsou využívány následující funkce:

- odpojení akumulátoru při poklesu napětí alespoň jednoho z článků pod stanovenou mez,
- odpojení akumulátoru při překročení napětí alespoň jednoho z článků přes stanovenou mez,

- balancování napětí článků proudem až 10 mA.

Poskytují další funkce, které ale nejsou v systému využívány:

- souvislé měření dodaného a odebraného náboje,
- poskytování informace o zbývajícím náboji,
- automatická kalibrace obvodu při úplném cyklu nabití-vybití.

Obvod BQ2083 komunikuje s nadřazeným systémem prostřednictvím sběrnice SMBUS, která je velmi podobná standardu I²C, a za určitých podmínek je s ní kompatibilní. Jedním z námětů na budoucí rozšíření funkce systému je využití více možností těchto obvodů. Po hardwarové stránce by stačilo propojit ochrannou desku s hlavní deskou komunikační sběrnici I²C. Schéma zapojení je uvedeno v příloze 3. Další informace je možné nalézt v [30] a [33].

4 Programové vybavení mikrokontroléru a ovládání systému

Firma Texas Instruments nabízí pro své mikrokontroléry vývojové prostředí CodeComposer Studio. Vychází z platformy Eclipse a nabízí plnohodnotné programování a ladění v programovacím jazyku C nebo C++. Použitý mikrokontrolér disponuje 16 kB operační pamětí. To je předpoklad pro bezproblémovou implementaci vyššího programovacího jazyka. Při návrhu programového vybavení pro mikrokontrolér by měl programátor brát v úvahu jeho omezený výpočetní výkon a hlídat množství využití paměti RAM. Je důležité mít stále alespoň přibližně přehled o zaplnění zásobníku. To znamená vědět, do jaké hloubky se může program při svém běhu a volání funkcí zanořit a kolik si každá funkce alokuje paměti. Do zásobníku se ukládají návratové hodnoty programového čítače a také lokální proměnné volaných funkcí. Zásobník se zpravidla nachází na konci paměti RAM a od konce se také plní. V prostředí CodeComposer Studio je nutné nastavit jeho dostatečnou velikost. Dále je potřeba hlídat velikost oblasti dynamicky alokované paměti. Do této oblasti paměti RAM se ukládají data dynamicky alokovaných proměnných (například pomocí operátoru malloc nebo new). Velikost paměti RAM vyhrazené těmto účelům je také nutné nastavit ve vývojovém prostředí. Dále se v paměti RAM nachází tzv. globální proměnné.

4.1 Funkce programu a struktura uživatelského rozhraní

Programové vybavení mikrokontroléru musí zajistit řízení celého systému a jeho konfiguraci. Mezi hlavní funkce systému patří:

- měření teploty,
- regulace topení,
- měření pH,
- regulace pH,
- řízení intenzity hlavního a vedlejšího osvětlení.

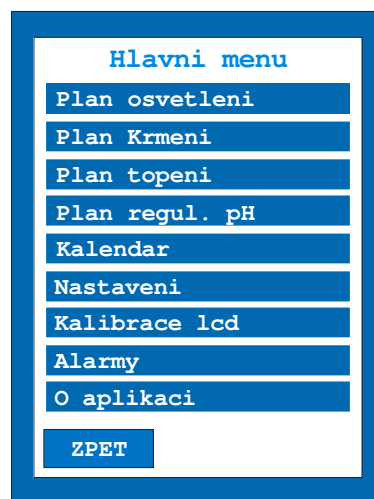
Uživatelské rozhraní, které komunikuje prostřednictvím dotykového LCD displeje, nabízí následující funkce:

- zobrazení měřených údajů na LCD displeji na hlavní obrazovce,
- zobrazení času a data,
- konfiguraci plánu topení, plánu osvětlení, nastavení času a intenzity podsvícení LCD,
- plánovací kalendář.

Hlavní obrazovka a ukázka hlavního menu

Na obr. 39 je naznačeno rozložení zobrazovaných informací na výchozí obrazovce uživatelského rozhraní. Zde se zobrazují údaje získávané z akvária a jeho okolí.

Tepl. Vody 28.6 (28.5)		Tepl. Kryt 34.6 (35.5)	
Teplota 2 25.0		Teplota 3 23.9	
pH 6.30 (6.02)		UT 4.0	CO2 84.00
Hl.osv.: 050 R-LED: 050		G-LED: 050 B-LED: 050	
Topeni: <input checked="" type="checkbox"/>	Co2 ventil: <input checked="" type="checkbox"/>		
Triac1: <input type="checkbox"/>	Krmeni: <input type="checkbox"/>		
Triac2: <input checked="" type="checkbox"/>	Rele2: <input type="checkbox"/>		
Triac3: <input type="checkbox"/>	Rele3: <input checked="" type="checkbox"/>		
Aquarium Control System			
12:23:12 2012 17.Brz	Status: OK	MENU	



Obr. 39: Ukázka výchozí obrazovky uživatelského zobrazení

Obr. 40: Ukázka hlavního menu

- *Teplota vody*(°C): Údaj v levé části pole představuje aktuální teplotu a hodnota v závorce ukazuje právě nastavenou předvolbu teploty vody akvária, podle které se řídí regulace topení.
- *Teplota krytu*(°C): Údaj v levé části pole představuje aktuální teplotu uvnitř krytu osvětlení. Při překročení hodnoty v závorce dojde ke spuštění chladicího ventilátoru.
- *Teplota 2 a Teplota 3*(°C): Tyto hodnoty nejsou využity k regulaci a slouží k monitorování různých míst akvária nebo okolí.
- *pH*: Údaj v levé části znamená aktuální hodnotu pH. V závorce je aktuální přednastavená hodnota, podle které se řídí regulace.
- *UT* (°dKH): Přednastavená uhličitánová tvrdost vody. Tuto hodnotu je nutné do systému zadat manuálně.
- *CO₂*(mg/l): Přibližná koncentrace rozpuštěného CO₂ ve vodě. Údaj je určován ze zadané hodnoty UT a měřeného pH. Pro přepočítání se používá Tillmanova tabulka.
- *Hl. osv.* (%): Vyjadřuje nastavenou intenzitu hlavního zdroje osvětlení akvária.

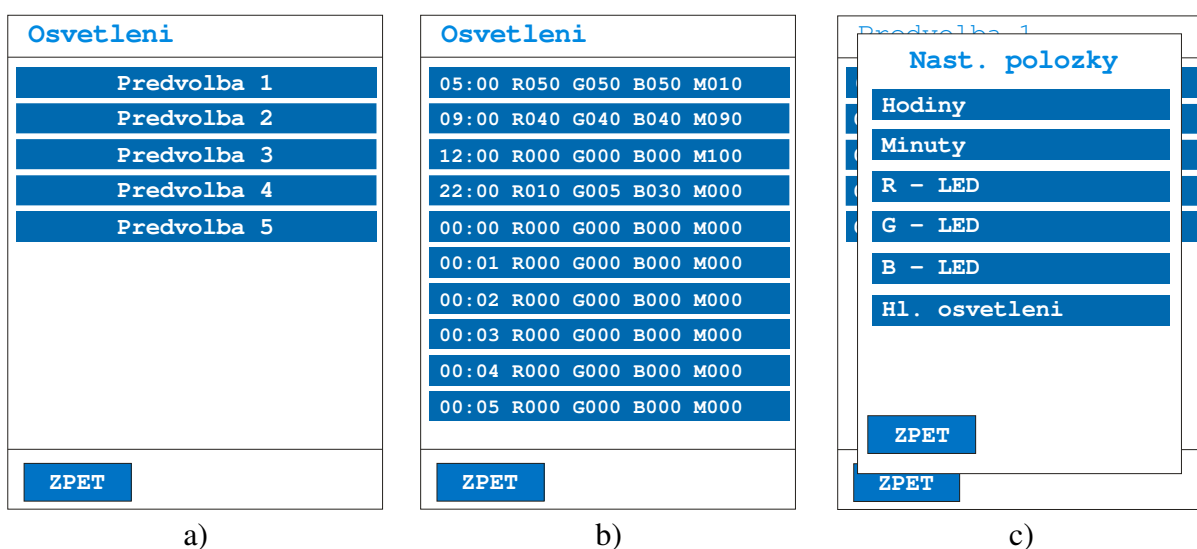
- *R-LED, G-LED, B-LED(%)*: Intenzita složek pomocného osvětlení výkonovou RGB LED.
- *Topení*: Signalizuje aktivitu výstupu ovládajícího topení.
- *CO₂ ventil*: Signalizuje aktivitu výstupu ovládajícího připouštění CO₂ do akvária pro regulaci pH.
- *Krmení*: Signalizuje aktivitu výstupu ovládajícího automatický dávkovač krmení.
- *Triac1, Triac2, Triac3, Rele2, Rele3*: Signalizace aktivity uživatelsky programovatelných výstupů. Spínání výstupů je možné plánovat pomocí plánovacího kalendáře.

Stisknutí tlačítka MENU v pravém spodním rohu vyvolá hlavní menu (obr. 40). V následujících kapitolách jsou popsány jednotlivé položky.

Řízení osvětlení

Jako hlavní zdroj osvětlení prostoru akvária slouží zářivka s elektronickým předřadníkem, který umožňuje plynulou regulaci jasů. Dalším zdrojem osvětlení je výkonová RGB LED. Pro konfiguraci osvětlení je k dispozici pět nezávislých předvoleb (obr. 41, a). Jednotlivé předvolby je možné přepínat prostřednictvím plánovacího kalendáře.

V rámci předvoleb je možné nastavit intenzitu jednotlivých složek osvětlení (obr. 41, b, c). Změna intenzit osvětlení nastane vždy v okamžiku, kdy se systémový čas rovná času



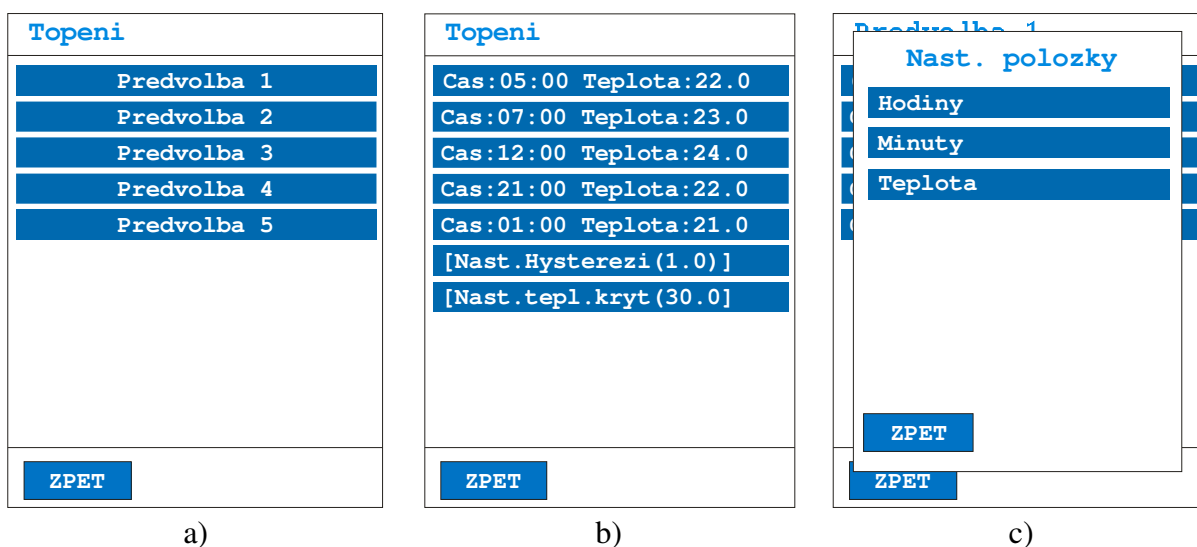
Obr. 41: Ukázka GUI pro konfiguraci řízení osvětlení

u jednotlivých předvoleb. Pro správnou funkci je důležité, aby nastavené časy jednotlivých

řádků byly řazeny vzestupně (obr. 41, b). Databáze nastavení je uložena na kartě SD v souboru *lightlst.dat*, který je automaticky aktualizován při každé změně nastavení.

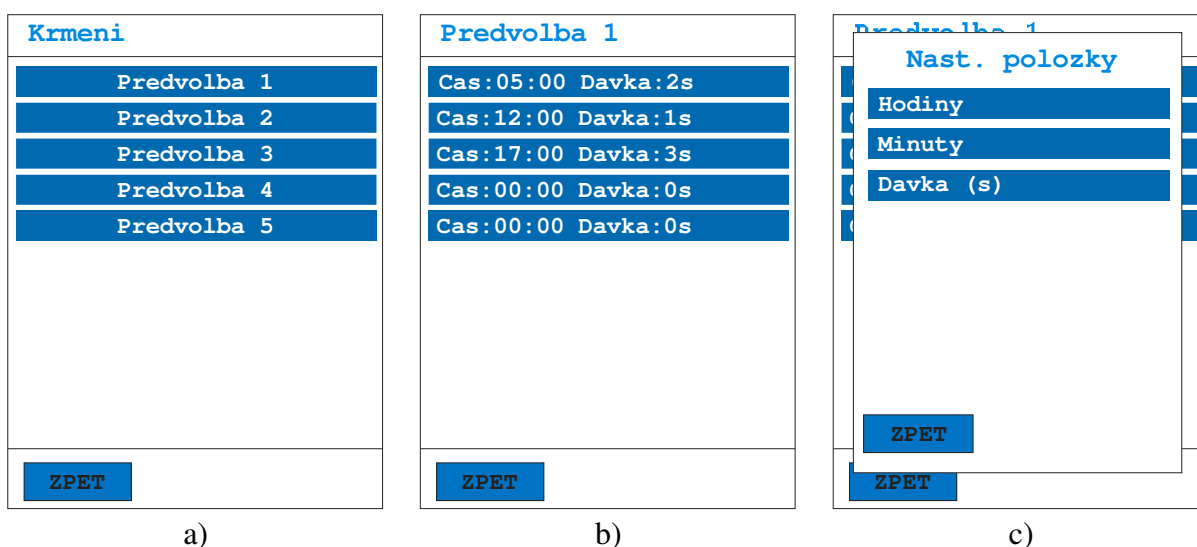
Regulace topení

Pro konfiguraci regulace topení je k dispozici pět nezávislých předvoleb (obr. 42, a), které je možné přepínat pomocí plánovacího kalendáře. Každá předvolba obsahuje nastavení pěti různých teplot, které začnou být aktivní v nastavený čas (obr. 42, b). Pro ukázkou platí: od 5:00 do 7:00 hodin bude udržována teplota 22 °C, od 7:00 do 12:00 teplota 23 °C atd. Všechny položky jsou konfigurovatelné pomocí dialogového okna (obr. 42, c). Databáze nastavení je uložena na SD kartě v souboru *heatlist.dat*, který je automaticky aktualizován při každé změně nastavení.



Obr. 42: Ukázka GUI pro konfiguraci regulace topení

Automatické krmení

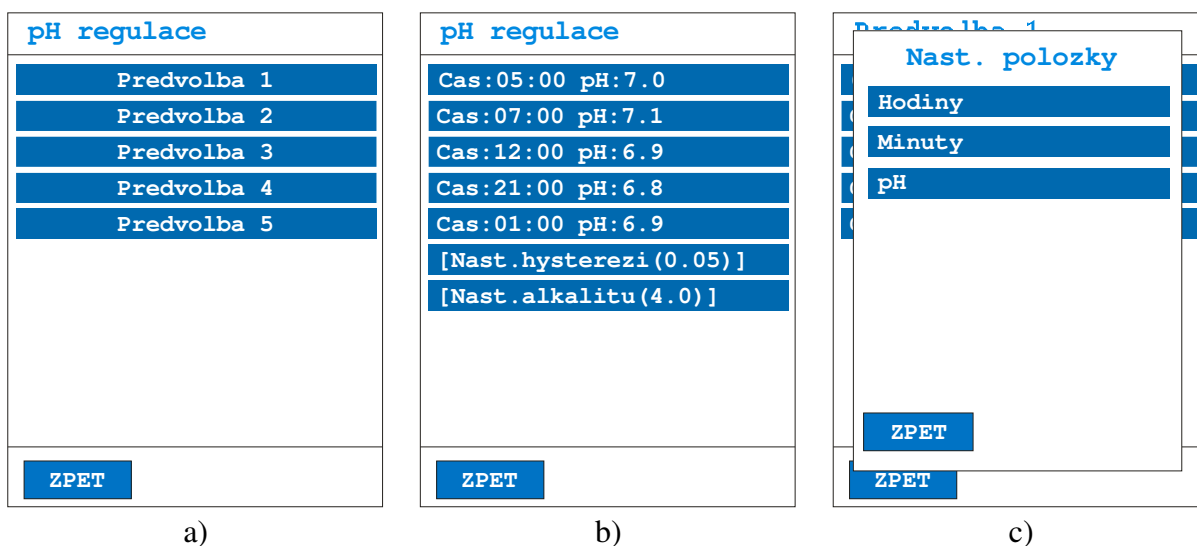


Obr. 43: Ukázka GUI pro konfiguraci automatického krmení

Pro automatické krmení je k dispozici pět nezávislých předvoleb (obr. 43, a), které je možné přepínat pomocí plánovacího kalendáře. Ve stanovených časech dojde k aktivaci výstupu krmení po dobu nastavené dávky (obr. 43, b).

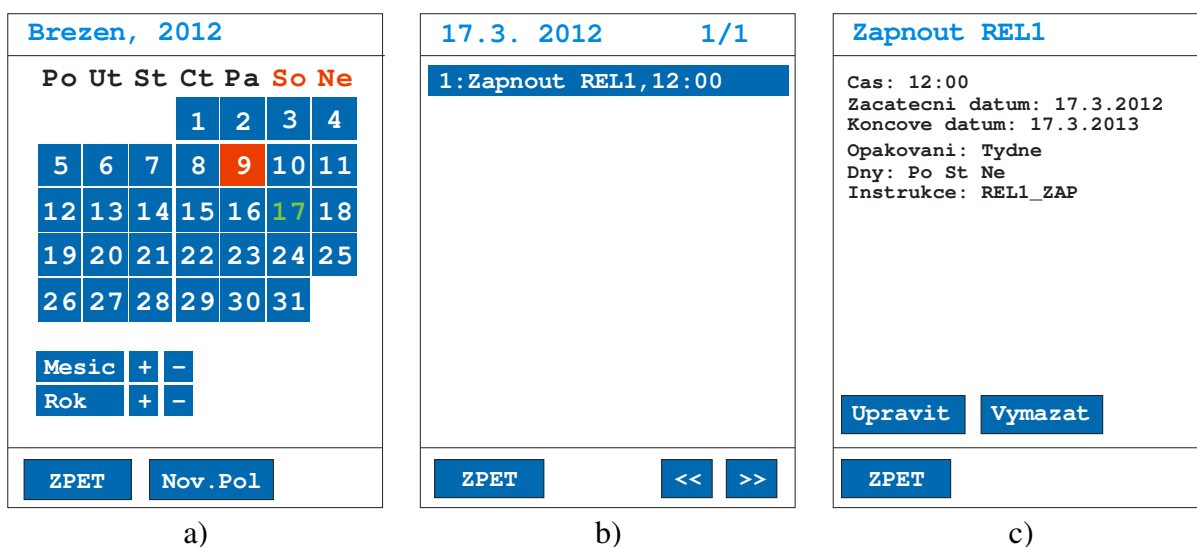
Regulace pH

Konfigurace regulace pH probíhá podobným způsobem pomocí předvoleb jako předešlé funkce (obr. 44 a, b, c).



Obr. 44: Ukázka GUI pro konfiguraci regulace pH

Plánovací kalendář



Obr. 45: Ukázka GUI plánovacího kalendáře

Plánovací kalendář řídí různé akce systému. Je možné naplánovat výběr předvoleb nastavení předešlých funkcí a také časové spínání nebo rozeptání uživatelsky programovatelných výstupů.

Červeně zvýrazněný den označuje aktuální den systému a zelené číslo znamená, že pod dnem se ukrývá alespoň jedna položka (obr. 45, a). Po kliknutí na jednotlivé dny se otevře seznam položek pro tento den (obr. 45, b). Každá položka obsahuje následující informace (obr. 45, c):

- **Název položky:** Název položky je možné libovolně zvolit.
- **Čas:** Nastavený čas, kdy se položka aktivuje.
- **Datum začátku:** Pokud je položka bez opakování, dojde k její aktivaci právě v tento den. V případě položky s opakováním znamená toto datum jeho začátek.
- **Datum konce:** V případě položky bez opakování je tato informace bezvýznamná. Pro položku s opakováním znamená poslední výskyt.
- **Opakování:**
 - **Jednou:** Položka se aktivuje ve stanovený čas a datum (v nastaveném datu začátku).
 - **Každý den:** Aktivace položky se opakuje každý den v nastavený čas.
 - **Každý týden:** Aktivace položky se opakuje ve vybrané dny v týdnu od počátečního data až po datum koncové.
 - **Každý měsíc:** Aktivace položky se opakuje každých 30 dní.
 - **Každý rok:** K aktivaci položky dojde každý rok ve stanovené datum.
- **Dny:** v případě nastavení opakování každý týden se zobrazí vybrané dny.
- **Akce:** Nastavená akce se provede v okamžiku aktivace položky. Je možné nastavit následující akce:
 - ovládání výstupů
 - plánování změny předvolby nastavení osvětlení, topení, regulace pH, krmení.

Menu nastavení

Prostřednictvím tohoto menu je možné nastavit následující funkce:

- Nastavení systémového času,
- Nastavení intenzity osvětlení LCD,

- Správa snímačů teploty:
 - informace o stavu snímačů,
 - nastavení hystereze regulace topení.

4.2 Popis programu

Program je psán v jazyce C++. Volba objektového programování pro 16bitový mikrokontrolér namísto „čistého“ C je brána částečně jako experiment. Vzhledem k tomu, že jsou použity pouze základní vlastnosti objektového jazyka C++, není výsledný dopad na výkon aplikace nijak zásadní. Plné využití možností objektového programování, jako je například dědičnost, by však pomohlo ke zkrácení délky zdrojového kódu. Bylo by tak možné vytvořit komplexní knihovny grafického uživatelského rozhraní, jejichž použití by bylo snadné. Programování komplexních grafických knihoven je však mimo rámec diplomové práce. Program čítá přibližně 80 zdrojových souborů a má celkem přes 6000 řádků. Největší část kódu tvoří realizace grafického uživatelského rozhraní, které lze považovat za jeden z přínosů diplomové práce. V následujících kapitolách jsou popsány základní části programu, které mají zásadní podíl na funkci systému. Popis kompletního programového vybavení na tomto místě by byl příliš rozsáhlý. Kompletní zdrojové kódy jsou k dispozici v elektronické příloze.

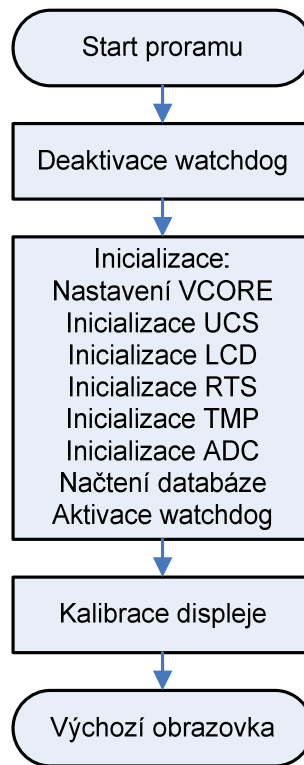
Inicializace systému

Vývojový diagram na obr. 46 představuje inicializaci programu. Na začátku je deaktivován bezpečnostní časovač watchdog. Průběh inicializace je následující:

- Nastavení VCORE: Nastavení integrovaného LDO regulátoru, který napájí jádro mikrokontroléru.
- Inicializace UCS: Nastavení systému spravujícího hodinové signály.
- Inicializace LCD: Inicializace kontroléru displeje a komunikace s obvodem, který zajišťuje vyhodnocení souřadnice dotyku.
- Inicializace RTC: Inicializace a nastavení výchozích hodnot systému reálného času.
- Inicializace TMP: Inicializace komunikace se snímači teploty.
- Inicializace SD: Inicializace komunikace s paměťovou kartou SD.
- Načtení databáze:
 - kalendáře,
 - topení,
 - osvětlení.
- Kalibrace dotykového ovládání přístroje.

- Konfigurace a spuštění bezpečnostního časovačewatchdog.

Informace o průběhu inicializace jsou postupně vypisovány na LCD. Nakonec je zavolána funkce, která realizuje výchozí obrazovku.

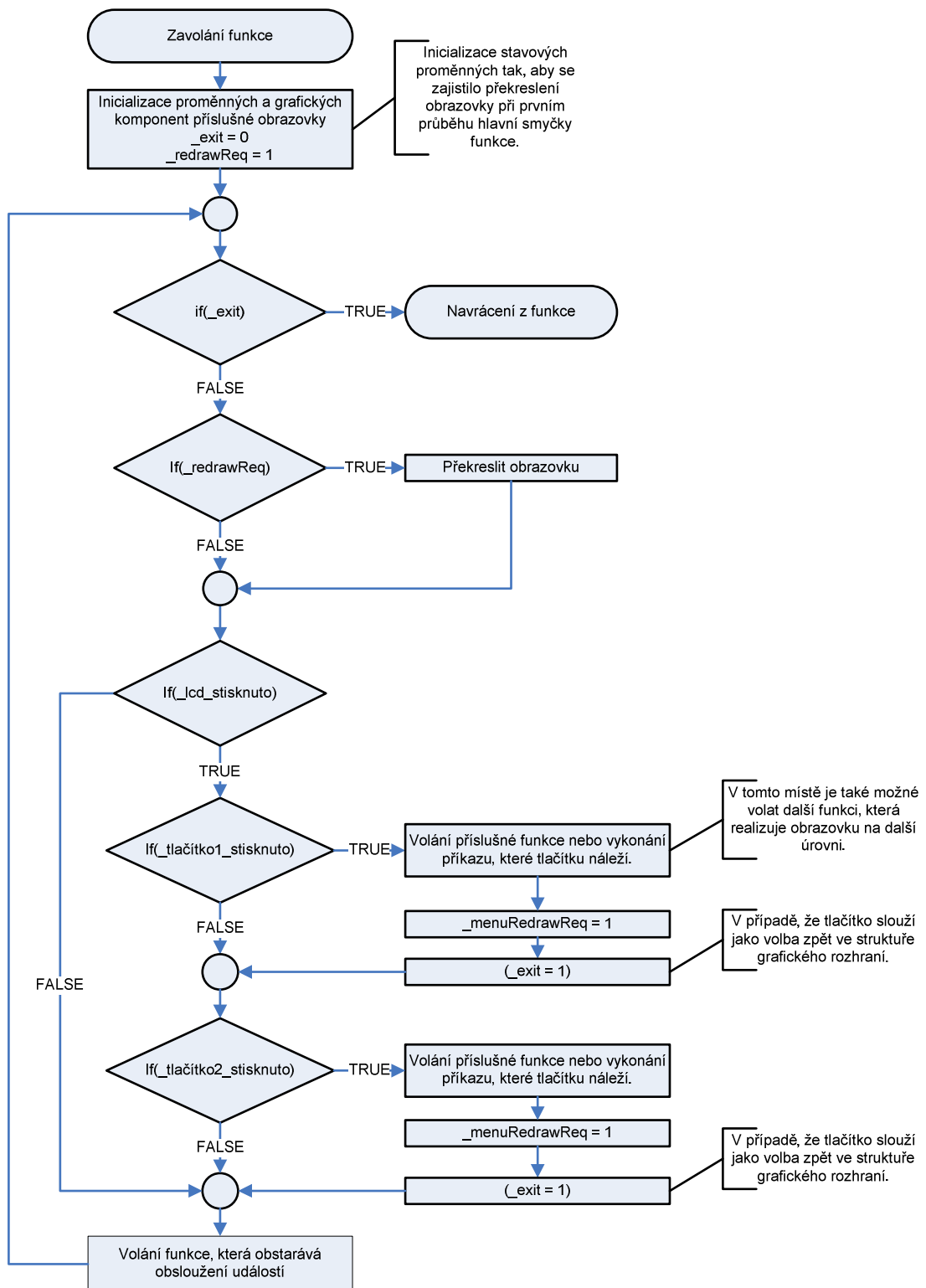


Obr. 46: Vývojový diagram inicializace systému

Realizace uživatelského rozhraní

Uživatelské rozhraní je založeno na systému funkcí, které realizují jeho stavy. Následující vývojový diagram (obr. 47) je vzor takové funkce. Po zavolání funkce jsou inicializovány proměnné a nakonfigurovány grafické komponenty uživatelského rozhraní. Proměnné „_exit“ a „_redrawReq“ slouží k řízení stavu programu. Hlavní programová smyčka funkce probíhá tak dlouho, dokud není nastavena proměnná „_exit“. Dále je kontrolována proměnná „_redrawReq“, která řídí překreslení komponent na displeji LCD. Pokud je stisknuta doteková vrstva, souřadnice doteku jsou zpracovány v programových podmínkách. Jestliže odpovídají pozici jednoho z tlačítek, jsou vykonány související příkazy. Na tomto místě je také možné volat další funkci se stejnou strukturou, která realizuje obrazovku na další úrovni – větvení menu. Příkazy, které přísluší tlačítku, mohou pozměnit zobrazovaný obsah na LCD. Nastavení příznaku „_redrawReq = 1“ zajistí překreslení obrazovky na začátku hlavní smyčky. Pokud je nastaven příznak „_exit = 1,“ funkce se při příštím průběhu hlavní smyčky ukončí. Toho se využívá u tlačítek, která v uživatelském rozhraní realizují pohyb o úroveň výše (zpět). Po kontrole všech tlačítek je volána globální funkce „serveEvents(),“

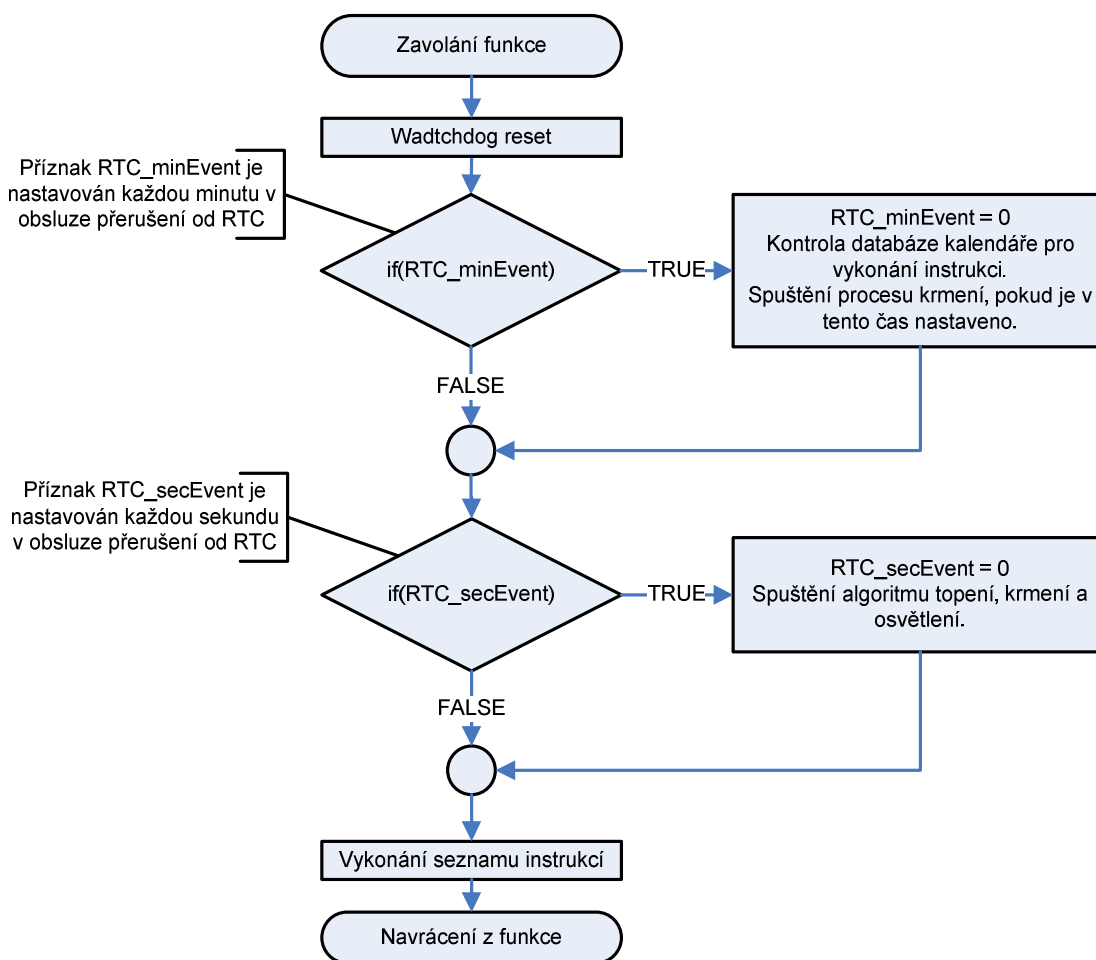
kteřá zajišťuje reset bezpečnostního časovačewatchdog a další operace nezbytné pro běh systému. Tato funkce se musí volat v každé programové smyčce, která čeká na vstup uživatele.



Obr. 47: Vývojový diagram funkce realizující jednu z obrazovek uživatelského rozhraní

Funkce „serveEvents()“

Funkce „serveEvents()“ je volána v každé hlavní smyčce funkce, která realizuje konkrétní stav uživatelského rozhraní. Naobr. 48 je uveden vývojový diagram. Nejdříve je vynulován bezpečnostní časovač WDT. V obsluze přerušení od RTC jsou nastavovány dva příznaky. Příznak „RTC_minEvent“ je nastavován každou minutu. Pokud je nastaven, tak se při volání funkce „serveEvents()“ provede kontrola databáze kalendáře. Na základě porovnání mezi datem a časem položky a aktuálního data a času je instrukce z položky vykonána. Kontroluje se také potřeba spuštění procesu krmení. Příznak „RTC_secEvent“ je nastavován v obsluze přerušení každou sekundu. V tomto intervalu se provádí překreslení údajů aktuálního času a data, pokud se uživatelské rozhraní nachází ve výchozí obrazovce. Dalším krokem je získání dat z teplotních senzorů a sond pH. Dále funkce provede algoritmus, který řídí topení a dávkování krmení. Je také kontrolováno nastavení osvětlení. Poslední akcí je kontrola a provedení instrukcí naplánovaných v kalendáři.



Obr. 48: Vývojový diagram funkce serveEvents()

5 Závěr

V rámci diplomové práce byl navržen a úspěšně realizován automatizovaný systém pro udržení životních podmínek v akváriu. Podařilo se splnit všechny podmínky zadání a výsledný produkt je schopný provozu v reálné aplikaci. Systém byl vyvíjen s důrazem na možnost budoucího rozšíření nebo úpravy stávajících funkcí.

V rámci Semestrálního projektu 1 byla nastudována problematika týkající se umělého prostředí akvária. Na základě těchto poznatků byla navržená topologie systému a byly stanoveny konkrétní požadavky na jeho funkce. Bylo rozhodnuto, že se kompletní systém bude skládat z více nezávislých modulů: hlavní desky, výkonové desky, modulu LCD a obvodu pro ochranu záložního akumulátoru Li-Pol. Hlavní náplní Semestrálního projektu 2 byl návrh a realizace hlavní desky. Po jejím oživení začal vývoj programového vybavení mikrokontroléru. Po dokončení základních knihoven a první verze grafického uživatelského rozhraní, začal v předposledním semestru studia návrh výkonové desky a obvodu pro ochranu akumulátorů Li-Pol. V průběhu posledního semestru byl systém uveden do provozu jako celek a programové vybavení bylo rozšířeno do současné podoby.

Pro konstrukci systému byl zvolen 16bitový mikrokontrolér řady MSP430, který nabízí dostatečný výkon a pro svoji hardwarovou implementaci vyžaduje minimální množství dalších komponent. Jako vstupně/výstupní prvek grafického uživatelského rozhraní byl vybrán grafický displej s rozlišením 230 x 320 obrazových bodů, který byl zakoupen jako hotový modul. Provedení grafického uživatelského rozhraní respektuje požadavky na jednoduchost a přehlednost ovládání. Použití hranatých tvarů a malého počtu barev snižuje výpočetní náročnost a usnadňuje kompozici vzhledu při psaní zdrojového kódu.

Na zahraničním trhu je možné najít několik komplexních systémů pro řízení životních podmínek v prostředí akvária, které nabízejí velké množství funkcí. Na českém trhu je situace horší a akvarista se musí spokojit s malosériovými a často neziskovými produkty, které jsou navrhovány ve volném čase autorů. Systém představený v této práci nemůže konkurovat profesionálním řešením, jejichž vývoj ve spolupráci se zkušenými akvaristy trvá i několik let. Uplatnění by mohl najít především u amatérských akvaristů, kteří chtějí mít svoje akvárium pod kontrolou a zároveň nemohou uvolnit velké množství finančních prostředků. Pro sériovou výrobu a snížení výrobní ceny by musela být konstrukce upravena.

Současná verze programového vybavení zaplňuje paměť mikrokontroléru přibližně ze 40 %, což poskytuje dostatečný prostor pro budoucí rozšíření. Systém by mohl být doplněn například funkcí pro záznam měřených veličin, vykreslování grafů nebo schopností řízení většího množství akvárií. Z konstrukčního hlediska by bylo praktické rozdělit topologii systému na více modulů, což by vedlo k větší variabilitě a ke snadnějšímu vývoji na sobě nezávislých bloků.

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] HOFMAN, J.; NOVÁK, J. *Akvárium sladkovodní a mořské: Praktické návody k založení a ošetřování*. Vydání první. Praha: Nakladatelství Brázda s. r. o., 1999. 204 s. ISBN 80-209-0281-3.
- [2] SCHEURMANNOVÁ, I. *Sladkovodní akvárium – Jak na to*. První české vydání. Praha: Vašut, 2002. 144 s. ISBN 80-7236-136-8
- [3] DRAHOTUŠSKÝ, Z.; NOVÁK, J., *Akvaristika: Záliba a poznání Teorie a praxe pro amatéry i profesionály*. Vydání první. Brno: Jota s.r.o., 2000. 304s. ISBN 80-7217-124-0.
- [4] HOFMANN J.; NOVÁK J. *Akvaristika: Jak chovat tropické ryby jinak a lépe*. Vydání první. Praha: X-Egem, Nova, s.r.o., 1996. 298 s. ISBN 80-7199-009-4.
- [5] LELLÁK J.; KUBÍČEK F. *Hydrobiologie*. Vydání první. Praha: Karolinum, 1992. 260 s.
- [6] LUŠTINEC J.; ŽDÁRSKÝ V. *Úvod do fyziologie vyšších rostlin*. Univerzita Karlova v Praze nakladatelství Karolinum, 2005. 261 s.
- [7] CLARKE, M.; WEST, I. *The Complete Aquarium Guide*. Cologne: Konemann Verlagsgesellschaft mbH, 2000. 288s. ISBN 3-8290-1736-7.
- [8] REJLKOVÁ, M. *ManiAKVA* [online]. 2005 [cit. 2010-12-04]. ManiAKVA. Dostupné z: <http://maniakva.sweb.cz/odkazy.htm>.
- [9] ŠÁTEK, M. *Akvarko.cz* [online]. 2009-3-23 [cit. 2010-12-04]. Měření pH v akvaristice. Dostupné z: <http://www.akvarko.cz/clanky.php?str=109>.
- [10] Topné těleso AH 305, 300W, Trixie. *ZOO market* [online]. 2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: <http://www.zoo-market.cz/cs/produkty/akvaristika/technika/topitka/trixie/8608-topne-teleso-ah-305-300w-trixie>
- [11] ATC-300 termostat s časovačem akvária-terária. *TOP TERMOSTAT* [online]. 2011 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.top-termostat.cz/cz/produkt-1564/atc-300-termostat-s-casovacem-akvaria-teraria.html>

- [12] Ceramic CO₂-řídící jednotka. [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: http://www.sera.de/cz/pages/vyrobky/in_category/co2-technika-5170/product/seramic-co2-ridici-jednotka.html
- [13] TOP Termostat: Logitron s.r.o. *ZSD16 časově spínaná zásuvka* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.top-termostat.cz/cz/produkt-1999/zsd16-casove-spinana-zasuvka.html>
- [14] QUICKTRONIC INTELLIGENT DIM T5. OSRAM. *OSRAM* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.osram.com/osram_com/products/electronics/electronic-control-gears/ecg-for-fl-and-cfl/ecg-for-fluorescent-and-compact-fluorescent-lamps%2c-dimmable-1...10-v/quicktronic-intelligent-dim-t5/index.jsp
- [15] LED RGB driver HHX RGB remotecontroller. *GM electronic* [online]. 2012 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.gme.sk/sk/led-rgb-driver-hhx-80032-p759-197/>
- [16] ReefKeeperEliteAquariumController. *Digital Aquatics* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.digitaquatics.com/saltwater/systems>
- [17] Control Unit - AquariumControllerEvolution (ACQ110). *Aquatronica: AquariumControl System* [online]. Italy, 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.aquatronica.com/products-1/control-units/acq001>
- [18] VALÍČEK, Libor. ASTA. ASTA: Automatický Systém pro Terária a Akvária [online]. 2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://asta.tym.cz/>
- [19] Amatérská ŘÍDÍČÍ JEDNOTKA pro AKVÁRIUM. ŠÁTEK, Martin. *Akvarko.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.akvarko.cz/clanky.php?str=95>
- [20] Texas Instruments, USA. Ultra-LowBiasCurrentDifet® OPERATIONAL AMPLIFIER. 2007. 14 s.
- [21] Texas Instruments, USA. *MSP430F543xA,MSP430F541xA MIXED SIGNAL MICROCONTROLLER*. 2010. 104 s.
- [22] Texas Instruments, USA. *MSP430x5xx/MSP430x6xx FamilyUser'sGuide*. 2010. 668 s.

- [23] STMicroelectronics, USA. *ST1S10*. 2007. 26 s.
- [24] STMicroelectronics, USA. *AN2754 Applicationnote: Buck high-brightness LED driver based on the ST1S10 step-down DC-DC converter*. 2008. 20s.
- [25] SolomonSystech, Honk Kong. *SSD1289 AdvanceInformation 240 RGB x 320 TFT LCD Controller Driver integratedPowerCircuit, Gate and Source Driver withbuilt-in RAM*. 2007. 82 s.
- [26] Texas Instruments, USA. *ADS7843 TOUCH SCREEN CONTROLLER*. 2002. 17s.
- [27] Texas Instruments, USA. *0.5°C Digital OutTemperature Sensor*. 2007. 18 s.
- [28] Future Technology Devices International Ltd., United Kingdom. *FT232R USB UART IC*. 2008. 40s.
- [29] Bluegigatechnologies, Finland. *WT11 Data Sheet*. 2009. 54.
- [30] Texas Instruments, USA. *BQ2083-VIP3 SBS-COMPILANT GAS GAUGE IC FOR USE WITH THE BQ29311*. 2003. 56s.
- [31] Cosmo ELECTRONICS CORPORATION, Taiwan. *ZeroCrossingOptoisolators TRIAC*. 2004. 6 s.
- [32] Texas Instruments, USA. *1.8V to 5.5V, 80µA, 8-, 10-, and 12-Bit, Low-Power, Single-Channel, DIGITAL-TO-ANALOG CONVERTERS in SC70 Package*. 2011. 43s.
- [33] Texas Instruments, USA. *BQ29311 THREE- AND FOUR-CELL LITHIUM-ION OR LITHIUM-POLYMER BATTERY PROTECTION IC*. 2003. 23s.
- [34] Texas Instruments, USA. *BQ24702, BQ24703: MULTICHEMISTRY BATTERY CHARGER CONTROLLER AND SYSTEM POWER SELECTOR*. 2007. 36s.
- [35] SD Group. *SD Specifications Part 1 PhycicalLayerSimplifiedSpecification*. 2006. 129s.

7 Seznam obrázků

Obr. 1: Kolísání hodnoty pH (červený průběh) a obsahu oxidu uhličitého (modrý průběh) v brazilské řece Rio Negro v průběhu jednoho dne [4]	8
Obr. 2: Závislost proměnného zastoupení amonných kationtů a amoniaku na pH vody [4]	9
Obr. 3: Příklad konstrukce pH sondy [9].....	10
Obr. 4: Závislost výstupního napětí sondy na měřeném pH [9].....	11
Obr. 5: Příklad zapojení operačního zesilovače s pH sondou [20].....	12
Obr. 6: Příklad závislosti aktivity na teplotě u <i>Cichlidky Julidochromis transcriptus</i> [4]	12
Obr. 7: Závislost maximální koncentrace kyslíku na teplotě [7].....	14
Obr. 8: Absorpční spektrum chlorofylů [6]	15
Obr. 9: Ceramic pH controller [12].....	16
Obr. 10: Zleva: akvarijní topení Trixie [10], externí termostat ATC-300 [11].....	17
Obr. 11: Zleva: Elektronický předřadníkDIM T5 [14], LED RGB driver HHX [15], Programovatelné spínací hodiny ZSD16 [13]	17
Obr. 12: Reef Keeper Elite Aquarium Controller [16].....	18
Obr. 13: Aquarium Controller Evolution (ACQ110) [17].....	19
Obr. 14: ASTA – Automatizovaný Systém pro Terária a Akvária [18].....	20
Obr. 15: „Amatérská“ řídicí jednotka pro akvárium [19].....	20
Obr. 16: Topologie systému	21
Obr. 17: Blokové schéma systému pro řízení prostředí akvária.....	21
Obr. 18: Rozložení nejvýznamnějších komponent na hlavní desce	22
Obr. 19: Blokové schéma mikrokontroléru MSP430F5438A [21]	23
Obr. 20: Konfigurace časovače pro generování pulsně šířkové modulace [22].....	25
Obr. 21: Vztah mezi frekvencí a napájením mikrokontroléru [21]	26
Obr. 22: Obvod pro zpracování signálu ze sondy pH.....	29
Obr. 23: Schéma zapojení obvodu ST1S10 [23]	29
Obr. 24: Schéma zapojení obvodu FT232RL [28]	30
Obr. 25: Blokové schéma Bluetooth modulu WT11 [29]	31
Obr. 26: Blokové schéma obvodu TMP275 [27]	32
Obr. 27: Schéma zapojení modulu s teplotním senzorem	32
Obr. 28: Blokové schéma LCD modulu	33
Obr. 29: Blokové schéma obvodu ADS7843 [26].....	34
Obr. 30: Náhradní schéma odporového dotekového ovládání a jeho struktura [26].....	34
Obr. 31: Příklad vyhodnocení souřadnice doteku v ose X [26].....	35

Obr. 32: Rozložení komponent na výkonové desce	35
Obr. 33: Schéma zapojení relé.....	36
Obr. 34: Schéma zapojení triaku	36
Obr. 35: Schéma zapojení obvodu pro ovládání elektronického předřadníku zářivky	37
Obr. 36: Schéma zapojení proudového zdroje výkonové LED	37
Obr. 37: Blokové schéma napájení systému.....	38
Obr. 38: Obvod pro ochranu záložního akumulátoru Li-Pol.....	39
Obr. 39: Ukázka výchozí obrazovky uživatelského zobrazení.....	42
Obr. 40: Ukázka hlavního menu.....	42
Obr. 41: Ukázka GUI pro konfiguraci řízení osvětlení	43
Obr. 42: Ukázka GUI pro konfiguraci regulace topení	45
Obr. 43: Ukázka GUI pro konfiguraci automatického krmení.....	45
Obr. 44: Ukázka GUI pro konfigurace regulace pH.....	46
Obr. 45: Ukázka GUI plánovacího kalendáře	46
Obr. 46: Vývojový diagram inicializace systému	49
Obr. 47: Vývojový diagram funkce realizující jednu z obrazovek uživatelského rozhraní	50
Obr. 48: Vývojový diagram funkce <code>serveEvents()</code>	51

8 Seznam použitých zkratek a symbolů

ADC	<i>Analog to Digital Converter</i> , Analogově digitální převodník
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> , Americký standardní kód pro výměnu informací
BLUETOOTH	Otevřený standard pro bezdrátovou komunikaci
BNC	<i>British Naval Connector</i> , konektor s bajonetovým zámkem
CMOS	<i>Complementary Metal–Oxide–Semiconductor</i> , technologie výroby polovodičových čipů
CPU	<i>Central Processing Unit</i> , Procesor
DPS	Deska plošných spojů
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FAT16	Systém souborů
FB	<i>Feedback</i> , Zpětná vazba
FLASH	Nonvolatilní paměť vycházející z typu EEPROM
GUI	<i>Graphical User Interface</i> , Grafické uživatelské rozhraní
I²C	<i>Inter-Integrated Circuit</i> , nízkorychlostní dvou vodičová sériová komunikace
JTAG	<i>Joint Test Action Group</i> , komunikační rozhraní pro testování, programování pamětí FLASH atd.
LCD	<i>Liquid Cristal Display</i> , Displej z tekutých krystalů
LDO	<i>Low-Dropout</i> , Lineární napěťový regulátor s nízkým úbytkem napětí.
LED	<i>Light Emitting Diode</i> , Elektroluminiscenční dioda
Li-Pol	<i>Lithium-ion Polymer battery</i>
LQFP	<i>Low-profile Quad Flat Package</i> , Polovodičové pouzdro
MCU	<i>Microcontroller</i> , Jednočipový počítač
OZ	Operační zesilovač
PDP	<i>Parallel Data Port</i> , Paralelní datový port
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> , Programovatelný logický automat
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> , Pulsně šířková modulace

QVGA	<i>Quarter Video GraphicsArray</i> , displej o rozlišení 320x240 obrazových bodů
RGB	<i>Red Green Blue</i> , Míchání složek barev (červená, zelená, modrá) pro dosažení požadované barvy.
RISC	<i>ReducedInstruction Set Computer</i> , Procesor s redukovanou instrukční sadou
RS232	Sériový komunikační standard
RS422	Sériový komunikační standard
RS485	Sériový komunikační standard
RTC	<i>Real TimeCounter</i> , Obvod reálného času
SD	<i>Secure Digital</i> , Typ paměťové karty
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> , Sériové periferní rozhraní
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i> , Statická paměť s přímým přístupem
STEP-DOWN	Snižující DC – DC měnič
UART	<i>Universal asynchronousreceiver/transmitter</i> , Asynchronní sériové rozhraní
USB	<i>Universal Serial Bus</i> , Univerzální sériová sběrnice

9 Seznam příloh

Příloha 1 – Výkresová dokumentace: Hlavní deska

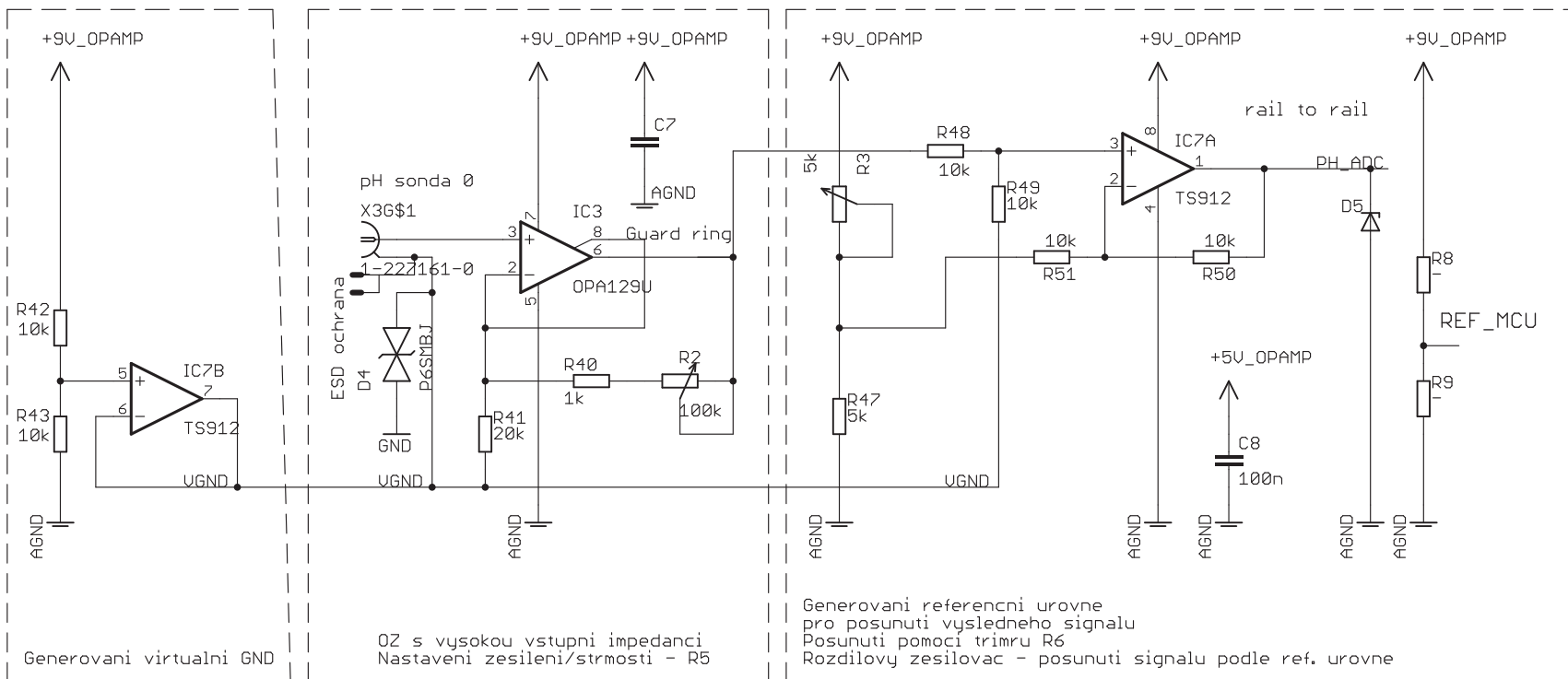
Příloha 2 – Výkresová dokumentace: Výkonová deska

Příloha 3 – Výkresová dokumentace: Obvod pro ochranu Li-Pol akumulátoru

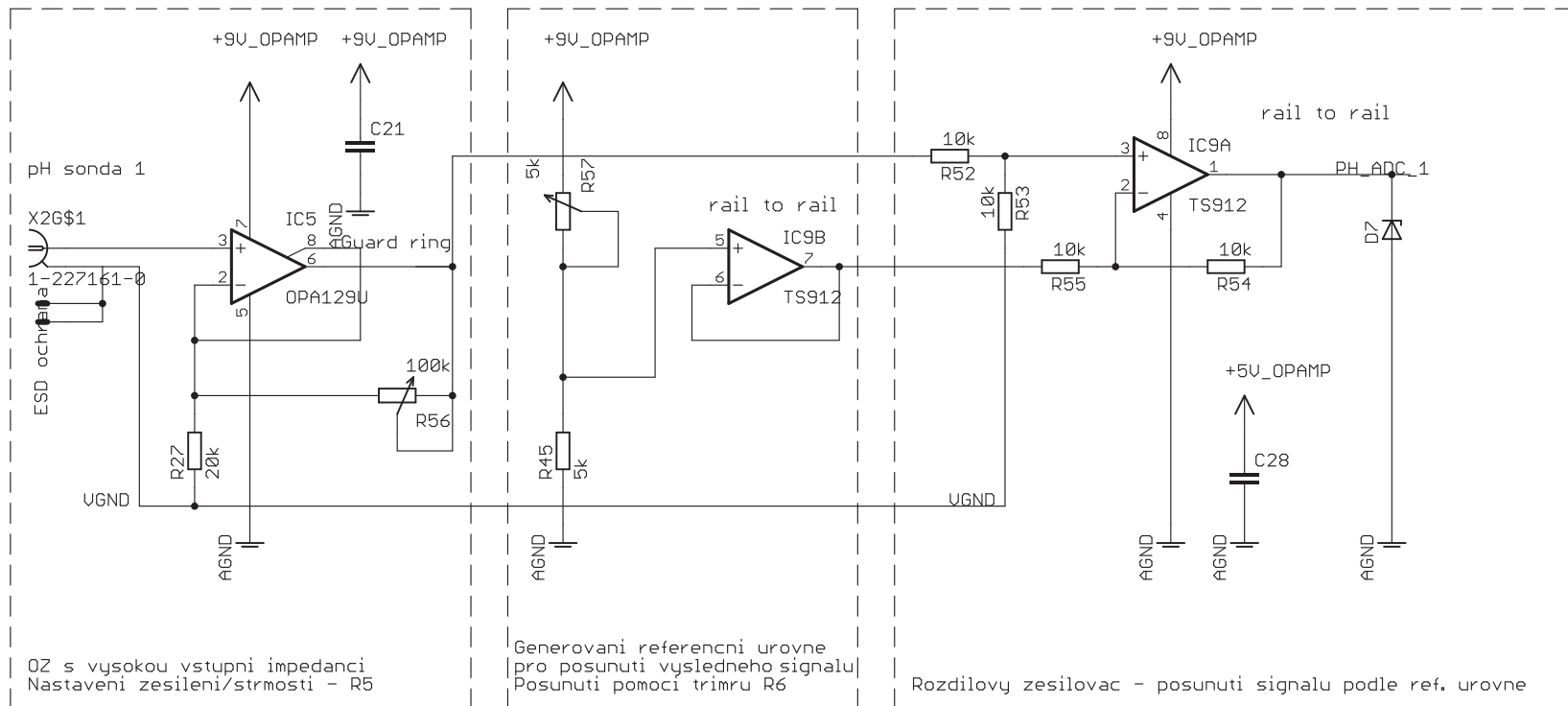
Příloha 1: Výkresová dokumentace Hlavní desky

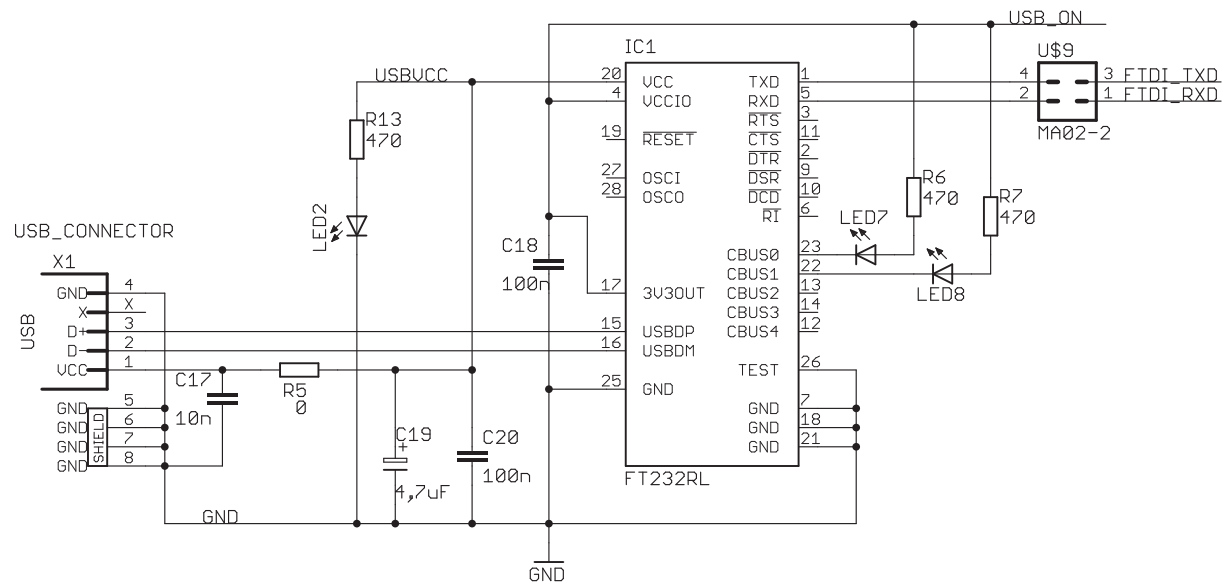
Obsah přílohy:

Schéma zapojení mikrokontroléru	2
Schéma zapojení obvodu pro zpracování signálu ze sondy pH 1	3
Schéma zapojení obvodu pro zpracování signálu ze sondy pH 2	4
Schéma zapojení napájení hlavní desky	5
Schéma zapojení obvodu FT232RL - převodník USB <> Rs232	6
Schéma zapojení dalších komponent (viz. popisky).....	7
Schéma zapojení konektorů	8
Osazovací plán - vrchní strana desky.....	9
Osazovací plán - spodní strana desky.....	10
Deska plošných spojů - vrchní vrstva	11
Deska plošných spojů - spodní vrstva	12
Soupiska součástek.....	13

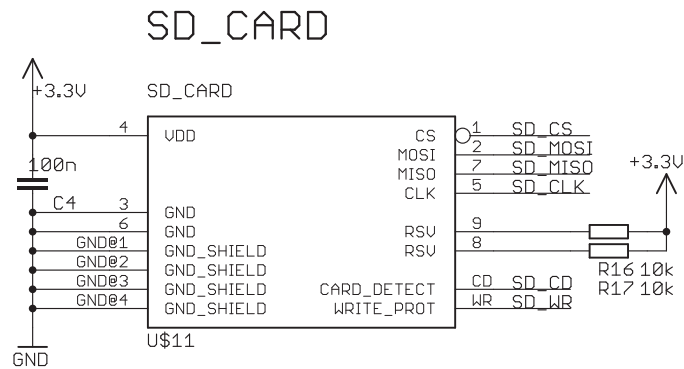


Název: HI. deska - Zpracování signálu ze sondy pH 1
 Autor: Bc. Josef Janda
 Strana: 3/15

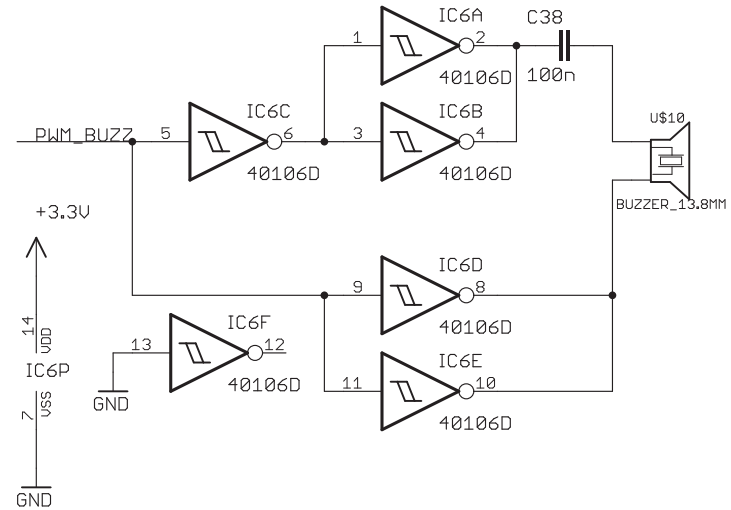




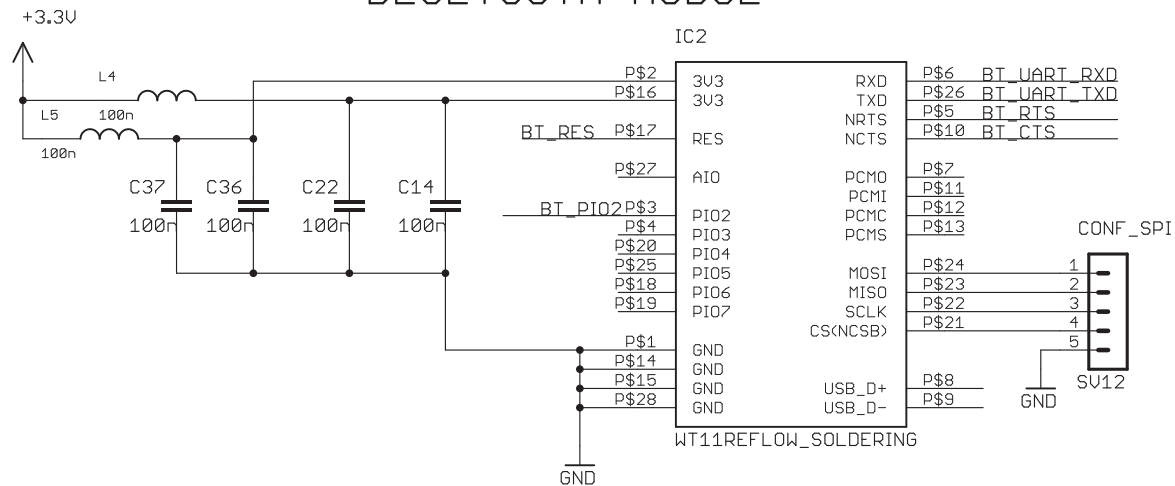
Název: HI. deska - Ft232RL: USB <> Rs232
 Autor: Bc. Josef Janda
 Strana: 6/15



Buzeni piezomenice

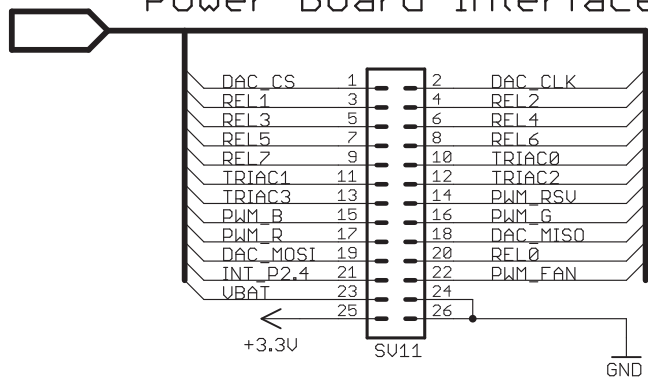


BLUETOOTH MODUL

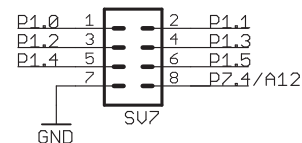


Název: HI. deska - Dalsi komponenty
 Autor: Bc. Josef Janda
 Strana: 7/15

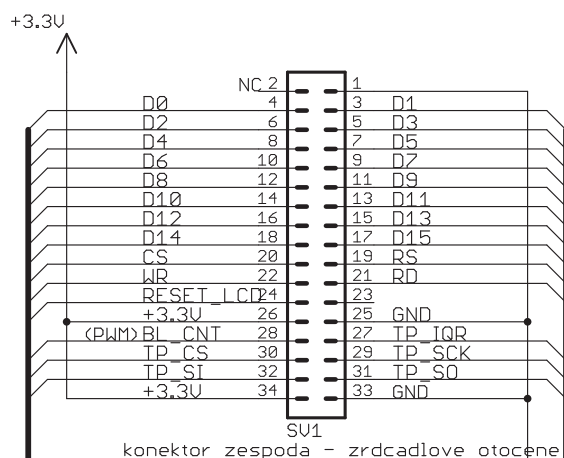
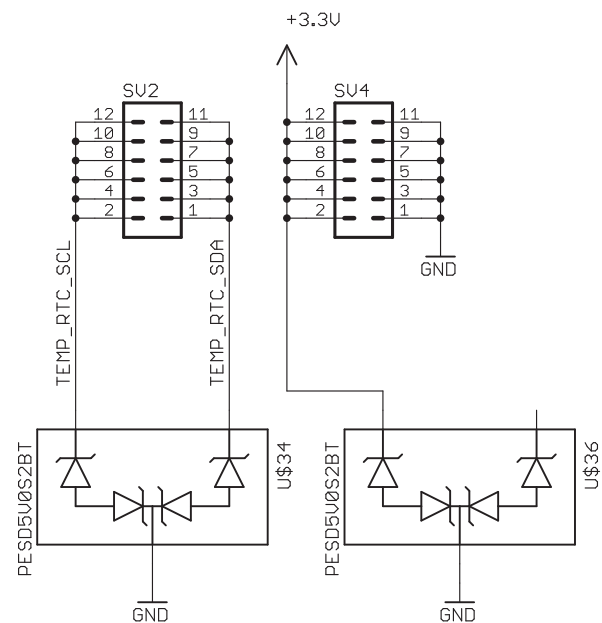
Power Board Interface



Rozsirujici konektor

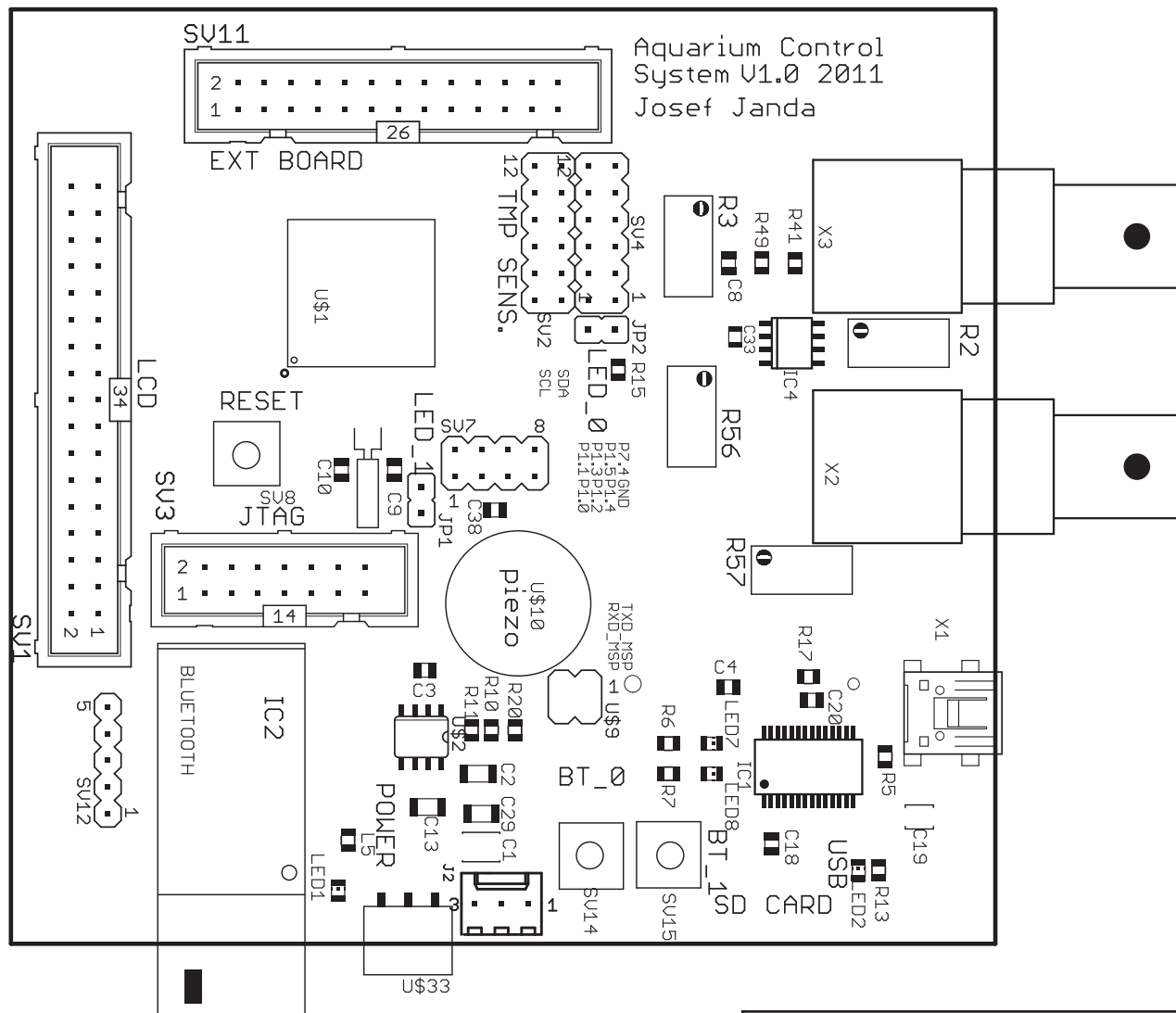


Interface teplotnich senzoru

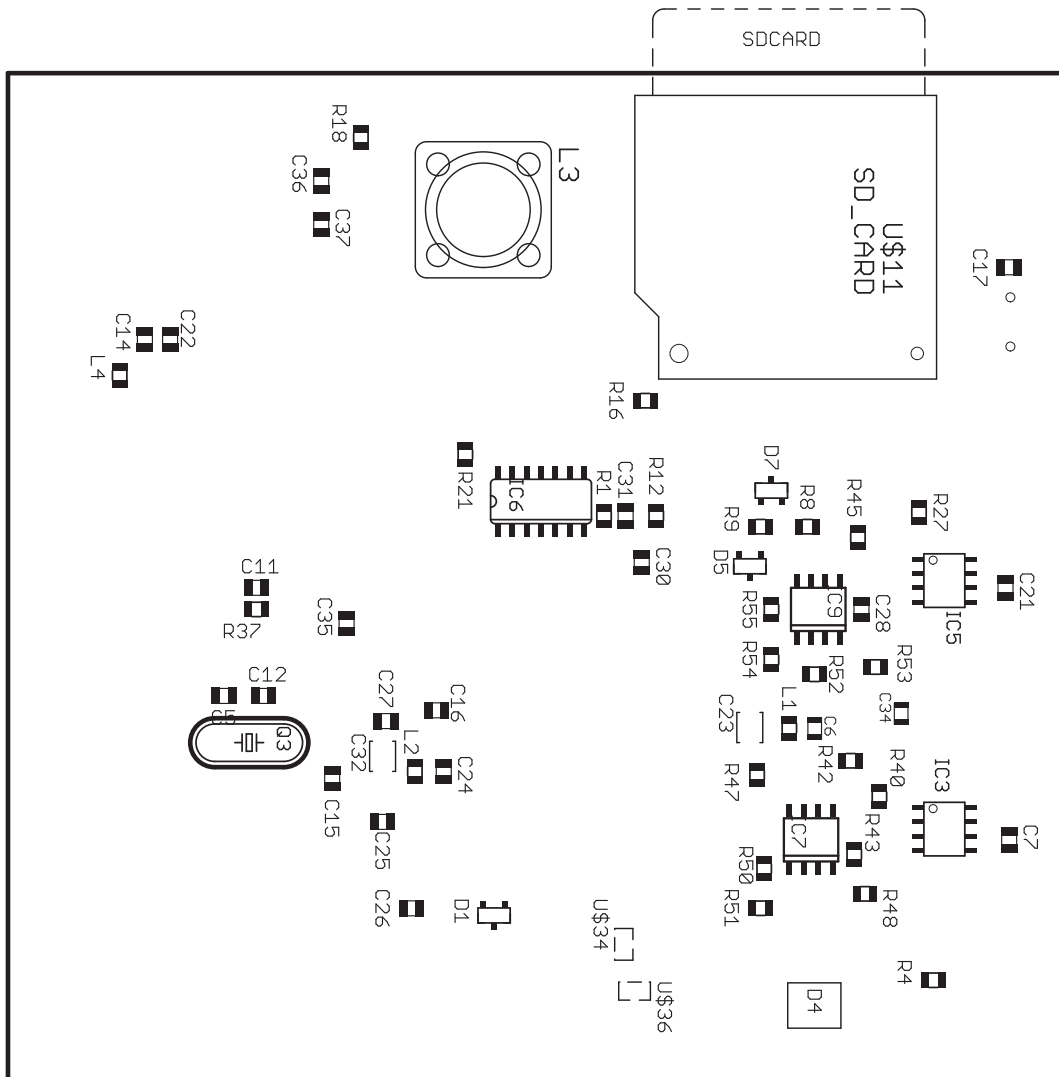


konektor zespoda - zrcadlove otocene

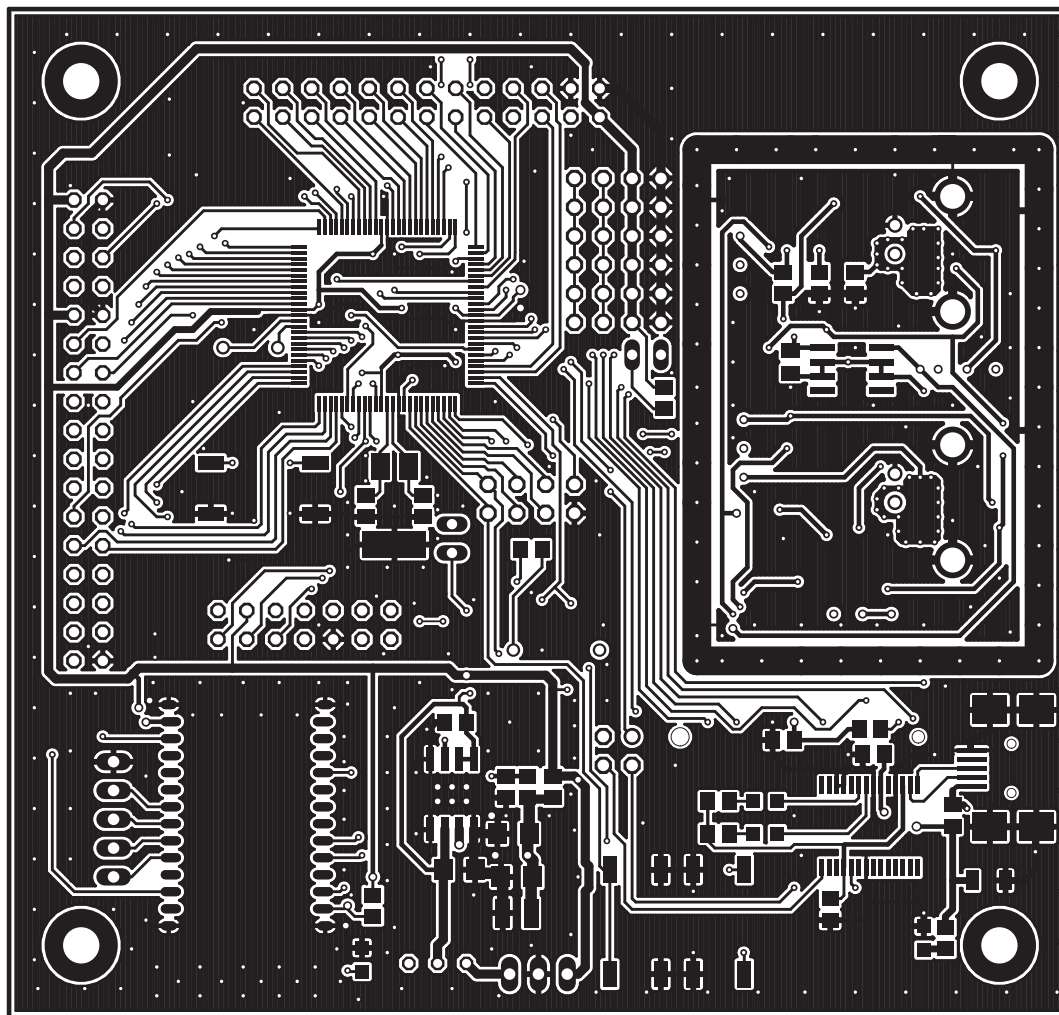
LCD interface



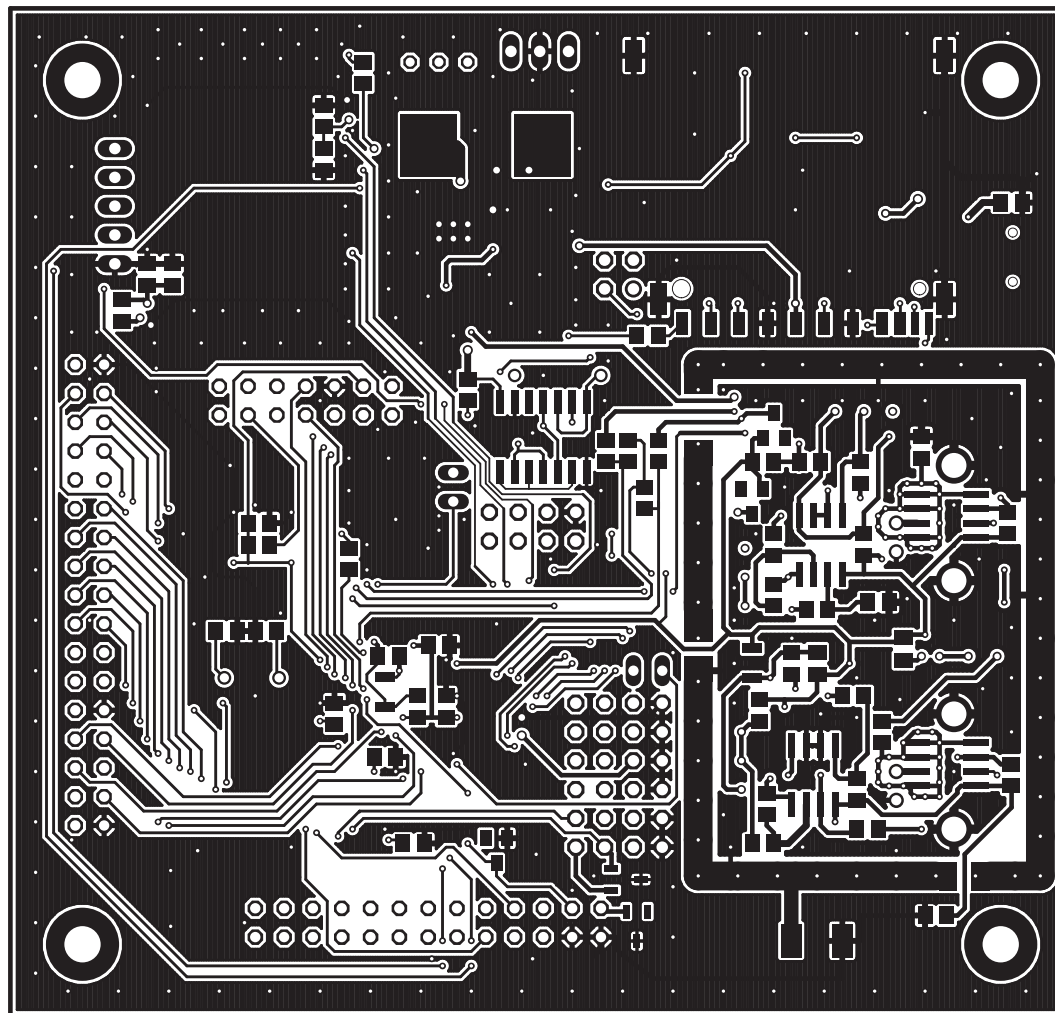
Název: Hl. deska - osaz. plán, vrchní strana desky
 Autor: Bc. Josef Janda
 Měřítko: 1,5 : 1, Rozměry DPS: 88x93 mm
 Strana: 9/15



Název: Hl. deska - osaz. plán, spodní strana desky
 Autor: Bc. Josef Janda
 Měřítko: 1,5 : 1, Rozměry DPS: 88x93 mm
 Strana: 10/15



Název: Hl. deska - plošné spoje, vrchní strana desky
Autor: Bc. Josef Janda
Měřítko: 1,5 : 1, Rozměry DPS: 88x93 mm
Strana: 11/15



Název: Hl. deska - plošné spoje, spodní strana desky
Autor: Bc. Josef Janda
Měřítko: 1,5 : 1, Rozměry DPS: 88x93 mm
Strana: 12/15

Soupiska součástek – Hlavní deska

Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
C1	100uF	CTSB	CTSB
C2	10uF	C-EUC1206	C1206
C3	100n	C-EUC0805	C0805
C4	100n	C-EUC0805	C0805
C5	27p	C-EUC0805	C0805
C6	100n	C0805	C0805
C7	100n	C-EUC0805	C0805
C8	100n	C-EUC0805	C0805
C9	27p	C-EUC0805	C0805
C10	27p	C-EUC0805	C0805
C11	2.2n	C-EUC0805	C0805
C12	27p	C-EUC0805	C0805
C13	10uF	C-EUC1206	C1206
C14	100n	C-EUC0805	C0805
C15	100n	C-EUC0805	C0805
C16	100n	C-EUC0805	C0805
C17	10n	C-EUC0805	C0805
C18	100n	C-EUC0805	C0805
C19	4,7uF	CTSA	CTSA
C20	100n	C-EUC0805	C0805
C21	100n	C-EUC0805	C0805
C22	100n	C-EUC0805	C0805
C23	100n	CTSA	CTSA
C24	100n	C-EUC0805	C0805
C25	100n	C-EUC0805	C0805
C26	470n	C-EUC0805	C0805
C27	100n	C-EUC0805	C0805
C28	100n	C-EUC0805	C0805
C29	10uF	C-EUC1206	C1206
C30	100n	C-EUC0805	C0805
C31	100n	C-EUC0805	C0805
C32	4,7uF	CTSA	CTSA
C33	100n	C0805	C0805
C34	330n	C0805	C0805
C35	100n	C-EUC0805	C0805
C36	100n	C-EUC0805	C0805
C37	100n	C-EUC0805	C0805
C38	100n	C-EUC0805	C0805
D1	3V3	ZENER-DIODESOT23	SOT23
D4	P6SMBJ	P6SMBJ	DO-214AA
D5	3V3	ZENER-DIODESOT23	SOT23
D7	3V3	ZENER-DIODESOT23	SOT23
IC1	FT232RL	FT232RL	SSOP28

Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
IC2	WT11REFLOW_SOLDERING	WT11REFLOW_SOLDERING	WT11_REFLOW
IC3	OPA129U	OPA129U	SO08
IC4	78L06SMD	78L06SMD	SO08
IC5	OPA129U	OPA129U	SO08
IC6	40106D	40106D	SO14
IC7	TS912	TS912	SO08
IC9	TS912	TS912	SO08
J2	22-27-2031-03	22-27-2031-03	6410-03
JP1	-	JP1E	JP1
JP2	-	JP1E	JP1
L1	10uH	L_0805_TLUMIVKA	R0805
L2	10uH	L_0805_TLUMIVKA	R0805
L3	MSS1278T	MSS1278T	COILCRAFT_MSS1278T
L4	10uH	L_0805_TLUMIVKA	R0805
L5	10uH	L_0805_TLUMIVKA	R0805
1.01	-	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
1.02	-	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
1.07	-	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
1.08	-	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
Q2	32768Hz	WATCH_XTAL_SMD	WATCH-XTAL_SMD
Q3	25MHz	CRYSTALHC49S	HC49/S
R1	0	R-EU_R0805	R0805
R2	100k	T93_POT	T93YA
R3	5k	T93_POT	T93YA
R4	0	R-EU_R0805	R0805
R5	0	R-EU_R0805	R0805
R6	470R	R-EU_R0805	R0805
R7	470R	R-EU_R0805	R0805
R8	neosaz.	R-EU_R0805	R0805
R9	neosaz.	R-EU_R0805	R0805
R10	56k	R-EU_R0805	R0805
R11	18k	R-EU_R0805	R0805
R12	0	R-EU_R0805	R0805
R13	470R	R-EU_R0805	R0805
R15	470R	R-EU_R0805	R0805
R16	10k	R-EU_R0805	R0805
R17	10k	R-EU_R0805	R0805
R18	470R	R-EU_R0805	R0805
R20	0	R-EU_R0805	R0805
R21	470R	R-EU_R0805	R0805
R27	20k	R-EU_R0805	R0805
R37	1k	R-EU_R0805	R0805
R40	1k	R-EU_R0805	R0805
R41	20k	R-EU_R0805	R0805
R42	10k	R-EU_R0805	R0805

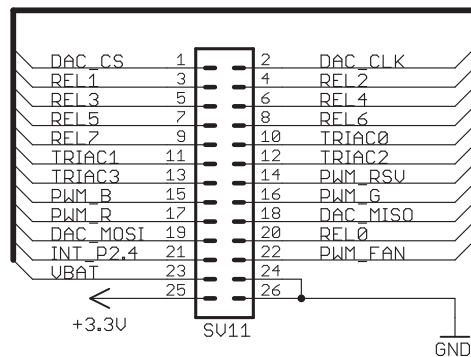
Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
R43	10k	R-EU_R0805	R0805
R45	5k	R-EU_R0805	R0805
R47	5k	R-EU_R0805	R0805
R48	10k	R-EU_R0805	R0805
R49	10k	R-EU_R0805	R0805
R50	10k	R-EU_R0805	R0805
R51	10k	R-EU_R0805	R0805
R52	10k	R-EU_R0805	R0805
R53	10k	R-EU_R0805	R0805
R54	10k	R-EU_R0805	R0805
R55	10k	R-EU_R0805	R0805
R56	100k	T93_POT	T93YA
R57	5k	T93_POT	T93YA
SV1	-	ML34	ML34
SV2	-	MA06-2	MA06-2
SV3	-	ML14	ML14
SV4	-	MA06-2	MA06-2
SV7	-	MA04-2	MA04-2
SV8	SMD_TLACITKO	SMD_TLACITKO	TLACITKO_SMD
SV11	-	ML26	ML26
SV12	-	MA05-1	MA05-1
SV14	SMD_TLACITKO	SMD_TLACITKO	TLACITKO_SMD
SV15	SMD_TLACITKO	SMD_TLACITKO	TLACITKO_SMD
U\$1	F54XX[A]---PZ100	F54XX[A]---PZ100	PZ100
U\$2	ST1S10	ST1S10	SO08@1
U\$9	MA02-2	MA02-2	MA02-2
U\$10	BUZZER_13.8MM	BUZZER_13.8MM	BUZZER_13.8MM
U\$11	SD_CARD	SD_CARD	SD_CARD_SLOT
U\$33	PREPINAC_ESP2010	PREPINAC_ESP2010	PREPINAC_ESP2010
U\$34	PESD5V0S2BT	PESD5V0S2BT	SOT23
U\$36	PESD5V0S2BT	PESD5V0S2BT	SOT23
X1	USB_CONNECTOR	USB_CONNECTOR	USB_MINI
X2	1-227161-0	1-227161-0	AMP_227161
X3	1-227161-0	1-227161-0	AMP_227161

Příloha 2: Výkresová dokumentace Výkonové desky

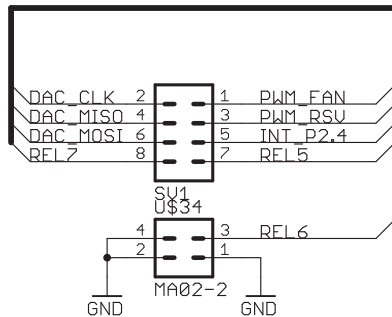
Obsah přílohy:

Schéma zapojení - viz popisky	2
Schéma zapojení nabíjecího obvodu pro záložní akumulátor	3
Schéma zapojení relé	4
Schéma zapojení proudového zdroje pro červenou a zelenou LED	5
Schéma zapojení proudového zdroje pro modrou LED	6
Schéma zapojení spínacích obvodů s triaky	7
Osazovací plán - vrchní strana desky	8
Osazovací plán - spodní strana desky	9
Deska plošných spojů - vrchní vrstva	10
Deska plošných spojů - spodní vrstva	11
Soupiska součástek	12

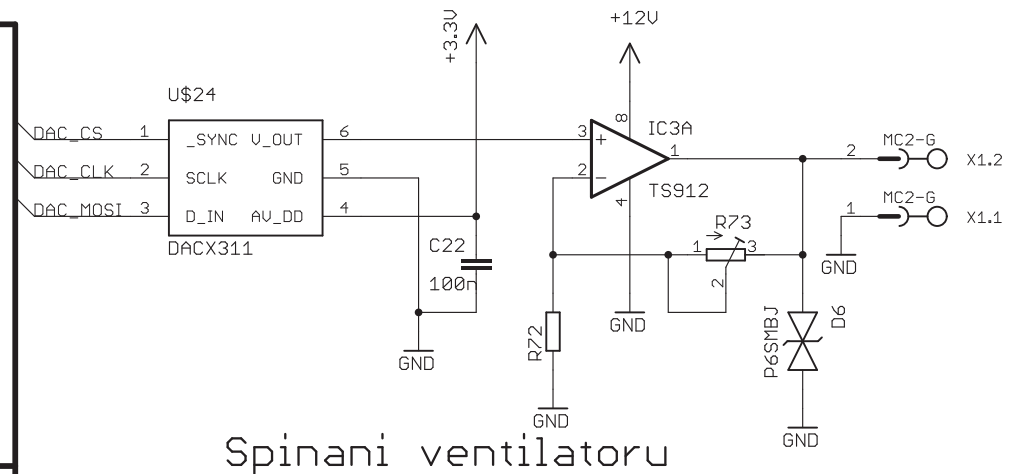
Interface z hlavni desky



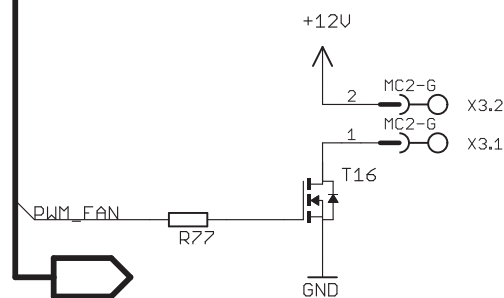
Nevyuzite brany mikrokontroleru

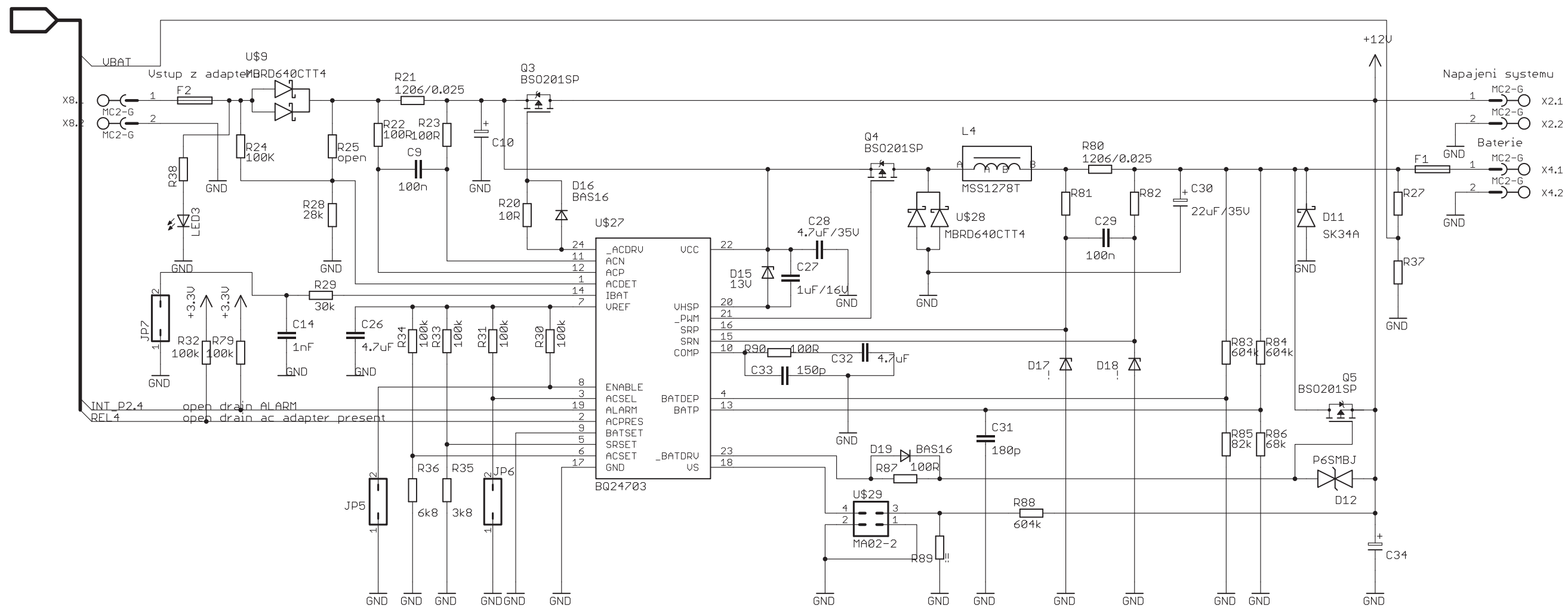


Obvod pro ovladani predradniku zarivky

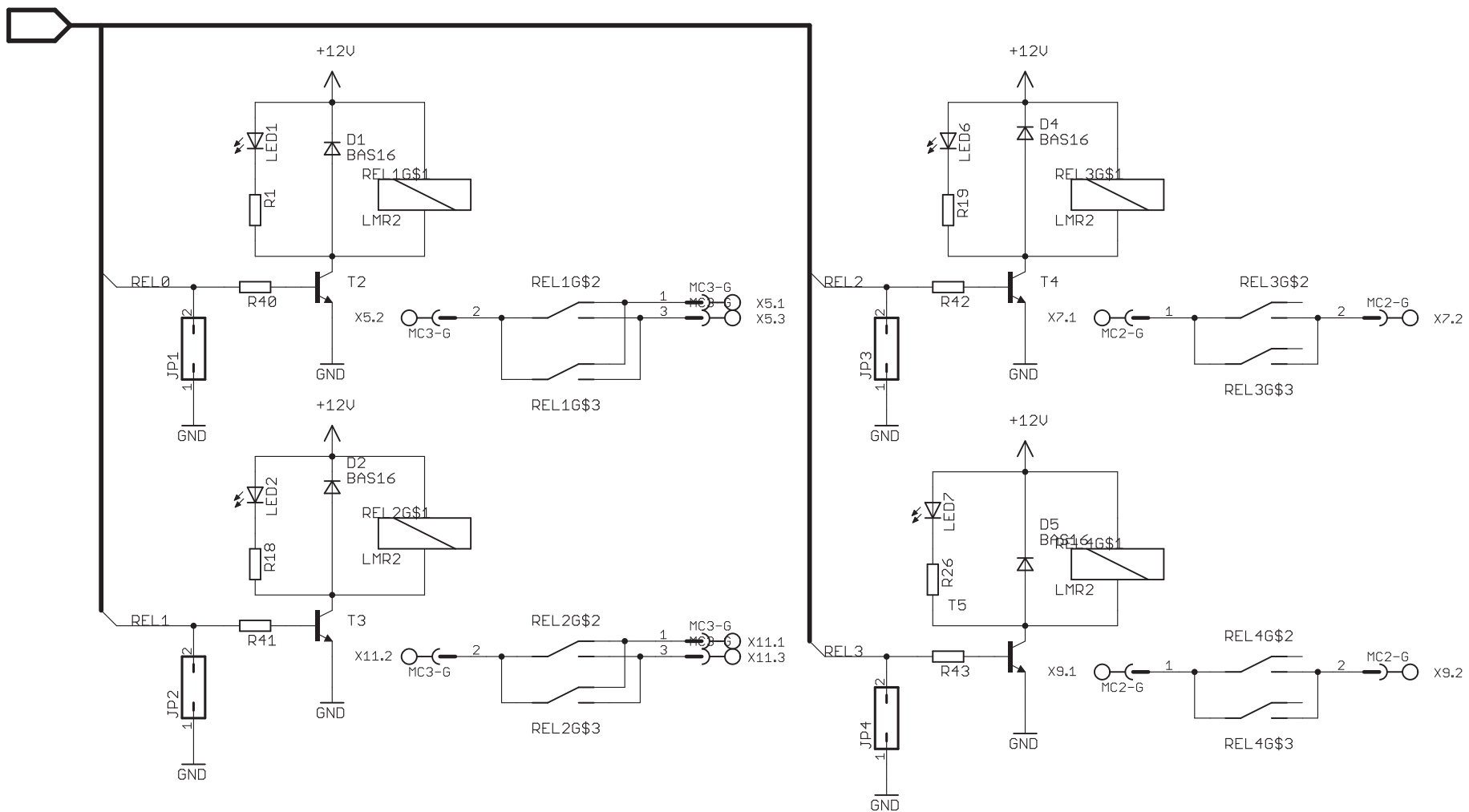


Spinani ventilatoru

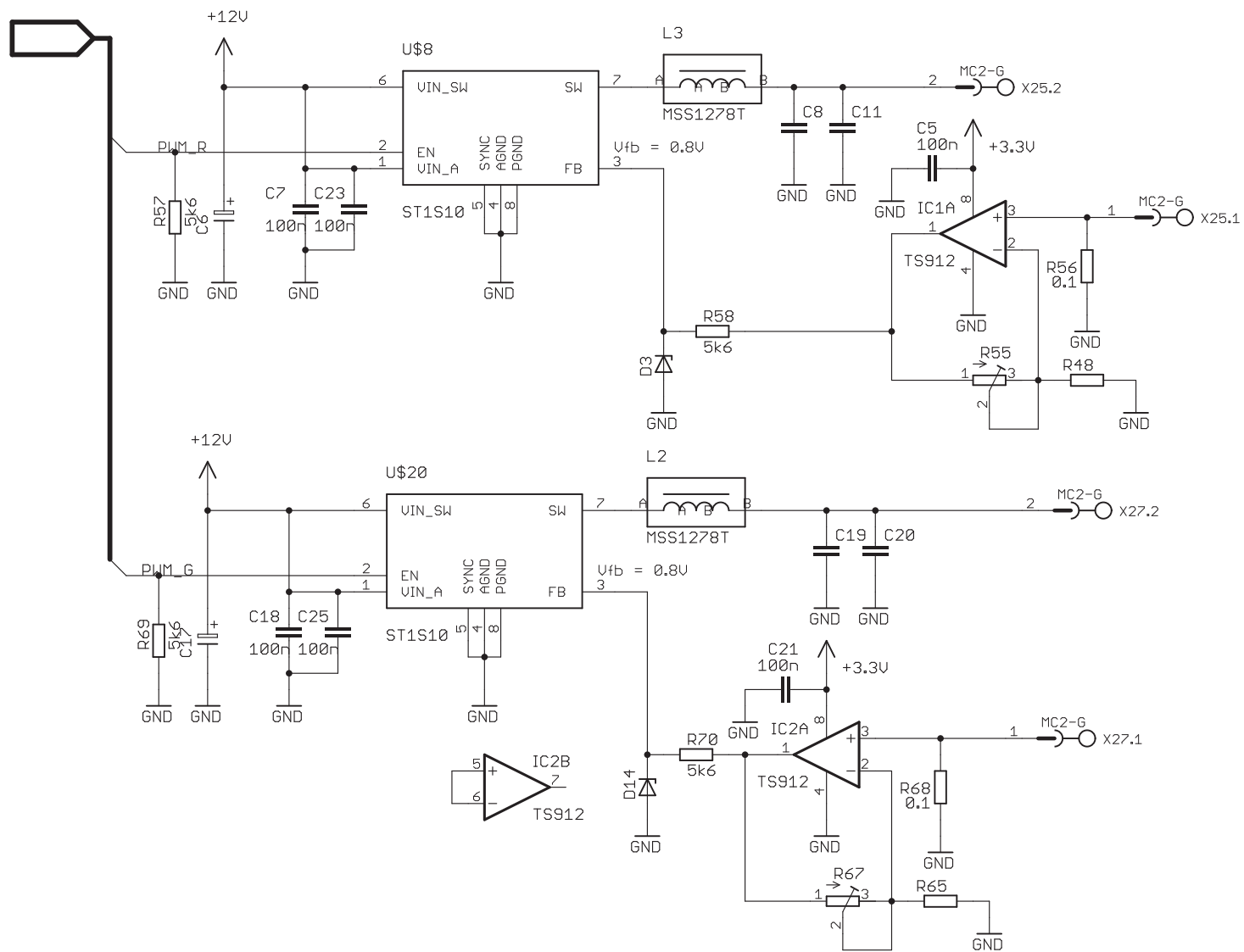




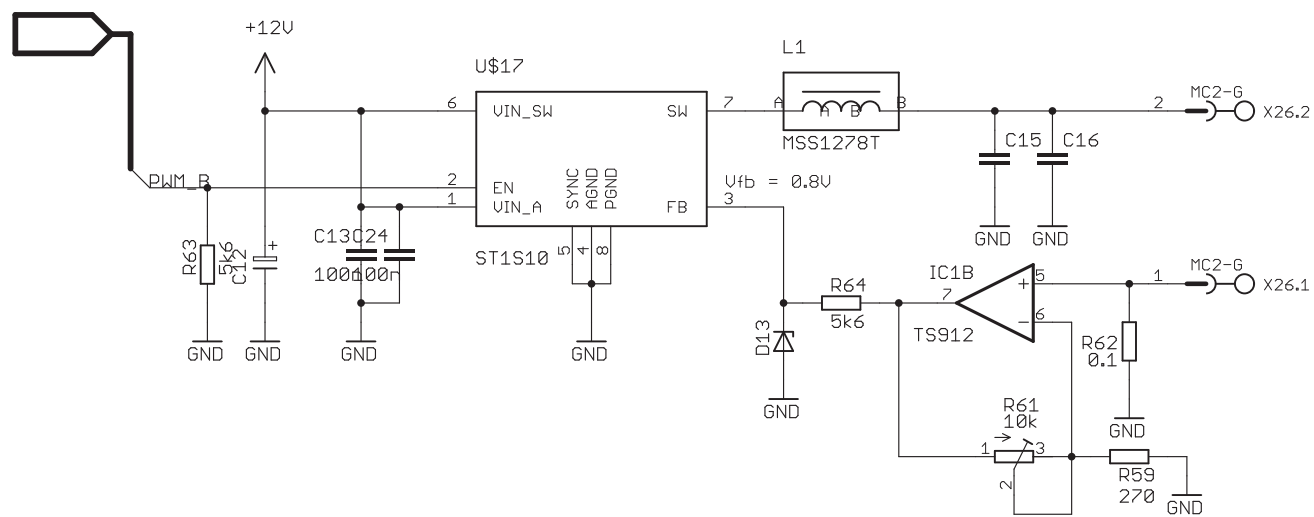
Název: Výkonová deska - nabíjecí obvod záložního akumulátoru
 Autor: Bc. Josef Janda
 Strana: 3/16



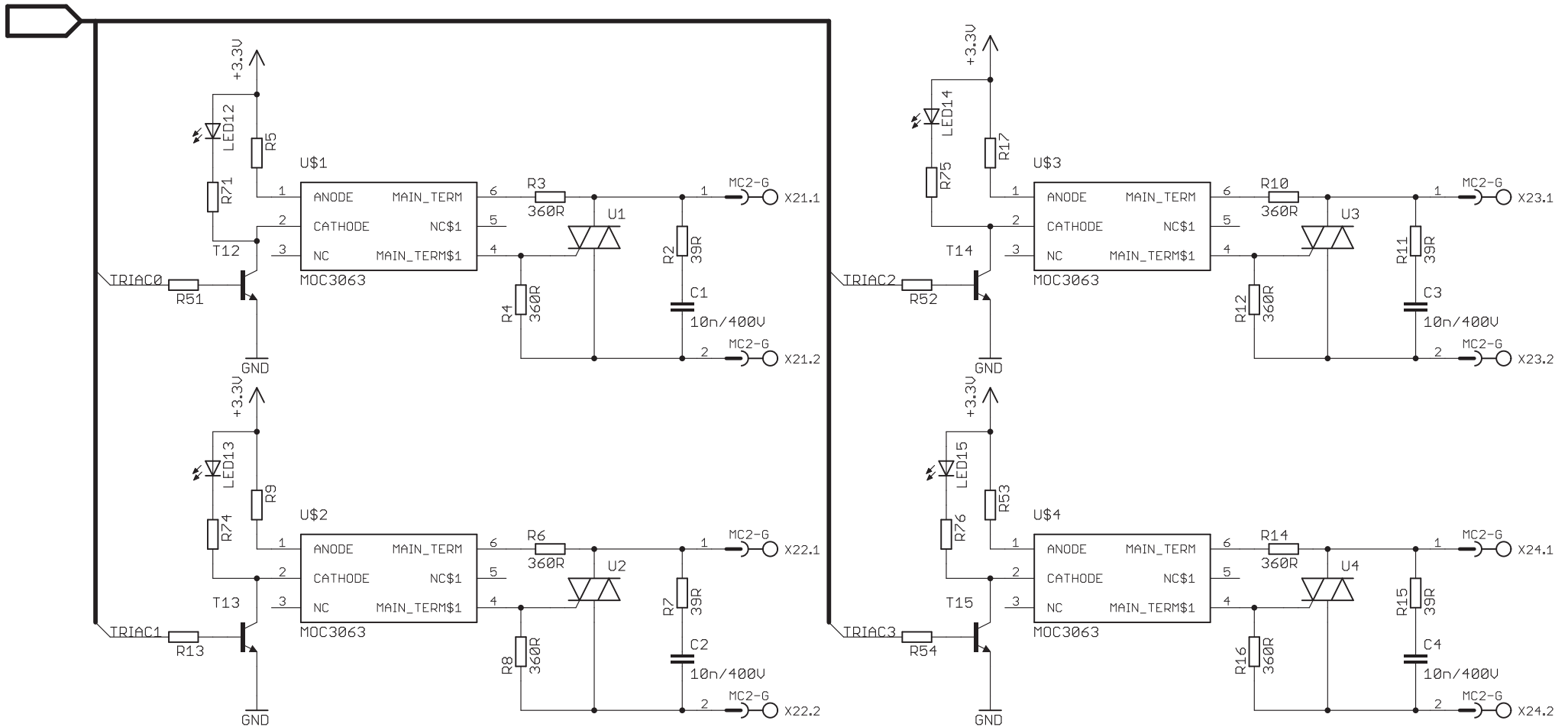
Název: Výkonová deska - relé
 Autor: Bc. Josef Janda
 Strana: 4/16



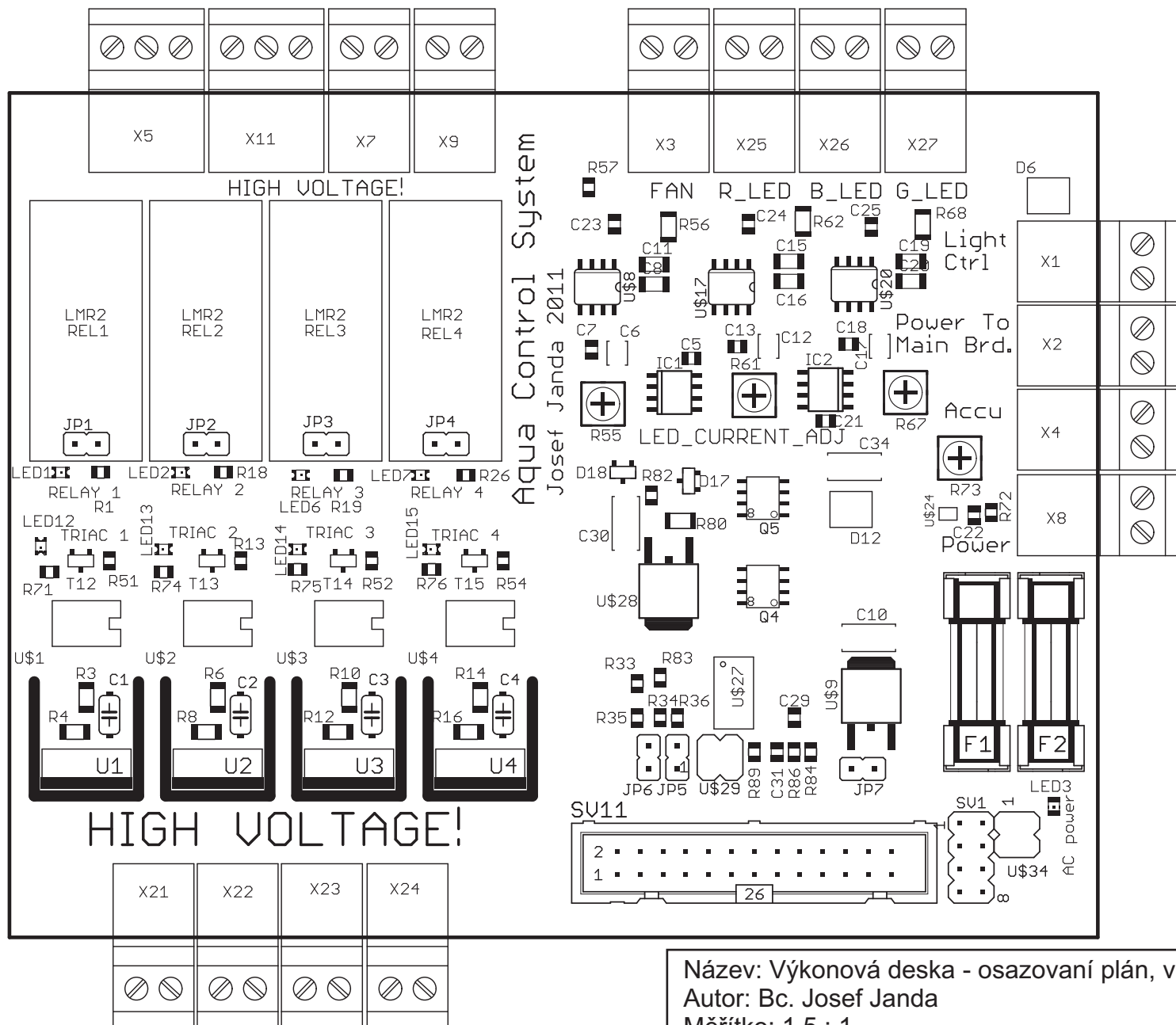
Název: Výkonová deska - proudové zdroje pro č. a z. LED
 Autor: Bc. Josef Janda
 Strana: 5/16



Název: Výkonová deska - proudový zdroj pro modrou LED
 Autor: Bc. Josef Janda
 Strana: 6/16

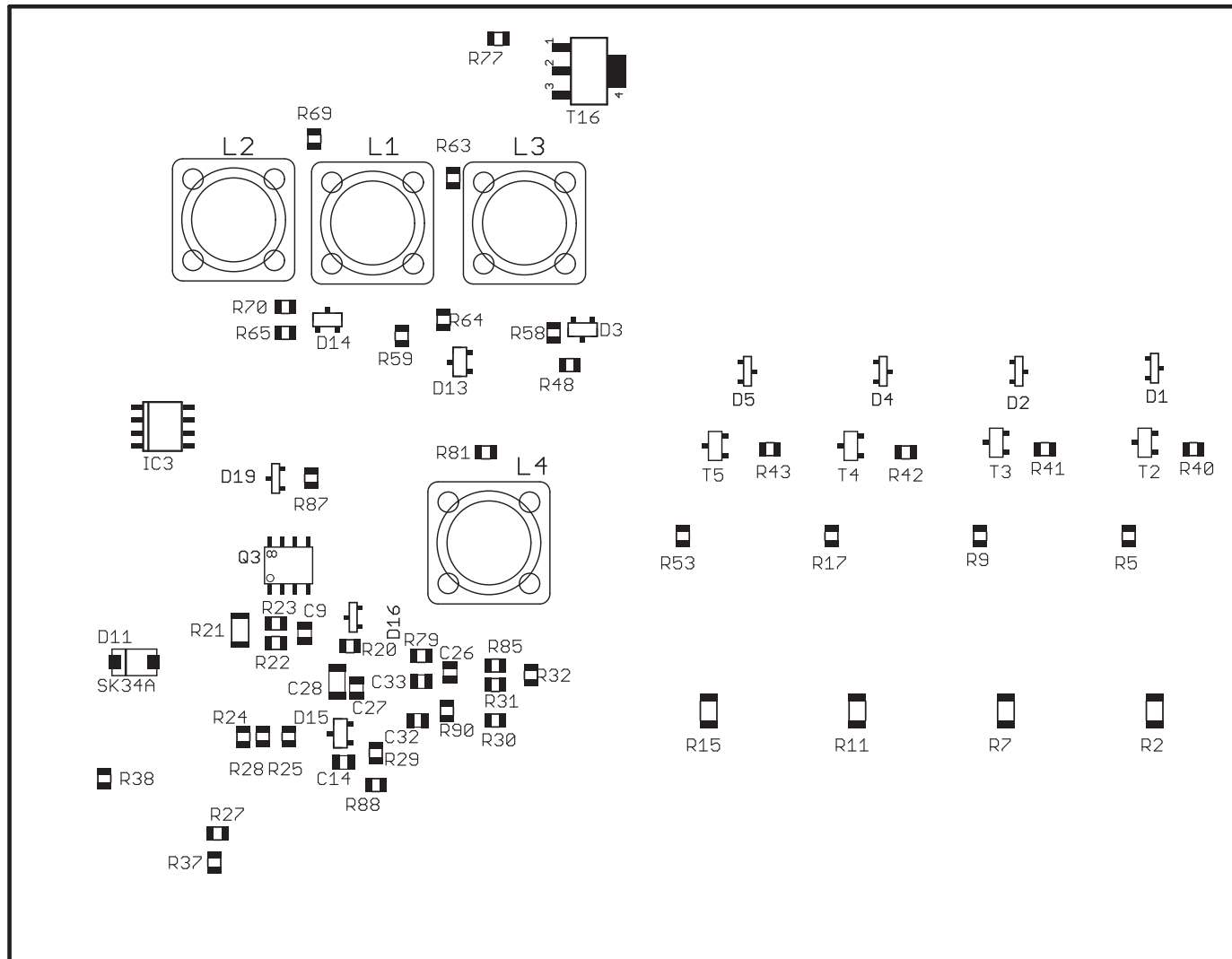


Název: Výkonová deska - spínací obvody s triaky
 Autor: Bc. Josef Janda
 Strana: 7/16

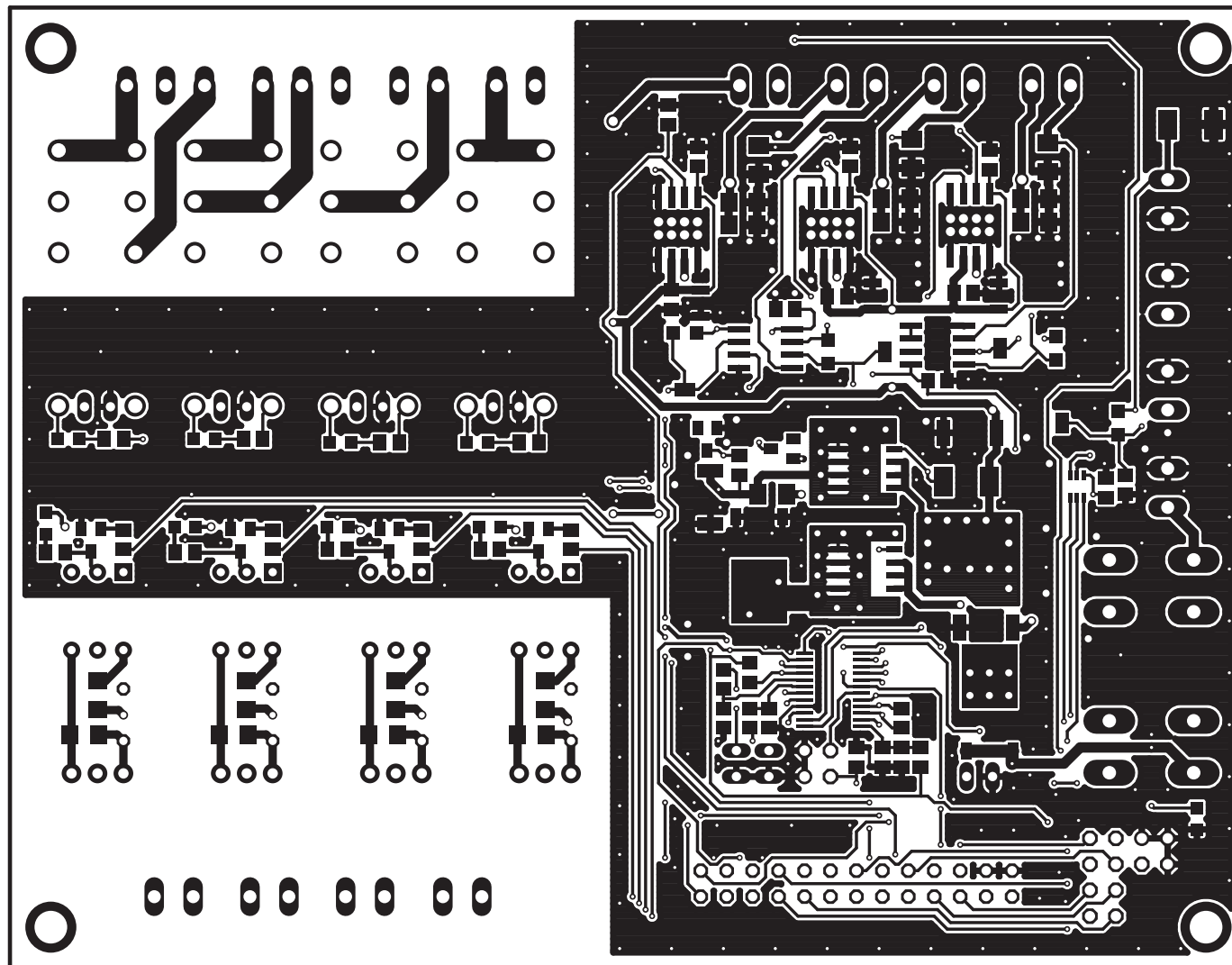


Aqua Control System
Josef Janda 2011

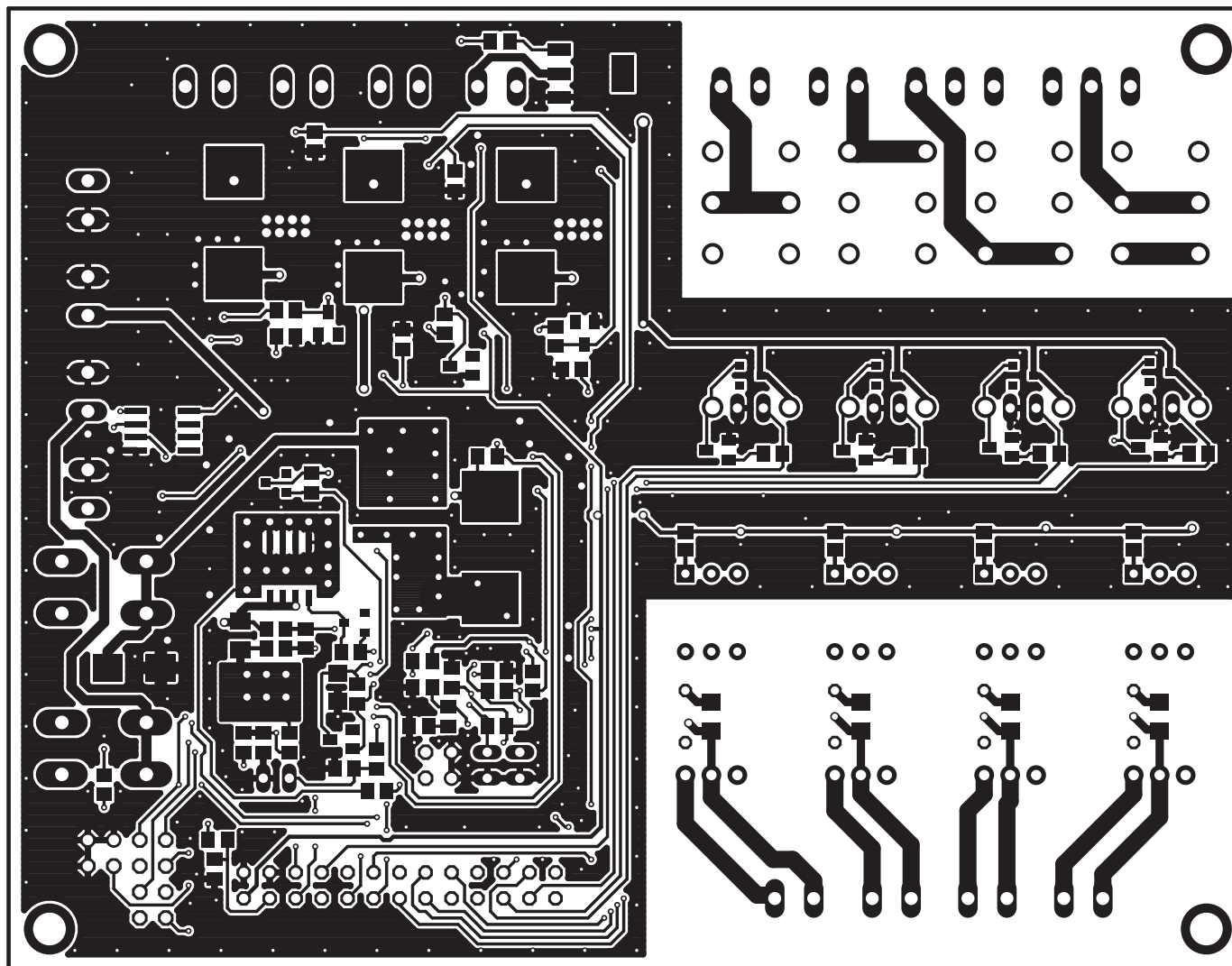
Název: Výkonová deska - osazování plán, vrchní vrstva
 Autor: Bc. Josef Janda
 Měřítko: 1,5 : 1
 Strana: 8/16



Název: Výkonová deska - osazovací plán, spodní vrstva
 Autor: Bc. Josef Janda
 Měřítko: 1,5 : 1
 Strana: 9/16



Název: Výkonová deska - DPS, vrchní vrstva
Autor: Bc. Josef Janda
Měřítko: 1,5 : 1, Rozměry DPS: 121 x 94mm
Strana: 10/16



Název: Výkonová deska - DPS, Spodní vrstva
Autor: Bc. Josef Janda
Měřítko: 1,5 : 1, Rozměry DPS: 121 x 94mm
Strana: 11/16

Soupiska součástek – Výkonová deska

Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
C1	10n/400V	C-EU050-024X044	C050-024X044
C2	10n/400V	C-EU050-024X044	C050-024X044
C3	10n/400V	C-EU050-024X044	C050-024X044
C4	10n/400V	C-EU050-024X044	C050-024X044
C5	100n	C-EUC0805	C0805
C6	4u7	CTSA	CTSA
C7	100n	C-EUC0805	C0805
C8	10uF	C-EUC1206	C1206
C9	100n	C-EUC0805	C0805
C10	47u	CTSC	CTSC
C11	10uF	C-EUC1206	C1206
C12	4u7	CTSA	CTSA
C13	100n	C-EUC0805	C0805
C14	1nF	C-EUC0805	C0805
C15	10uF	C-EUC1206	C1206
C16	10uF	C-EUC1206	C1206
C17	4u7	CTSA	CTSA
C18	100n	C-EUC0805	C0805
C19	10uF	C-EUC1206	C1206
C20	10uF	C-EUC1206	C1206
C21	100n	C-EUC0805	C0805
C22	100n	C-EUC0805	C0805
C23	100n	C-EUC0805	C0805
C24	100n	C-EUC0805	C0805
C25	100n	C-EUC0805	C0805
C26	4.7uF	C-EUC0805	C0805
C27	1uF/16V	C-EUC0805	C0805
C28	4.7uF/35V	C-EUC1206	C1206
C29	100n	C-EUC0805	C0805
C30	22uF/35V	CTSC	CTSC
C31	180p	C-EUC0805	C0805
C32	4.7uF	C-EUC0805	C0805
C33	150p	C-EUC0805	C0805
C34	47uF	CTSC	CTSC
D1	BAS16	DSOT23	SOT-23
D2	BAS16	DSOT23	SOT-23
D3	2V7	ZENER-DIODESOT23	SOT23
D4	BAS16	DSOT23	SOT-23
D5	BAS16	DSOT23	SOT-23
D6	P6SMBJ	P6SMBJ	DO-214AA
D11	SK34A	SK34A_SMD	DO-214AC
D12	P6SMBJ	P6SMBJ	DO-214AA

Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
D13	2V7	ZENER-DIODESOT23	SOT23
D14	2V7	ZENER-DIODESOT23	SOT23
D15	13V	ZENER-DIODESOT23	SOT23
D16	BAS16	DSOT23	SOT-23
D17	18V	ZENER-DIODESOT23	SOT23
D18	18V	ZENER-DIODESOT23	SOT23
D19	BAS16	DSOT23	SOT-23
F1	1000mA	SHK20L	SHK20L
F2	1000mA	SHK20L	SHK20L
IC1	TS912	TS912	SO08
IC2	TS912	TS912	SO08
IC3	TS912	TS912	SO08
JP1	-	JP1Q	JP1
JP2	-	JP1Q	JP1
JP3	-	JP1Q	JP1
JP4	-	JP1Q	JP1
JP5	-	JP1Q	JP1
JP6	-	JP1Q	JP1
JP7	-	JP1Q	JP1
L1	4u7	MSS1278T	COILCRAFT_MSS1278T
L2	4u7	MSS1278T	COILCRAFT_MSS1278T
L3	4u7	MSS1278T	COILCRAFT_MSS1278T
L4	MSS1278T	MSS1278T	COILCRAFT_MSS1278T
1.01	-	LEDCHIPLED_0805	CHIPLED_0805
1.02	-	LEDCHIPLED_0805	CHIPLED_0805
1.03	-	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
1.06	-	LEDCHIPLED_0805	CHIPLED_0805
1.07	-	LEDCHIPLED_0805	CHIPLED_0805
1.12	-	LEDCHIPLED_0805	CHIPLED_0805
1.13	-	LEDCHIPLED_0805	CHIPLED_0805
1.14	-	LEDCHIPLED_0805	CHIPLED_0805
1.15	-	LEDCHIPLED_0805	CHIPLED_0805
Q3	BSO201SP	BSO201SP	SO-8
Q4	BSO201SP	BSO201SP	SO-8
Q5	BSO201SP	BSO201SP	SO-8
R1	2k2	R-EU_R0805	R0805
R2	39R	R-EU_R1206	R1206
R3	360R	R-EU_R1206	R1206
R4	360R	R-EU_R1206	R1206
R5	270R	R-EU_R0805	R0805
R6	360R	R-EU_R1206	R1206
R7	39R	R-EU_R1206	R1206
R8	360R	R-EU_R1206	R1206
R9	270R	R-EU_R0805	R0805
R10	360R	R-EU_R1206	R1206

Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
R11	39R	R-EU_R1206	R1206
R12	360R	R-EU_R1206	R1206
R13	1k	R-EU_R0805	R0805
R14	360R	R-EU_R1206	R1206
R15	39R	R-EU_R1206	R1206
R16	360R	R-EU_R1206	R1206
R17	270R	R-EU_R0805	R0805
R18	2K2	R-EU_R0805	R0805
R19	2K2	R-EU_R0805	R0805
R20	10R	R-EU_R0805	R0805
R21	1206/0.025	R-EU_M1206	M1206
R22	100R	R-EU_R0805	R0805
R23	100R	R-EU_R0805	R0805
R24	100K	R-EU_R0805	R0805
R25	open	R-EU_R0805	R0805
R26	2K2	R-EU_R0805	R0805
R27	-	R-EU_R0805	R0805
R28	28k	R-EU_R0805	R0805
R29	30k	R-EU_R0805	R0805
R30	100k	R-EU_R0805	R0805
R31	100k	R-EU_R0805	R0805
R32	100k	R-EU_R0805	R0805
R33	100k	R-EU_R0805	R0805
R34	100k	R-EU_R0805	R0805
R35	3k8	R-EU_R0805	R0805
R36	6k8	R-EU_R0805	R0805
R37	-	R-EU_R0805	R0805
R38	2K2	R-EU_R0805	R0805
R40	1k	R-EU_R0805	R0805
R41	1k	R-EU_R0805	R0805
R42	1k	R-EU_R0805	R0805
R43	1k	R-EU_R0805	R0805
R48	1k	R-EU_R0805	R0805
R51	-	R-EU_R0805	R0805
R52	-	R-EU_R0805	R0805
R53	270R	R-EU_R0805	R0805
R54	1k	R-EU_R0805	R0805
R55	10k	R-TRIMM4G/J	RTRIM4G/J
R56	0.1	R-EU_M1206	M1206
R57	5k6	R-EU_R0805	R0805
R58	5k6	R-EU_R0805	R0805
R59	270	R-EU_R0805	R0805
R61	10k	R-TRIMM4G/J	RTRIM4G/J
R62	0.1	R-EU_M1206	M1206
R63	5k6	R-EU_R0805	R0805

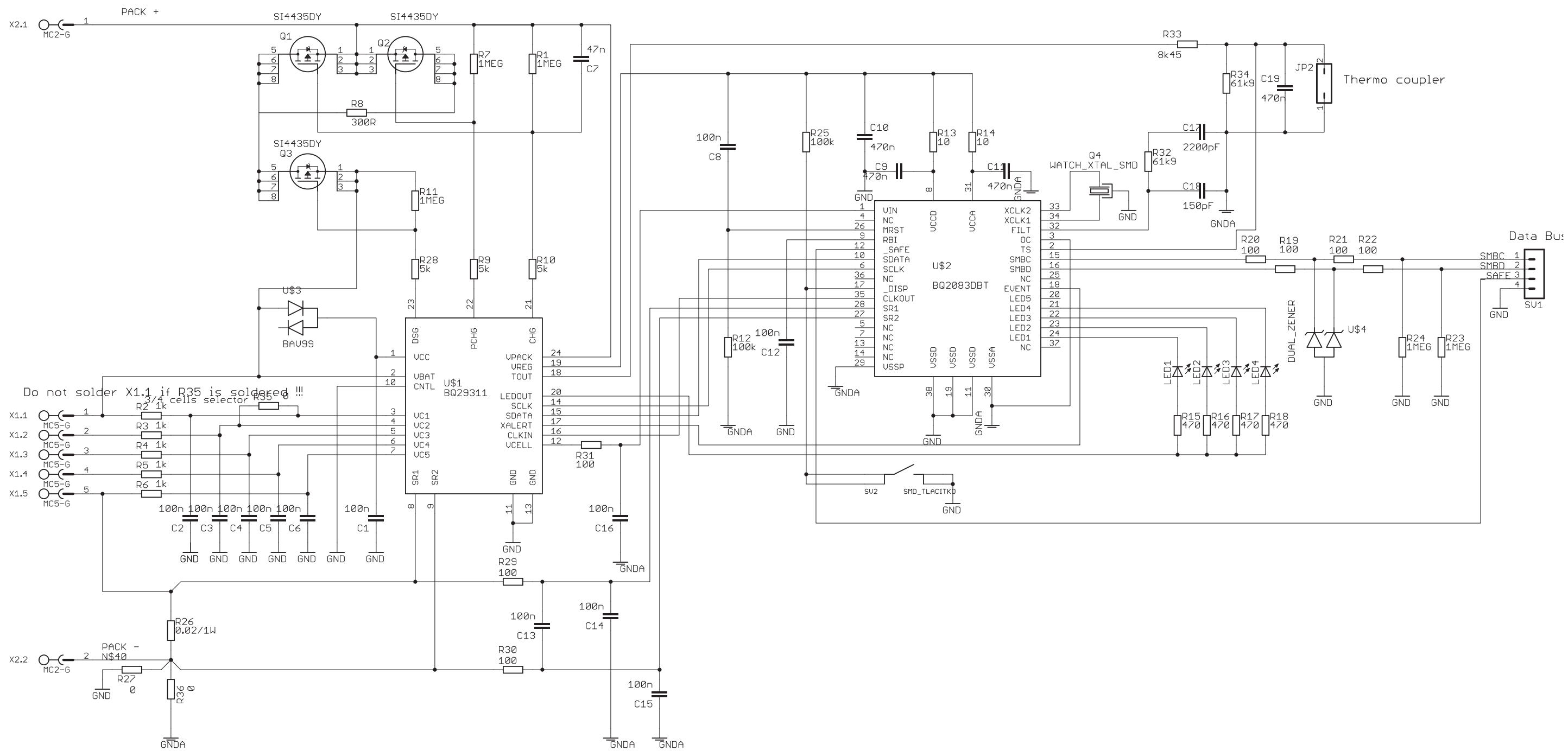
Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
R64	5k6	R-EU_R0805	R0805
R65	1k	R-EU_R0805	R0805
R67	10k	R-TRIMM4G/J	RTRIM4G/J
R68	0.1	R-EU_M1206	M1206
R69	5k6	R-EU_R0805	R0805
R70	5k6	R-EU_R0805	R0805
R71	470R	R-EU_R0805	R0805
R72	10k	R-EU_R0805	R0805
R73	10k	R-TRIMM4G/J	RTRIM4G/J
R74	470R	R-EU_R0805	R0805
R75	470R	R-EU_R0805	R0805
R76	470R	R-EU_R0805	R0805
R77	10k	R-EU_R0805	R0805
R79	100k	R-EU_R0805	R0805
R80	1206/0.025	R-EU_M1206	M1206
R81	100R	R-EU_R0805	R0805
R82	100R	R-EU_R0805	R0805
R83	604k	R-EU_R0805	R0805
R84	604k	R-EU_R0805	R0805
R85	82k	R-EU_R0805	R0805
R86	68k	R-EU_R0805	R0805
R87	100R	R-EU_R0805	R0805
R88	604k	R-EU_R0805	R0805
R89	-	R-EU_R0805	R0805
R90	100R	R-EU_R0805	R0805
REL1	LMR2	LMR2	LMR2
REL2	LMR2	LMR2	LMR2
REL3	LMR2	LMR2	LMR2
REL4	LMR2	LMR2	LMR2
SV1	-	MA04-2	MA04-2
SV11	-	ML26	ML26
T2	-	BC817-25-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T3	-	BC817-25-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T4	-	BC817-25-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T5	-	BC817-25-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T12	-	BC817-25-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T13	-	BC817-25-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T14	-	BC817-25-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T15	-	BC817-25-NPN-SOT23-BEC	SOT23-BEC
T16	-	NMOSSOT223	SOT223
U\$1	MOC3063	MOC3063	DIL-06
U\$2	MOC3063	MOC3063	DIL-06
U\$3	MOC3063	MOC3063	DIL-06
U\$4	MOC3063	MOC3063	DIL-06
U\$8	ST1S10	ST1S10	SO08@1

Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
U\$9	MBRD640CTT4	MBRD640CTT4	TO252
U\$17	ST1S10	ST1S10	SO08@1
U\$20	ST1S10	ST1S10	SO08@1
U\$24	DACX311	DACX311	PDSO-G6
U\$27	BQ24703	BQ24703	PDSO-G24
U\$28	MBRD640CTT4	MBRD640CTT4	TO252
U\$29	MA02-2	MA02-2	MA02-2
U\$34	MA02-2	MA02-2	MA02-2
U1	-	BTA08-600VDO1A_21K/W	TO-220_DO1A_21K/W
U2	-	BTA08-600VDO1A_21K/W	TO-220_DO1A_21K/W
U3	-	BTA08-600VDO1A_21K/W	TO-220_DO1A_21K/W
U4	-	BTA08-600VDO1A_21K/W	TO-220_DO1A_21K/W
X1	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X2	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X3	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X4	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X5	MC3-G	MC3-G	MC3-G
X7	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X8	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X9	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X11	MC3-G	MC3-G	MC3-G
X21	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X22	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X23	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X24	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X25	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X26	MC2-G	MC2-G	MC2-G
X27	MC2-G	MC2-G	MC2-G

Příloha 3: Výkresová dokumentace Obvodu pro ochranu Li-Pol akumulátoru

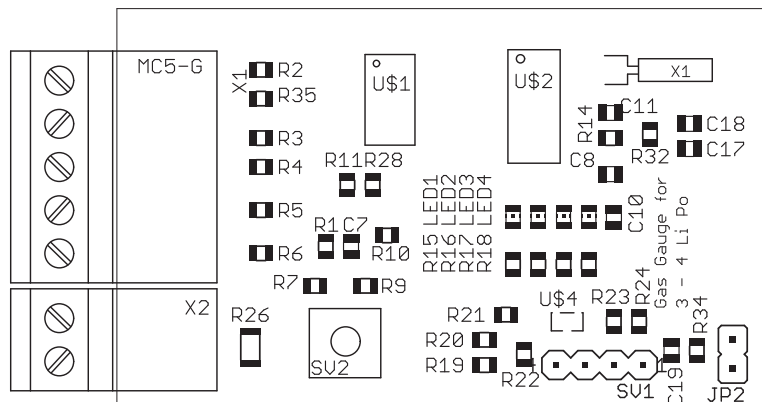
Obsah přílohy:

Schéma zapojení	2
Osazovací plány a desky plošných spojů	3
Soupiska součástek	4

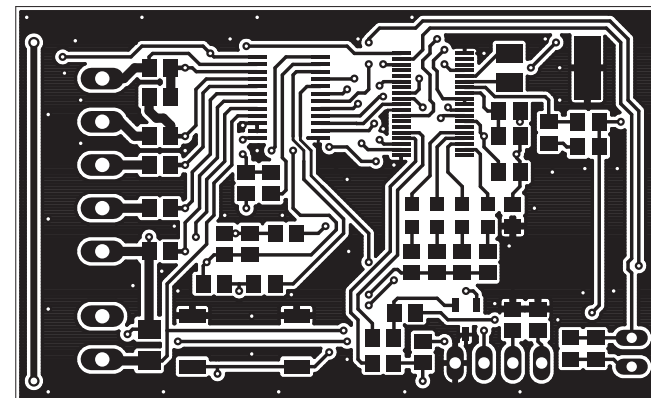


Název: Ochranný obvod Li-Pol - schéma zapojení
 Autor: Bc. Josef Janda
 Strana: 2/5

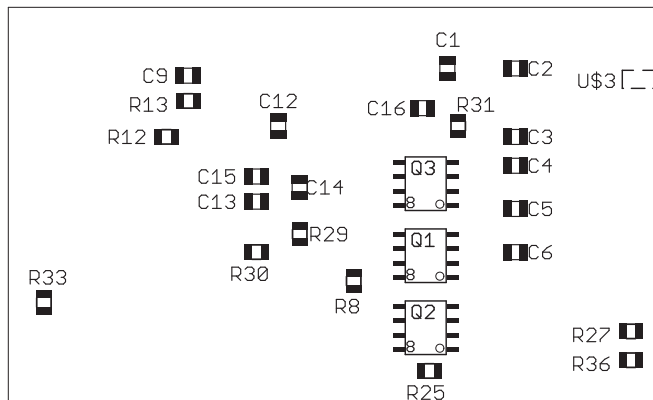
Osazovací plán - vrchní vrstva



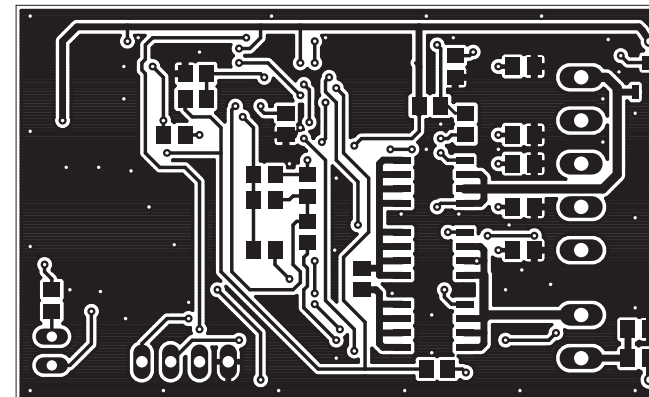
DPS - vrchní vrstva



Osazovací plán - spodní vrstva



DPS - spodní vrstva



Název: Ochranný obvod Li-Pol - osazovací plán a DPS
 Autor: Bc. Josef Janda
 Měřítko: 1,5 : 1, Rozměry DPS: 58 x 35 mm
 Strana: 3/5

Soupiska součástek – Obvod pro ochranu Li-Pol akumulátorů

Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
C1	100n	C-EUC0805	C0805
C2	100n	C-EUC0805	C0805
C3	100n	C-EUC0805	C0805
C4	100n	C-EUC0805	C0805
C5	100n	C-EUC0805	C0805
C6	100n	C-EUC0805	C0805
C7	47n	C-EUC0805	C0805
C8	100n	C-EUC0805	C0805
C9	470n	C-EUC0805	C0805
C10	470n	C-EUC0805	C0805
C11	470n	C-EUC0805	C0805
C12	100n	C-EUC0805	C0805
C13	100n	C-EUC0805	C0805
C14	100n	C-EUC0805	C0805
C15	100n	C-EUC0805	C0805
C16	100n	C-EUC0805	C0805
C17	2200pF	C-EUC0805	C0805
C18	150pF	C-EUC0805	C0805
C19	470n	C-EUC0805	C0805
JP2	-	JP1Q	JP1
36892	-	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
37257	-	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
37622	-	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
37987	-	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
Q1	SI4435DY	SI4435DY	SO-8
Q2	SI4435DY	SI4435DY	SO-8
Q3	SI4435DY	SI4435DY	SO-8
Q4	WATCH_XTAL_SMD	WATCH_XTAL_SMD	WATCH-XTAL_SMD
R1	1MEG	R-EU_R0805	R0805
R2	1k	R-EU_R0805	R0805
R3	1k	R-EU_R0805	R0805
R4	1k	R-EU_R0805	R0805
R5	1k	R-EU_R0805	R0805
R6	1k	R-EU_R0805	R0805
R7	1MEG	R-EU_R0805	R0805
R8	300R	R-EU_R0805	R0805
R9	5k	R-EU_R0805	R0805
R10	5k	R-EU_R0805	R0805
R11	1MEG	R-EU_R0805	R0805
R12	100k	R-EU_R0805	R0805
R13	10	R-EU_R0805	R0805
R14	10	R-EU_R0805	R0805
R15	470	R-EU_R0805	R0805

Označení	Hodnota	Typ	Pouzdro
R16	470	R-EU_R0805	R0805
R17	470	R-EU_R0805	R0805
R18	470	R-EU_R0805	R0805
R19	100	R-EU_R0805	R0805
R20	100	R-EU_R0805	R0805
R21	100	R-EU_R0805	R0805
R22	100	R-EU_R0805	R0805
R23	1MEG	R-EU_R0805	R0805
R24	1MEG	R-EU_R0805	R0805
R25	100k	R-EU_R0805	R0805
R26	0.02/1W	R-EU_M1206	M1206
R27	0	R-EU_R0805	R0805
R28	5k	R-EU_R0805	R0805
R29	100	R-EU_R0805	R0805
R30	100	R-EU_R0805	R0805
R31	100	R-EU_R0805	R0805
R32	61k9	R-EU_R0805	R0805
R33	8k45	R-EU_R0805	R0805
R34	61k9	R-EU_R0805	R0805
R35	0	R-EU_R0805	R0805
R36	0	R-EU_R0805	R0805
SV1	-	MA04-1	MA04-1
SV2	SMD_TLACITKO	SMD_TLACITKO	TLACITKO_SMD
U\$1	BQ29311	BQ29311	PDSO-G24
U\$2	BQ2083DBT	BQ2083DBT	R-PDSO-G38
U\$3	BAV99	BAV99	SOT23
U\$4	DUAL_ZENER	DUAL_ZENER	SOT23
X1	MC5-G	MC5-G	MC5-G
X2	MC2-G	MC2-G	MC2-G