

# Řídicí a monitorovací systém pro akvária

Bc. Lukáš Kratina

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Kratina**  
Osobní číslo: **A12405**  
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Řídicí a monitorovací systém pro akvária**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Zvolte pro daný účel vhodné typy mikropočítačů a vhodný typ komunikační sběrnice.
3. Proveďte hardwarový návrh centrální jednotky a dílčích jednotek.
4. Vytvořte programové vybavení s uživatelsky přívětivým ovládáním.
5. Realizujte prototyp systému a ověřte jeho správnou funkci.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. KRČEK, Karel. 333 zajímavostí pro akvaristy. Vyd. 1. Ilustrace Miloš Váňa. Vimperk: VIK, 1995. ISBN 80-856-1845-1.
2. KRČEK, Karel. Akvaristická elektrotechnika. 2., dopln. vyd. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-030-0152-8.
3. FREESCALE SEMICONDUCTOR. FRDM-KL25Z Users Manual [online]. 2013. Dostupné z: [www.freescale.com](http://www.freescale.com)
4. FREESCALE SEMICONDUCTOR. KL25 Sub-Family Reference Manual [online]. 2012. Dostupné z: [www.freescale.com](http://www.freescale.com)
5. HRUŠKA, František. Senzory v systémech informatiky a automatizace. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-630-2.
6. JURÁNEK, Antonín a Miroslav HRABOVSKÝ. EAGLE pro začátečníky /: uživatelská a referenční příručka :. 2. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2007. ISBN 80-730-0213-2.
7. MANN, Burkhard a Miroslav HRABOVSKÝ. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Petr Dostálek, Ph.D.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

**7. března 2014**

Termín odevzdání diplomové práce:

**11. června 2014**

Ve Zlíně dne 7. března 2014

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- Že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem komplexního řídicího a monitorovacího systému pro akvária. Zařízení slouží zejména k řízení topení, osvětlení, měření pH a řízení dávkování oxidu uhličitého. Řídicí jednotky jsou propojeny s centrální jednotkou, která slouží k hromadnému monitorování a řízení všech akvárií. Systém je postaven na jednodeskovém počítači BeagleBone Black, platformě FRDM KL-25Z a mikropočítači MC9S08AC60. Jednotky jsou propojeny přes rozhraní RS-485 a RS-232. Teoretická část popisuje možnosti řízení akvária, přehled existujících řešení a sériové komunikační sběrnice, které byly použity při návrhu systému. Praktická část je zaměřena na návrh zařízení, programové vybavení a ovládání celého systému.

**Klíčová slova:** akvárium, teplota, osvětlení, topení, pH, RS-232, RS-485, BeagleBone Black, FRDM KL-25Z, MC9S08AC60

## **ABSTRACT**

This Master's thesis describes the design of complex control and monitoring system for aquariums. The device is used mainly to control heating, lighting, pH measurement and injection control of carbon dioxide. The control units are connected to the central unit, which is used for common monitoring and management of all aquariums. The system is built on a single board computer BeagleBone Black, platform FRDM KL-25Z and microcomputer MC9S08AC60. The units are connected via RS-485 and RS-232 interface. The theoretical part describes the management of the aquarium, an overview of existing solutions and serial communication bus, which were used in the design of the system. The practical part is focused on the design of the equipment, software and system control.

**Keywords:** aquarium, temperature, lighting, heating, pH, RS-232, RS-485, BeagleBone Black, FRDM KL-25Z, MC9S08AC60

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, kterým byl Ing. Petr Dostálek, za jeho rady, připomínky a pomoc při řešení této práce. Dále děkuji také rodině za podporu v průběhu studia.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 AUTOMATIZACE V AKVARISTICE</b> .....	<b>10</b>
1.1 MOŽNOSTI ŘÍZENÍ.....	14
1.2 MĚŘENÍ TEPLoty A PH.....	18
1.3 KOMPlexNÍ ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY .....	20
1.3.1 Profesionální zařízení.....	20
1.3.2 Amatérské zařízení.....	22
<b>2 KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE A ROZHRAŇÍ</b> .....	<b>25</b>
2.1 SĚRIOVÉ KOMUNIKAČNÍ ROZHRAŇÍ .....	25
2.2 SBĚRNICE SPI.....	30
2.3 SBĚRNICE I2C .....	32
2.4 SBĚRNICE 1 – WIRE .....	33
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>35</b>
<b>3 NÁVRH HARDWARU</b> .....	<b>36</b>
3.1 POUŽITÉ MIKROPOČÍTAČE A PLATFORMY .....	39
3.2 CENTRÁLNÍ JEDNOTKA .....	42
3.3 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA.....	44
3.4 VÝKONOVÁ JEDNOTKA .....	50
<b>4 NÁVRH SOFTWARE</b> .....	<b>55</b>
4.1 KOMUNIKACE MEZI JEDNOTKAMI A PŘENOS DAT .....	55
4.2 CENTRÁLNÍ JEDNOTKA .....	60
4.3 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA.....	64
4.4 VÝKONOVÁ JEDNOTKA .....	66
<b>5 OVLÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>68</b>
<b>6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI</b> .....	<b>75</b>
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>77</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>78</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>81</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>84</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>86</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>87</b>

## ÚVOD

Akvaristika má dlouholetou tradici a vznikla v pracovních přírodovědců, odkud se velmi rychle rozšířila mezi běžné lidi po celém světě a stala se tak velmi oblíbenou zálibou. Akvaristika se vyvíjela a pořád vyvíjí s rozvojem nových poznatků, v současné době zejména těch technických. Prvním velkým zvratem bylo zjištění vztahu mezi rostlinami (výrobce kyslíku) a rybami (spotřebitel kyslíku). Za úplné počátky akvaristiky by se dal považovat chov ryb v zajetí už před několika tisíciletími, kdy smyslem tohoto chovu byl zdroj potravy. Ke zlomu vztahu člověka a ryb došlo ve středověké Číně, kde se staly ryby ozdobou. Čína byla také známa chovem „*zlatých rybek*“, které vyšlechtila z divokého karase. Počátek moderní akvaristiky se mnohdy datuje od roku 1728, kdy byla „*zlatá rybka*“ poprvé rozmnožena v Holandsku. O vznik akvaristiky u nás se zasloužil Jan Evangelista Purkyně, když v roce 1856 nechal založit řadu akvárií. V roce 1885 byla vydaná první česká kniha o akvaristice.

Akvaristika je značně rozmanitá a těžší informace z mnoha vědních oborů. Pokud by chtěl být akvarista všestranný a závislý pouze sám na sobě, potřeboval by znalosti z chemie, biologie, fyziky, elektrotechniky, automatizace, strojírenství a mnohých dalších oborů, což je prakticky nemožné, a proto musí akvaristé spolupracovat s ostatními odborníky a jen tak se může akvaristika dále rozvíjet.

Cílem této práce je navrhnout komplexní řídicí a monitorovací systém pro akvária, který by našel díky své koncepci široké uplatnění a stal se inspirací pro vznik dalších podobných zařízení. Systém se skládá ze dvou částí a to z centrální jednotky a z dílčích řídicích jednotek. Díky této koncepci může akvarista centrálně sledovat a řídit několik akvárií pohodlně z jednoho místa. Řídicí jednotky slouží zejména k měření teploty, pH a následnému řízení topení, dávkování oxidu uhličitého a k řízení dalších doplňků, jako je např. osvětlení, filtrace, hnojení a krmení.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsány možnosti řízení v akvaristice, přehled existujících řešení a nakonec sériové komunikační sběrnice, které byly použity při návrhu zařízení a jsou základním stavebním kamenem celého systému. Praktická část se zabývá návrhem hardwaru a popisem některých použitých obvodů. Závěr praktické části je věnován softwarovému vybavení, ověření funkčnosti a ovládání celého systému.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 AUTOMATIZACE V AKVARISTICE

Smyslem akvaristiky je aklimatizace chovu ryb v zajetí, pěstování akvarijských rostlin a to vše v uměle vytvořeném prostředí s cílem, co nejdříve napodobit přírodní životní podmínky. Akvárium díky svým omezeným rozměrům a možnostem neposkytuje takové samoregulační účinky jako vodní zdroje v přírodě, na které jsou ryby i rostliny zvyklé, a proto se musí tyto podmínky zajistit vhodnými technickými doplňky. Mezi tyto zařízení patří umělé osvětlení, topení popř. chlazení, filtrace, vzduchování, UV (Ultra Violet) sterilizátor, ozonizátor, krmítka, dávkovací čerpadla a v neposlední řadě také sondy a snímače pro měření chemického složení vody. Pokud se akvarista rozhodne, že bude v akváriu měřit určité veličiny, následně je zpracovávat a konečný výsledek poslouží k ovládání nebo řízení, dostává se ke slovu automatizace. Ta by se dala definovat jako proces, při kterém jsou funkce obsluhy (člověka) nahrazovány technickými zařízeními a prostředky. [1,2]

Kvalitní život ryb a růst rostlin v akváriu je podmíněn jejich životním prostředím, kterým je voda, vzájemnými vztahy a zdrojem výživy. K nejdůležitějším fyzikálně chemickým faktorům ovlivňující toto životní prostředí je světlo, teplota, proudění, vodivost, tvrdost vody, množství rozpuštěné soli ve vodě, hodnota pH, množství kyslíku a oxidu uhličitého, množství dusíkatých látek a barva vody. [3]

Význam těchto faktorů a jejich vliv na životní podmínky v akváriu je dosti problematická záležitost, jejíž znalost je základem úspěchu každého akvaristy. Z technického hlediska návrhu řídicího systému to není směrodatné, protože výslednou konfiguraci systému provádí akvarista na základě vlastních potřeb a zkušeností, kdy optimální nastavení je dané živočišným a rostlinným osazením každého akvária. V následujících odstavcích budou stručně vysvětleny některé fyzikálně chemické faktory z důvodů vytvoření si představy o tom, jak je akvaristika rozmanitá a složitá.

### Světlo

Každý živý organismus potřebuje ke svému životu světlo. V přírodě dopadá sluneční svit na masu vody kolmo na hladinu a v hloubce 30 cm je intenzita osvětlení 50% z celkového dopadajícího světla. Akvarijské ryby nejsou náročné na osvětlení a vyhovuje jim spíše tlumené osvětlení. Pro rostliny má ovšem světlo existenční význam. Rostliny přeměňují sloučeniny vody a oxidu uhličitého pomocí chlorofylu a světelné energie na kyslík. Tomuto

dějí se říká asimilace a děj opačný je disimilace. Asimilace se projevuje stoupáním bublinek kyslíku z povrchů listů směrem k hladině. Pro růst rostlin je důležité, aby asimilace převládala nad disimilací, jinak rostliny odumírají. Doba osvitů závisí na druhu ryb a rostlin. V tropických oblastech dochází k dvanáctihodinovému střídání dne a noci, na rozdíl od našich zeměpisných podmínek, kde se tato doba mění v závislosti na ročním období, a proto se musí doba osvětlení uměle zkracovat nebo prodlužovat, avšak celková doba osvětlení by neměla překročit dvanáct hodin. Zdroj světla je nutné volit tak, aby pokrýval co nejširší světelné spektrum, kdy každá složka má pro růst rostlin určitý význam. Pro akvarijní účely je vhodné použít světelný zdroj, který pokrývá viditelné spektrum a je zdůrazněna červená složka, která podporuje vytváření listové zeleně. [2,3]

### Teplota

Přírodní vodní plochy obsahují velké množství vody, která svou setrvačností pokrývá výkyvy okolní teploty a zajišťuje tak rybám dostatečný čas na to, aby se připravily při přechodu z teplejšího období na chladnější. Vlivem malého množství vody v akváriu teplota značně kolísá podle okolní teploty. Cílem akvaristy je tuto teplotu regulovat v optimálních mezích. Správná teplota vody je v akvaristice stejně důležitá jako světlo. Teplotní rozsah se pohybuje většinou v rozmezí 20 °C až 33 °C. Teplomilné ryby ztrácejí při nízké teplotě barvu, pohyb, chuť k příjmu potravy, až nakonec umírají. Průměrná teplota u většiny ryb se pohybuje v létě v rozmezí 22 °C až 24 °C a v zimním období o 2 °C méně. Dále se také často zvyšuje teplota v době tření a vývoje jiker. [2,3]

### Oxidačně redukční potenciál

ORP (Oxidation Reduction Potential) určuje míru oxidačně redukčního potenciálu roztoku. Je to míra schopnosti roztoku odevzdat nebo přijímat elektrony z chemikálie, které mohou být přidány do roztoku. Hodnota ORP se udává v mV. Pro sladkovodní akvária se tato hodnota pohybuje v rozmezí 280 mV až 400 mV. Ostatní hodnoty mohou být značně nebezpečné. Voda s ORP nižším než 100 mV se používá např. k léčení vodních živočichů, které mohou být vlivem nemoci oxidovány. Atomy, molekuly, ionty, které chtějí elektrony přijímat, jsou oxidační činidla a zvyšují ORP potenciál. Opakem jsou redukční činidla. K udržení redox potenciálu je nutná pravidelná výměna vody, správná koncentrace vápníku, hořčíku a sodíku. Nakonec lze použít UV sterilizátory, které ničí oxidační činidla. [3,4]

### Proudění

Většina akvariijních ryb žije ve vodách mírně tekoucích až stojatých, ale některé z nich ve vodách značně tekoucích a právě těmto druhům stojatá voda v akváriu neprospívá. Hodně ryb navíc přizpůsobuje tvar těla těmto podmínkám. Řešením tohoto problému mohou být vhodně zvolené filtrační zařízení, které vodu sají ze dna a poté rozstříkují na vodní hladinu nebo pomocné čerpadla, které čeří vodu na hladině. Výhodou filtračních zařízení je také dokonalé okysličování vody ve všech vrstvách, které je mnohem účinnější, než za pomoci klasického vzduchování. [3]

### Vodivost

Vodivost vody je dána množstvím všech vodivých látek ve vodě, jako jsou kyseliny, zásady a soli. Akvariijní ryby žijí ve vodách s nejrůznější vodivostí od několika jednotek až po tisíce  $\mu\text{S}$ . Vodivost se měří konduktometry a při pravidelném měření lze nepřímo stanovit stupeň znečištění, a tím předcházet náhlému úhynu ryb. [3]

### Hodnota pH

Chemicky čistá voda je sloučenina dvou látek a to vodíku (dva atomy) a kyslíku (jeden atom), a je tedy tvořena molekulami  $\text{H}_2\text{O}$ . Čistá voda má své specifické chemické a fyzikální vlastnosti. Je to bezbarvá tekutina bez chuti a zápachu, která je také silným rozpouštědlem. Takovým příkladem může být kuchyňská sůl  $\text{NaCl}$ , která se ve vodě rozpustí na kladně nabitě částice (kationty)  $\text{Na}^+$  a záporně nabitě částice (anionty)  $\text{Cl}^-$ . Voda rozpouští také sama sebe na kationty  $\text{H}^+$  a anionty  $\text{OH}^-$ . Část molekul se vyskytuje ve vodě v disociovaném stavu jako kationty  $\text{H}^+$  a anionty  $\text{OH}^-$ . V chemicky čisté vodě je koncentrace těchto částic  $10^{-14}$  mol/l. Kationty  $\text{H}^+$  a anionty  $\text{OH}^-$  jsou v ní zastoupeny stejným dílem tj.  $10^{-7}$  mol/l. Hodnota pH udává záporný logaritmus koncentrace vodíkových iontů podle rovnice (1). [2,5]

$$pH = -\log(a\text{H}^+) = -\log(10^{-7}) = 7 \quad (1)$$

Chemicky čistá voda má  $\text{pH} = 7$  a představuje neutrální prostředí. Stupnice pH je v rozsahu 0 až 14, kdy pH 0-6 reprezentuje prostředí kyselé a pH 8-14 prostředí zásadité. Hodnota pH patří mezi nejdůležitější faktory vody, protože ovlivňuje chemické formy ostatních látek. Následkem toho mohou být některé prvky ve vodě volně dostupné nebo vázané. Hodnota pH se měří také v souvislosti s regulací dávkování  $\text{CO}_2$  (oxid uhličitý). pH působí na ryby

jednak přímo (změna osmotického tlaku) nebo nepřímo vlivem ostatních ovlivnitelných látek. Např. při pH menší než 7 se amoniak vyskytuje v neškodné formě  $\text{NH}_4^+$ , ale při pH větší než 7 přechází na velmi jedovatý amoniak  $\text{NH}_3$ . [2,5]

### Oxid uhličitý $\text{CO}_2$

Vztah pH a oxidu uhličitého je velmi těsný. Uhlík je ve vodě obsažen v následujících formách:  $\text{CO}_2$ , kyselina uhličitá  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , hydrogenuhličitan  $\text{HCO}_3^-$  a uhličitan  $\text{CO}_3^{2-}$ . Tyto formy, které tvoří pufrční systém, jsou v rovnováze a jejich procentuální zastoupení je závislé na hodnotě pH.  $\text{CO}_2$  je pro rostliny hlavním zdrojem uhlíku. Pro ryby může být za určitých koncentrací toxický, a proto se musí kontrolovat jeho množství, které se odhaduje na základě hodnoty pH a uhličitanové tvrdosti vody. Množství  $\text{CO}_2$  se také mnohdy dává na základě měření pH. [3,29]

### Chloridy

Na chloridy je podstatně bohatší mořská voda než voda sladkovodní. Pokud dojde ke zvýšení množství chloridů ve sladkovodní vodě, vzniká většinou podezření na znečištění. Dospělé ryby snášejí větší množství a kolísání chloridů lépe než vývoj rybích jiker a zárodků. Ve sladkovodním akváriu je pro ryby nepostradatelný chlorid vápenatý  $\text{CaCl}_2$ , chlorid hořečnatý  $\text{MgCl}_2$ , chlorid sodný  $\text{NaCl}$  a pro rostliny chlorid amonný  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Jikry většiny akvariálních ryb se vyvíjí ve vodě s obsahem chloridů od 0 do 150 mg/l. Akvariální ryby většinou nedostatek chloridů nepocítují a nezpůsobuje jim újmu. [2,3]

### Kyslík

Zdrojem kyslíku ve vodě je zejména atmosférický vzduch a fotosyntetická činnost rostlin. Na množství kyslíku, který pronikne z atmosféry do vody má největší vliv plocha vodní hladiny, a také, zda je voda tekoucí nebo stojatá (tekoucí voda se obohacuje kyslíkem rychleji). Kyslík naopak spotřebovávají ryby, mikroorganismy a chemické pochody např. při oxidaci organických látek bakteriemi nastává značný úbytek kyslíku. Kyslík z ovzduší se rozpouští v závislosti na teplotě a barometrickém tlaku. Např. voda o teplotě 0 °C je plně nasycena 14,16 mg kyslíku na jeden litr vody a voda o teplotě 30 °C obsahuje maximálně 7,53 mg/l kyslíku. Prudké zvýšení teploty v akváriu může způsobit rybám dýchací potíže a smrt. Pokud je spotřeba kyslíku větší než jakou jsou schopny zajistit rostliny, filtrace a vzduchování, dochází ke kyslíkovému deficitu. Tomu lze zabránit pravidelným čištěním, odkalováním a dokonalým provzdušňováním vody. [2,3]

### Dusíkaté látky

Dusíkaté látky vznikají v akváriu vlivem exkrementů, hnilým zbytkům potravy, odumřelým organismům či tlením zbytků rostlin. Pokud jsou v rámci biologické rovnováhy zachovány všechny procesy, tak konečný produkt (dusičnany) je důležitý pro výživu rostlin. V opačném případě rostliny nestíhají zpracovávat takové množství dusičnanů a začínají odumírat. V další fázi se mění dusičnany na dusitany, začíná klesat pH a nakonec dochází k úhynu ryb.[2,3]

## **1.1 Možnosti řízení**

Do jaké míry bude akvárium automatizované, závisí jenom na uživateli a zejména na jeho finančních možnostech. Akvarista má několik možností jak se starat o své akvárium. Jednou z těchto možností je ponechat akvárium zcela neřízené, dále pak koupě komerčních produktů, stavbu vlastního embedded systému a poslední možností je nechat si nainstalovat řídicí systém specializovanou firmou.

Základem je řízení filtrace nebo vzduchování. V nejjednodušším případě stačí, když budou tyto zařízení trvale zapnuté a nepotřebují řízení. V lepším případě budou spínané podle časového plánu s možností manuálního ovládání v případě údržby. Dalším důležitým faktorem je topení, pro jehož řízení může být použit mechanický, elektronický termostat nebo digitální dvoupolohová regulace. Regulační řetězec se skládá z měření teploty, vyhodnocovací jednotky a spínacího prvku topné spirály. Výhodou je informace o aktuální teplotě bez dalších doplňků v podobě akvarijních teploměrů. Poslední nejdůležitější částí je řízení osvětlení. Základem je spínání jednotlivých světelných okruhů podle časového plánu, v důmyslnějších systémech i s možností řízení intenzity osvětlení. Filtrace (vzduchování), topení a osvětlení patří mezi základní a nejdůležitější faktory, které má v akvaristice smysl řídit. Dalším stupněm automatizace v akvaristice je měření pH a následné dávkování CO<sub>2</sub>. Zde se může opět použít spínání podle časového plánu nebo dvoupolohová regulace. V případě dvoupolohové regulace je měřenou veličinou pH, které má tendenci se zvyšovat a dávkováním CO<sub>2</sub> je možné tuto hodnotu snižovat. Nakonec se může řídicí systém použít pro spínání dávkovacích čerpadel hnojení či krmení podle časového plánu. V tomhle okamžiku by se dal takový systém označit za plně dostačující, který svými možnostmi uspokojí valnou většinu hobby akvaristů.



Obr. 1: Sada sond pro monitorování vody [6]

Dalším vývojovým stupněm automatizace v akvaristice by bylo měření ORP, vodivosti a rozpuštěného kyslíku. Měřené údaje by měly zejména informativní charakter pro uživatele nebo by sloužily řídicímu systému k vyhodnocení např. automatické výměny vody. Zde už začínají hrát velkou roli finance, protože nejlevnější pH sondu lze pořídit přibližně za 200 Kč a ORP sondu za 600 Kč. Ostatní sondy pro měření vodivosti a rozpuštěného kyslíku se pohybují v řádech tisíce korun. Cena se také odvíjí od kvality provedení a zejména přesnosti. Na obr. 1 je sestava pro sledování parametrů vody společnosti Atlas Scientific. Sada obsahuje sondy pro měření teploty, pH, vodivosti, ORP a množství rozpuštěného kyslíku. Součástí jsou také kalibrační pufrы a inteligentní převodníky s mikropočítačem MCU (Microcontroller), které posílají data v pravidelných intervalech v textovém formátu přes sériovou linku. Implementace takové sady do embedded řídicího systému by byla pohodlná a rychlá, ale bohužel cena pohybující se kolem 11.000 Kč přesahuje možnosti celého řídicího systému, který by našel uplatnění mezi běžnými akvaristy. Proto se měření těchto faktorů v rámci komplexního řídicího systému jak již profesionálního, tak i amatérského téměř nevyskytuje nebo je součástí rozšiřujících modulů, a pak záleží na uživateli jak moc je ochotný do systému investovat.[6]

Akvárium může být zcela neřízené. Výhodou tohoto způsobu je cena a jednoduchost. Nevýhodami jsou, že teplota i osvětlení je závislé na okolí a také se předpokládá 24 h provoz filtrace nebo vzduchování. Pokud se akvarista rozhodne pro řízené akvárium, tak

má několik možností a to např. řízení pomocí spínacích hodin, řízení pomocí MCU, stolního počítače PC (Personal Computer) nebo programovatelného logického automatu PLC (Programmable Logic Controller).

### Spínací hodiny

Řízení pomocí spínacích hodin patří mezi akvaristy k nejčastějšímu řešení a umožňuje řízení téměř všeho (např. topení, osvětlení, dávkování CO<sub>2</sub> či krmení). Mezi hlavní výhody patří cena, jednoduchost instalace a obsluhy. Další výhodou je, že takový systém si dokáže akvarista navrhnout a zrealizovat sám a to jen se základními elektrikářskými znalostmi. Naopak mezi nevýhody patří, že systém nebude nikdy komplexní a navíc v případě velkého počtu kvalitních spínacích hodin bude i cena značně vysoká.

### MCU

Většina profesionálních a amatérských konstrukcí je postavena právě na mikropočítači. Pokud by byl akvarista elektronik, který by uměl programovat MCU, konstrukce takového systému by mu nečinila problémy. V ostatních případech je závislý na komerčních produktech nebo na jiných konstrukcích. Výhodou použití mikropočítačů je relativně nízká cena celého systému, malé rozměry, vysoký výkon a možnost rozšíření. Nevýhodou je ovšem čas strávený při vývoji a následná výroba DPS (Deska Plošného Spoje).

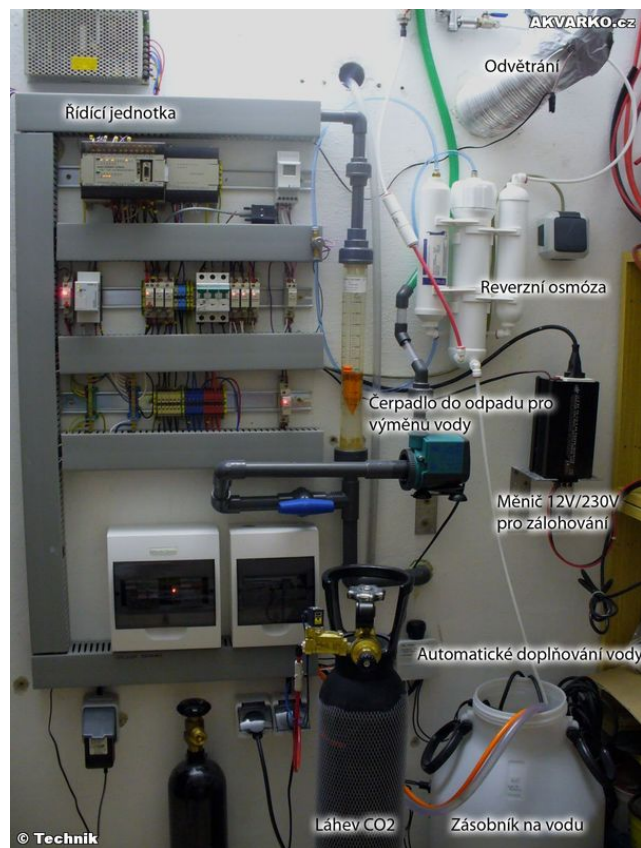
### PC

Tato možnost řízení v akvaristice má více nevýhod jak výhod. Mezi nevýhody patří velikost, spotřeba elektrické energie a také to, že počítač není běžně vybaven vstupy a výstupy, které by bylo možné použít pro řízení akvária. V konečné fázi by mezi akváriem a počítačem musel být ještě systém např. s MCU, který by se staral o řízení a počítač by sloužil pouze pro vizualizaci.

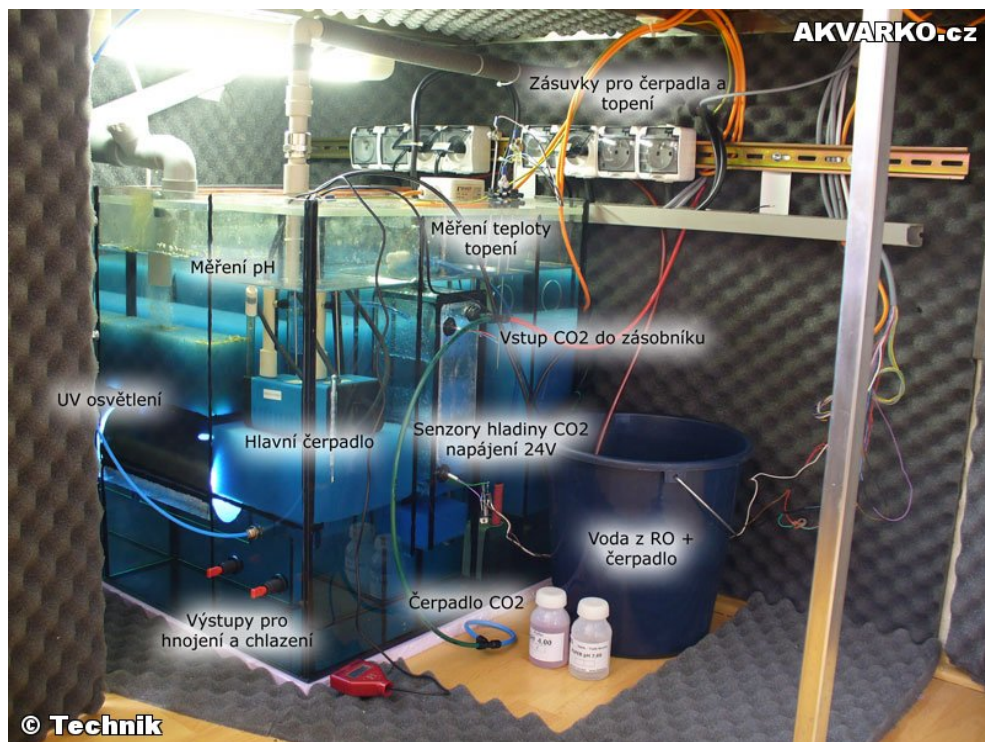
### PLC

Systémy založené na PLC jsou s oblibou používány v průmyslu. Výhodou takového systému je jednoduchý vývoj a modulárnost. Všechny parametry, které lze měřit v akváriu, se běžně měří a řídí i v jiných oblastech průmyslu, a proto i trh nabízí vše potřebné k realizaci takového systému. Nevýhodou mohou být rozměry takového systému a zejména pak cena, která přesahuje desetitisíce korun. Takový systém je pro většinu běžných akvaristů nepoužitelný a nachází uplatnění až v rozsáhlých akvaristických centrech.

Na obr. 2 a obr. 3. lze vidět, jak jsou technické možnosti řízení akvária rozmanité.



Obr. 2: Automatizace v domácím akváriu 1. část [7]



Obr. 3: Automatizace v domácím akváriu 2. část [7]

## 1.2 Měření teploty a pH

Teplota patří mezi základní fyzikální veličiny, a proto je nejčastěji měřenou a regulovanou veličinou nejen v průmyslu, ale i v ostatních oblastech, jako je např. akvaristika. Metody měření teploty lze rozdělit na dotykové a bezdotykové. Dotykové měření lze dále členit podle principu závislosti převodu fyzikální veličiny na teplotu. Pro akvaristické účely mají význam pouze elektrické metody založené na odporovém a polovodičovém principu. Jedinou výjimku tvoří páskové indikátory teploty, které se používají k orientačnímu zjištění teploty. Tyto teploměry pracují na principu kapalných krystalů, které vlivem rostoucí teploty tají a mění tak svoji barvu nebo lom světla. Pro akvarijní účely se tyto teploměry vyrábějí v podobě nalepovacích pásek s různým počtem úrovní a rozsahem měření (např. 16 úrovní a rozsah od 14 °C do 31 °C). Odporové kovové senzory využívají principu, kdy při rostoucí teplotě dochází uvnitř krystalické mřížky kovů ke zvětšení amplitudy tepelného pohybu atomů, které brání průchodu elektronů (proudu) tj. zvětšuje se elektrický odpor. U polovodičových polykrystalických senzorů dochází naopak zvýšením teploty ke zvýšení koncentrace nosičů a následným zvětšení vodivosti (zmenšení elektrického odporu). Monokrystalické polovodičové senzory jsou založeny na tom, že s rostoucí teplotou dochází k rozptylu nábojů v krystalické mřížce. Důsledkem toho je zvětšení elektrického odporu. Polovodičové senzory s PN přechodem vychází z teplotní závislosti PN přechodu, kdy volné elektrony, které jsou vázány jako valenční elektrony v krystalové mřížce, získají zvýšením teploty dostatek energie na to, aby překonaly zakázané pásmo a dostaly se do vodivostního pásu. [8,9]

Většina teplotních snímačů založená na výše uvedených principech dosahuje přesnosti minimálně  $\pm 0,5$  °C a měřicí rozsah se pohybuje v rozmezí -50 °C až 100 °C. Tyto snímače jsou plně dostačující pro měření teploty vody v akváriu. Z hlediska konstrukce řídicího systému je nejvhodnější použít snímače s unifikovaným výstupem nebo snímače inteligentní. Inteligentní snímače obsahují v jednom integrovaném obvodu kromě samotného senzoru, také převodník, vyhodnocovací jednotku a komunikační rozhraní. Výhodou takových snímačů je lineární závislost a jednoduché zpracování. Mezi snímače s unifikovaným signálem patří např. LM-35, který poskytuje na svém výstupu napětí s citlivostí 10 mV/°C. Dalším příkladem může být snímač SMT-160, který převádí teplotu na střidu obdélníkového signálu. Mezi inteligentní snímače patří např. TMP100 nebo velice oblíbený snímač DS18B20.

Pro měření pH se nejčastěji používají papírkové a kapkové indikátory, které obsahují organické látky, které mění barvu podle hodnoty pH. Pro digitální zpracování mají největší význam elektronické pH metry založené na potenciometrickém principu. Základem jsou dva elektrodové články, které obsahují referenční a měrnou elektrodu. Elektrolytem je měřená kapalina. Velikost napětí na měrné elektrodě závisí na hodnotě pH kapaliny. Referenční elektroda je ponořena v roztoku s konstantní hodnotou pH, a proto i napětí je konstantní. Napětí na elektrodách se pohybuje řádově v mV a proudové zatížení elektrod je v řádech  $10^{-12}$  A. To je zajištěno vstupním odporem zesilovače pH sondy s odporem vyšším než  $10^{12}$   $\Omega$ . Výstupní napětí ze sondy je lineární funkcí koncentrace vodíkových iontů v měřeném roztoku a závislost je daná Nerstnovou rovnicí (2). [8,10]

$$E = E_0 + 2,303 \frac{R \cdot T}{F} \log(aH^+) = E_0 - k \cdot T \cdot pH \quad (2)$$

kde:  $E$  měřené napětí [V]

$E_0$  konstanta referenční elektrody [V]

$R$  plynová konstanta  $8,314 [J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}]$

$T$  termodynamická teplota [K]

$F$  Faradayova konstanta  $96500 [C \cdot mol^{-1}]$

$aH^+$  koncentrace vodíkových iontů

$kT$  Nerstův faktor

Rovnice (2) platí jenom v ideálním případě, a proto je nutné sondu kalibrovat a kompenzovat vliv teploty. Typická hodnota citlivosti pH sondy je 59 mV/pH. Teplotní závislost lze potlačit vhodným návrhem zesilovače sondy nebo softwarovým přepočtem. Při měření pH v kapalině, kde se teplota nemění ve velkém rozsahu, lze tuto kompenzaci zanedbat. Kalibrace sondy se provádí nejčastěji ve dvou bodech pomocí kalibračních pufrů. Nastavení může být opět součástí zesilovače, kdy se proměnlivými rezistory mění zesílení operačních zesilovačů a tím i strmost a posunutí lineární funkce. Softwarová kalibrace je založena na zadání dvou párů bodů, ze kterých se následně vypočítají koeficienty rovnice přímky. Konstrukce elektrod je rozmanitá, ale v akvaristice se nejčastěji používá kombinovaná elektroda, u které jsou obě elektrody v jednom pouzdře a sonda je zakončena většinou kabelem s BNC konektorem. Některé provedení umožňují plnění referenčního elektrolytu. Sonda je velmi choulostivá na mechanické a chemické poškození a také se nesmí nechat vyschnout ani skladovat v destilované vodě. [8,10]

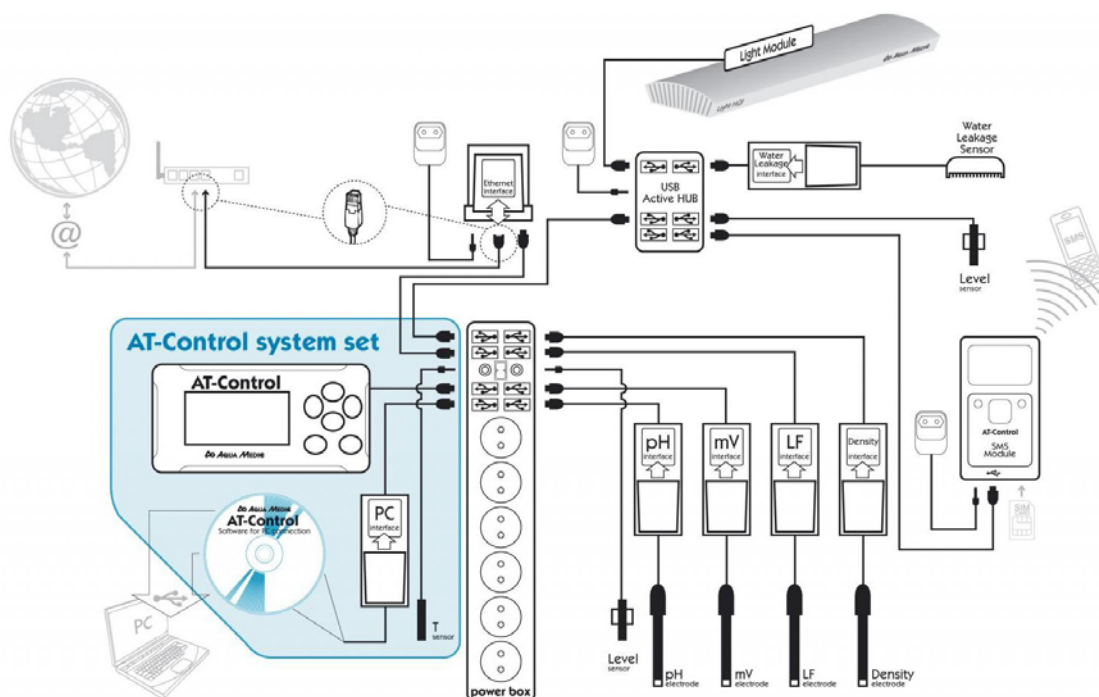
### 1.3 Komplexní řídicí systémy

Komplexní řídicí systém pro akvaristiku představuje zařízení, které v sobě sdružuje několik jednoúčelových systémů (např. systém řízení topení, řízení osvětlení, systém měření pH a dávkování CO<sub>2</sub>). Čím více těchto systémů zařízení v sobě sdružuje, tím více je systém komplexnější. Nabídka profesionálních zařízení je značně omezená a zejména pak na českém trhu, kde se žádné takové zařízení běžně neprodává, a proto zde vzniká prostor pro tvorbu amatérských konstrukcí. Nevýhodou profesionálních zařízení je také cena, která se mnohdy pohybuje v řádech desetitisíců korun.

#### 1.3.1 Profesionální zařízení

Profesionálních zařízení, která nabízí zahraniční trh, je docela mnoho. Pro představu a porovnání jak takový systém může vypadat, byla vybrána dvě řešení od různých výrobců.

##### Aqua Medic AT-Control System

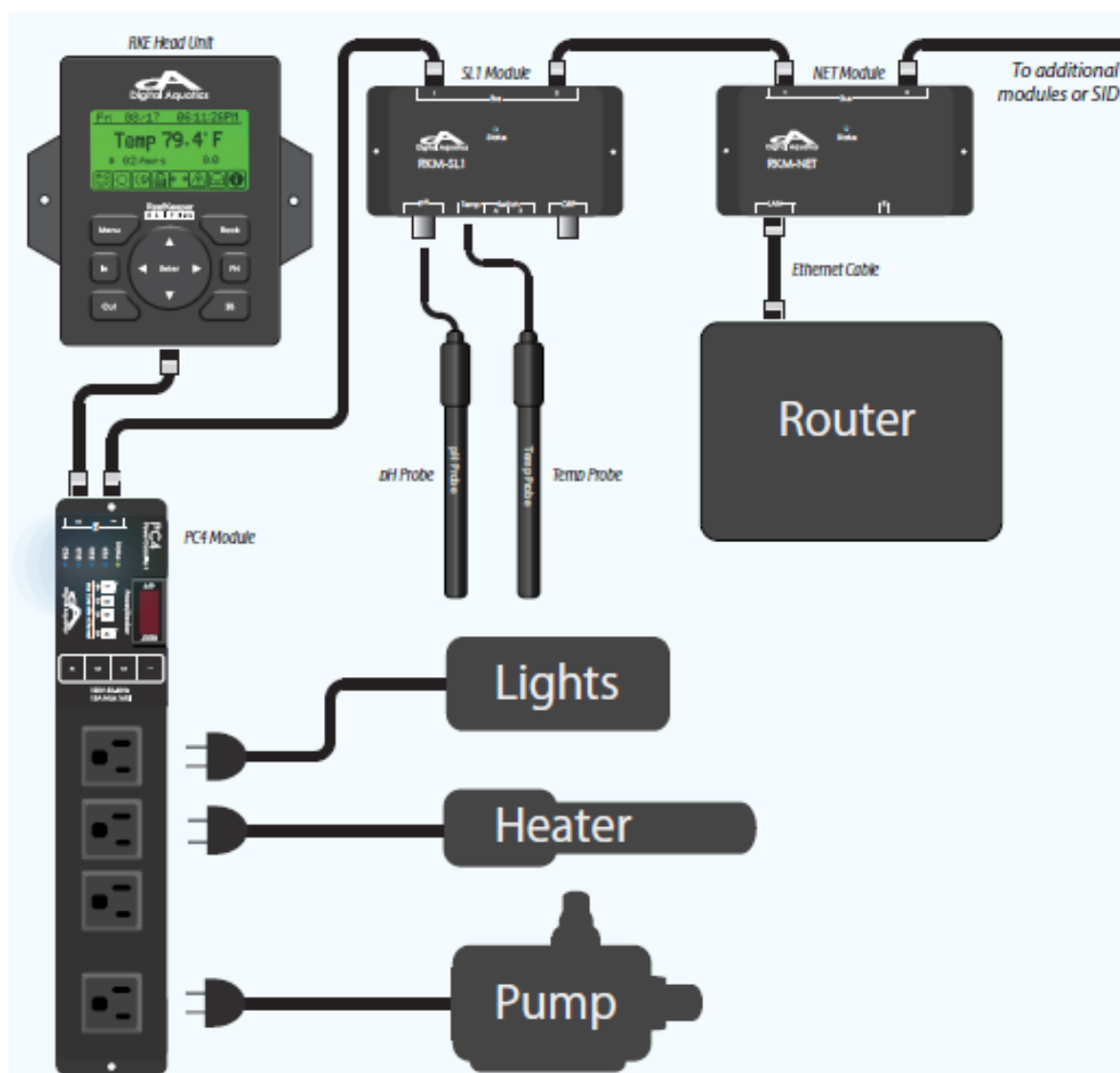


Obr. 4: Aqua Medic AT-Control System[11]

Na obr. 4. je blokové schéma modulárního systému společnosti Aqua Medic, které přehledně ukazuje možnosti systému. Základem je výkonová jednotka v podobě prodlužovacího kabelu se šesti zásuvkami, USB (Universal Serial Bus) a JACK konektory

pro propojení s ostatními moduly. JACK konektory slouží pro připojení snímače teploty a výšky hladiny vody. Všechny ostatní moduly: řídicí jednotka, rozhraní PC, rozhraní Ethernet, rozhraní pro mobilní komunikace, převodníky pro měření pH, ORP, vodivosti, hustoty atd. se připojují přes USB konektory. Zařízení splňuje všechny požadavky komplexního systému a umožňuje regulaci topení, CO<sub>2</sub>, osvětlení, umožňuje generovat vlny pomocí spínání sekvence čerpadel a nabízí řadu časovacích a plánovacích funkcí. Systém umožňuje export naměřených dat a jejich grafické zobrazení. Cena řídicí jednotky a výkonové jednotky je v přepočtu přes 15.000 Kč. Ostatní moduly a sondy stojí kolem 2.000 Kč a např. cena modulu pro mobilní komunikaci je přes 10.000 Kč. [11]

### Digital Aquatics ReefKeeper ELITE



Obr. 5: ReefKeeper ELITE system [12]

Na obr. 5. je schéma koncepce komplexního systému ReefKeeper ELITE společnosti Digital Aquatics. Opět se jedná o modulární a velmi profesionální systém. Společnost nabízí dvě verze LITE a ELITE lišící se zejména řídicí jednotkou. Jednotlivé moduly jsou propojeny UTP (Unshielded Twisted Pair) kabelem s konektory RJ-45. Mezi základní moduly patří: řídicí jednotka, výkonová jednotka, měřicí jednotka, LED jednotka a jednotka zajišťující Ethernet konektivitu. Funkce a možnosti systému jsou obdobné jako u výše uvedeného systému. Společnost nabízí pro každou verzi (LITE a ELITE) tři základní balíčky modulů (BASIC, PLUS a NET). Cena balíčku se pohybuje řádově od 2.000 Kč do 9.000 Kč. [12]

### 1.3.2 Amatérské zařízení

Amatérské řídicí systémy jsou často vyvíjeny akvaristy v jejich volném čase. Důležitou roli při návrhu hrají čas a peníze, a proto ne všechny pokusy o realizaci končí úspěchem. Dalším problémem je stále větší integrace elektronických součástí, která způsobuje jejich zmenšení a následné problémy při amatérské výrobě těchto zařízení. Spolupráce s firmami na výrobu a osazení DPS by opět znamenala značné prodražení celého systému a zejména pak při malém počtu kusů.

#### Systém ASTA (Automatický Systém pro Terária a Akvária)

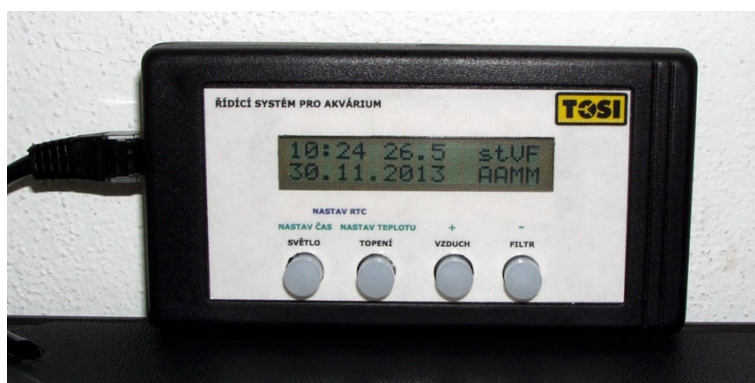


*Obr. 6: Centrální jednotka ASTA [13]*

Jedná se o modulární systém, jehož základem je centrální jednotka (obr. 6), ke které lze připojit až dvě výstupní jednotky, snímač teploty, stmívač osvětlení, ventilátory a detektor

vody. Tvůrcem toho zařízení je p. Libor Valíček, který pojal celý systém jako neziskový projekt. To znamená, že ceny jednotlivých modulů jsou vyčísleny přesně podle nákladů na výrobu a cenové ohodnocení autora je věc kupujícího. Cena celého systému se všemi moduly je 4.640 Kč. Srdcem centrální jednotky je MCU, který řídí veškeré funkce. Všechny údaje jsou zobrazeny na znakovém LCD (Liquid Crystal Display) displeji 2x16 znaků. Zařízení se ovládá čtyřmi tlačítky a zapínání podsvícení displeje je řešeno samostatným přepínačem. Jednotlivé moduly se k centrální jednotce připojují USB kabelem. Základní funkcí zařízení je měření a řízení teploty. Teplota je regulována spínáním topení nebo chlazením pomocí ventilátorů. Na výběr je také několik provedení teplotních snímačů, jako např. plastové nebo kovové pouzdro, dále pak provedení v ochranné jímce. Každý výstupní modul obsahuje čtyři zásuvky, kdy jedna je vyhrazena pro topení a ostatní lze použít pro časové ovládání zářivek, filtrace, vzduchování atd. Informaci o stavu výstupů poskytují dvoubarevné LED (Light Emitting Diode). Ke stmívacímu zařízení lze připojit běžné a halogenové žárovky. Interval stmívání lze nastavit od půl hodiny až do pěti hodin. V okamžiku 100% svitu dojde k sepnutí hlavního osvětlení. V případě úniku vody dojde k vyhlášení akustického poplachu. Při výpadku elektrické energie jsou všechny nastavené hodnoty uloženy do vnitřní paměti, ze které jsou následně obnoveny.[13]

#### Řídicí systém pro akvárium od Milana Špačka



*Obr. 7: Řídicí systém Milana Špačka [14]*

Systém se skládá ze dvou částí a to řídicí jednotky (obr. 7) a výkonové jednotky. Na webových stránkách autora je volně dostupné schéma zapojení včetně softwaru pro mikropočítač. Podklady pro výrobu DPS lze získat na požádání. Zařízení slouží ke spínání osvětlení podle časového plánu a řízení topení. Zařízení také umožňuje manuální

zapínání/vypínání filtrace a vzduchování. Tím se zjednoduší údržba těchto zařízení. Zařízení je postavené na mikropočítači PIC16F677. Informace jsou zobrazeny opět na znakovém LCD 2x16 znaků a k ovládání slouží čtyři tlačítka.[14]

#### Řídicí systém pro akvárium od Martina Šátka



*Obr. 8: Řídicí systém Martina Šátka [15]*

Poslední ukázkou amatérské řídicí jednotky je systém od Martina Šátka, který se opět skládá ze dvou částí a to řídicí a silové. Tyto části jsou realizované samostatnou DPS a propojení je řešené pomocí propojovacích kolíků. Vše je znázorněné na obr. 8. K propojení s okolím jsou použity standardní konektory. Autor zařízení vyrobil prototyp, který následně otestoval. Orientační cena zařízení byla stanovena na 8.450 Kč. V průběhu vývoje nastaly problémy s výrobou a osazením DPS, a proto se možnost objednat zařízení ještě neuskutečnila. Autor je ale ochoten poslat podklady pro samostatnou výrobu. Centrální deska obsahuje zejména MCU Atmega128, grafický LCD displej s rozlišením 128x64 px, čtyři ovládací tlačítka a obvody pro připojení snímače teploty a pH sondy. Součástí silové desky je především 8 výkonových relé. Hlavním úkolem zařízení je měření a řízení teploty. Dále pak měření pH a řízení dávkování CO<sub>2</sub>. Zařízení také poskytuje možnosti řízení osvětlení. [15]

## 2 KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE A ROZHŘANÍ

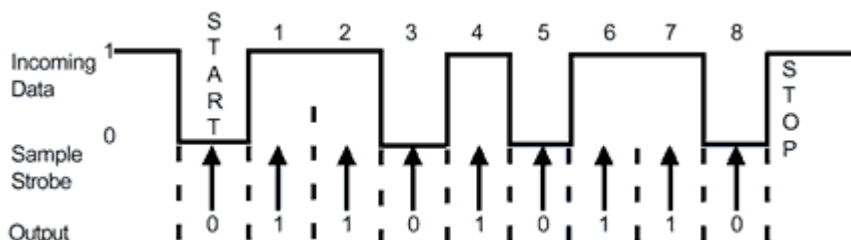
Sběrnice představuje soustavu vodičů, které slouží pro přenos signálů nesoucí informace mezi jednotlivými zařízeními, jako jsou např. mikropočítače, personální počítače, programovatelné automaty, inteligentní snímače a další integrované obvody IC (Integrated Circuit). V dnešní době existuje nespočetné množství sběrnic a jejich členění je různorodé. V následující části budou popsány sériové komunikační sběrnice a rozhraní, které jsou součástí většiny embedded platform a byly použity při návrhu zařízení v praktické části.

### 2.1 Sériové komunikační rozhraní

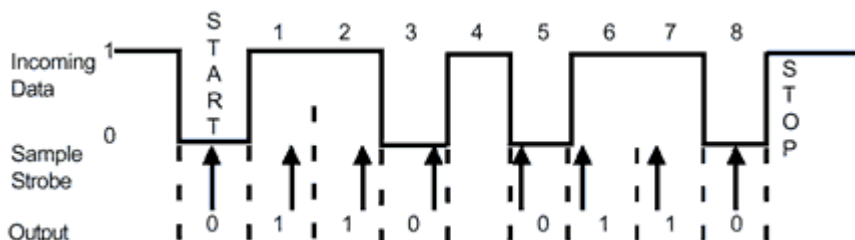
Sériové komunikační rozhraní SCI (Serial Communications Interface) se také často nazývá UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter). Značení je daná konkrétním výrobcem, ale prakticky se jedná o programovatelný obvod, který slouží jako převodník paralelní sběrnice na sériovou. Tento obvod bývá nedílnou součástí většiny MCU, anebo se nachází jako samostatný IC např. na základní desce PC. SCI se používá pro komunikační standardy, jako jsou např. RS-232, RS-422 a RS-485 a představuje logickou vrstvu komunikace. Standardy naopak reprezentují fyzickou vrstvu komunikace a parametry nastavení.

SCI je asynchronní obousměrné rozhraní s NRZ (Non Return To Zero) kódováním dat, kdy log. 0 je reprezentovaná jednou význačnou hodnotou a log. 1 druhou. Obvod se skládá ze tří hlavních částí: vysílače, přijímače a generátoru hodin. Vysílač a přijímač obsahuje vyrovnávací paměť a posuvný registr. Generátor hodin slouží jako zdroj synchronizačních impulsů. Obvod umožňuje nastavit přenosovou rychlost, formát přenášených dat a poskytuje informace o dokončení přijetí znaku, konce vyslání znaku, chyby přenosu dat atd. prostřednictvím přerušení. Zařízení je schopné generovat a kontrolovat paritu dat. Komunikace probíhá po rámcích, kdy jeden rámec je nejmenší množství dat, které lze odeslat/přijímat. Na obr. 9 je znázorněn jeden rámec, který se skládá z jednoho START bitu, 8 datových bitů a jednoho STOP bitu. Sestupná hrana START bitu slouží k synchronizaci začátku přenosu, naopak vzestupná hrana STOP bitu signalizuje konec rámce. Počet datových bitů je konfigurovatelný a stejně tak i počet STOP bitů. Za datovými bity může následovat paritní bit. Velmi důležité je, aby přijímač a vysílač na obou koncích komunikace měl nastavenou stejnou přenosovou rychlost. V tomto

případě dochází ke vzorkování dat, přesně v půlce trvání těchto dat, tak jak je vidět na obr. 9. Na obr. 10 je znázorněn případ, kdy obvod přijímače má nastavenou menší rychlost než jakou rychlostí jsou vysílané data a došlo k přeskočení vzorkování 4. bitu. Tuto chybu dokáže obvod detekovat a přijaté data zahodí. [16,17]



Obr. 9: Asynchronní přenos SCI [16]



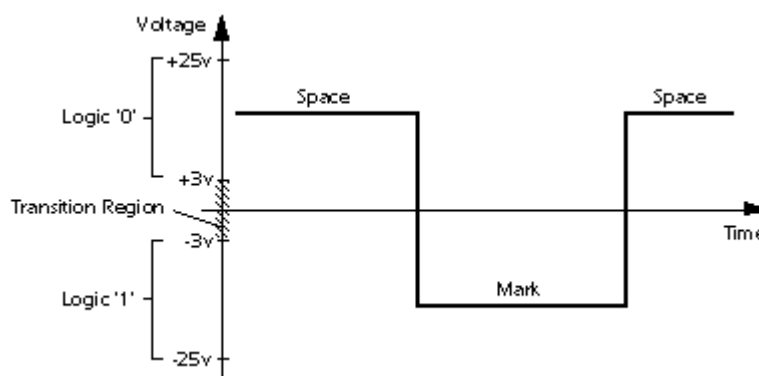
Obr. 10 Asynchronní přenos SCI-chyba rychlosti [16]

Realizace SCI rozhraní se může lišit v každém zařízení. Vše záleží na konkrétním výrobci, ale základní princip, vlastnosti a možnosti jsou vždy stejné. Vstupem do SCI rozhraní jsou vždy paralelní data a výstupem jsou sériová data prostřednictvím linek RxD (Receive Data) pro příjem dat a TxD (Transmit Data) pro vysílání dat. Obvod také může obsahovat linky pro řízení toku dat, které jsou ve většině případů nevyužity. Tyto signály jsou v logických úrovních TTL (Transistor Transistor Logic) nebo CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) a jejich úroveň je nejčastěji 0 V pro log. 0 a +3,3 V nebo +5 V pro log. 1.

### RS-232

RS-232 je komunikační standard pro asynchronní sériový přenos dat, který byl navržen pro obousměrnou komunikaci dvou zařízení. Norma také definuje použité konektory a jejich zapojení. Nejčastěji se používá 9 pinový Canon konektor, kterým byly a jsou ještě vybaveny dnešní PC. Dalším použitelným konektorem pro RS-232 je 25 pinový Canon konektor a konektor RJ-45. Všechny tři konektory obsahují zem GND (Ground), RxD, TxD a další signály pro řízení komunikace. Mezi tyto signály patří např. signály pro oznámení, zda je komunikační kanál volný (RTS - Request To Send, CTS - Clear To Send)

nebo k oznámení, zda je zařízení připraveno komunikovat (DTR - Data Terminal Ready, DSR - Data Set Ready). Tyto signály se používaly zejména dříve pro řízení poloduplexní komunikace. S příchodem plného duplexu ztratilo použití těchto signálů význam a je na programátorovi k čemu, a zda vůbec tyto signály využije. Dalším důležitým bodem standardu RS-232 je definice logických úrovní, která je znázorněna na obr. 11. [16,17]

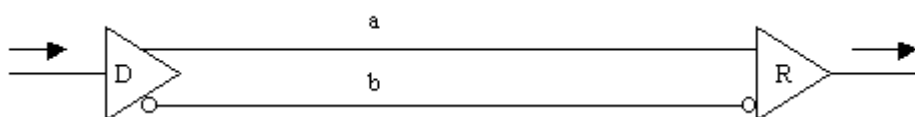


Obr. 11: Definice logických úrovní RS-232[17]

Úroveň log. 0 je reprezentovaná kladným napětím a někdy je označována jako SPACE, log. 1 naopak záporným napětím označovaným jako MARK. Rozsah -3 V až +3 V je zakázané pásmo k potlačení rušivých vlivů na sběrnici. RS-232 definuje přesné rozsahy pro reprezentaci logických úrovní jak pro přijímač, vysílač tak i řídicí signály. Sběrnice RS-232 je relativně málo odolná proti rušení, protože přenosové úrovně jsou vztaženy k zemi. Pro propojení rozhraní RS-232 se nejčastěji používá přímý nebo křížený kabel. Maximální délka vedení je 15 m při kapacitě 2500 pF. Použitím kvalitnějších kabelů nebo snížením přenosové rychlosti lze zvětšit tuto vzdálenost. Maximální základní rychlost definovaná normou je 115200 bd (baudrate), ostatní rychlosti jsou odvozené od této rychlosti dělením. Další možnost jak prodloužit vedení je použití proudové smyčky 0/20 mA, kdy se zvětší přenosová vzdálenost až na stovky metrů. Nejčastější tvar rámce RS-232 je jeden START bit, 8 datových bitů a jeden STOP bit. Pro připojení rozhraní RS-232 na rozhraní SCI nebo UART je potřeba převodník, který převádí napěťové úrovně logiky TTL na napěťové úrovně RS-232. Průkopníkem byla firma MAXIM s obvodem MAX232, který potřebuje pouze jediné napájení +5 V. Napětí potřebné pro realizaci RS-232 jsou generovány pomocí nábojových pump tvořenými čtyřmi externími kondenzátory. Vyrábějí se také obvody, které mají tyto kondenzátory uvnitř pouzdra. V dnešní době existuje mnoho takových obvodů od různých firem, které se liší zejména počtem linek, které lze převést, a maximální komunikační rychlostí. [16,17]

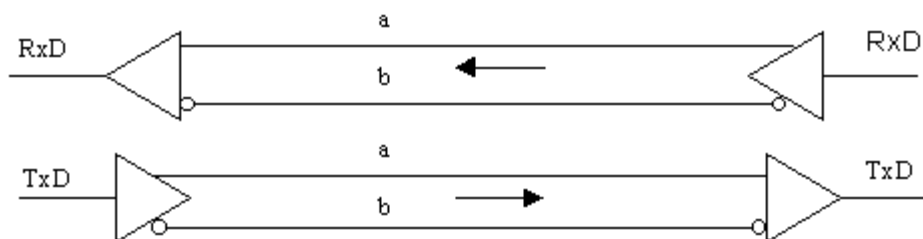
RS-422 a RS-485

Mezi hlavní nevýhody a omezení rozhraní RS-232 patří komunikace pouze mezi dvěma zařízeními, nízká přenosová rychlost, komunikace na krátké vzdálenosti a nízká odolnost proti rušení. Z toho důvodu vznikly rozhraní RS-422 a RS-485. K těmto rozhráním opět existují normy, které tyto komunikační rozhraní přesně definují. Základním rozdílem těchto rozhraní vůči RS-232 je přenos jednotlivých signálů. Každý signál je přenášen pomocí dvou vodičů označených A, B a nejlépe pomocí zkrouceného páru vodičů. Samotný přenos probíhá diferencially. Vysílač budí vodiče A a B v proti fázi a přijímač vyhodnocuje jejich napěťový rozdíl. Tímto způsobem je omezeno součtové rušení, které se může naindukovat na jednotlivých vodičích. Dále se dosahuje vyšší komunikační rychlosti (přes 1 Mb/s), větší vzdálenosti (přes 1000 m) a také vzniká možnost větvení sběrnice.[18,19]



*Obr. 12: Přenos diferenciallyního signálu[19]*

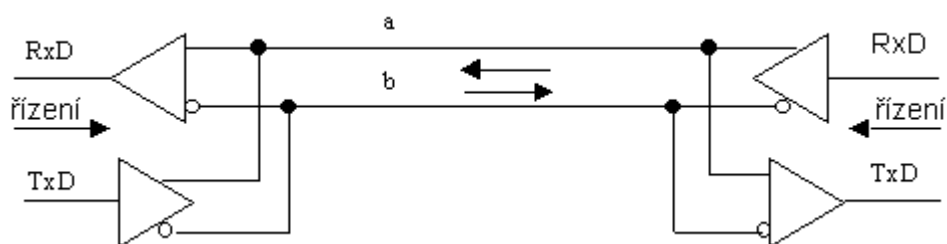
Na obr. 12 je znázorněný přenos jedné linky rozhraní RS-485 a RS-422. Typický rozdíl napětí mezi vodiči A a B je 2 V. Pokud je rozdíl A-B větší než 200 mV přijímač detekuje log. 1, pokud je rozdíl menší než -200 mV přijímač detekuje log. 0. Hranice mezi -200 mV a 200 mV je zakázané pásmo a sběrnice by se neměla nacházet v tomto stavu. Pro správnou funkci přijímače nesmí být rozdíl mezi zemí přijímače a vysílače větší než 7 V jinak dojde k přerušení komunikace, a proto je vhodné obě zařízení galvanicky oddělit. [18,19]



*Obr. 13: Nevětvené linky RS-422[19]*

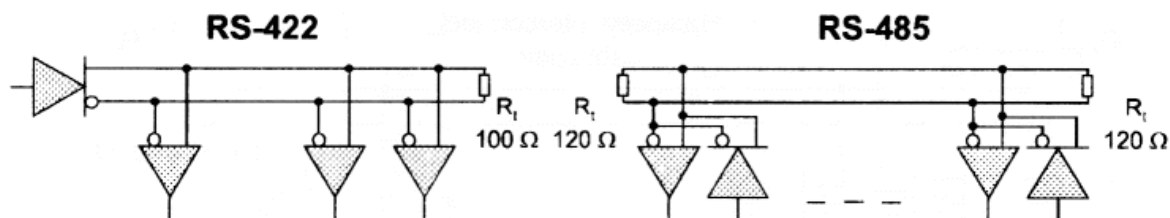
Na obr. 13 je znázorněné provedení rozhraní RS-422. Toto rozhraní používá pro přenos dva páry vodičů a umožňuje tak obousměrný přenos. Další možností tohoto rozhraní je

prodloužení stávajícího rozhraní RS-232 bez toho, aby se musel změnit software. V základní verzi lze na sběrnici RS-422 připojit jeden vysílač a deset přijímačů. [18,19]



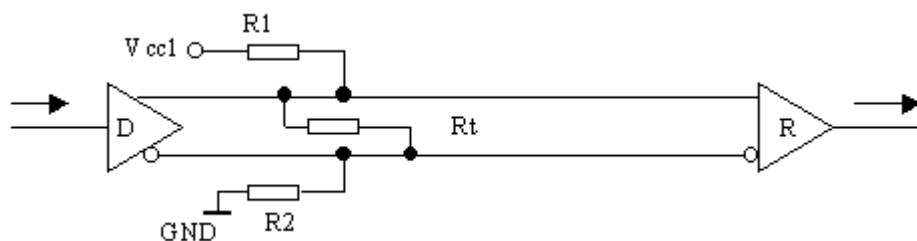
Obr. 14: Nevětvené linky RS-485[19]

Na obr. 14 je vidět rozhraní RS-485 a základní rozdíl s rozhraním RS-422. V tomto případě se jedná o poloduplexní komunikaci s jedním párem vodičů, kdy se musí přepínat směr komunikace. To lze vyřešit buď softwarově, nebo pomocí obvodů, které zajistí automatické přepnutí směru během vysílání dat. V základní verzi může na sběrnici komunikovat 32 vysílačů/přijímačů. V jeden okamžik může být na sběrnici jenom jeden vysílač a ostatní zařízení jsou nastaveny jako přijímače. Zařízení nastavené jako přijímač je ve stavu vysoké impedance a neovlivňuje probíhající komunikaci. Nejčastější použití rozhraní RS-485 je Master-Slave topologie. Topologie propojení více zařízení je znázorněna na obr. 15. [18,19,20]



Obr. 15: Propojení více zařízení[20]

Specifikace rozhraní RS-485 nedefinuje žádný komunikační protokol. Ten je v režii výrobce každého zařízení, a proto vznikají problémy s kompatibilitou.

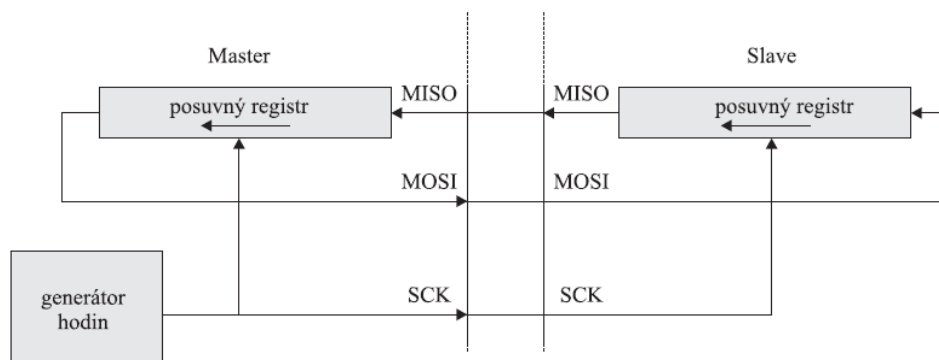


Obr. 16: Definice klidových úrovní[19]

Pro správnou funkci obou rozhraní je důležité umístit na koncové zařízení ukončovací rezistor  $R_t$  s hodnotou rovnou impedanci vedení, tak aby na koncích nedocházelo k odrazům. Mnohem důležitější je ovšem definování klidové úrovně pomocí rezistoru  $R_1$  a  $R_2$ , tak jak je znázorněné na obr. 16. Pokud jsou na sběrnici všechna zařízení ve stavu příjmu tj. ve stavu vysoké impedance, tak rozdíl napětí mezi vodiči A a B se pohybuje kolem 0 V. Sběrnice je citlivá na okolní rušení a mohlo by se stát, že některý přijímač přečte log. 0 a zahájí chybný příjem. Vhodnou volbou rezistorů lze nastavit, aby v klidovém stavu byl rozdíl mezi vodiči A a B větší než 200 mV, tím se potlačí možnost rušení a přijímače čtou log. 1. Současný trh opět nabízí mnoho převodníků z SCI sběrnice na rozhraní RS-422 a RS-485.[18,19]

## 2.2 Sběrnice SPI

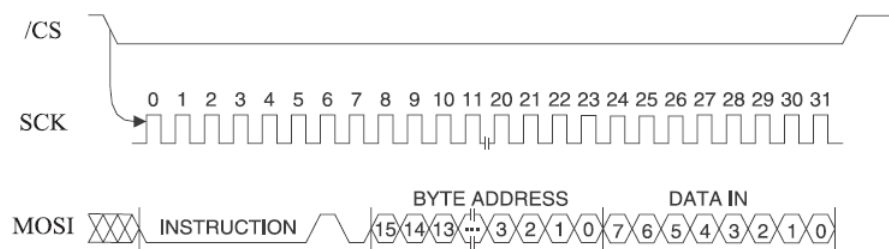
Sběrnice SPI (Serial Peripheral Interface) je obousměrná plně duplexní sběrnice vyvinutá firmou Motorola. Komunikace probíhá v základu po čtyřech vodičích s frekvencí od 1 MHz do 10 MHz (přenosová rychlost do 10 Mb/s). Sběrnice je určena pro připojení externích pamětí, A/D (Analog Digital) a D/A (Digital Analog) převodníků, propojení mikro počítačů mezi sebou, a některé MCU jako např. Atmel AT89S52 využívají tuto sběrnici k programování jejich flash paměti. Jedná se o Master-Slave sběrnici určenou ke komunikaci na velmi krátké vzdálenosti, nejlépe v rámci jedné DPS. [21,22]



Obr. 17: Propojení na sběrnici SPI[22]

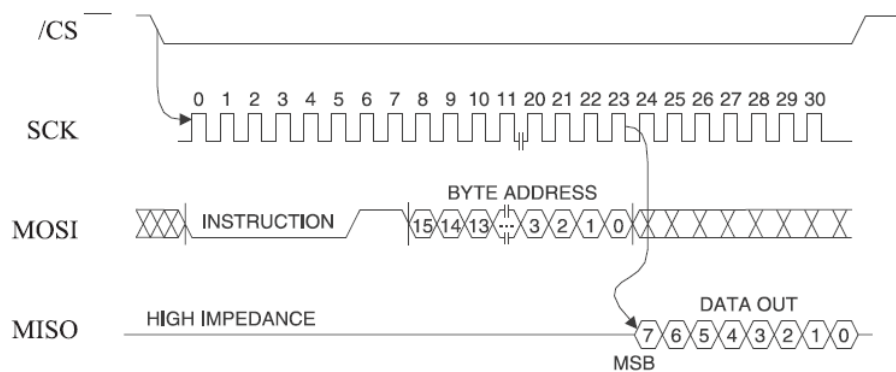
Sběrnici tvoří celkem čtyři vodiče. Dva z nich jsou datové MOSI (Master Out, Slave In) a MISO (Master In, Slave Out). Další slouží k přenosu hodinového signálu SCK (Serial Clock) a poslední k selekci Slave zařízení na sběrnici SS (Slave Select). Existuje také alternativní značení, ale tohle je nejčastější. Výhodou SPI sběrnice je jednoduchost jak již

softwarové obsluhy, které nemusí řešit adresaci ani přístup na sběrnici, tak i fyzická. To lze vidět na obr. 17, kdy Master zařízení obsahuje posuvný registr, generátor hodinového signálu a Slave zařízení pouze posuvný registr. Nevýhodou je velký počet aktivačních signálů při větším počtu zařízení, který lze eliminovat použitím dalších posuvných registrů nebo přepínačů signálu. Základem komunikace je selekce Slave zařízení, kdy na začátku přenosu musí být linka SS nastavena na log. 0 a na konci uvolněna na log. 1, to platí jak při zápisu, tak i při čtení dat. Zápis dat na sběrnici SPI je znázorněn na obr. 18. S každým hodinovým impulsem na SCK Master zařízení pošle jeden bit na výstup MOSI. Data jsou přenášena po bytech od nejvíce významného bitu MSB (Most significant bit). Formát přenášených dat závisí na konkrétním zařízení, ale nejčastěji se skládá z instrukčního, adresního a datového bytu. První dva byty jsou mnohdy spojeny do jednoho a obsahují R/W (Read Write) bit, který určuje, zda se jedná o zápis nebo čtení. [21,22]



Obr. 18: Zápis na sběrnici SPI[22]

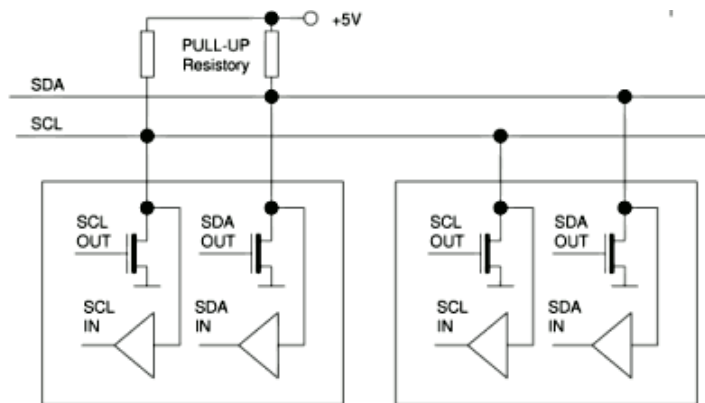
Čtení dat po sběrnici SPI je vidět na obr. 19. Master zařízení nejdříve pošle na výstup MOSI instrukční a adresní byte. Následně pak generuje hodinové impulsy a čte přijatá data na vstupu MISO. Tady vzniká prostor pro obousměrnou komunikaci, kdy Master zařízení může současně posílat data na výstup MOSI a číst data ze vstupu MISO. [21,22]



Obr. 19: Čtení na sběrnici SPI[22]

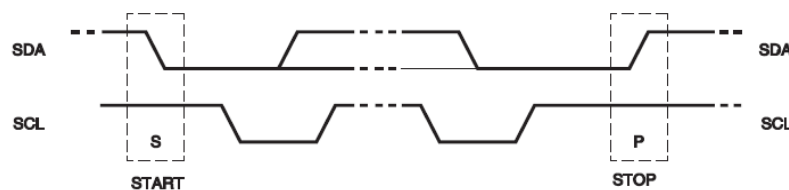
### 2.3 Sběrnice I2C

Sběrnice I2C (Inter-Integrated Circuit) je obousměrná poloduplexní sběrnice vyvinutá firmou Philips. Komunikace probíhá po dvou vodičích na frekvenci obvykle 100 kHz (standard mode) nebo 400 kHz (fast mode). Sběrnice je určena k připojení různých periférií obdobně, jak sběrnice SPI. Jedná se Multi-Master sběrnici určenou ke komunikaci na krátké vzdálenosti, řádově metry. Díky Multi-Master topologii řeší sběrnice také adresaci a přístup na sběrnici. [21,22]



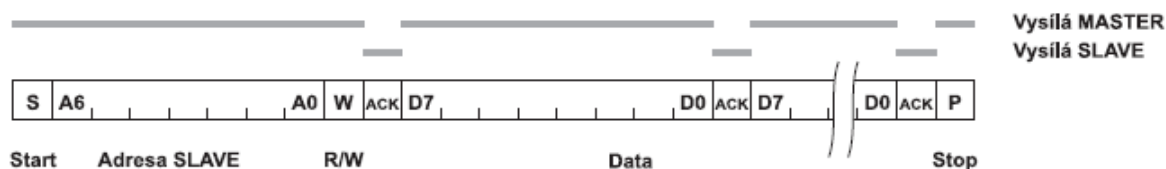
Obr. 20: Topologie sběrnice I2C[22]

Jednotlivé zařízení jsou propojeny datovým vodičem SDA a vodičem SCL, kterým se přenáší hodinový signál. Maximální délka vodičů je omezena maximální přípustnou kapacitou. Svorky SDA a SCL každého zařízení jsou realizované s otevřeným kolektorem (obr. 20). Pokud je sběrnice v klidu, jsou linky SDA a SCL ve stavu log. 1 a to pomocí zdvihacích rezistorů, jejichž hodnota závisí na napájecím napětí, přenosové rychlosti a počtu zařízení. Jednotlivé zařízení stahují linky SDA a SCL do log. 0. Po uvolnění jsou opět vráceny rezistory do log. 1. Při komunikaci platí základní pravidlo, že stav linky SDA se může měnit jenom v případě, že SCL je v log. 0. Toto pravidlo je porušeno ve dvou speciálních případech a to je START a STOP podmínka, která se používá k zahájení a k ukončení komunikace. Tyto podmínky lze vidět na obr. 21. [21,22]

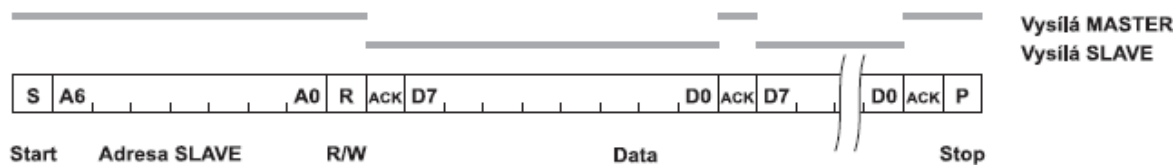


Obr. 21: START a STOP podmínka [22]

I2C specifikuje pro každou přenosovou rychlost také minimální dobu, kdy se linka SCL nachází ve stavu log. 0 nebo log. 1. Jednotlivé zařízení si při komunikaci synchronizují generátory hodiny na základě odměřování stavu linky SCL vnitřním časovačem. Tento mechanismus umožňuje pomalým zařízením zpomalit komunikaci. Na obr. 22 je formát rámce pro zápis dat a na obr. 23 pro čtení. [21,22]



Obr. 22: Zápis dat po sběrnici I2C[22]



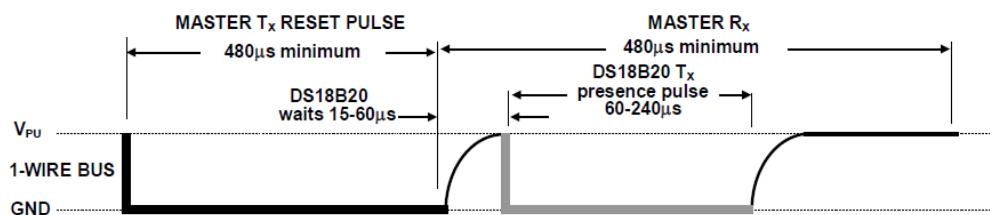
Obr. 23: Zápis dat po sběrnici I2C[22]

Každé zařízení komunikující po I2C sběrnici má svoji adresu, ta bývá většinou 7 bitová nebo 10 bitová. Od toho se také odvíjí formát rámce. Na začátku přenosu je poslána START podmínka, která je následována 7 bitovou adresou a osmý bit R/W rozhoduje o čtení nebo zápisu. Následně jsou posílána data po bytech ve směru určeném R/W bitem. Konec komunikace signalizuje STOP podmínka. Každý odeslaný/ přijatý byte musí být potvrzen bitem ACK (Acknowledgement), kdy vysílací strana uvolní sběrnici a kontroluje, zda ji druhá strana nastaví do log. 0. Pokud ne, dojde k ukončení přenosu. Sběrnice má mechanismy pro kontrolu detekce kolize. Zařízení nemůže zahájit příjem, dokud není sběrnice v klidu a také kontroluje vysílané bity se skutečným stavem linky SDA. [21,22]

## 2.4 Sběrnice 1 – Wire

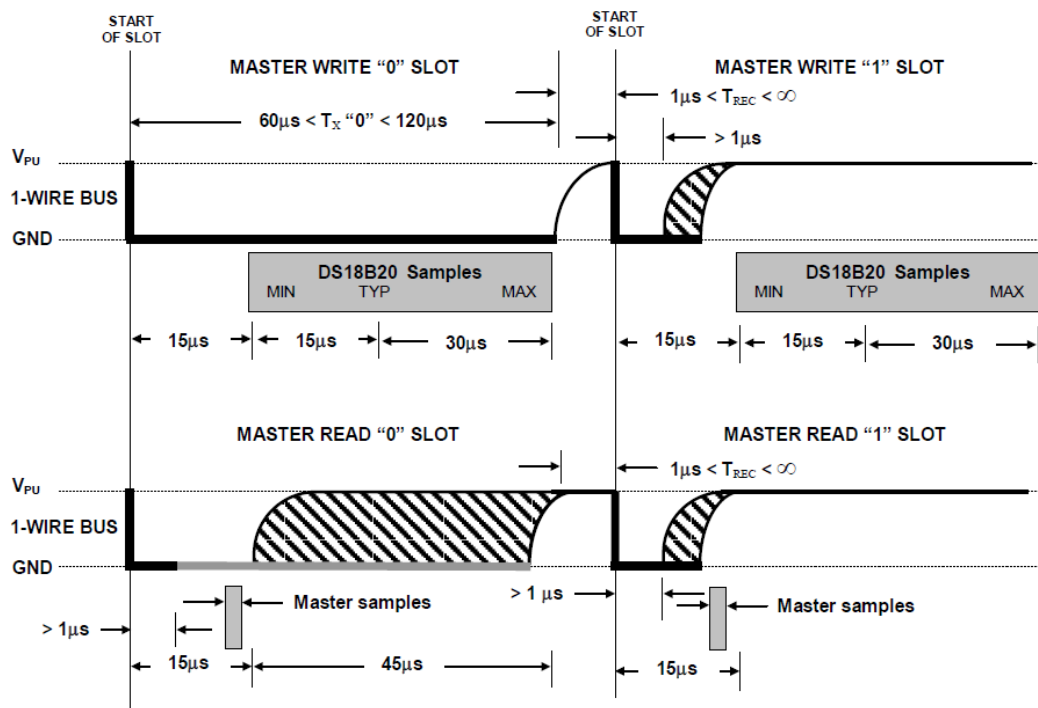
Sběrnice 1 – Wire je obousměrná poloduplexní sběrnice vyvinutá firmou Dallas Semiconductor (dnes Maxim Integrated). Komunikace probíhá po jednom vodiči s přenosovou rychlostí standardně 15,4 kbps (kilo bit per second). Sběrnice je určena k připojení periferií, jako jsou teplotní snímače, paměti od stejnojmenného výrobce. Dále se sběrnice používá u technologie iButton, která je součástí zabezpečovacích a přístupových systémů. Jedná o Master-Slave sběrnici určenou ke komunikaci na delší

vzdálenosti řádově stovky metrů. Všechny zařízení mají společnou zem a jsou připojené na společný datový vodič DATA přes otevřený kolektor tak, jak zařízení na sběrnici I2C. Komunikace se zahajuje reset pulsem. Master zařízení nastaví sběrnici do log. 0, následně sběrnici uvolní a vzorkuje stav sběrnice. Pokud je připojené nějaké Slave zařízení, tak detekuje tuto náběžnou hranu a stáhne sběrnici do log. 0. Master zařízení v tomto okamžiku přečte log. 0, což je označované jako presence pulse. Vše probíhá v přesně definovaných časových okamžicích jako na obr. 24. [23]



Obr. 24: Reset 1-Wire[23]

Komunikace po 1-Wire sběrnici probíhá v časových rámcích (time slots) s délkou 60  $\mu$ s až 120  $\mu$ s. Existují čtyři sloty: zápis log. 0 a log. 1, čtení log. 0 a log 1, které jsou znázorněny na obr. 25. Mezi každým časovým slotem je vhodné nechat krátkou prodlevu (1  $\mu$ s), stejně tak i mezi jednotlivými byty (100  $\mu$ s). [23]

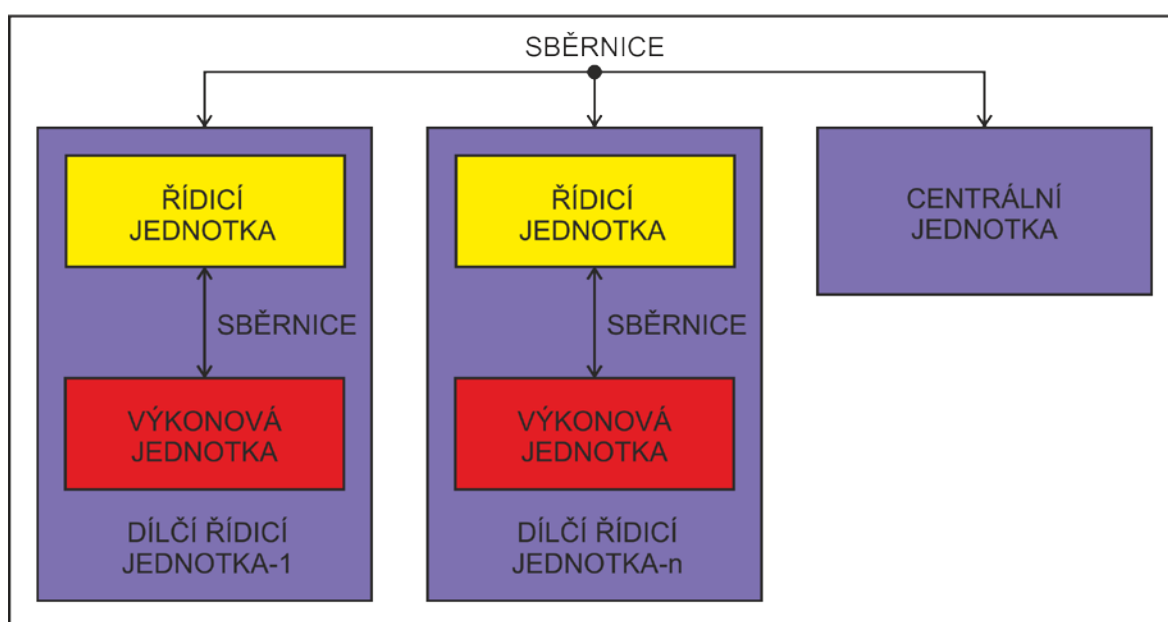


Obr. 25: Zápis a čtení na sběrnici 1-Wire[23]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 NÁVRH HARDWARU

Na to jak je akvaristika rozmanitá, kolik faktorů ovlivňuje správný chod akvária a zejména kolik lidí má akvaristiku jako koníček, tak nabídka řídicích systémů je značně omezená. Cílem práce bylo navrhnout komplexní řídicí a monitorovací systém pro akvária, který by našel uplatnění díky své koncepci zejména mezi obchody s akvaristikou, chovateli akvariálních rybiček, pěstiteli rostlin a díky příznivým nákladům i ve sféře hobby akvaristů. Změnou měřených a řízených veličin by bylo možné použít koncepci systému i v jiných technologických oblastech.



Obr. 26: Topologie systému

Systém se skládá z několika hlavních bloků a to z centrální jednotky a dílčích řídicích jednotek, které jsou mezi sebou propojeny sběrnici. Sběrnice byla zvolena s ohledem na jednoduchou implementaci, spolehlivost, dosah řádově stovky metrů, rychlost, odolnost proti rušení a Master-Slave topologii. Na základě těchto požadavků bylo zvoleno sériové komunikační rozhraní RS-485. Cílem dílčích řídicích jednotek je základní sběr dat, jejich zpracování a vyhodnocení. Zařízení je navrženo pro měření několika teplot, pH, ORP, pro řízení topení a dávkování CO<sub>2</sub>. Jednotky také disponují množstvím spínacích prvků pro ovládání osvětlení, čerpadel, krmítek, dávkovacích zařízení atd. Systém je navrženo tak, aby do určité míry bylo na uživateli, co, jak a kdy se bude ovládat. Tyto dílčí řídicí jednotky jsou samostatnými jednotkami a jejich chod není závislý na centrální jednotce. Centrální jednotka slouží k hromadnému monitorování všech dílčích jednotek, nastavování jejich

parametrů a také poskytuje webové rozhraní. Díky této koncepci má uživatel možnost pohodlně sledovat veškeré dění v akváriích z jednoho místa, kdekoliv ve světě. Dílčí řídicí jednotky byly z praktických důvodů rozděleny ještě na dvě části a to na řídicí jednotku a výkonovou jednotku. Smyslem tohoto rozdělení je, že řídicí jednotka, která obsahuje informační panel, jsou k ní připojené jednotlivé snímače a sondy pro měření je umístěna na akváriu. Zatímco výkonová jednotka, která slouží, jak již název napovídá ke spínání výkonových prvků, je umístěna pod akváriem. Aby tyto jednotky nemusely být propojeny svazkem vodičů, tak i výkonová jednotka má svoji inteligenci a propojení s řídicí jednotkou je řešené opět po sběrnici. Při výběru vhodné sběrnice se vycházelo z požadavků na jednoduchou a spolehlivou komunikaci mezi dvěma zařízeními na vzdálenost řádově jednotky metrů. Zde se nabízely dvě možnosti a to USB, nebo rozhraní RS-232. Navzdory tomu, že USB sběrnice je modernější, tak ne všechny mikropočítače jsou touto sběrnicí vybaveny. Obsluha USB je v porovnání se sériovou linkou také značně složitější, a proto se ve velké většině jednoduchých embedded aplikací, ale i průmyslových výrobků stále používá rozhraní RS-232, který bylo zvoleno i v tomto případě.

Před samotným návrhem bylo nutné zvážit vhodný výběr základních řídicích prvků pro každou jednotku. Zde se nabízelo několik možností, jako je např. použití MCU, mikroprocesoru MPU (Microprocessor), jednodeskové počítače SBC (Single Board Computer) nebo SoC (System on Chip).

Základní rozdíl mezi těmito zařízeními je následující:

- MCU je integrovaný obvod, který v jednom pouzdře sdružuje několik základních částí jako mikroprocesor, paměť, vstupně/výstupní jednotky a mnoho dalších periférií jako jsou komunikační sběrnice, čítače, A/D a D/A převodníky atd. Mezi výhody patří nízká cena, kompaktní rozměry a jednoduchost nasazení. Nevýhody jsou omezený výkon a velikost paměti, což se může projevit v náročných aplikacích např. grafických.
- MPU představuje logický obvod, který je srdcem MCU a vykonává aritmetické, logické operace. Dále pak zajišťuje veškerou komunikaci mezi ostatními částmi. Nevýhodou MPU je, že potřebuje pro svoji funkci další podpůrné obvody. Výhodou je velký výkon, který je dán mnohdy i více jádry MPU. Systémy založené na MPU zvládají náročné grafické, výpočetní a síťové aplikace.

- SBC je plně funkční počítač na jedné desce, která obsahuje procesor, paměť, vstupně/výstupní jednotky a další součásti, které jsou nezbytně nutné pro správnou funkci celého počítače. SBC je tak výkonné, jak je výkonný použitý procesor.
- SoC reprezentuje integrovaný obvod, který sdružuje několik částí do jednoho obvodu. Mezi tyto části může patřit např. MPU, grafické jádro, paměť, GSM (Global System for Mobile Communications) modul, GPS (Global Positioning System) modul, Bluetooth, akcelerometr atd. Na rozdíl od MCU, které jsou určeny pro jednoduché aplikace, SoC obvody nacházejí uplatnění v mobilních telefonech a SBC, na kterých mnohdy běží operační systém Linux nebo Android.

Navrhovat a konstruovat vlastní zařízení založené na MPU nebo SoC by bylo velmi obtížné zejména díky malým rozměrům, které by komplikovaly výrobu DPS. Současný trh nabízí nespočet různých vývojových platforem od různých výrobců. Např. společnost Farnell nabízí přes 1000 různých vývojových kitů v cenové relaci řádově od 200 Kč do 100.000 Kč, kdy kolem ceny 1.000 Kč lze koupit několik výkonných jednodeskových počítačů založených právě na MPU nebo SoC. Při pohledu na výše uvedené ceny je jasné, že se v dnešní době ne vždy vyplatí vlastní konstrukce. Mnohem rozumnější je použít některý z hotových vývojových kitů a platforem, které jsou předurčené pro rychlý vývoj aplikací.

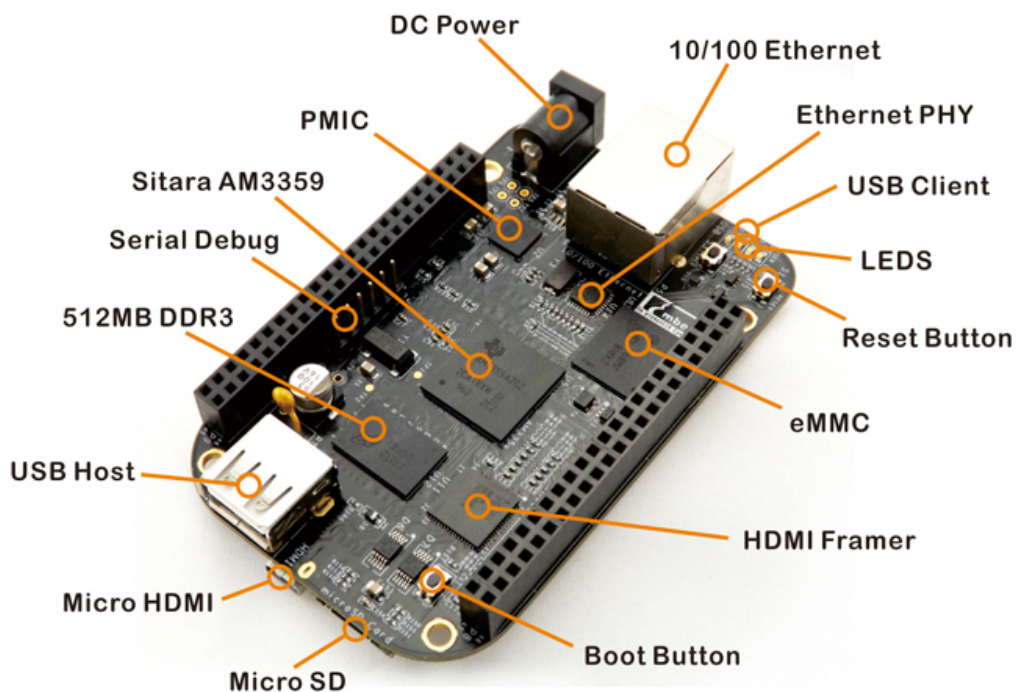
Centrální jednotka slouží k přívětivému uživatelskému ovládní, musí být vybavena Ethernet rozhraním pro připojení do sítě a sériovou linkou pro realizaci rozhraní RS-485. Pro tento účel není nic vhodnějšího než použití SBC. Díky tomu získá centrální jednotka značné možnosti využití např. po připojení monitoru, klávesnice a myši se stane z centrální jednotky plnohodnotný počítač, na kterém lze procházet webové stránky, psát dokumenty nebo přehrávat filmy a hudbu. Řídicí jednotka musí být vybavena dvěma sériovými rozhraními pro realizaci rozhraní RS-485 a RS-232, musí mít A/D kanály, dále pak dostatečný počet vstupně/výstupních I/O (Input Output) jednotek pro připojení LCD displeje a dostatečný výkon pro jeho řízení. Pro tyto účely je vhodné použít některou z prodávaných vývojových platforem založenou na 32 bitovém MCU. Výkonová jednotka musí mít především dostatečný počet výstupních jednotek s možností PWM (Pulse Width Modulation). Tuto podmínku splní spolehlivě 8 bitový MCU. Při návrhu hardware byl použit software EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor) verze 6.4.0.

### 3.1 Použité mikropočítače a platformy

Pro centrální jednotku byl zvolen jednodeskový počítač BeagleBone Black, pro řídicí jednotku byla zvolena vývojová platforma FRDM KL-25Z a pro výkonovou jednotku mikropočítač MC9S08AC60.

#### BeagleBone Black

BeagleBone Black je SBC podporované společností Texas Instruments a je to nejnovější produkt rodiny BeagleBoard. Tato platforma se řadí do kategorie levných jednodeskových počítačů velikostí platební karty.



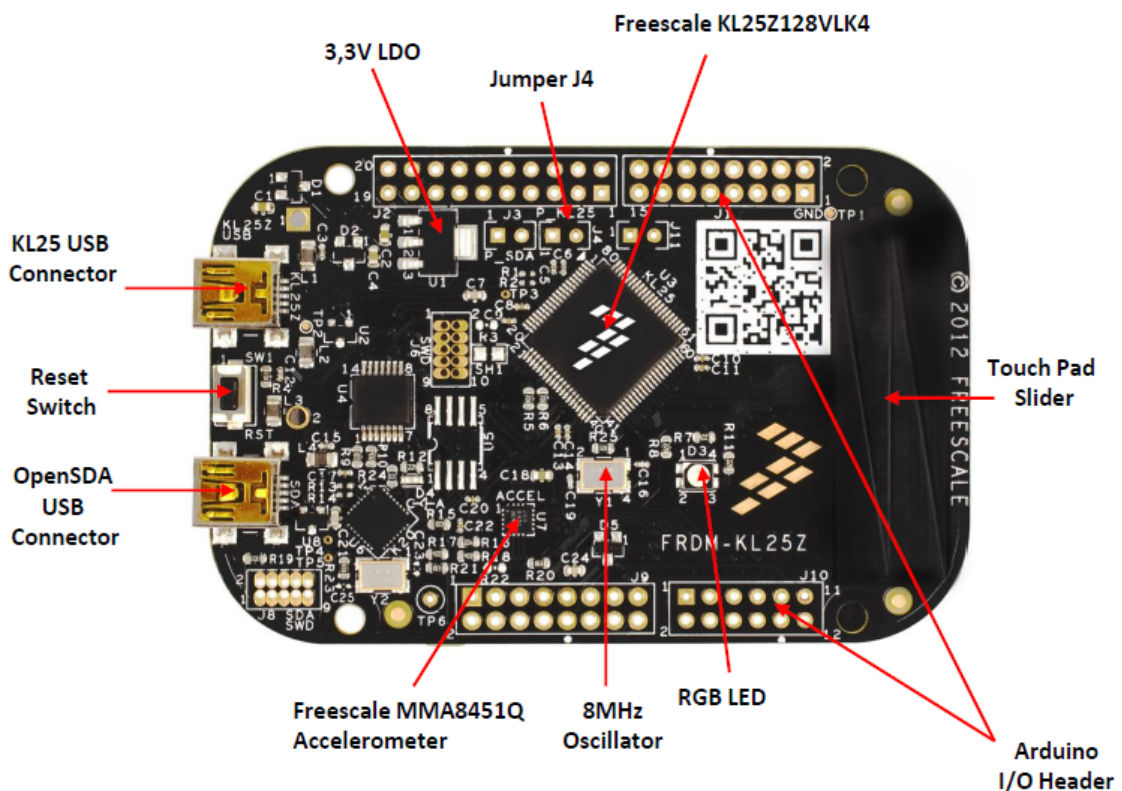
*Obr. 27. BeagleBone Black [24]*

Platforma je postavena na procesoru TI Sitara AM3358AZCZ100, 1 GHz, 2000 MIPS (Million Instruction Per Second), který je založen na ARM Cortex A8 procesoru a je vybaven 3D akcelerátorem, akcelerátorem pro výpočty s desetinou čárkou a 2x PRU (Programmable Real-Time Unit Subsystem) 32 bit mikropočítačem. Přímou na desce je 512 MB RAM (Random Access Memory) paměť s frekvencí 800 MHz a 2 GB 8 bit eMMC (Embedded Multimedia Card) paměť (nové revize už 4 GB). Paměť lze dále rozšířit pomocí Micro SD (Secure Digital) karty. Konektivitu zajišťuje 10/100 Ethernet rozhraní s RJ-45 konektorem, USB Host a USB Client. Obrazový a zvukový výstup poskytuje HDMI (High-Definition Multimedia Interface) konektor. Zařízení je vybavené

pěti indikačními diodami a třemi tlačítky (power, reset, boot) a dále pak speciálním obvodem TPS65217C, který řeší napájení všech částí platformy. Na rozšiřujícím 2x46 pinovém konektoru se nachází množství I/O, 4x SCI, I2C, SPI, A/D kanály, 4 čítače. [24]

### FRDM KL-25Z

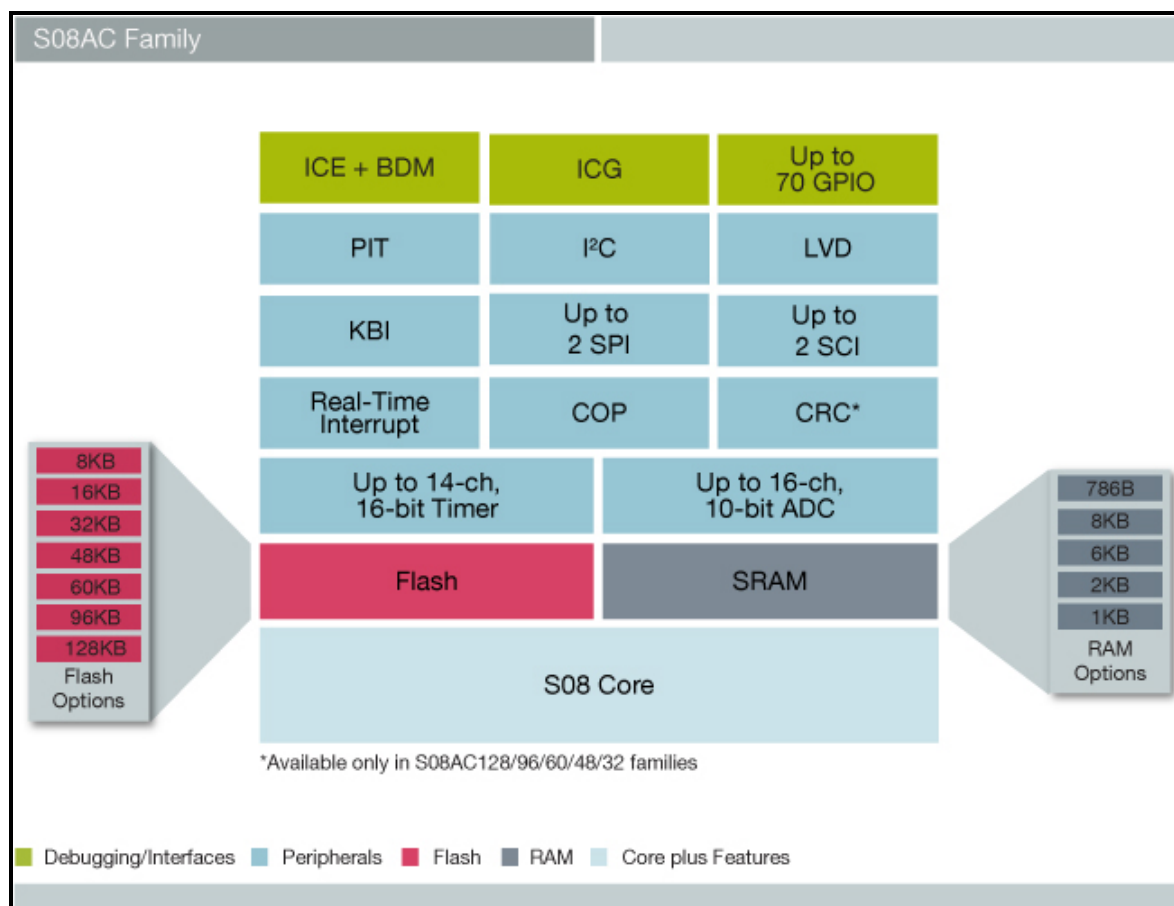
Freedom Board označuje vývojovou platformu společnosti Freescale. Tato platforma je vhodná pro rychlý vývoj aplikací založených na MCU. FRDM KL-25Z je levná platforma pro 32 bitové Kinetis L mikro počítače postavené na jádře ARM Cortex-M0+. Platforma je osazena MCU MKL25Z128VLK4. Deska je vybavena několika periferiemi jako akcelerometr MMA8451Q, RGB (Red Green Blue) diodu, kapacitní dotykový posuvník, OpenSDA programovací a ladící rozhraní. Zařízení nabízí flexibilní možnosti napájení přes USB rozhraní, baterii až po externí zdroj. I/O konektory jsou kompatibilní s ARDUINO R3. Použitý MCU pracuje na frekvenci do 48 MHz a má 128 kB flash paměť spolu s 16 kB RAM. Platforma je vybavena řadou komunikačních rozhraní jako je USB, 2x I2C, 2x SPI, 3x SCI, analogovými periferiemi jako je 16 bitový A/D převodník a 12 bitový D/A převodník. V neposlední řadě obsahuje 1x 6 kanálový čítač, 2x 2 kanálový čítač, 2x periodické přerušení a RTC (Real Time Clock).[25]



Obr. 28: FRDM KL-25Z[25]

MC9S08AC60

MC9S08AC60 je 8 bitový mikropočítač od firmy Freescale s jádrem HCS08. Řada AC patří do třetí generace Flexis série, to znamená, že tyto MCU jsou, co se týká zapojení a výbavy kompatibilní s 32 bitovými ColdFire V1 (MCF51AC256/128) mikropočítači. Na obr. 29 je znázorněna vnitřní struktura zvoleného MCU. [26]

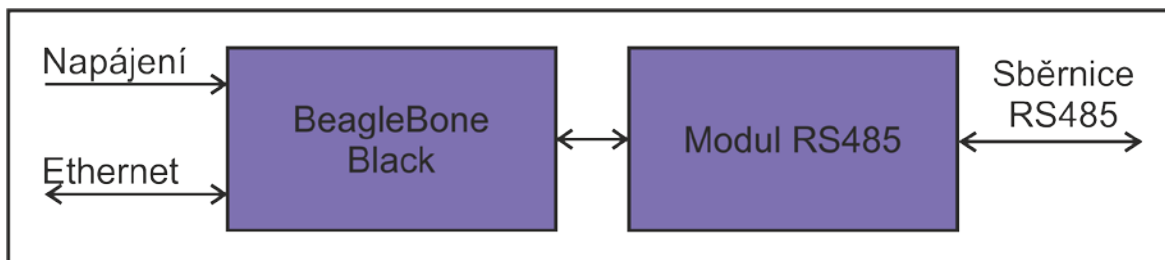


Obr. 29: Vnitřní struktura 8 bitového MCU Freescale S08AC [26]

Jádro MC9S08AC60 pracuje na frekvenci maximálně 40 MHz a sběrnice na 20 MHz. Mikropočítač je vybaven několika komunikačními rozhraními jakou jsou dvě asynchronní sériové linky SCI, I2C a SPI sběrnice. Dále je vybaven 16 kanálovým 10 bitovým A/D převodníkem s dobou konverze 2,5  $\mu$ s, periodickým přerušením, obvodem pro detekci nízkého napětí, obvodem Watchdog, obvodem pro kontrolu CRC (Cyclic Redundancy Check), programovacím a ladícím rozhraním a mnohými dalšími podpůrnými periferiemi. Nakonec je nutné zmínit až 56 I/O jednotek a hlavně tři nezávislé čítače s celkovým počtem 14 kanálů, které mohou být konfigurovány jako PWM. Zejména kvůli těmto vlastnostem je tento mikropočítač více než vhodný pro obsluhu výkonové jednotky. [26]

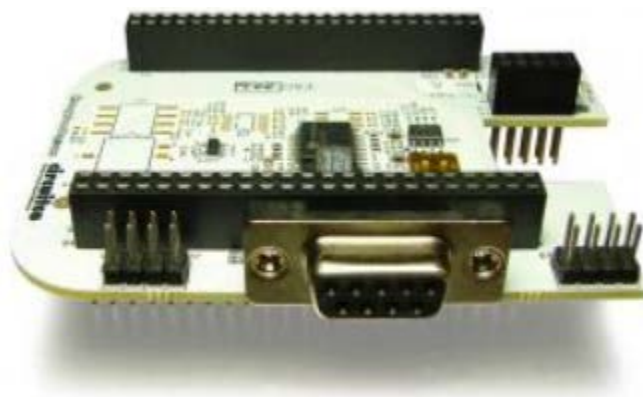
### 3.2 Centrální jednotka

Na obr. 30 je vidět blokové schéma centrální jednotky, která skládá z jednodeskového počítače BeagleBone Black a pomocného modulu, který převádí sériovou linku na rozhraní RS-485.



Obr. 30: Blokové schéma centrální jednotky

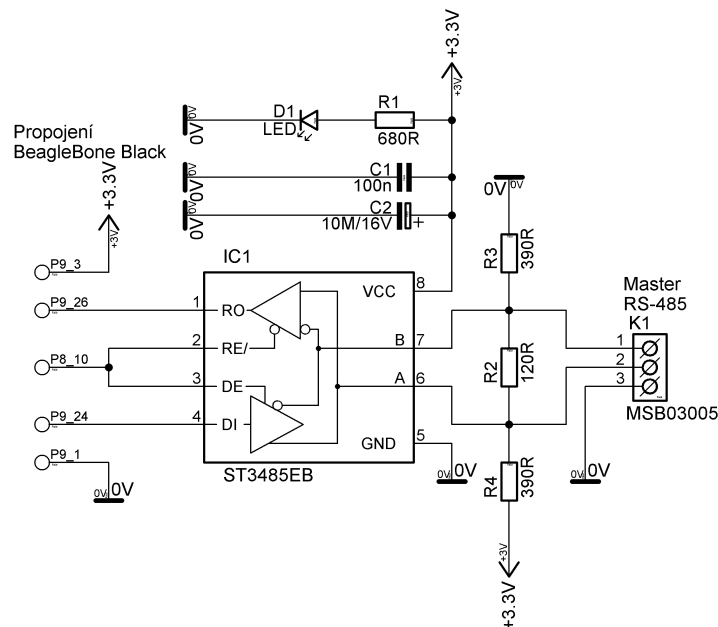
Centrální jednotka je napájena pomocí 5 V/1,5 A DC (Direct Current) adaptéru s 2,1 mm konektorem a do LAN (Local Area Network) sítě se připojuje patch kabelem s konektory RJ-45. Pro propojení zařízení na sběrnici RS-485 se musí použít kabel minimálně s jedním krouceným párem vodičů a dalším vodičem pro signálovou zem. Současný trh nabízí kabely přímo navržené pro RS-485 sběrnice, ale pro testovací účely stačí použít běžně dostupný UTP kabel. Moduly jsou mezi sebou propojeny propojovacími vodiči. Alternativou k tomuto zapojení je koupě originálního rozšiřujícího modulu označovaného jako RS485 CAPE, který doplňuje BeagleBone Black o rozhraní RS-485. V současné době je k dispozici verze RS485 CAPE verze A, která byla původně určena k starší verzi BeagleBone a cena se pohybuje kolem 1.000 Kč, což je cena vyšší než cena samotného SBC. Aktuálně se pracuje na verzi B, která by měla být plně kompatibilní s BeagleBone Black a slibuje nižší cenu, ale i tak bude určitě cenově výhodnější vlastní konstrukce. [27]



Obr. 31: RS485 CAPE verze A [27]

Na obr. 32 je schéma modulu RS-485. Základem je obvod ST3485EB od firmy STMicroelectronics, který převádí sériovou linku SCI (UART) na rozhraní RS-485. Základní parametry obvodu jsou následující[28]:

- obvod pracuje s jedním napětím 3,3 V a nevyžaduje žádné nábojové pumpy
- garantovaná rychlost 12 Mbps (Mega bit per second)
- kompatibilní s 5 V logikou, 1  $\mu$ A ve vypnutém stavu
- jeden vysílač a jeden přijímač v poloduplexním režimu, 64 zařízení na sběrnici
- $\pm 15$  kV ESD (Electrostatic Discharge) ochrana všech vstupů a výstupů převodníku

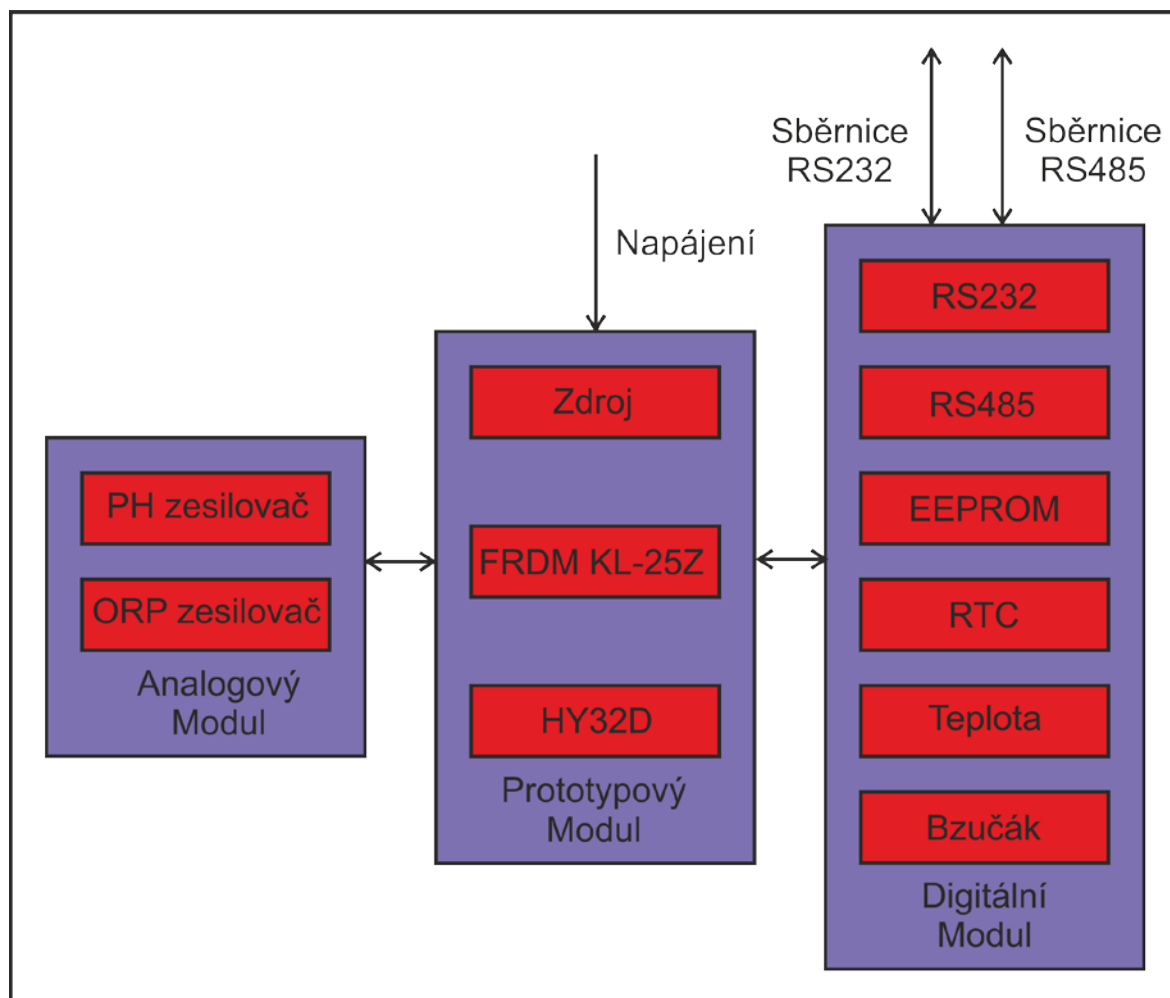


Obr. 32: Schéma modulu RS-485

Modul je napájen přímo z konektorů na BeagleBone Black a to z pinů P9\_1-GND a P9\_3-3,3V. Dioda D1 slouží k indikaci napájecího napětí a kondenzátory C1 a C2 k filtraci napětí. R2 je ukončovací rezistor sběrnice a rezistory R1 a R3 slouží k definici klidové úrovně. Pokud jsou všechna zařízení na sběrnici v režimu příjmu a na konci sběrnice je umístěn ukončovací rezistor, tak napětí mezi svorkami A a B je přibližně kolem 230 mV. Modul je dále napojen na konektory BeagleBone Black pomocí pinů P9\_26-UART1 RXD, P9\_24-UART1 TXD a P8\_10-GPIO, který slouží pro přepínání směru vysílač/přijímač. Pokud je tento vstup ve stavu log. 1 jedná se o vysílač v opačném případě o přijímač.

### 3.3 Řídicí jednotka

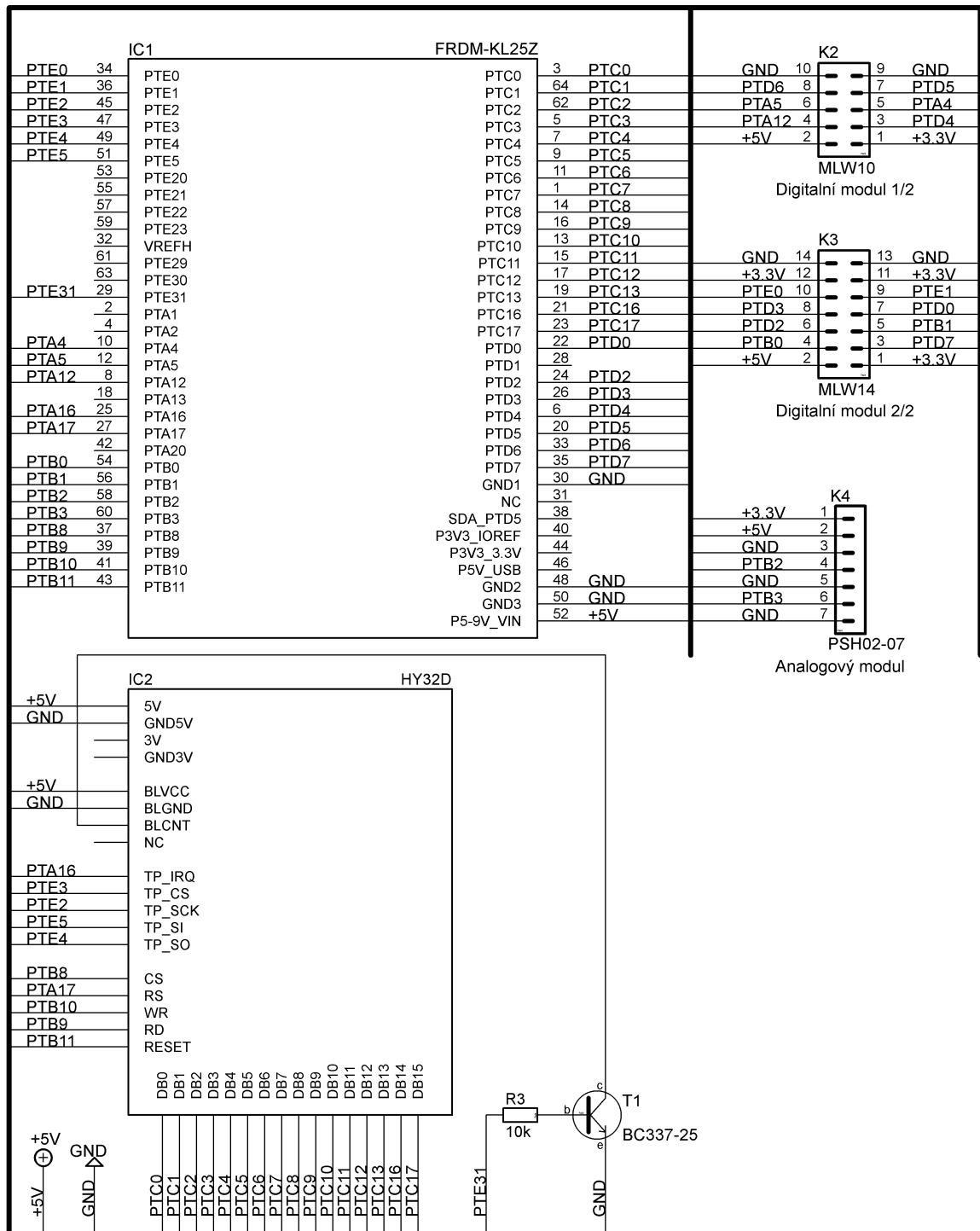
Řídicí jednotka se skládá ze tří modulů, které jsou realizovány samostatnou DPS a jsou znázorněny v blokovém schématu.



Obr. 33: Blokové schéma řídicí jednotky

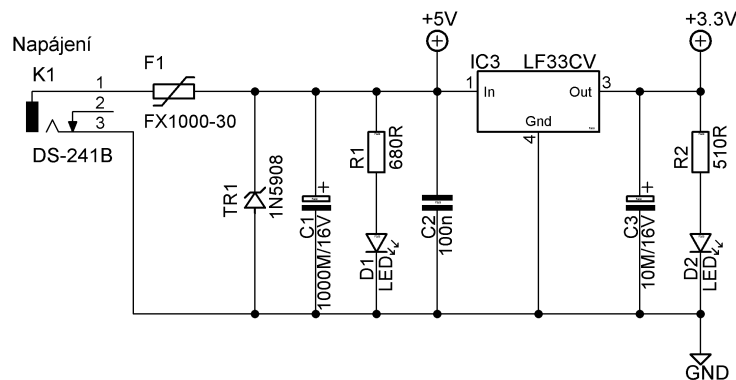
Prototypový modul obsahuje zdroj, který slouží pro napájení všech ostatních modulů a je napájen 5 V/1 A DC z napájecí svorkovnice výkonové jednotky. Modul slouží zejména k propojení vývojové platformy FRDM KL-25Z s modulem HY32D, což je modul s 3,2“ TFT (Thin Film Transistor) LCD displejem a dotykovou rezistivní vrstvou. Toto propojení je realizované 34 pinovým plochým kabelem (např. kabel určený k disketovým mechanikám), který je na jednom konci nasunut do konektoru modulu HY32D a druhý konec je pin po pinu napájen do prototypové desky, tím se usnadnil návrh celého zařízení. Podobným způsobem je realizováno i propojení s ostatními moduly. Modul FRDM KL-25Z je spojen s prototypovou deskou pomocí dutinkových lišt a oboustranných kolíků.

Analogový modul slouží jako zesilovač pro připojení pH sondy a ORP sondy. Digitální modul představuje rozhraní pro komunikaci s centrální a výkonovou jednotkou, slouží pro připojení teplotních snímačů a jako zdroj přesného času. Dále obsahuje paměť EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) pro zálohování všech parametrů, v případě vypnutí napájení a nakonec bzučák jako zdroj akustických signálů.



Obr. 34: Schéma propojení prototypového modulu

Ve schématu na obr. 34 je vidět propojení mezi jednotlivými součástmi prototypové desky a vůbec celé řídicí jednotky. IC1 představuje platformu FRDM-KL25Z a IC2 modul displeje HY32D. Modul HY32D obsahuje řadič TFT displeje SSD1289 a řadič XPT2046 pro řízení dotykového ovládání. S řadičem SSD1289 se komunikuje po 16 bitové paralelní sběrnici s pěti řídicí signály a s řadičem XPT2046 po sběrnici SPI. Tranzistor T1 spíná LED podsvícení displeje, které může být řízeno PWM. V případě nezapojení tranzistoru T1 svítí LED podsvícení na 100% a nelze jej ovládat. Modul HY32D obsahuje stabilizátor z 5 V na 3,3 V a proto je možné displej napájet jak z 5 V tak i ze 3,3 V pomocí separátních pinů. Na desce FRDM KL-25Z je nutné zkratovat na diodě D1 pin 1 a 3 (po této úpravě není možné používat současně napětí z baterie a z jiného zdroje) jinak dochází k úbytku napětí o 0,5 V a mohlo by to způsobovat problém s 3,3 V logikou. Konektory K2, K3, a K4 jsou součástí ostatních modulů, ale jsou zde zakresleny pro demonstraci celkového propojení.

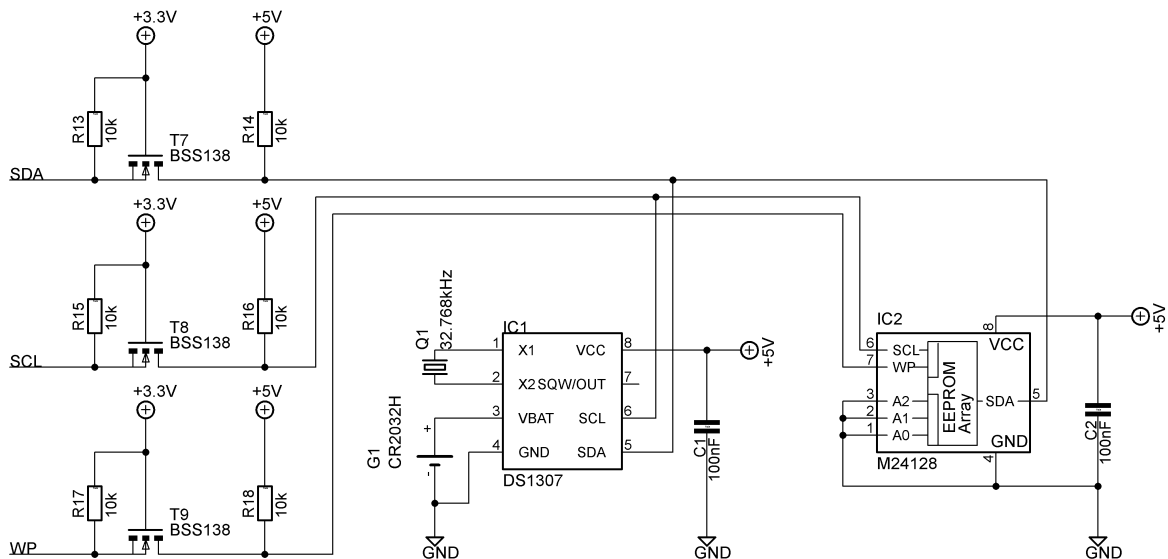


Obr. 35: Schéma napájení prototypového modulu

Na obr. 35 je schéma napájecí části prototypového modulu. Napětí ze svorkovnice K1 je vedeno přes 1 A vratnou pojistku (PolySwitch) F1. Paralelně k tomu je zapojen jednosměrný 6 V transil. Kombinace těchto dvou základních prvků zajišťuje ochranu proti přepětí, přetížení a přepólování. Obvod IC3 LF33CV slouží pro stabilizaci napětí z 5 V na 3,3 V. Dioda D1 indikuje 5 V napětí a dioda D2 3,3 V napětí.

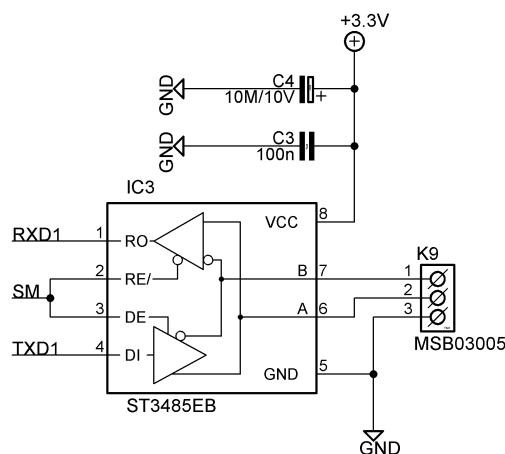
Na obr. 36 je schéma RTC obvodu a paměti EEPROM. Jako zdroj hodin byl použit obvod IC1 DS1307 od firmy MAXIM a paměť byla zvolena 16 kB EEPROM IC2 M24128 od firmy STMicroelectronics. Obě zařízení jsou napájeny 5 V a komunikují po sběrnici I2C. Obvod DS1307 potřebuje pro svoji práci zdroj hodinových impulsů, které zajišťuje krystal

Q1 s frekvencí 32,768 kHz a dále 3 V záložní baterii G1. Tranzistory T7-T9 v kombinaci s rezistory R13-R18 tvoří obousměrné převodníky z 3,3 V logiky na 5 V.



Obr. 36: Schéma RTC a EEPROM digitálního modulu

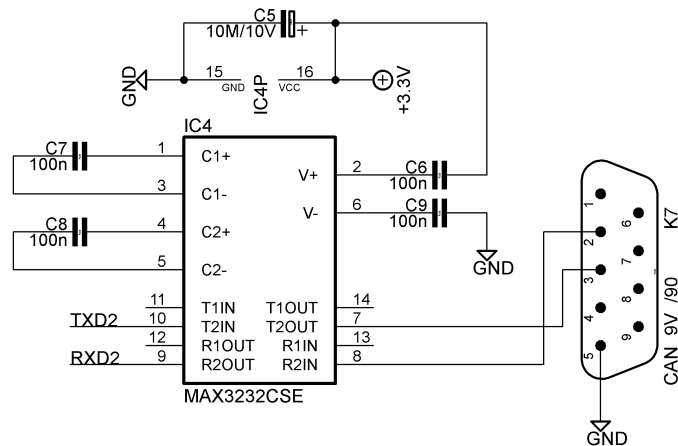
Na obr. 37 je schéma rozhraní RS-485. Základem je výše zmíněný obvod IC3 ST3485. Zapojení obvodu je analogické jako u centrální jednotky, s tím rozdílem, že zde není ukončovací rezistor ani rezistory pro definování klidové úrovně. Ukončovací rezistor  $120\ \Omega$  je umístěn na svorkovnici poslední dílčí řídicí jednotky.



Obr. 37: Schéma rozhraní RS-485 digitálního modulu

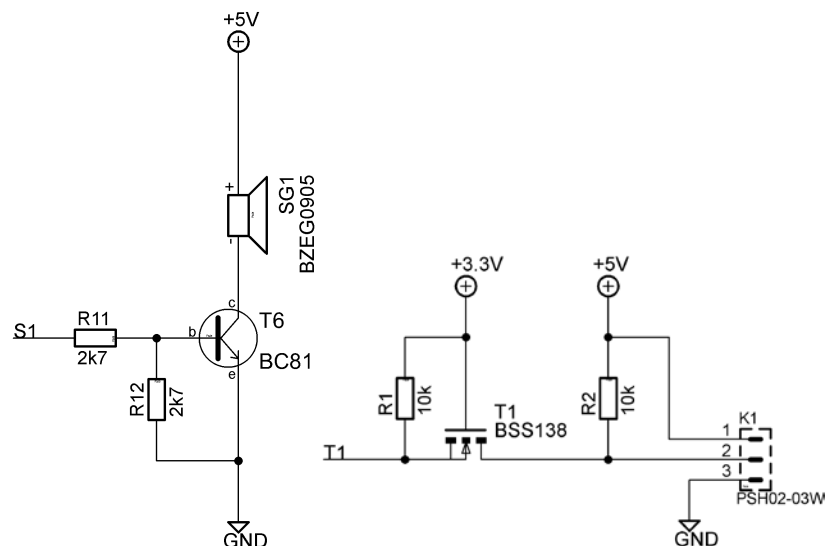
Na obr. 38 je schéma rozhraní RS-232. Jako převodník byl zvolen obvod IC4 MAX3232 od firmy MAXIM, který je zapojen podle doporučení výrobce. Výhodou tohoto obvodu je, že pracuje s jedním napájecím napětím a to od 3 V do 5,5 V a napětí pro definici rozhraní

RS-232 vytváří pomocí nábojových pump tvořenými kondenzátory C7, C8, C9 a C10. Maximální rychlost tohoto obvodu je 1 Mbps.



Obr. 38: Schéma rozhraní RS-232 digitálního modulu

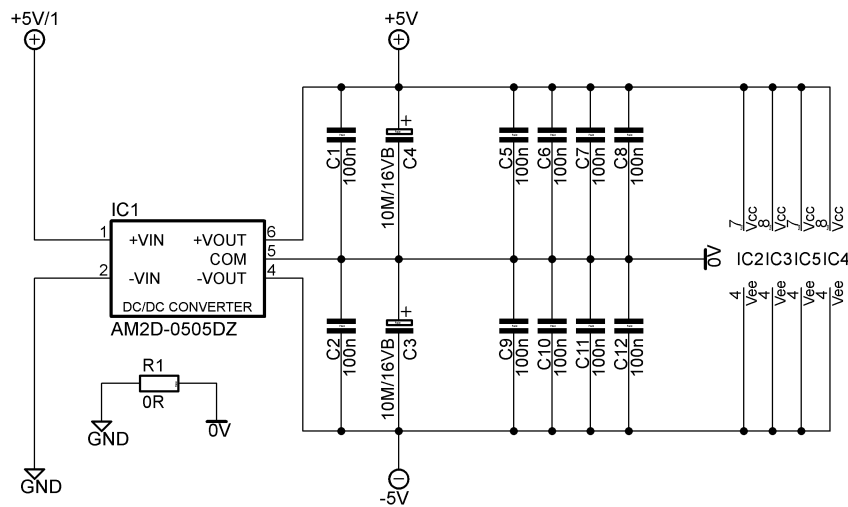
Na obr. 39 je schéma poslední části řídicí jednotky a to je zapojení bzučáku a měření jednoho kanálu teploty. Zapojení bzučáku se skládá z akustického měniče SG1, který je spínán tranzistorem T6. Pro měření teploty se používají snímače DS18B20 od firmy MAXIM, které komunikují po 1-Wire sběrnici a lze je koupit v provedení s kabelem. Tyto snímače se připojují na konektory K1-K5 a jednotlivé tranzistory s příslušnými odpory tvoří opět obousměrný převodník logických úrovní.



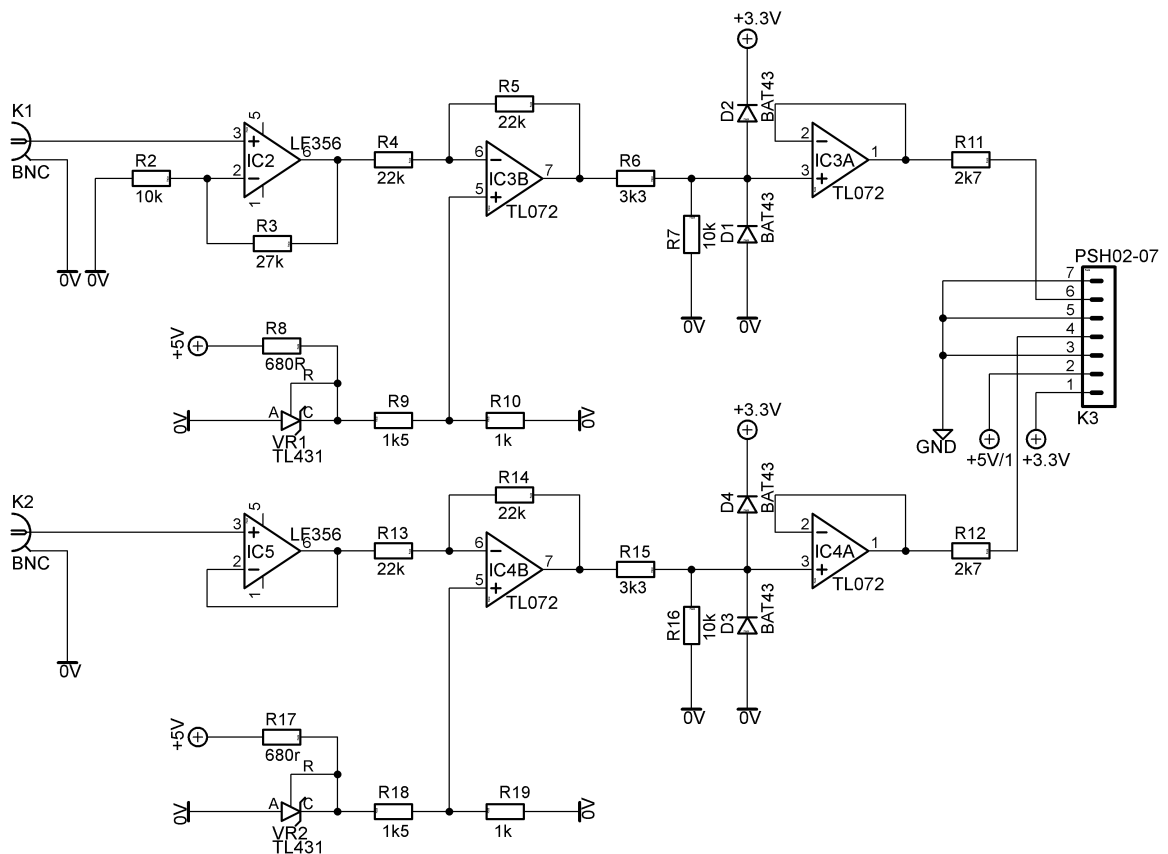
Obr. 39: Schéma zapojení bzučáku a snímače teploty digitálního modulu

Na obr. 40 je schéma napájecí části analogového modulu. Obvod IC1 AM2D-0505DZ je DC/DC měnič který vytváří z nesymetrického napětí 5 V, symetrické napětí  $\pm 5$  V pro

napájení operačních zesilovačů. Kondenzátory C1 až C4 slouží k filtraci napájecího napětí a ostatní slouží jako blokovací kondenzátory OZ (operační zesilovač).



Obr. 40: Schéma napájení analogového modulu



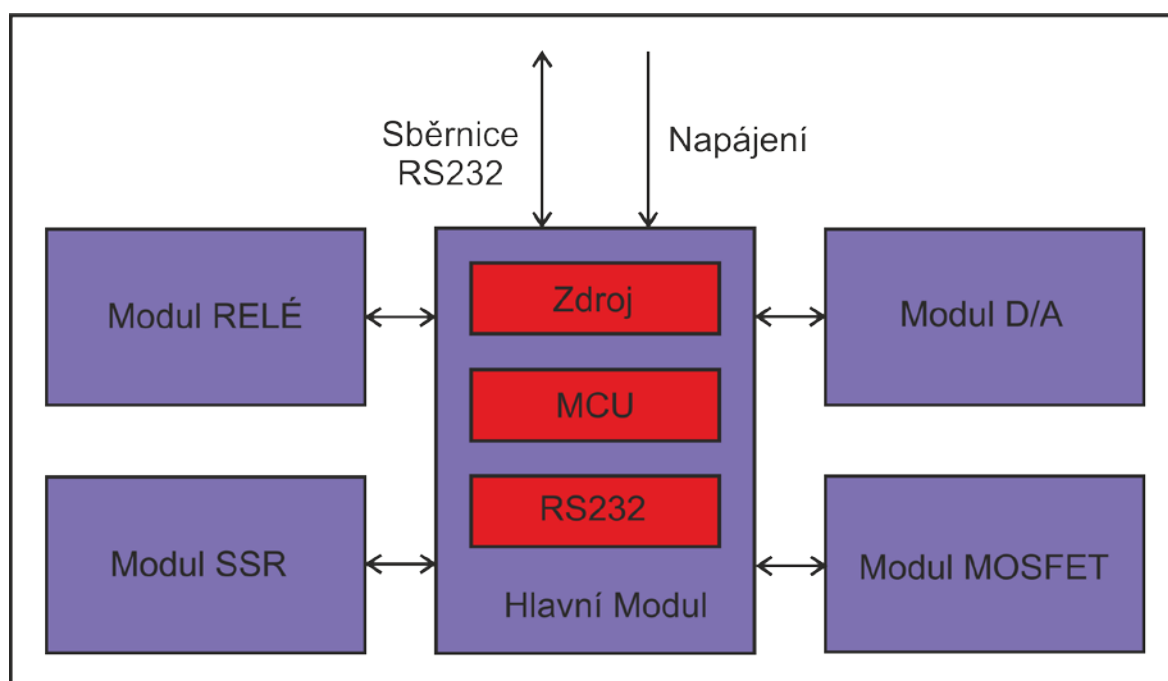
Obr. 41: Schéma analogového modulu

Zapojení zesilovače pro pH nebo ORP lze rozdělit na tři části a to podle úpravy vstupního signálu. V první části tvořené obvody IC2 a IC5 dochází k zesílení vstupního signálu. Pro

pH sondu je zesílení nastaveno na hodnotu blížíci se 4 a pro ORP sondu je zesílení 1. Následně je k signálu přičtena stejnosměrná složka 2 V, vše je realizované OZ IC3B a IC4B, které jsou zapojeny jako invertující zesilovače se zesílením -1. Offset je realizován napěťovou referencí TL431, které poskytuje napětí 2,5 V, toto napětí je upraveno děličem tvořeným z odporů (R9, R10 a R18, R19) na hodnotu 1 V. Na výstupu IC3B a IC4B je napětí v rozsahu 0 V až 4 V, toto napětí je dále upraveno děličem tvořeným z odporů (R6, R7 a R15, R16) na hodnotu 0 V až 3 V. Diody D1 až D4 slouží jako ochrana proti napětí většímu než 3,3 V (plus napětí na diodě v propustném směru) a jako ochrana proti zápornému napětí. Obvod IC3A a IC5A slouží k oddělení zesilovače a A/D převodníku.

### 3.4 Výkonová jednotka

Výkonová jednotka byla navržena jako modulární systém a skládá se z několika bloků.

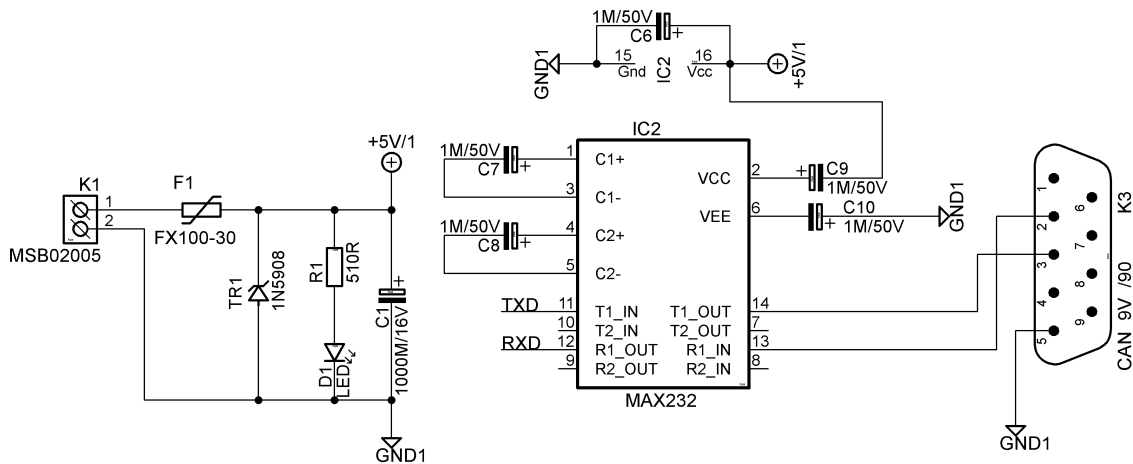


Obr. 42: Blokové schéma výkonové jednotky

Základem je hlavní modul, který obsahuje MCU, rozhraní RS-232 a zdroj, který slouží pro napájení všech modulů. Výkonová jednotka je napájena ze zdroje 5 V/1,5 A DC, který může být řešen jako napájecí adaptér, nebo jako adaptér na DIN lištu. Datové propojení mezi výkonovou a řídicí jednotkou je řešeno kříženým kabelem RS-232/RS-232, který je často označován jako NULL MODEM kabel. Ostatní moduly, jako je modul RELÉ, modul polovodičových relé SSR (Solid State Relay), modul D/A a modul MOSFET (Metal Oxide

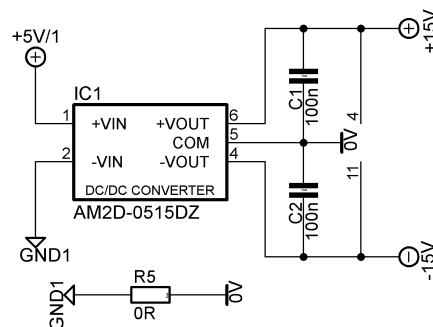


Konektor K9 slouží pro připojení D/A modulu a nelze jej zaměnit, konektory K8, K7 a K6 jsou funkčně stejné a jedná se pouze o výstupy. Na konektor K4 jsou připojeny tři kanály PWM prvního čítače, dva kanály PWM druhého čítače a tři výstupy pro všeobecné použití. Na konektor K5 jsou připojeny tři kanály PWM prvního čítače, dva kanály třetího čítače a 3 výstupy. Celkově je hlavní modul navržen pro ovládání 10 PWM výstupů, 30 výstupů a modulu D/A, který má čtyři kanály.



Obr. 44: Schéma napájení výkonové jednotky a převodníku RS-232

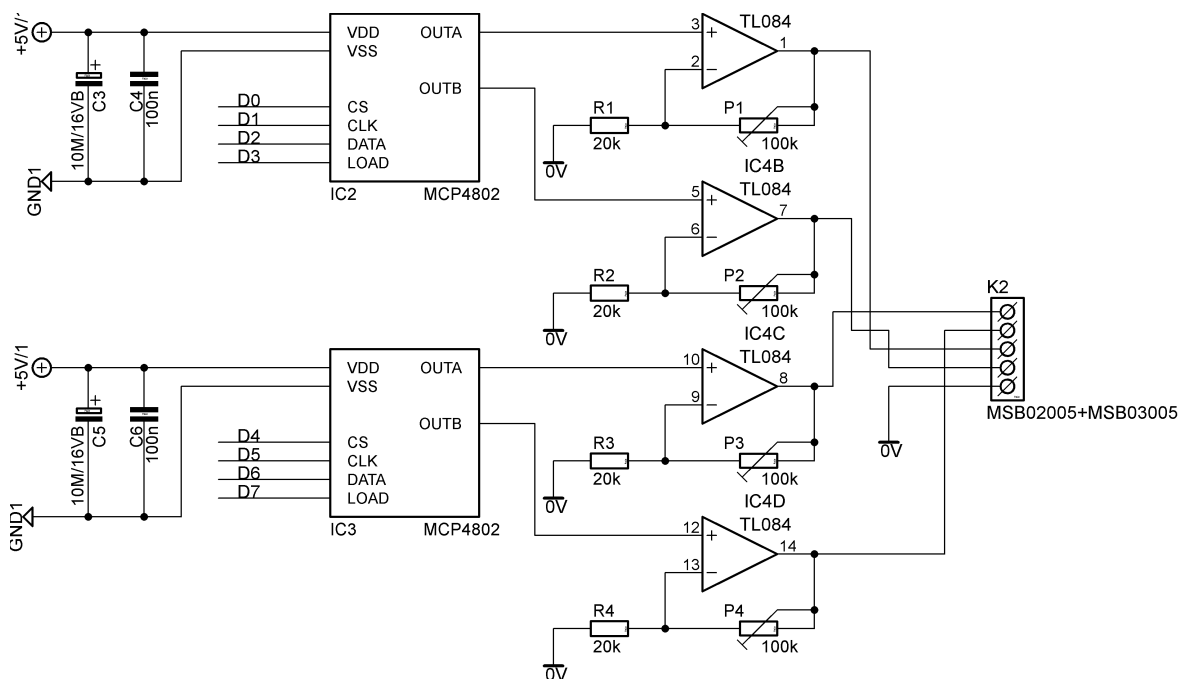
Na obr. 44 je schéma napájení výkonové jednotky. Napětí ze svorkovnice K1 je vedeno přes 1A vratnou pojistku F1. Paralelně k tomu je zapojen jednosměrný 6 V transil. Dioda D1 slouží jako indikace zapnutí a kondenzátor C1 plní funkci vyhlazení napájecího napětí. Na obr. 44 je také schéma převodníku RS-232. Základem je integrovaný obvod MAX232. Jedná se o převodník sériové linky z úrovně TTL na rozhraní RS-232. Obvod pracuje pouze s jedním napájecím napětím a to 5 V a napětí potřebné pro logické úrovně RS-232 jsou generovány pomocí nábojových pump tvořenými kondenzátory C7, C8, C9, C10. Zapojení obvodu je dle doporučení výrobce.



Obr. 45: Schéma napájení D/A modulu

Pro napájení OZ bylo zvoleno symetrické napájení  $\pm 15$  V, a to z toho důvodu, aby OZ pracoval od 0 V. Napětí  $\pm 15$  V je generované obvodem IC1 AM2D-0515DZ. Jedná se o DC/DC měnič, který pracuje s jedním napájecím napětím v rozsahu 4,5 V až 5,5 V, na svém výstupu poskytuje symetrické napětí  $\pm 15$  V/ $\pm 67$  mA a dosahuje účinnosti 80%.

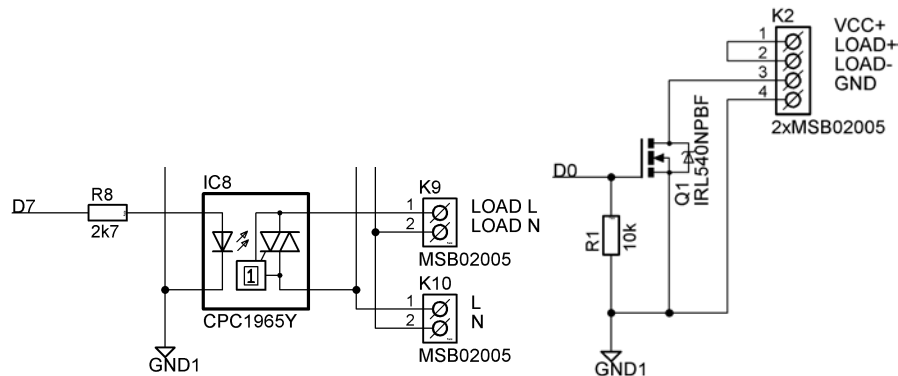
Základem D/A modulu jsou dva 8 bitové 2 kanálové D/A převodníky IC2, IC3 MCP4802 od firmy Microchip, které komunikují po sběrnici SPI a mají vnitřní referenční napětí 2,048 V. Výstupní napětí z D/A převodníku je zesíleno operačním zesilovačem IC4, který je zapojen jako neinvertující zesilovač. Zesílení lze měnit příslušnými trimry P1 až P4 v rozsahu 1-6, díky tomu lze doladit výstupní napětí na přesnou hodnotu 10 V.



Obr. 46: Schéma D/A modulu

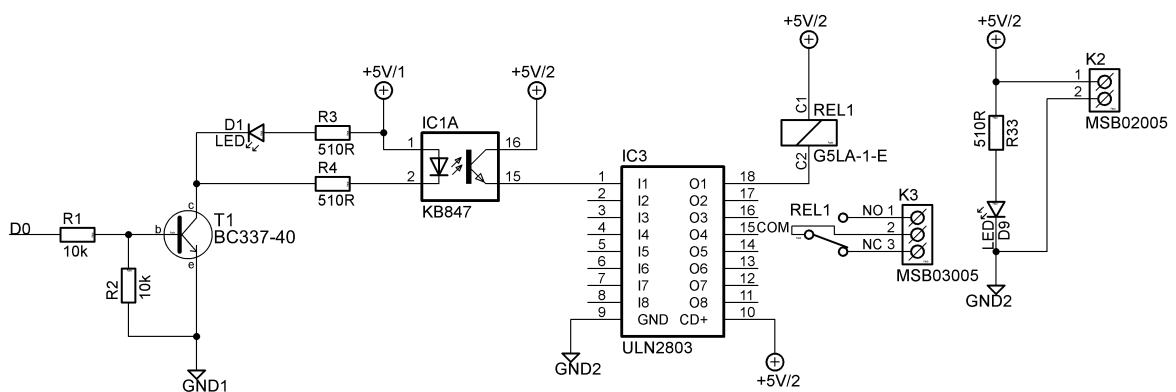
Základem modulu SSR jsou polovodičové relé CPC1965Y, které jsou určeny pro spínání AC (Alternating Current) zátěže do 250 V/1 A. Díky tomu je modul vhodný pro spínání topení, zářivek a dalších zařízení do 250 W. Výhodou použití těchto SSR relé je, že jsou opticky oddělené a díky malému spínacímu proudu kolem 0,8 mA je lze spínat přímo z MCU. MOSFET modul je určený pro spínání nebo PWM řízení stejnosměrné zátěže, a proto najde uplatnění pro spínání krmítek, dávkovacích čerpadel nebo například pro řízení svítivosti LED osvětlení. Byly použity MOSFET tranzistory IRL540, které jsou určeny pro spínání do 100 V/36 A (při použití dostatečně dimenzovaného chladiče) a lze je spínat

kladným napětím od 2 do 16 V, proto je lze přímo připojit k libovolnému mikropočítači. Rezistory R1, R8 jsou určeny k vybíjení kapacity příslušných tranzistorů.



Obr. 47: Schéma jednoho kanálu SSR a MOSFET modulu

Na obr. 48 je schéma jednoho kanálu RELE modulu. Tento modul je vhodný pro pomalé spínání stejnosměrné zátěže 24 V/5 A nebo střídavé zátěže 250 V/5 A (parametry jsou dané použitými relé), proto je tento modul vhodný pro spínání čerpadel, filtrace atd. Výstup MCU spíná přes rezistor R1 tranzistor T1, který spíná optočlen IC1. Diody D1 signalizuje sepnutí. Optočlen IC1 spíná obvod IC3 ULN2803, což je 7 kanálové tranzistorové pole určené pro spínání relé. Tento obvod spíná už konkrétní relé REL1. Strana relé je kompletně opticky oddělená a potřebuje samostatné 5 V napájení přivedené na konektor K2, přítomnost tohoto napětí signalizuje dioda D9.



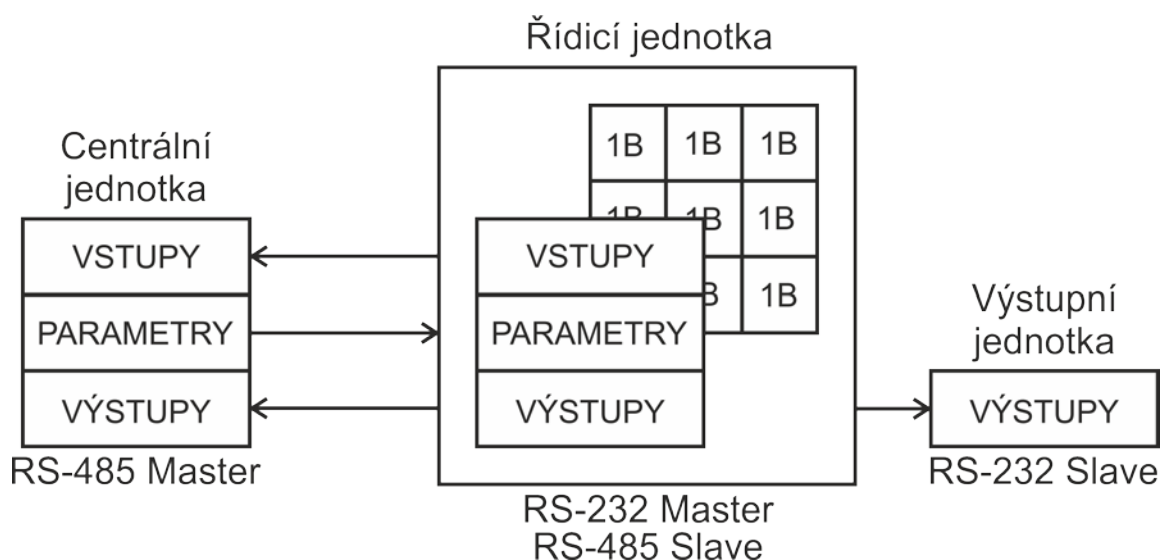
Obr. 48: Schéma jednoho kanálu RELE modulu

## 4 NÁVRH SOFTWARE

Při návrhu softwaru byla využita řada programovacích jazyků, technik a vývojových prostředí. Vše plyne z podstatné rozdílnosti jednotlivých řídicích elementů a také z požadavků, které jsou na ně kladeny. Použité programovací techniky a vlastní návrh software bude blíže popsán v následujících kapitolách. Tomu bude ovšem předcházet návrh komunikačních protokolů, které zajišťují přenos dat mezi jednotlivými jednotkami, protože to je základ celého zařízení.

### 4.1 Komunikace mezi jednotkami a přenos dat

Řídicí jednotka má vyhrazenou paměť, ve které se ukládají tři druhy informací: vstupy (např. měřené údaje a aktuální čas), parametry (např. parametry regulace a časové plány) a výstupy tj. stavy, které byly získané vyhodnocením všech řídicích algoritmů. Komunikační protokol musí zajistit centrální jednotce přístup do této paměti tak, aby bylo možné číst vstupy, výstupy a zapisovat nové parametry. Řídicí jednotka pracuje přesně naopak, tj. vlastní program zapisuje vstupy, výstupy a čte parametry. Tím je zajištěno, že se tyto operace nemusí synchronizovat a můžou probíhat prakticky kdykoliv, protože jedno jádrové MCU nemůže provádět dvě instrukce zároveň a tudíž nemůže provádět současně čtení a zápis dat. Výkonová jednotka má vyhrazenou paměť, ze které čte informace o stavu výstupů. Řídicí jednotka proto musí zajišťovat synchronizaci mezi svojí pamětí a pamětí ve výkonové jednotce. Vše je znázorněné na obr. 49.



Obr. 49: Přenos dat mezi jednotkami

Vyhrazená paměť v řídicí jednotce je datového typu „*union*“ a jsou v ní dvě položky, jejichž adresní prostor se překrývá. První položka reprezentuje pole „*My\_Memory*“ o velikosti 1000 B datového typu „*byte*“ a druhá položka představuje strukturu „*My\_Struct*“ ve které jsou veškeré data uspořádána dle libosti, nejlépe však podle datového typu.

Ukázka kódu:

```
typedef struct {
    unsigned char led1_pwm;
    float t_y;
    unsigned char cerpadlo_plan[24];
    unsigned char MEMORY_OUT[44];
}STRUCT_model;

typedef union{
    unsigned char My_Memory[1000];
    STRUCT_model My_Struct;
}UNION_model;

UNION_model MEMORY;
```

Toto řešení umožňuje klasickou práci s proměnnými (pomocí struktury) a také přímý přístup po 1 B ke všem proměnným bez ohledu na velikost příslušného datového typu (pomocí pole). To vše bez nutnosti přetypování či bitových rotací. Důležité je ovšem myslet na to, jakým způsobem překladač alokuje jednotlivé proměnné. Např. pokud se na platformě FRDM KL-25Z založené na 32 bitovém MCU ve vývojovém prostředí CodeWarrior Development Studio alokuje proměnná typu „*byte*“ a poté dvě proměnné typu „*float*“, tak relativní adresa první proměnné je 0x00, druhé 0x04 a třetí 0x08. Adresy 0x01, 0x02 a 0x03 jsou nevyužité, a proto je vhodné ukládat proměnné stejného typu za sebou a adresy prvních proměnných každého typu, stejně tak i velikost datových typů ověřit nejlépe při ladění programu.

Ukázka kódu:

```
MEMORY.My_Struct.t_y=25.6;           //Zápis do datového typu „float“
byte1=MEMORY.My_Memory[4];          //Čtení 1. bytu proměnné „t_y“
byte2=MEMORY.My_Memory[5];          //Čtení 2. bytu proměnné „t_y“
byte3=MEMORY.My_Memory[6];          //Čtení 3. bytu proměnné „t_y“
byte4=MEMORY.My_Memory[7];          //Čtení 4. bytu proměnné „t_y“
```

Centrální jednotka komunikuje s řídicí jednotkou přes rozhraní RS-485 a na sběrnici je v pozici Master zařízení. Řídicí jednotka komunikuje s centrální jednotkou přes rozhraní

RS-485, kde je v pozici Slave a s výkonovou jednotkou přes rozhraní RS-232, kde plní funkci Master zařízení. Výkonová jednotka je pouze Slave zařízení ve vztahu k řídicí jednotce (obr. 49). Komunikaci řídí vždy Master zařízení, které je na sběrnici pouze jedno a Slave zařízení pouze naslouchají. Implementace standardizovaného protokolu jako např. MODBUS by byla profesionální, ale náročná. Implementace by se musela navrhnout pro tři různá zařízení, a proto byl navržen vlastní protokol, kdy tvar paketu, který se posílá po sběrnici, vychází z protokolu Modbus ASCII (American Standard Code for Information Interchange) a pracuje na principu dotaz/odpověď.

#### Formát paketu mezi centrální jednotkou a řídicí jednotkou

Paket pro komunikaci přes rozhraní RS-485 obsahuje znak „:“, který symbolizuje začátek a znaky „CR, LF“, které představují konec paketu. Mezi těmito znaky je několik proměnných, které mají následující význam:

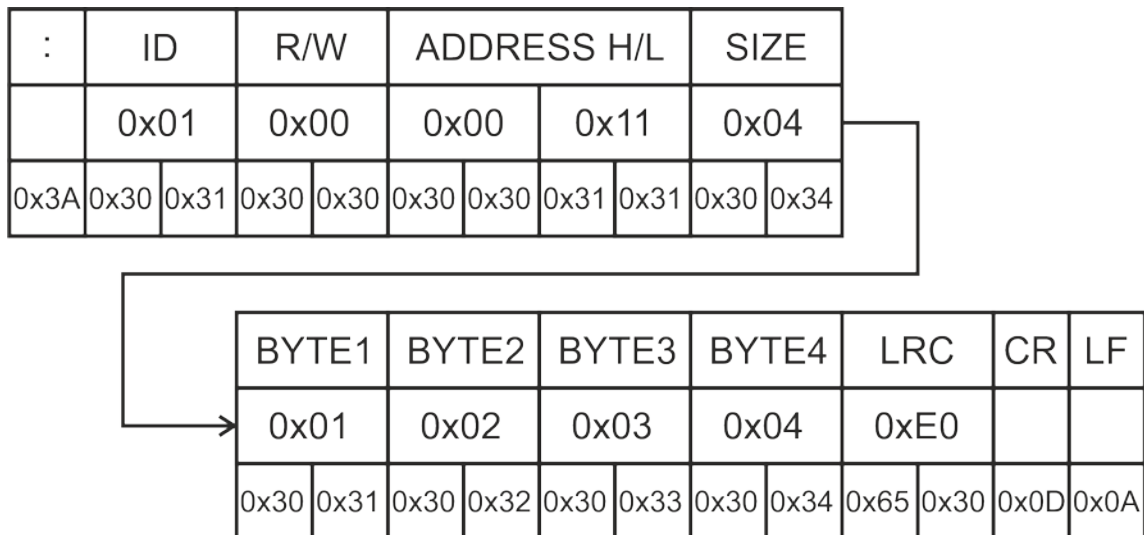
- ID (Identification Number): identifikace Slave zařízení (1 B)
- R/W: čtení 0x00, zápis 0xFF (1 B)
- ADDRESS H/L: adresa paměti, která je rozdělena na HIGH a LOW (2 B)
- SIZE: počet bytů, které mají být přečteny nebo zapsány (1 B)
- LRC (Longitudinal redundancy Check): kontrolní součet (1 B)

Všechny tyto proměnné jsou následně rozděleny na dva ASCII znaky, kdy čísla 0-9 jsou nahrazeny 0x30-0x39 a hexadecimální čísla A-F jsou nahrazeny 0x61-0x66 (byla použita ASCII reprezentace malých písmen). LRC je počítán jako 8 bitový dvojkový doplněk součtu všech proměnných od ID po SIZE (včetně). Na obr. 50 je formát paketu, kdy Master zařízení chce přečíst (R/W=0x00) 4 B (SIZE) na adrese 0x0011(ADDRESS H/L) od zařízení s ID 0x01. Délka paketu představující požadavek na čtení (odpověď na zápis) dat je pevná a to 15 B.

:	ID	R/W	ADDRESS H/L		SIZE	LRC	CR	LF						
	0x01	0x00	0x00	0x11	0x04	0xEA								
0x3A	0x30	0x31	0x30	0x30	0x30	0x30	0x31	0x31	0x30	0x34	0x65	0x61	0x0D	0x0A

Obr. 50: READ požadavek RS-485

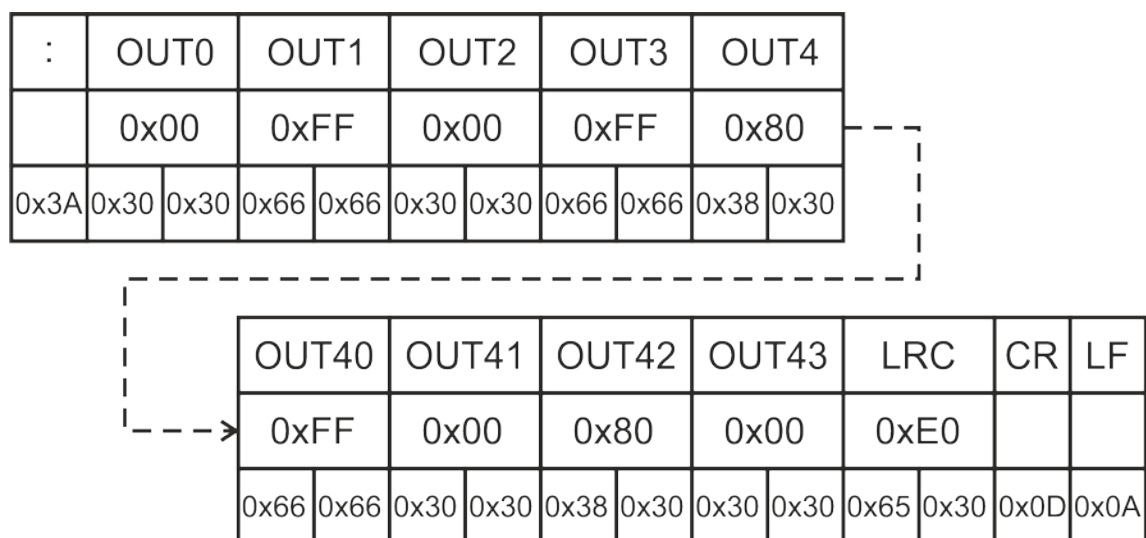
Na obr. 51 je znázorněn formát paketu, který představuje odpověď od Slave zařízení na výše uvedený požadavek. Začátek paketu tj. ID, R/W, ADDRESS H/L a SIZE zůstává stejný. To může sloužit k ověření, že vyslaný požadavek souhlasí s přijatou odpovědí. Paket dále obsahuje data o velikosti 4 B. Převod těchto dat na konkrétní datový typ zajišťuje až vyšší vrstva softwaru. Minimální délka paketu, představující odpověď na čtení (požadavek na zápis) dat je 17 B.



Obr. 51: READ odpověď RS-485

Při zápisu dat by paket na obr. 51 představoval požadavek od Master zařízení a paket na obr. 50 odpověď od Slave zařízení s tím rozdílem, že proměnná R/W by byla 0xFF.

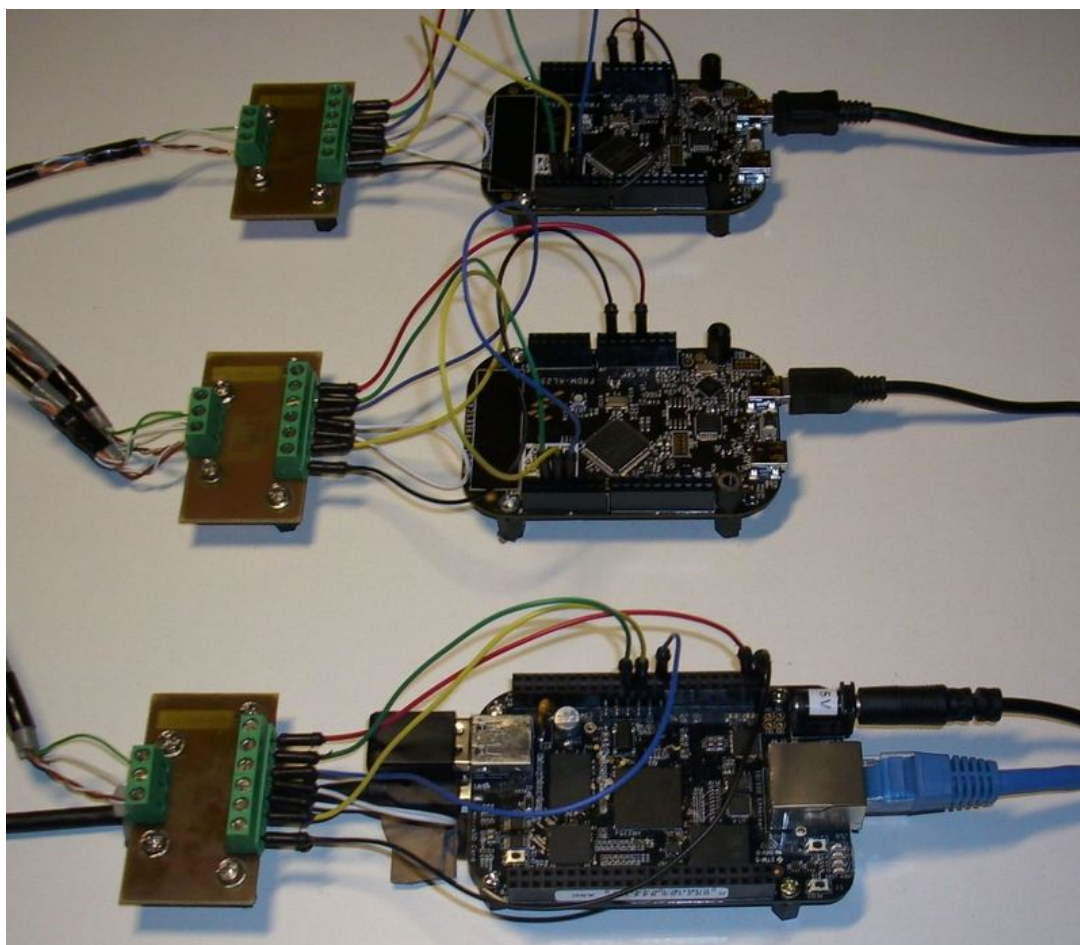
Formát paketu mezi řídicí jednotkou a výkonovou jednotkou



Obr. 52: WRITE požadavek RS-232

Výhodou ASCII formátu je, že se mezi daty nevyskytují řídicí znaky. Nevýhodou je ovšem dvojnásobný počet dat, které se musí přenést po sběrnici, což při malém počtu dat a rychlé sběrnici nehraje velkou roli. Pro přenos dat mezi řídicí jednotkou a výkonovou jednotkou by šel použít stejný tvar paketu jako pro komunikaci s centrální jednotkou, ale pro komunikaci přes RS-232 by byl zbytečně složitý a to z následujících důvodů: komunikace je pouze mezi dvěma uzly, tj. není potřeba proměnné ID. Do výkonové jednotky se pouze zapisuje a formát dat je pořád stejný, proto nejsou potřebné ani proměnné R/W, ADDRESS H/L a SIZE. Paket, který posílá Master zařízení po sběrnici RS-232 (obr. 52) se skládá pouze z řídicích znaků „:“ a „CR, LF“, mezi kterými jsou data o velikosti 44 B reprezentující 44 výstupů. Např. 0x80 na výstupu OUT4, může znamenat PWM výstup na 50% nebo D/A výstup na 50% (5 V), výstup 0x00 zase vypnuto a 0xFF zapnuto. Slave zařízení pouze odesílá potvrzení velikosti 1 B.

Master-Slave komunikace přes rozhraní RS-485 byla důkladně testována jedním Master zařízením (BeagleBone Black) a dvěma Slave zařízeními (FRDM KL-25Z).



Obr. 53: Test navržené komunikace RS-485

## 4.2 Centrální jednotka

Výchozí operační systém dodávaný s BeagleBone Black je Ångström distribuce linuxu. Nové revize C, které jsou dodávány od května 2014, jsou dodávány s distribucí Debianu. Centrální jednotka je provozována na revizi A5C s původní Ångström distribucí. Základní instalace většiny distribucí nabízí objektový skriptovací programovací jazyk Python. Programové vybavení musí zajišťovat uživatelské rozhraní GUI (Graphical User Interface), webové rozhraní a komunikaci s řídicí jednotkou. Při návrhu programového vybavení nastává problém v tom, jak realizovat propojení a následnou komunikaci mezi GUI aplikací a aplikací webového serveru.

Existuje několik řešení, např.:

- komunikace mezi webovým serverem (LightHTTPD, Apache) a cílovou aplikací přes CGI (Common Gateway Interface) apod. rozhraní
- implementace vlastního HTTP (Hypertext Transfer Protocol) serveru, který bude představovat hlavní aplikaci a GUI rozhraní bude ve formě webové prezentace dostupné přes webový prohlížeč
- komunikace např. LightHTTPD s vlastním serverem, tak že HTTP požadavky na statické stránky vyhodnocuje LightHTTPD server a požadavky na stránky, které souvisí s GUI, vyhodnocuje vlastní server

Poslední varianta je nadstavba druhé varianty s cílem usnadnit vlastnímu webovému serveru práci za předpokladu velkého vytížení při zpracování statického obsahu. Pro návrh programového vybavení prototypu centrální jednotky byla zvolena druhá možnost, která znamená tvorbu pouze jedné aplikace, které bude plnit úlohu jak webového serveru, tak GUI aplikace. Byl zvolen programovací jazyk Python 2.7.6 a webový server je založený na webovém frameworku WEB.PY, který je napsán právě v Pythonu. Další možností bylo použít microframework FLASK. Tyto dva frameworky jsou hojně používány při návrhu webových aplikacích na SBC jako je např. Beaglebone Black či Raspberry Pi. Webová prezentace využívá následující technologie: HTML (HyperText Markup Language), CSS (Cascading Style Sheets) a JavaScript. Dále byla použita knihovna „*Adafruit BeagleBone IO Python library*“, která nabízí funkce pro obsluhu periférií a knihovna „*pyserial*“, která obsahuje funkce pro práci se sériovou linkou.

### Framework WEB.PY

Framework je určený k vytvoření jednoduchého HTTP serveru v Pythonu. Instalace je dostupná přes doplňkové balíčky Pythonu, nebo je lze stáhnout z domovské stránky. Po rozbalení lze framework nainstalovat nebo nakopírovat do adresáře výsledné aplikace. WEB.PY umožňuje základní zpracování HTTP metod a dále práci např. se šablonovacím systémem, formuláři, databázemi, sezením, cookies. Doporučená adresářová struktura je následující: hlavní adresář např. WebServer obsahuje podadresáře aplikace, static, web, templates a soubor main.py. Do složky web se nakopíruje web.py framework, složka static obsahuje statické stránky (požadavky na tyto stránky vyhodnocuje framework automaticky), templates je určená pro šablony webových stránek, adresář aplikace pro vlastní moduly a main.py je hlavní spouštěcí soubor.

Ukázka kódu realizace serveru:

```
import web

urls = (
    '/', 'index',
    '/', 'page1'
)

class index:
    def GET(self):
        web.seeother('/static/index.html')

class page1:
    def GET(self):
        return 'Hello page1-metoda GET'

    def POST(self):
        vstupy=web.input()
        return 'Hello page1-metoda POST'+vstupy

if __name__=="__main__":
    app = web.application(urls, globals())
    app.run()
```

Po spuštění následujícího kódu se spustí webový server na portu 8080, který bude dostupný přes webový prohlížeč. Po zadání „*http://IP Adresa:8080/index*“ webový server vyhodnotí tento požadavek a odpovědí bude přesměrování na stránku „*index.html*“. Při požadavku „*http://IP Adresa:8080/page1*“ server vrátí textový řetězec „*Hello page1-metoda GET*“.

V případě, že by se na webu nacházel formulář, který by odesílal data metodou POST, webový server by vyhodnotil tento požadavek a poslal odpověď ve formě textového řetězce „*Hello page1-metoda POST*“ + datovou strukturu „*slovník*“ s názvem a hodnotou polí ve formuláři.

Práce s WEB.PY je založena na tom, že server vyhodnocuje URL (Uniform Resource Locator) adresu HTTP požadavku a na základě metody HTTP tj. GET nebo POST příslušné třídy náležící konkrétní URL adrese pošle odpověď. Třídy mohou zpracovávat vstupní parametry, mohou posílat přímo HTML kód formou textového řetězce, nebo lze s výhodou použít šablonovací systém. Šablona představuje HTML stránku s parametry, které jsou šabloně předány v okamžiku vrácení odpovědi klientovi (webový prohlížeč). Parametry mohou být např. proměnné a formuláře, které se mají vygenerovat na stránce.

#### Adafruit BeagleBone IO Python library + pyserial

Knihovna BBIO obsahuje funkce pro práci se vstupy/výstupy, PWM, A/D kanály, I2C, SPI a UART. Např. funkce pro UART pouze zpřístupní sériové rozhraní přes zařízení v linuxu (/dev) a pak přichází na řadu knihovna „*pyserial*“. Z hlediska centrální jednotky a přístupu k hardwaru bylo nutné pouze obsluhovat sériovou linku, přepínat směr komunikace RS-485 rozhraní a testovat zda je sériový port otevřený.

Ukázka použitých funkcí pro realizaci RS-485 Master komunikace:

```
import Adafruit_BBIO.UART as UART    #import knihovny UART
import Adafruit_BBIO.GPIO as GPIO    #import knihovny GPIO
import serial                          #import knihovny pyserial

UART.setup("UART1")                  #zpřístupnění UART1 jako /dev/ttyO1

GPIO.setup("P8_10",GPIO.OUT)          #nastavení pinu P8_10 jako výstup
GPIO.output("P8_10",GPIO.LOW)         #nastavení pinu P8_10 do log. 0

linka = serial.Serial('/dev/ttyO1',115200, timeout=2) #inicializace sériového portu
linka.close()                          #zavření portu

if (linka.isOpen()==False):           #test otevření portu
    linka.open()                        #otevření portu

GPIO.output("P8_10",GPIO.HIGH)         #nastavení pinu P8_10 do log. 1 (vysílač)
linka.write(pozadavek)                 #poslání paketu na sériovou linku
GPIO.output("P8_10",GPIO.LOW)         #nastavení pinu P8_10 do log. 0 (přijímač)
odpoved=linka.readline()              #čekání na odpověď nebo timeout 2s
```

### Algoritmus webové aplikace

Pro pochopení základního principu aplikace je nutné si uvědomit dvě věci a to, že aplikace pracuje na principu dotaz (webový prohlížeč), odpověď (webový server) a že HTTP protokol je bezstavový tj. není držena žádná vazba mezi předcházejícím a následujícím dotazem. Metoda GET bude reprezentovat načtení (zobrazení) stránky a metoda POST odeslání formuláře.

Aplikace pracuje se třemi stránkami: „ *index.html*“, „ *control.html*“ a „ *monitor.html*“. První stránka obsahuje statický obsah, který je zpracován automaticky a jedná se o klasickou stránku v HTML kódu. Ostatní dvě stránky jsou šablony, jejichž obsah je generován webovým serverem. V okamžiku, kdy server obdrží požadavek GET stránky „ *monitor.html*“ testuje, zda je ve webovém prohlížeči klienta nastaveno cookies s vybraným ID řídicí jednotky.

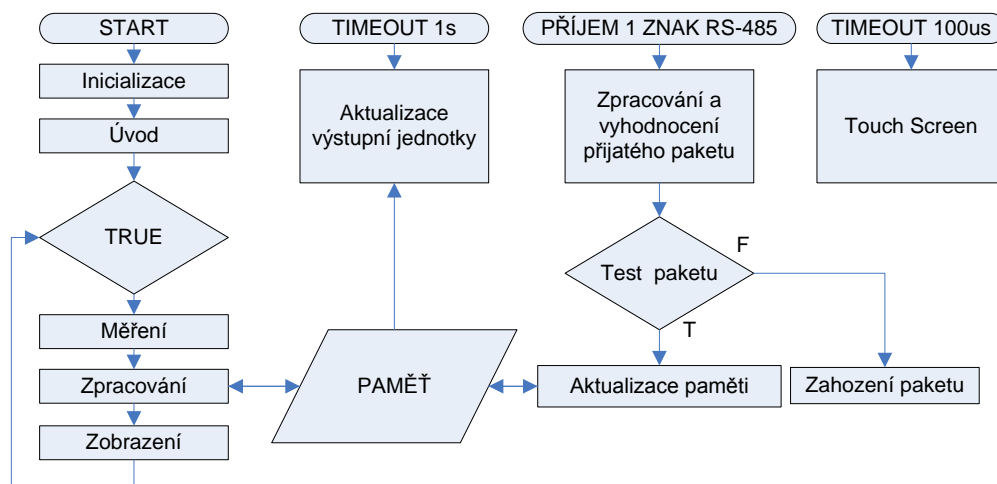
Mohou nastat dva případy:

- NE: server vrátí vygenerovanou šablonu „ *monitor.html*“ s formulářem, který umožňuje výběr řídicí jednotky akvária
- ANO: server otestuje, zda je volná komunikační linka RS-485 a následně přečte všechny proměnné uložené v řídicí jednotce, které předá šabloně „ *monitor.html*“

Pokud by server obdržel požadavek POST stránky „ *monitor.html*“, který byl vyvolán odesláním formuláře s ID akvária, uložil by tuto hodnotu do cookies klienta. Následně by přečetl všechny proměnné uložené v řídicí jednotce, které by předal šabloně „ *monitor.html*“. Obdobně funguje i vyhodnocení požadavků na „ *control.html*“ s tím rozdílem, že na této stránce nejsou zobrazeny všechny parametry, které lze nastavit, ale uživatel si vybírá se seznamu, zda chce nastavovat např. regulaci teploty nebo časový plán čerpadla. V případě, že dojde k odeslání formuláře s parametry, webový server předá tyto parametry aplikační funkci, která tyto parametry zpracuje a podle kódovací tabulky (datová struktura „ *slovník*“) vytvoří seznam paketů, které se pošlou řídicí jednotce přes rozhraní RS-485. Přijatá data následně předané šabloně „ *control.html*“, která vygenerovaný HTML kód pošle klientovi. Tvorba paketu na základě kódovací tabulky musí řešit převod textového formátu tj. parametry ve formuláři na číslo nebo znaky, které musí být následně překódovány na hexadecimální reprezentaci datových typů proměnných jazyka C, tak aby je bylo možné poslat po bytech na základě výše uvedeného komunikačního protokolu.

### 4.3 Řídicí jednotka

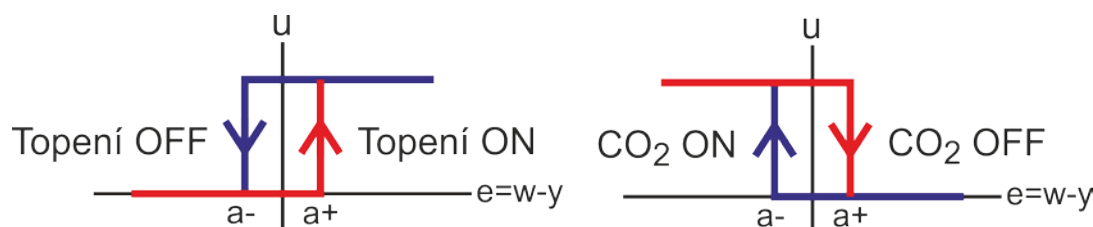
Platforma FRDM-KL25Z je primárně určená pro programování v jazyce C pomocí vývojových prostředí CodeWarrior Development Studio, KEIL MDK vision, IAR Embedded Workbench nebo mbed a umožňuje využít RTOS (Real-time operating system) jako je např. MQX-Lite nebo FreeRTOS. Tyto možnosti jsou způsobené tím, že většina moderních MCU je založena na ARM procesorech, a proto lze využít mnohé vývojové prostředí od různých výrobců. Software zde musí obsluhovat grafický displej, komunikaci s centrální jednotkou, komunikaci s výkonovou jednotkou, měření a vyhodnocení dat. Použití vývojového prostředí CodeWarrior Development Studia od stejného výrobce (Freescale Semiconductor) jako FRDM-KL25Z je předpoklad k minimalizaci problému při návrhu softwaru. Při návrhu bylo použité výše uvedené vývojové prostředí s nadstavbou Processor Expert. Dále byl použit balík knihoven (komponenty) od Ericha Stygera, který lze nainstalovat přímo do CodeWarrior Development Studia. Nakonec byla použita objektová knihovna v C++ pro práci s grafickými displeji UTFT od Henninga Karlsena, která byla přepsána do jazyka C a uzpůsobena pouze pro práci mezi modulem HY32D a platformou FRDM KL-25Z. Upravená knihovna také využívá hardwarovou rotaci displeje. Z původní knihovny byly převzaty zejména algoritmy grafických operací.



Obr. 54: Vývojový diagram řídicí jednotky

Na obr. 54 je vývojový diagram programového vybavení řídicí jednotky. Po spuštění programu se provede inicializace všech periférií a na displeji se zobrazí úvodní obrazovka. V inicializaci se také načítají konfigurační data uložená v EEPROM. Program poté v nekonečné smyčce provádí tři základní operace: měření, zpracování a zobrazení. Na

displeji se zobrazuje 26 obrazovek, mezi kterými se přepíná pohybem po obrazovce. Dotyk je vyhodnocen každých 100  $\mu\text{s}$  a aktualizace výstupní jednotky se provádí každou sekundu. Programové vybavení také řeší potvrzení, zda byla přijata odpověď nebo ne. Příjem znaku po sběrnici je řešen v přerušení. Přijaté znaky se testují na řídicí znaky a ukládají se do pomocného bufferu. S příchodem nového znaku se zvýší index bufferu a s příchodem startovacího znaku se nastaví na nulu. Po přijetí ukončovacího znaku se testuje, zda na začátku bufferu je startovací znak, zda předposlední znak souhlasí s formátem komunikačního protokolu a zda je splněna podmínka minimálního počtu bytů paketu. V dalším kroku se vyhodnotí data paketu, pošle se potvrzení a aktualizuje se paměť. V případě, že je paket chybný, tak se zahodí. Software také řeší aktualizaci času/ data, uložení nastavených hodnot do paměti a obnovení výchozího nastavení na základě požadavků z centrální jednotky. Regulace teploty a pH probíhá na základě dvoupolohové regulace (obr. 55). Parametr „ $y$ “ představuje měřenou veličinu, „ $u$ “ výstupní veličiny, „ $w$ “ žádanou veličinu, „ $e$ “ regulační odchylku, „ $a+$ “ a „ $a-$ “ horní a dolní mez. Vhodnou volbou pásma hystereze lze nastavit požadovaný průběh dvoupolohové regulace na základě experimentálního zkušebního provozu každého akvaristy.



Obr. 55: Dvoupolohová regulace teploty a pH

Kalibrace sond a přepočet měřeného napětí je založen na softwarové dvoubodové aproximaci. Např. pH představuje vstup „ $x$ “ a měřené napětí výstup „ $y$ “. Pomocí kalibračních roztoků lze získat dvě dvojice vstupů a výstupů, ze kterých se vypočítají koeficienty rovnice přímky (4) na základě rovnic (3). Softwarová kalibrace nevyžaduje žádné mechanické nastavovací prvky na zesilovači sond.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= k \cdot x_1 + b & (3) & & k &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} & (4) & & x &= \frac{y - b}{k} & (5) \\
 y_2 &= k \cdot x_2 + b & & & b &= y_1 - k \cdot x_1 & & & & & 
 \end{aligned}$$

Na základě těchto koeficientů je následně přepočítávána hodnota výstupního napětí na vstupní hodnotu pH, rovnice (5).

#### 4.4 Výkonová jednotka

MCU MC9S08AC60 lze programovat v jazyce symbolických adres a v jazyce C pomocí vývojového prostředí CodeWarrior Development Studio. Pro tvorbu softwaru výkonové jednotky byl zvolen jazyk C. Program zajišťuje komunikaci s řídicí jednotkou a ovládání výstupních zařízení. Základem výkonové jednotky je vyhrazená paměť o velikost 44 B, která symbolizuje výstupy (funkce) uvedené v tab. 2.

Tabulka 1: Přehled výstupů výkonové jednotky

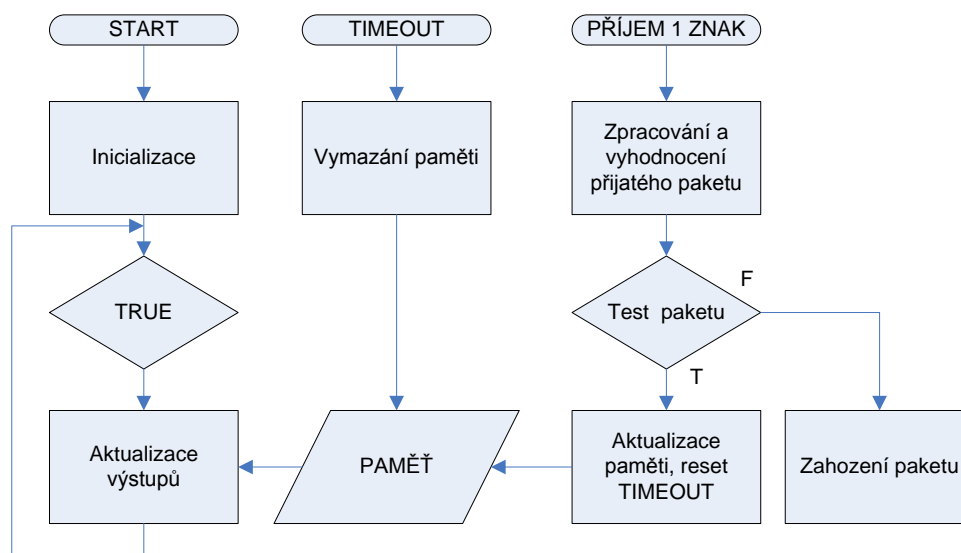
<b>Konektor K4</b>	<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>	<b>D7</b>
<b>Paměť</b>	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Funkce</b>	PWM1	PWM1	PWM1	PWM2	PWM2	PWMS	PWMS	PWMS
<b>Konektor K5</b>	<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>	<b>D7</b>
<b>Paměť</b>	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Funkce</b>	PWM1	PWM1	PWM1	PWM3	PWM3	PWMS	PWMS	PWMS
<b>Konektor K6</b>	<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>	<b>D7</b>
<b>Paměť</b>	17	18	19	20	21	22	23	24
<b>Funkce</b>	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS
<b>Konektor K7</b>	<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>	<b>D7</b>
<b>Paměť</b>	25	26	27	28	29	30	31	32
<b>Funkce</b>	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS
<b>Konektor K8</b>	<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>	<b>D7</b>
<b>Paměť</b>	33	34	35	36	37	38	39	40
<b>Funkce</b>	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS	PWMS
<b>Konektor K9</b>	<b>D/A modul</b>							
<b>Paměť</b>	41	42	43	44				
<b>Funkce</b>	CH0	CH1	CH2	CH3				

Každý byte paměti reprezentuje stav výstupu na příslušném pinu konektorů výkonových modulů. Výstupy na adresách 0 až 40 představují spínací výstupy a adresy 41 až 44 napětí na výstupu D/A kanálu. Význam je v následující tabulce.

Tabulka 2: Význam dat uložených v paměti

	0x00	0x80	0xFF	Perioda
PWM1	OFF	50%	ON	1ms
PWM2	OFF	50%	ON	0,1ms
PWM3	OFF	50%	ON	10ms
PWMS	OFF	50%	ON	2s
D/A	0V	5V	10V	-

PWM1 až PWM3 představuje hardwarovou implementaci PWM a PWMS softwarovou. Výkonová jednotka nemá žádné informace o tom, co spíná. Vše je zatím řešené řídicí jednotkou a výkonová jednotka představuje pouze takový převodník. Po nastartování programu dojde k inicializaci všech periférií tj. PWM čítačů, SCI sběrnice, periodického přerušení a také nastavení všech hodnot v paměti na hodnotu 0x00. Program následně provádí neustálou aktualizaci výstupů podle dat v paměti. V okamžiku přijetí jednoho bytu, dojde k průběžnému zpracování paketu. V případě, že došel korektní paket je vyresetován TIMEOUT a aktualizována paměť. TIMEOUT je nastaven na 10 s a pokud není průběžně resetován, dojde k jeho aktivaci a následné vymazání paměti tj. všechny výstupy se deaktivují. Po přijetí korektního paketu je poslán potvrzovací byte 0x00 řídicí jednotce. Vše je znázorněné ve vývojovém diagramu na obr. 56.

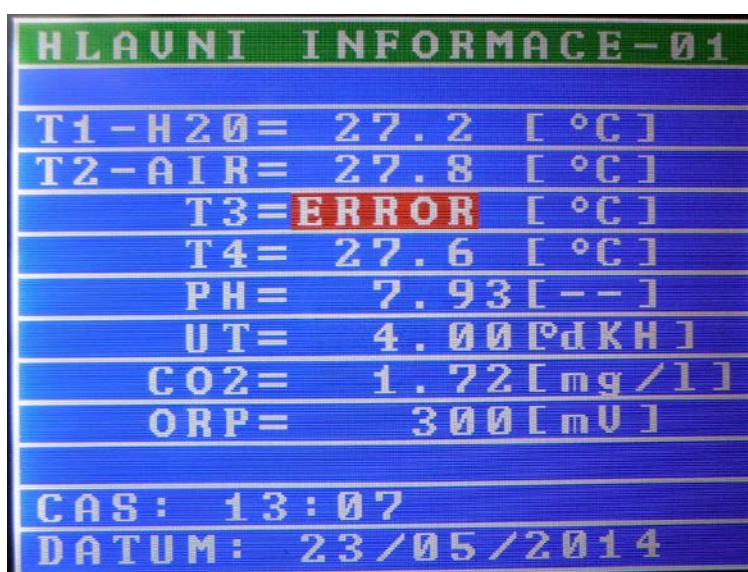


Obr. 56: Vývojový diagram výkonové jednotky

Mikropočítač pracuje na 40 MHz a komunikační rychlost po RS-232 je 115200 bd. Výhodou ASCII formátu komunikačního protokolu je, že po spojení počítače s výkonovou jednotkou, lze simulovat pakety prostřednictvím terminálu pro sériovou linku např. Hyperterminal. Výkonová jednotka je samostatně fungující Slave zařízení po sběrnici RS-232, která by šla použít i v jiných aplikacích. Po zapnutí výkonová jednotka pošle textový řetězec „*OUTPUT\_BOARD\_IS\_READY*“. Software řídicí jednotky a centrální jednotky předpokládá připojení MOSFET modulu na konektor K4, SSR modulu na K6, RELE modul na K7 a DA modul na K9. Ostatní výstupy jsou zatím nevyužité.

## 5 OVLÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ

Výkonová jednotka je bezobslužná. Po připojení ke zdroji se rozsvítí zelená dioda, všechny výstupy se deaktivují a jednotka čeká na příjem paketu s novými informacemi. Po připojení řídicí jednotky k napájení se rozsvítí dvě červené diody signalizující dvě větve napájení (3,3 V a 5 V). Následně se na displeji zobrazí úvodní obrazovka, která je doprovázena akustickým signálem (pípnutím) a zapnutím LED podsvícení. Po krátké prodlevě se zobrazí hlavní informace (obr. 57) a po 20 s se deaktivuje podsvícení. Na řídicí jednotce bliká zelená dioda s intervalem 1 s, která signalizuje správný běh systému.

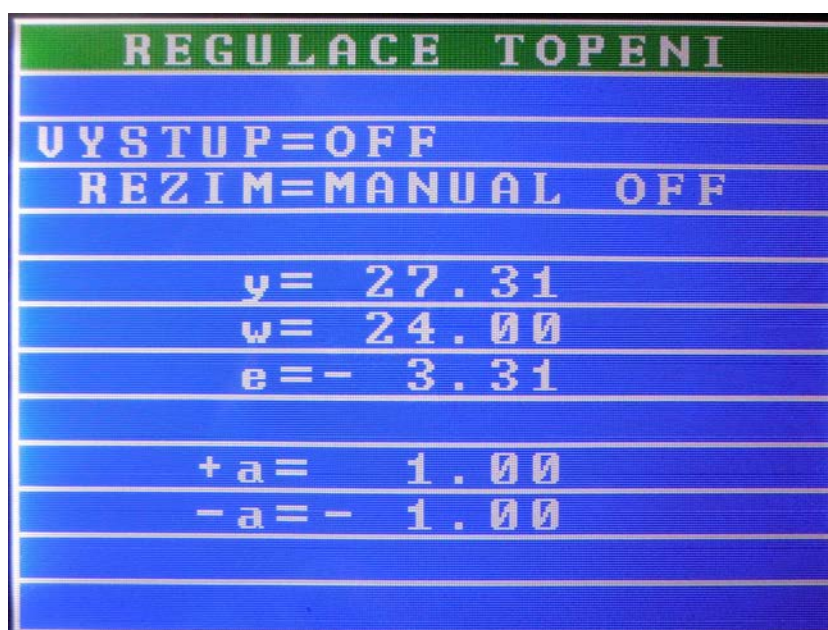


HLAVNI INFORMACE-01	
T1-H2O=	27.2 [ °C ]
T2-AIR=	27.8 [ °C ]
T3=	ERROR [ °C ]
T4=	27.6 [ °C ]
PH=	7.93 [ -- ]
UT=	4.00 [°dKH]
CO2=	1.72 [mg/l]
ORP=	300 [mV]
CAS: 13:07	
DATUM: 23/05/2014	

Obr. 57: Obrazovka-hlavní informace

Číslo „01“ vedle hlavního nápisu představuje ID zařízení. Na obrazovce jsou vidět měřené údaje (čtyři teploty, pH, ORP), zadávané hodnoty (uhličitánová tvrdost vody UT), vypočítané hodnoty (CO<sub>2</sub>), čas a datum. Výpočet množství rozpuštěného oxidu uhličitého je prováděn na základě Tillmanovy tabulky, která určuje tuto hodnotu na základě zadané uhličitánové tvrdosti vody a hodnotě pH. Chybové hlášení jsou zobrazeny nápisem „ERROR“ na červeném pozadí u příslušného parametru. Např. pokud není připojený teplotní snímač, je signalizována chyba. Na displeji se zobrazuje celkem 26 obrazovek, z toho 24 se vztahuje k nastavení příslušného výstupu. Mezi obrazovkami se přepíná dotykem displeje v levé části (posun doleva) a dotykem v pravé části (posun doprava). Po dosažení krajních pozic se rotuje dokola. Po krátké prodlevě dojde k automatickému vypnutí podsvícení, které jde znovu zapnout posunem vlevo/vpravo nebo dotykem uprostřed displeje (zapnutí/vypnutí podsvícení). Obrazovky jsou v pořadí: hlavní

informace, regulace teploty, regulace pH, čerpadlo, skimmer (filtrace sající na hladině), relé 1, relé 2, relé 3, relé 4, relé 5, relé 6, relé 7, relé 8, osvětlení 1, osvětlení 2, osvětlení 3, osvětlení 4, led 1, led 2, led 3, led 4, dávkování 1, dávkování 2, dávkování 3, dávkování 4 a kalibrace. Na SSR modul jsou připojeny tato zařízení v následujícím pořadí: topení, ventil dávkování CO<sub>2</sub>, čerpadlo, skimmer a osvětlení 1 až 4. Relé odpovídají popiskám a na MOSFET modul jsou připojeny LED 1 až 4 a dávkování 1 až 4. Toto přiřazení je v aktuálním softwaru nastaveno napevno, ale uvažuje se do budoucna s uživatelskou konfigurací. Každému výstupu jsou také přiřazeny určité možnosti konfigurace a záleží na uživateli, jak je nastaví.



Obr. 58: Obrazovka-regulace topení

Na obr. 58 je obrazovka vztahující se k topení. Kolonka „výstup“ představuje aktuální stav, „režim“ lze nastavit na manuálně zapnuté, manuálně vypnuté nebo automatika. Automatika značí dvoupolohovou regulaci, ke které se také vztahují všechny ostatní kolonky. Pokud dojde k chybě, např. výstupní jednotka nepotvrdí komunikaci, svítí v kolonce „výstup“ chybové hlášení. Regulace pH je obdobná. Displej slouží pouze k zobrazení všech nastavených parametrů, jejich změna se provádí přes centrální jednotku. Na obr. 59 je nastavení filtrace. Toto nastavení je analogické jak pro skimmer, tak i všechny reléové výstupy. Kolonka „výstup“ symbolizuje pouze zapnuto/vypnuto. Režim lze nastavit na manuálně zapnuté/vypnuté a automatika. Automatika představuje spínání podle 24 h časového plánu, kdy lze nastavit, ve kterou hodinu má být výstup sepnutý nebo

vypnutý. Obr. 60 popisuje nastavení osvětlení. Každému okruhu je přiřazen jeden spínací výstup a jeden D/A kanál, tomu odpovídá kolonka „výstup“. V kolonce volba režimu přibyla možnost „ manuálně %“, kdy se aktivuje výstup podle kolonky „%“. Do časového plánu se zadávají procenta. Hodnota 0% znamená vypnutý výstup a 0 V, v ostatních případech je výstup zapnutý a napětí je nastaveno v závislosti na procentech. Pokud jsou použity říditelné předřadníky, lze měnit intenzitu osvětlení. Pokud ne, bude časový plán i vše ostatní fungovat pouze ve dvou bodech zapnuto/vypnuto.

FILTRACE					
VYSTUP=OFF					
REZIM=MANUAL OFF					
CASOVY PLAN					
00h	04h	08h	12h	16h	20h
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
03h	07h	11h	15h	19h	23h

Obr. 59:Obrazovka-filtrace

OSVETLENI -1					
VYSTUP=OFF / 0.000					
REZIM=MANUAL OFF					
% = 0					
CASOVY PLAN					
00h	04h	08h	12h	16h	20h
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
03h	07h	11h	15h	19h	23h

Obr. 60:Obrazovka-osvětlení

Na obr. 61 je obrazovka vztahující se k LED výstupům. Funkce jsou obdobné jako u osvětlení s tím rozdílem že procenta představují střihu PWM signálu. Na obr. 62 je nastavení dávkování, kdy číslo v časovém plánu představuje počet sekund a na jak dlouho se má výstup sepnout v okamžiku, kdy nastane daná hodina.

LED-1					
VYSTUP=OFF					
REZIM=MANUAL OFF					
% = 0					
CASOVY PLAN					
00h	04h	08h	12h	16h	20h
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
03h	07h	11h	15h	19h	23h

Obr. 61:Obrazovka-LED

DAVKOVANI-1					
VYSTUP=OFF					
REZIM=MANUAL OFF					
% = 0					
CASOVY PLAN					
00h	04h	08h	12h	16h	20h
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
03h	07h	11h	15h	19h	23h

Obr. 62:Obrazovka-dávkování

Nastavení je analogické u všech výstupů stejného typu. Poslední obrazovka zobrazuje nastavené kalibrační konstanty tj. dvojice dvoubodové kalibrace. Na prvním řádku je

zobrazena aktuální vypočítaná hodnota a v závorce na stejném řádku se nachází údaj o měřeném napětí v digitech (16 bitová hodnota změřená A/D převodníkem). Kalibrace probíhá tak, že uživatel vloží sondu do prvního kalibračního roztoku o hodnotě „ $x_1$ “ a poznačí si hodnotu uvedenou v kulatých závorkách tj. údaj „ $y_1$ “, analogicky i pro druhý kalibrační roztok. Tyto údaje následně nastaví do zařízení a následující měření bude probíhat už s novými konstantami.



KALIBRACE PH	
ph_y =	7.930 (26098)
x1 =	6.829 [--]
y1 =	30000 [digit]
x2 =	4.010 [--]
y2 =	40000 [digit]
KALIBRACE ORP	
orp_y =	323 (25345)
x1 =	0 [mV]
y1 =	30200 [digit]
x2 =	- 119 [mV]
y2 =	32020 [digit]

Obr. 63: Obrazovka-kalibrace

Před zapnutím centrální jednotky je nutné připojit zařízení do LAN sítě. Po zapnutí dojde k načtení operačního systému a automatickému spuštění webové aplikace na portu 8080. Nyní se může uživatel připojit prostřednictvím webového prohlížeče na spuštěnou aplikaci. Zobrazí se hlavní stránka, na které jsou obrázky a odkazy na některé jednodeskové počítače. Důležité jsou záložky „monitor“ a „control“. Po otevření záložky „monitor“ se načte stránka s formulářem, kde se nachází kolonka s volbou ID zařízení a tlačítkem „Load“ pro načtení měřených údajů a stavů všech výstupů s příslušné řídicí jednotky. Po stisknutí tlačítka, webová aplikace začne posílat požadavky čtení řídicí jednotce a příslušné odpovědi se následně zobrazí na stránce (obr. 64). Pro znovunačtení údajů lze použít stejné tlačítko „Load“. V rámečku status jsou zobrazeny informace o tom, co webová aplikace provedla. Jedná se zejména o to, zda byl proveden požadavek GET nebo POST, což je z hlediska uživatele nepodstatný údaj, ale velice nápomocný při tvorbě a návrhu aplikace. Dále zde bývají zobrazeny informace o tom, zda webová aplikace provedla čtení nebo zápis dat. V neposlední řadě se zde zobrazují chybové hlášky oznamující, že není vybrán

žádné zařízení, nebo že nelze komunikovat, protože port rozhraní RS-485 je otevřený (zrovna komunikuje jiný uživatel).

**Zařízení:**

Volba ID:

Teplota vody T1:	27.750 [°C]	
Teplota vzduchu T2:	27.938 [°C]	
Teplota T3:	0.000 [°C]	Error
Teplota T4:	28.062 [°C]	
Tvrdość vody:	4.000 [°dH]	
PH:	8.254 [-]	
ORP:	0.000 [mV]	
Co2:	0.000 [mg/l]	Error
Čas:	13:23	
Datum:	23/05/2014	
Výstupy:		

Topení:	OFF	Ventil CO2:	OFF	Filtrace:	OFF	Skimmer:	OFF
Relé 1:	OFF	Relé 2:	OFF	Relé 3:	OFF	Relé 4:	OFF
Relé 5:	OFF	Relé 6:	OFF	Relé 7:	OFF	Relé 8:	OFF
LED 1:	OFF [%]	LED 2:	OFF [%]	LED 3:	OFF [%]	LED 4:	OFF [%]
Dávkování 1:	OFF	Dávkování 2:	OFF	Dávkování 3:	OFF	Dávkování 4:	OFF
Osvětlení 1:	OFF	Osvětlení 2:	OFF	Osvětlení 3:	OFF	Osvětlení 4:	OFF
Osvětlení 1:	0.0 [V]	Osvětlení 2:	0.0 [V]	Osvětlení 3:	0.0 [V]	Osvětlení 4:	0.0 [V]

**Status:**

Info: HTTP-POST-PORT is CLOSED, OPEN and read

Obr. 64: Webová stránka-monitor

Na obr. 65 je ukázka webové stránky „control“. Na začátku je nutné vybrat ze seznamu ID řídicí jednotky a také typ výstupu, který bude konfigurován. Následně se načte stránka, ve které budou dvě záložky „Load“ a „Save“. V záložce „Load“ je stejnojmenné tlačítko, kterým se načtou všechny parametry uložené v řídicí jednotce, které se vztahují k vybranému výstupu. V záložce „Save“ lze potom nastavit nové parametry, které budou tlačítkem „Save“ uloženy do řídicí jednotky a následně automaticky znovu přečteny a zobrazeny v záložce „Load“. Význam jednotlivých parametrů je analogický s informacemi na displeji řídicí jednotky. V záložce základní nastavení lze vybrat, zda se mají všechny aktuální parametry v řídicí jednotce uložit do EEPROM paměti popřípadě, zda mají být načteny výchozí hodnoty. Záložka slouží také pro aktualizaci času a data. Vše se potvrzuje tlačítkem „Change“ a při jakékoliv volbě musí být zadán čas a datum. Zadaný text těchto

položek je validován pomocí regulárních výrazů na formát času HH:MM a data DD/MM/YYYY. Všechny ostatní údaje, které lze zadat jsou kontrolovány pouze na číslo. Záložka status má stejný význam jako na stránce „*monitor*“. Vybrané ID zařízení a parametr je uložen do cookies webového prohlížeče po dobu 100 s, a proto není nutné neustálá volba těchto parametrů při každém načtení webové stránky nebo přecházení mezi záložkami „*monitor*“ a „*control*“.

The screenshot shows a web control interface with a dark background and green accents. It is divided into several sections:

- Zařízení:** Contains two dropdown menus: "Volba ID:" with value "1" and "Volba parametru:" with value "Regulace Topeni". Below them is a green "SET" button.
- Základní nastavení:** Contains three input fields: "Tovarni nastaveni:" with "--", "Zmena casu:", and "Zmena datumu:". Below them is a green "CHANGE" button.
- Status:** Displays the text "Info: HTTP-POST-stisk SET-PORT is CLOSED,OPEN and read".
- LOAD:** A panel on the left with a list of parameters and their values in input fields: Stav: OFF, Rezim: Manual OFF, Vystupni velicina: 27.688, Zadana hodnota: 24.000, Odchylka: -3.688, Zapinaci hodnota: 1.000, Vypinaci hodnota: -1.000, Tvrdost vody: 4.000. A green "LOAD" button is at the bottom.
- SAVE:** A panel on the right with a dropdown menu "Rezim:" with "--" and four empty input fields for "Zadana hodnota:", "Zapinaci hodnota:", "Vypinaci hodnota:", and "Tvrdost vody:". A green "SAVE" button is at the bottom.

Obr. 65 Webová stránka-control

## 6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI

Vývoj nového systému bývá doprovázen většinou mnoha nezdary. Proto se koncepce systému vyvíjí v průběhu řešení těchto problémů nebo se inovuje s příchodem nových poznatků a ne zcela jinak tomu bylo při návrhu tohoto zařízení. Cílem bylo navrhnout prototyp systému pro centrální řízení a monitorování akvárií. Výsledná koncepce je značně rozmanitá a obsahuje tři procesorové jednotky, což znamená tři různé softwary. O rozmanitosti svědčí i to, že centrální jednotka umožňuje nastavit v řídicích jednotkách přes 700 parametrů. Z tohoto důvodu nelze jednoduše ověřit 100% funkčnost všech možností, které systém nabízí. Při návrhu byly ověřovány a s co největší pečlivostí testovány dílčí funkce a vlastnosti. Na závěr byly ověřeny základní funkce celého systému. Drobné chyby, které se určitě vyskytnou při ostrém provozu, budou následně odstraněny.

Systém je navržen pro řízení více akvárií, a proto základní funkcí zařízení je Master-Slave komunikace. Pro testovací účely byly vyrobeny tři převodníky sériové linky na rozhraní RS-485 a komunikační protokol byl testován mezi Master zařízením (BeagleBone Black) a mezi Slave jednotkami (2x FRDM KL-25Z). Jednotky byly mezi sebou propojeny 20 m UTP kabelu a komunikační rychlost byla nastavena na 115200 bd. Zde bylo zjištěno, že je vhodné, aby Slave zařízení před posláním odpovědi počkalo cca 10 ms jako pojistka, že se Master zařízení připravilo na příjem dat. Dalším bodem ověřování byla komunikace a funkce výkonové jednotky. Pro tyto účely bylo nejvhodnější připojit jednotku na COM port počítače a posílat jí pakety v textovém formátu přes terminal. To se ukázalo jako velmi užitečné a bylo okamžitě vidět, že pokud nepříjde korektní paket do 10 s, tak dojde k deaktivaci všech výstupů. Výstupy D/A kanálu byly ověřovány voltmetrem, kdy se současně nastavila hodnota výstupního napětí na max. hodnotu 10 V. Spínání střídavé zátěže pomocí klasických relé a SSR relé bylo testované 50 W žárovkou, spínání stejnosměrné zátěže zase na 10W LED. Funkce PWM byly testovány na řízení jasu diody nebo na blikání v případě malé periody. Průběh byl kontrolován osciloskopem. Při testování výkonové jednotky se nevyskytl žádný problém, který by nebyl vyřešen, a proto se výkonová jednotka jeví plně funkční. Ověřování řídicí jednotky probíhalo po malých krocích s každým navrženým hardwarem. Pokaždé byly ověřeny základní funkce jako měření teplot, měření pH a jejich vyhodnocení, komunikace s RTC obvodem či EEPROM pamětí. Měření teplot pomocí snímačů DS18B20 je léty ověřené a spolehlivé a to zejména díky kontrolním součtům na sběrnici. Jediný problém, který se zde může vyskytnout, je ten,

že v době komunikace po 1-Wire sběrnici může nastat přerušení např. přijatý paket, který naruší 1-Wire komunikaci a následně nesouhlasí CRC přenosu. S ohledem na to, jak často probíhá měření, je to celkem nepodstatné. Ověření regulace teploty a pH probíhalo na zařízení, které bylo navrženo pouze pro dvoupolohovou regulaci teploty a pH. Po několikaměsíčním testování na 240 l akváriu s žádanou hodnotou teploty 24,2 °C a pH 6,9 se jeví pásmo hystereze  $\pm 0,2$  °C pro topení a  $\pm 0,2$  pro pH jako optimální. To ovšem záleží na každém akvaristovi, jak si to vhodně nastaví. Při regulaci teploty by byla vhodnější třípolohová regulace s chlazením a to zejména v letních měsících. Cena chladicího zařízení je ale velmi vysoká, proto ho většina akvaristů nemá a tak je třípolohová regulace otázkou další verze softwaru. Při měření pH je důležitá pravidelná kontrola sondy. Jakmile dojde k prudkému úhynu ryb v akváriu, může to být způsobené špatným měřením a následným přesycením akvária  $\text{CO}_2$ . Zde by bylo vhodné naprogramovat mechanismus, který by sledoval, jak se vyvíjí průběh měření pH a mohl zareagovat na určité anomálie. Zařízení bylo doplněno o měření ORP, se kterým se původně nepočítalo a protože nebyla koupena ORP sonda, která poskytuje na výstupu napětí -2000 mV až 2000 mV, byla sonda simulovaná pomocným zdrojem napětí. Ve volných chvílích byla testována i práce LCD modulu a dotykové vrstvy. S upravenou knihovnou je dosažena rotace displeje (včetně dotykové vrstvy) po 90° a rychlost překreslování plochy jednou barvou je 28 FPS (Frame per second). Protože se řídicí jednotka ovládá třemi dotyky ve velkých oblastech, není potřeba přesné kalibrace dotykového ovládání, a proto i při výměně displeje by šly použít stejné kalibrační konstanty. Tady vzniká další prostor pro možné vylepšení. Před oživením webového serveru na Beaglebone Black byla aplikace testována na stolním PC a s řídicí jednotkou komunikovala přes virtuální sériový port. Touto cestou se podařilo pohodlně odstranit co nejvíce problémů, ještě před testováním na BeagleBone Black. Při tomto testování se ukázalo, že v případě řízení pouze jednoho akvária lze používat k nastavení a monitorování mírně upravenou aplikaci na běžném PC bez nutnosti RS-485 rozhraní a to pouze s USB. Tato myšlenka nabízí možnost implementace volby topologie systému. Např. pomocným přepínačem by se volil režim Slave zařízení RS-485 nebo propojení Point to Point s PC. Po zapojení a propojení všech částí dohromady se chová systém stabilně a všechny základní funkce fungují podle očekávání. I když má systém v některých místech programové rezervy, tak svojí funkcionalitou a koncepcí překonal původní očekávání a požadavky, které byly na něj kladeny.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout řídicí a monitorovací systém pro akvária. Koncepce se skládá z centrální jednotky, která slouží k monitorování a nastavení dílčích jednotek. Komunikace probíhá přes rozhraní RS-485. Dílčí jednotky byly z praktických důvodů rozděleny na dvě části. První část je tvořena řídicí jednotkou, která slouží pro měření teplot, pH, ORP, regulaci topení, osvětlení, dávkování oxidu uhličitého a v neposlední řadě také k ovládání mnoha výstupů na základě časového plánu. Řídicí jednotka komunikuje s centrální jednotkou a s výkonovou jednotkou, která slouží k ovládání výkonových prvků jako je např. spínání topení, ventilu, dávkovacích čerpadel a krmítek. Komunikace mezi řídicí a výkonovou jednotkou probíhá přes rozhraní RS-232. Po změně programového vybavení řídicí jednotky lze tuto jednotku připojit přes USB rozhraní přímo k počítači, který převezme funkce centrální jednotky. Výkonová jednotka je univerzální a lze ji připojit k jakémukoliv zařízení s rozhraním RS-232.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. První část je zaměřena na možnosti řízení v akvaristice, přehled existujících řešení a popis komunikačních sběrnic, které byly použity při návrhu systému. Praktická část popisuje kromě samotného návrhu zařízení a jeho programového vybavení také základní parametry použitých řídicích modulů. Dále jsou zde uvedeny komunikační protokoly mezi jednotkami a základní pohled na softwarové vybavení každé jednotky. Zbývající část popisuje ovládání celého systému.

Všechny schémata a podklady pro tvorbu desek plošných spojů jsou uvedeny v přílohách a lze je najít také na doprovodném CD společně se zdrojovými soubory pro jednotlivé mikropočítače včetně aplikace webového serveru. Na CD se nachází dvě verze programového vybavení pro řídicí jednotku a webový server podle použité topologie a platformy centrální jednotky.

Hlavním přínosem této práce je získání nových zkušeností s vývojem embedded systémů. Práce poskytuje pohled na současné možnosti tvorby takových systémů, kdy lze spojit několik zcela odlišných platforem za účelem vytvoření rozsáhlého systému. Díky tomu se také ukazuje, jak jsou informační a řídicí systémy mezi sebou propojeny. Práce také může sloužit jako inspirace pro vznik podobných systémů. Vzhledem k současnému trendu rozvoji vývojových platforem a levných jednodeskových počítačů, lze předpokládat jejich masivní nasazení i v jiných embedded systémech.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KRČEK, Karel. *Akvaristická elektrotechnika. 2.*, dopln. vyd. Praha: SNTL, 1989, 309 s. Polytechnická knihnice. ISBN 80-030-0152-8.
- [2] KRČEK, Karel. *333 zajímavostí pro akvaristy*. Vyd. 1. Ilustrace Miloš Váňa. Vimperk: VIK, 1995, 177 s. ISBN 80-856-1845-1.
- [3] FRANK, Stanislav. *Akvaristika*. Praha: ROH, 1984.
- [4] GOLIÁŠ, Marcel. Redox vody. *Přírodní akvárium* [online]. 2012-2014 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.prirodni-akvarium.cz/index.php?id=redox>
- [5] REJLKOVÁ, Markéta. Chemie vody II.(pH). *ManiaAKVA* [online]. 2005 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://maniakva.sweb.cz/chemie2.htm>
- [6] ENV-SDS Kit. *Atlas Scientific* [online]. 2014 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [https://www.atlas-scientific.com/product\\_pages/kits/sds-kit.html](https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/sds-kit.html)
- [7] Akvárium PT444. *AKVARKO.CZ* [online]. 2009 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.akvarko.cz/akvarium.php?nadrz=1329>
- [8] HRUŠKA, František. *Senzory v systémech informatiky a automatizace*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007, 177 s. ISBN 978-80-7318-630-2.
- [9] SMUTNÝ, Lubomír. Snímače teploty – současný stav a směry vývoje. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2007, č. 5 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=34041](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34041)
- [10] ŠÁTEK, Martin. Měření pH v akvaristice. *AKVARKO.CZ* [online]. 2009 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.akvarko.cz/clanky.php?str=109>
- [11] AQUA MEDIC. *AT-Control: Operation Manual GB*. 2011. Dostupné z: <http://www.aqua-medic.com/wp-content/uploads/2012/04/AT-Control-System.pdf>
- [12] DIGITAL AQUATICS. *ReefKeeper Elite: Quickstart Guide*. 2013. Dostupné z: [http://www.digitaquatics.com/downloads/RKE\\_quickstart\\_web.pdf](http://www.digitaquatics.com/downloads/RKE_quickstart_web.pdf)
- [13] VALÍČEK, Libor. *ASTA: Automatický Systém pro Terária a Akvária* [online]. 2009 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://asta.tym.cz/>

- [14] ŠPAČEK, Milan. Řídicí systém pro akvárium. *TOSI* [online]. 2005-2014 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.tosi.cz/elektro/akvarium.html>
- [15] ŠÁTEK, Martin. Amatérská ŘÍDICÍ JEDNOTKA pro AKVÁRIUM. *AKVARKO.CZ* [online]. 2008 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.akvarko.cz/clanky.php?str=95>
- [16] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Sériový port RS-232C. *ROOT.CZ* [online]. 2008 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/seriovy-port-rs-232c/>
- [17] OLMR, Vít. HW server představuje - Sériová linka RS-232. *HW.CZ* [online]. 2005 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/rozhrani/hw-server-predstavuje-seriova-linka-rs-232.html>
- [18] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Sběrnice RS-422, RS-423 a RS-485. *ROOT.CZ* [online]. 2008 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/sbernice-rs-422-rs-423-a-rs-485/>
- [19] POUCHA, Pavel. Přenos dat po linkách RS485 a RS422. *HW.CZ* [online]. 1999 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/prenos-dat-po-linkach-rs485-a-rs422.html>
- [20] RS 485 & 422. *HW.CZ* [online]. 1998 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html>
- [21] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Externí sériové sběrnice SPI a I<sup>2</sup>C. *ROOT.CZ* [online]. 2008 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c/>
- [22] DUDÁČEK, Karel. Sériová rozhraní SPI, Microwire, I<sup>2</sup>C a CAN. [online]. 2002 [cit. 2014-05-28]. Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova\\_rozhrani.pdf](http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhrani.pdf)
- [23] MAXIM INTEGRATED. *DS18B20: Datasheet*. 2008. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [24] Element14 BeagleBone Black Rev. C Development Platform based on TI Sitara™ AM3358 Processor. *ELEMENT14* [online]. 2013 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.element14.com/community/docs/DOC-54121?ICID=knobe-beagleboneblack-space>

- [25] Element14 presents Freescale Kinetis L based Freedom Development Board. *ELEMENT14* [online]. 2013 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.element14.com/community/docs/DOC-46626/1/element14-presents-freescale-kinetis-l-based-freedom-development-board>
- [26] S08AC: 8-bit Flexis AC128/96/60/48/32 MCUs. *FREESCALE* [online]. 2004-2014 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: [http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod\\_summary.jsp?code=S08AC&nodeId=01624684491437EDDD](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=S08AC&nodeId=01624684491437EDDD)
- [27] CircuitCo:RS485 Cape RevA. *ELINUX.ORG* [online]. 2014 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: [http://elinux.org/CircuitCo:RS485\\_Cape\\_RevA](http://elinux.org/CircuitCo:RS485_Cape_RevA)
- [28] STMICROELECTRONICS. *ST3485EB, ST3485EC: Datasheet*. 2013. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00003137.pdf>
- [29] REJLKOVÁ, Markéta. Chemie vody II.(CO<sub>2</sub>). *ManiaAKVA* [online]. 2005 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://maniakva.sweb.cz/chemie5.htm>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

UV	Ultra Violet
ORP	Oxidation Reduction Potential
MCU	Microcontroller
PC	Personal Computer
PLC	Programmable Logic Controller
DPS	Deska Plošného Spoje
USB	Universal Serial Bus
UTP	Unshielded Twisted Pair
ASTA	Automatický Systém pro Terária a Akvária
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
IC	Integrated Circuit
SCI	Serial Communications Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
NRZ	Non Return To Zero
RxD	Receive Data
TxD	Transmit Data
TTL	Transistor Transistor Logic
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
GND	Ground
RTS	Request To Send
CTS	Clear To Send
DTR	Data Terminal Ready
DSR	Data Set Ready

---

SPI	Serial Peripheral Interface
A/D	Analog Digital
D/A	Digital Analog
MOSI	Master Out, Slave In
MISO	Master In, Slave Out
SCK	Serial Clock
SS	Slave Select
R/W	Read Write
I2C	Inter Integrated Circuit
SDA	Datový vodič I2C sběrnice
kbps	kilo bit per second
ACK	Acknowledgement
MPU	Microprocessor
SBC	Single Board Computer
SoC	System on Chip
GSM	Global System for Mobile Communications
GPS	Global Positioning System
I/O	Input Output
PWM	Pulse Width Modulation
EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor
MIPS	Million Instruction Per Second
PRU	Programmable Real Time Unit Subsystem
eMMC	Embedded Multimedia Card
SD	Secure Digital
HDMI	High Definition Multimedia Interface

---

RGB	Red Green Blue
RTC	Real Time Clock
CRC	Cyclic Redundancy Check
DC	Direct Current
LAN	Local Area Network
ESD	Electrostatic Discharge
TFT	Thin Film Transistor
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
SSR	Solid State Relay
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
BDM	Background Debug Mode
OZ	Operační Zesilovač
AC	Alternating Current
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ID	Identification Number
LRC	Longitudinal redundancy Check
GUI	Graphical User Interface
CGI	Common Gateway Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTML	HyperText Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
URL	Uniform Resource Locator
RTOS	Real Time Operating System
FPS	Frame per second

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1: Sada sond pro monitorování vody [6] .....	15
Obr. 2: Automatizace v domácím akváriu 1. část [7] .....	17
Obr. 3: Automatizace v domácím akváriu 2. část [7] .....	17
Obr. 4: Aqua Medic AT-Control System[11] .....	20
Obr. 5: ReefKeeper ELITE system [12] .....	21
Obr. 6:Centrální jednotka ASTA[13] .....	22
Obr. 7: Řídicí systém Milana Špačka [14].....	23
Obr. 8:Řídicí systém Martina Šátka [15] .....	24
Obr. 9: Asynchronní přenos SCI [16] .....	26
Obr. 10 Asynchronní přenos SCI-chyba rychlosti [16].....	26
Obr. 11: Definice logických úrovní RS-232[17] .....	27
Obr. 12:Přenos diferenciálního signálu[19].....	28
Obr. 13: Nevětvené linky RS-422[19] .....	28
Obr. 14: Nevětvené linky RS-485[19] .....	29
Obr. 15: Propojení více zařízení[20].....	29
Obr. 16: Definice klidových úrovní[19] .....	29
Obr. 17: Propojení na sběrnici SPI[22].....	30
Obr. 18: Zápis na sběrnici SPI[22] .....	31
Obr. 19: Čtení na sběrnici SPI[22].....	31
Obr. 20: Topologie sběrnice I2C[22].....	32
Obr. 21: START a STOP podmínka [22] .....	32
Obr. 22: Zápis dat po sběrnici I2C[22] .....	33
Obr. 23: Zápis dat po sběrnici I2C[22] .....	33
Obr. 24: Reset 1-Wire[23] .....	34
Obr. 25: Zápis a čtení na sběrnici 1-Wire[23] .....	34
Obr. 26: Topologie systému.....	36
Obr. 27.BeagleBone Black [24].....	39
Obr. 28: FRDM KL-25Z[25] .....	40
Obr. 29: Vnitřní struktura 8 bitového MCU Freescale S08AC [26].....	41
Obr. 30:Blokové schéma centrální jednotky.....	42
Obr. 31:RS485 CAPE verze A[27].....	42

Obr. 32:Schéma modulu RS-485 .....	43
Obr. 33: Blokové schéma řídicí jednotky .....	44
Obr. 34: Schéma propojení prototypového modulu.....	45
Obr. 35: Schéma napájení prototypového modulu.....	46
Obr. 36:Schéma RTC a EEPROM digitálního modulu .....	47
Obr. 37:Schéma rozhraní RS-485 digitálního modulu .....	47
Obr. 38: Schéma rozhraní RS-232 digitálního modulu .....	48
Obr. 39: Schéma zapojení bzučáku a snímače teploty digitálního modulu .....	48
Obr. 40: Schéma napájení analogového modulu .....	49
Obr. 41:Schéma analogového modulu .....	49
Obr. 42: Blokové schéma výkonové jednotky .....	50
Obr. 43:Schéma MCU výkonové jednotky.....	51
Obr. 44:Schéma napájení výkonové jednotky a převodníku RS-232 .....	52
Obr. 45: Schéma napájení D/A modulu.....	52
Obr. 46: Schéma D/A modulu .....	53
Obr. 47: Schéma jednoho kanálu SSR a MOSFET modulu .....	54
Obr. 48:Schéma jednoho kanálu RELE modulu.....	54
Obr. 49:Přenos dat mezi jednotkami.....	55
Obr. 50: READ požadavek RS-485 .....	57
Obr. 51: READ odpověď RS-485.....	58
Obr. 52:WRITE požadavek RS-232 .....	58
Obr. 53: Test navržené komunikace RS-485 .....	59
Obr. 54:Vývojový diagram řídicí jednotky.....	64
Obr. 55: Dvoupolohová regulace teploty a pH .....	65
Obr. 56: Vývojový diagram výkonové jednotky.....	67
Obr. 57: Obrazovka-hlavní informace .....	68
Obr. 58: Obrazovka-regulace topení.....	69
Obr. 59:Obrazovka-filtrace .....	70
Obr. 60:Obrazovka-osvětlení.....	70
Obr. 61:Obrazovka-LED.....	71
Obr. 62:Obrazovka-dávkování.....	71
Obr. 63:Obrazovka-kalibrace.....	72
Obr. 64:Webová stránka-monitor .....	73

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Přehled výstupů výkonové jednotky .....	66
Tabulka 2: Význam dat uložených v paměti.....	66

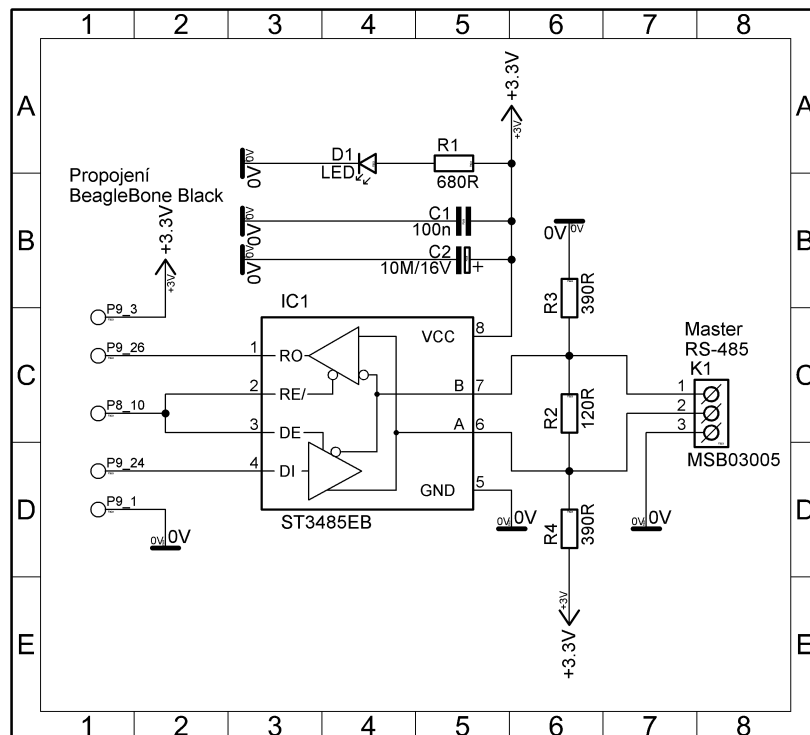
**SEZNAM PŘÍLOH**

P I	Výrobní dokumentace RS-485 modulu
P II	FOTO centrální jednotky
P III	Schéma prototypového modulu
P IV	DPS prototypového modulu
P V	Osazení prototypového modulu
P VI	FOTO prototypového modulu
P VII	Schéma digitálního modulu
P VIII	DPS digitálního modulu
P IX	Osazení digitálního modulu
P X	FOTO digitálního modulu
P XI	Schéma analogového modulu
P XII	DPS analogového modulu
P XIII	Osazení analogového modulu
P XIV	FOTO analogového modulu
P XV	FOTO řídicí jednotky 1
P XVI	FOTO řídicí jednotky 2
P XVII	Schéma MCU modulu
P XVIII	DPS MCU modulu
P XIX	Osazení MCU modulu
P XX	FOTO MCU modulu
P XXI	Schéma D/A modulu
P XXII	DPS D/A modulu
P XXIII	Osazení D/A modulu
P XXIV	FOTO D/A modulu

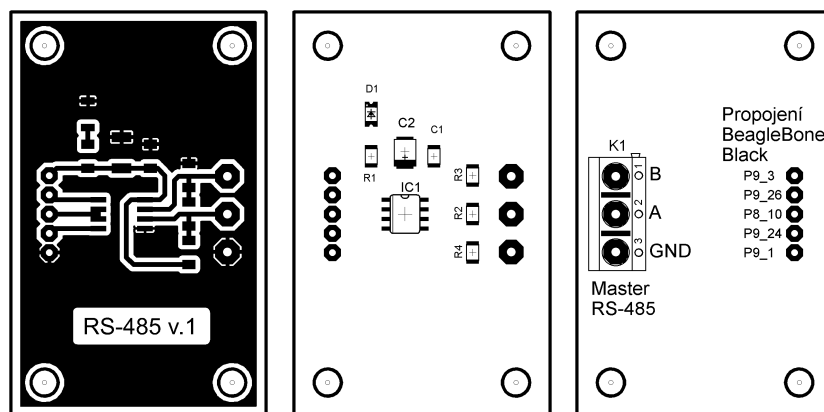
---

P XXV	Schéma MOSFET modulu
P XXVI	DPS MOSFET modulu
P XXVII	Osazení MOSFET modulu
P XXVIII	FOTO MOSFET modulu
P XXIX	Schéma SSR modulu
P XXX	DPS SRR modulu
P XXXI	Osazení SRR modulu
P XXXII	FOTO SSR modulu
P XXXIII	Schéma RELE modulu
P XXXIV	DPS RELE modulu
P XXXV	Osazení RELE modulu
P XXXVI	FOTO RELE modulu
P XXXVII	FOTO výkonové jednotky
P XXXVIII	Celkové propojení systému

# PŘÍLOHA P I: VÝROBNÍ DOKUMENTACE RS-485 MODULU

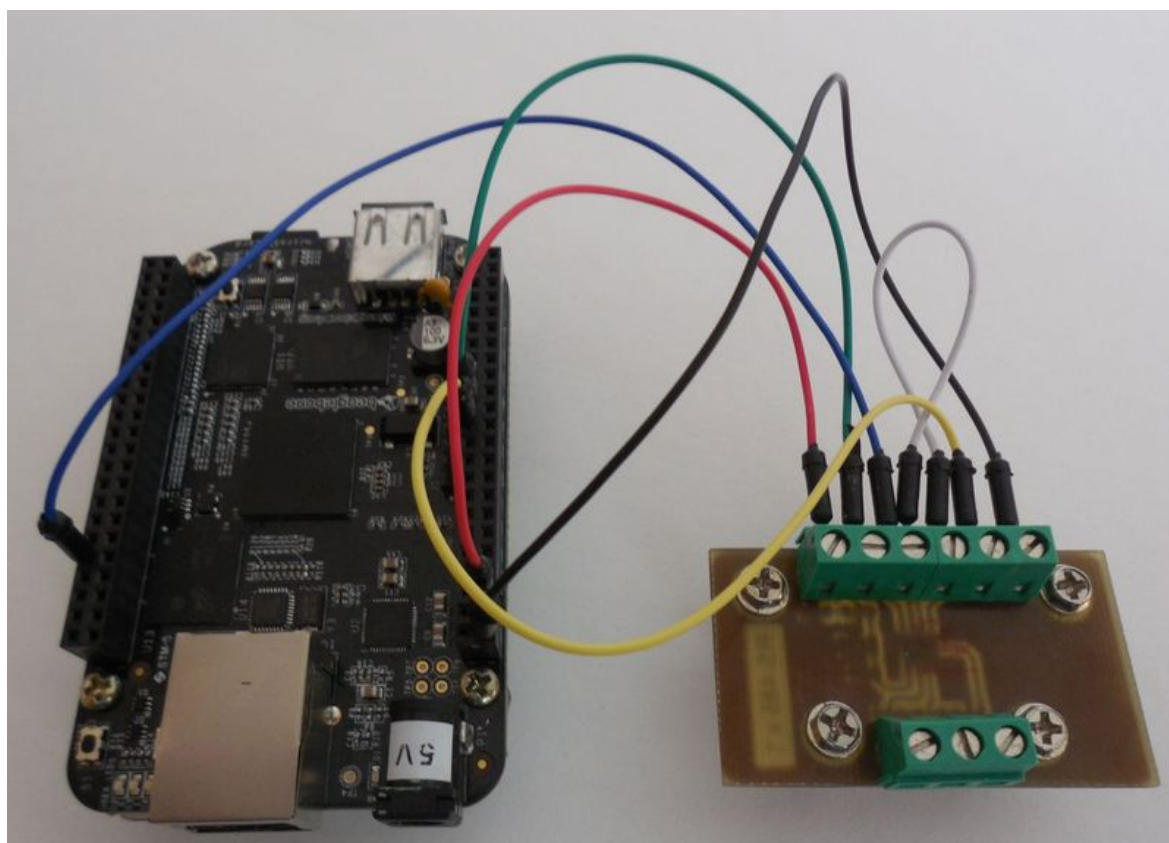
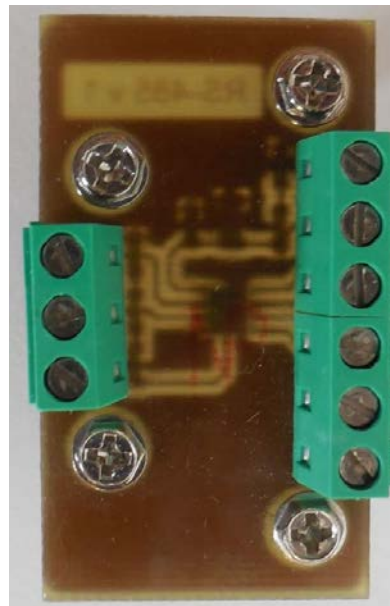
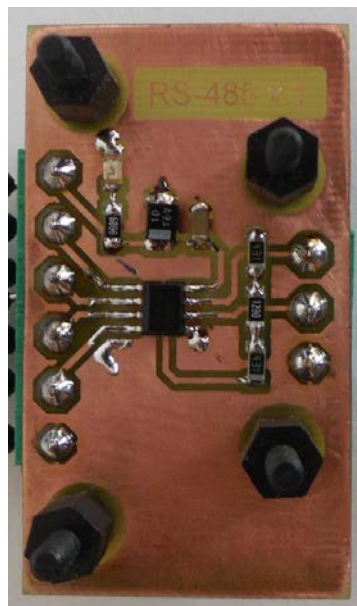


*schéma*

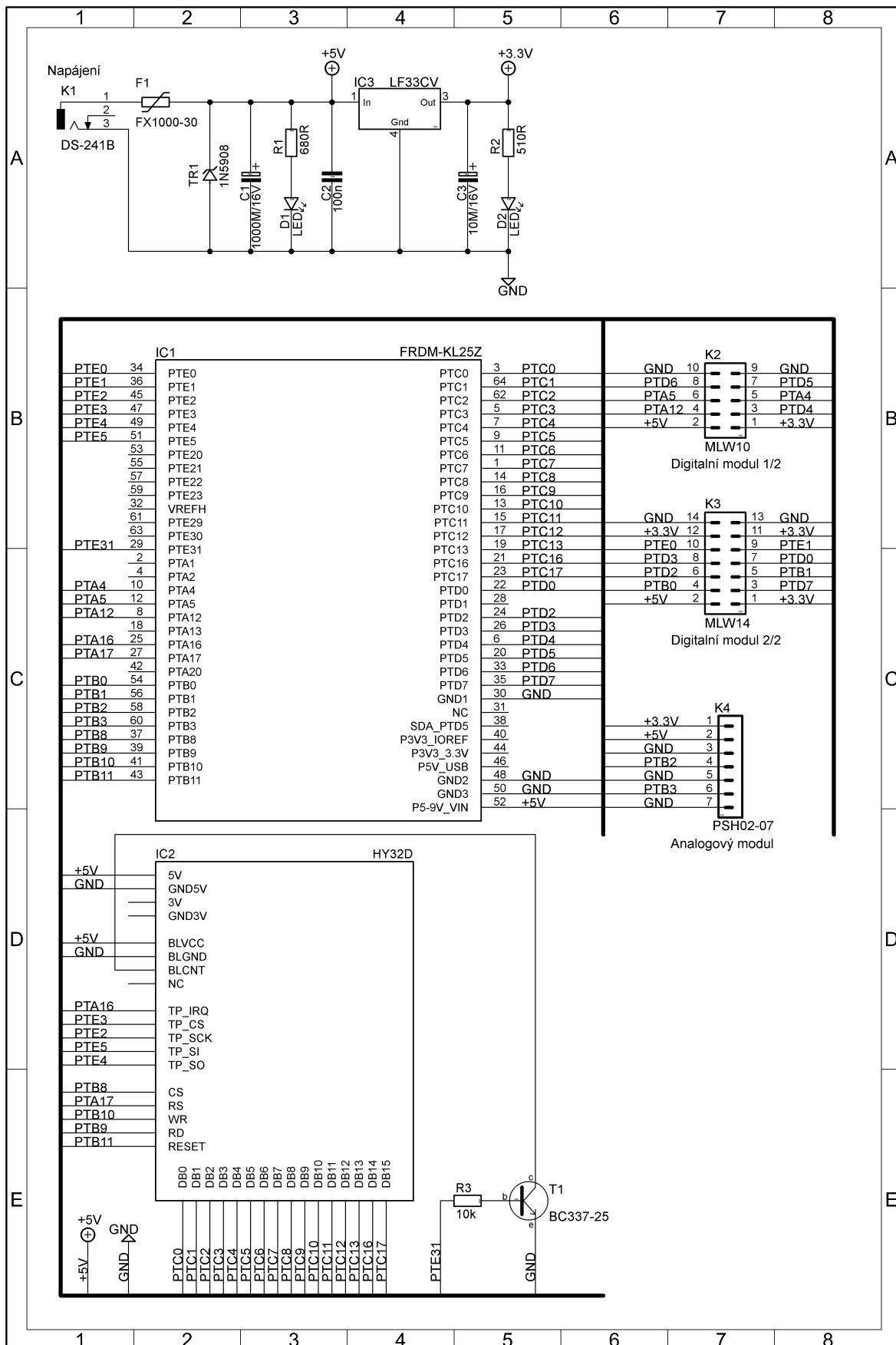


*DPS-bottom, osazovací plán-bottom, osazovací plán-top(zleva)*

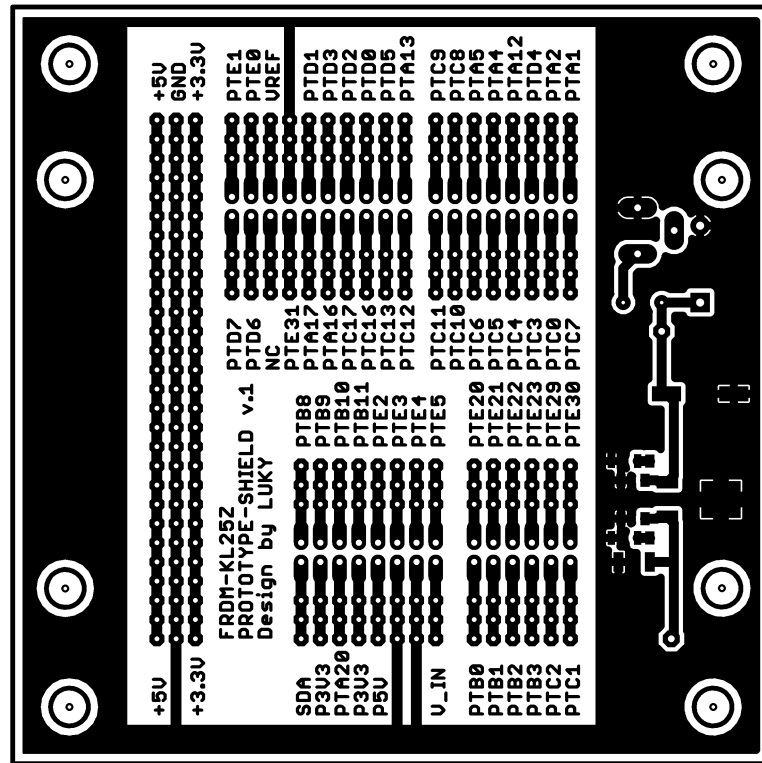
## PŘÍLOHA P II: FOTO CENTRÁLNÍ JEDNOTKY



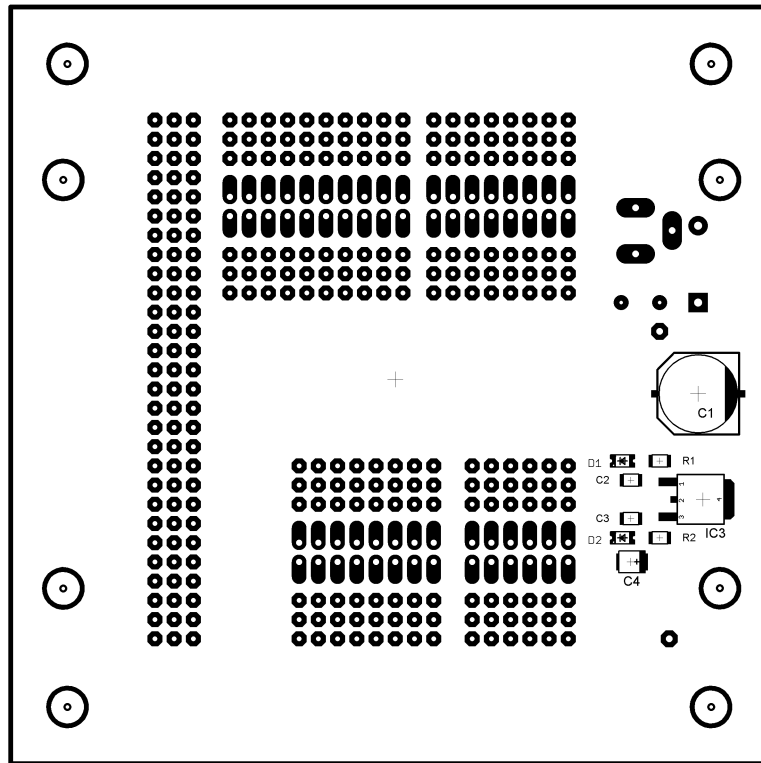
# PŘÍLOHA P III: SCHÉMA PROTOTYPOVÉHO MODULU



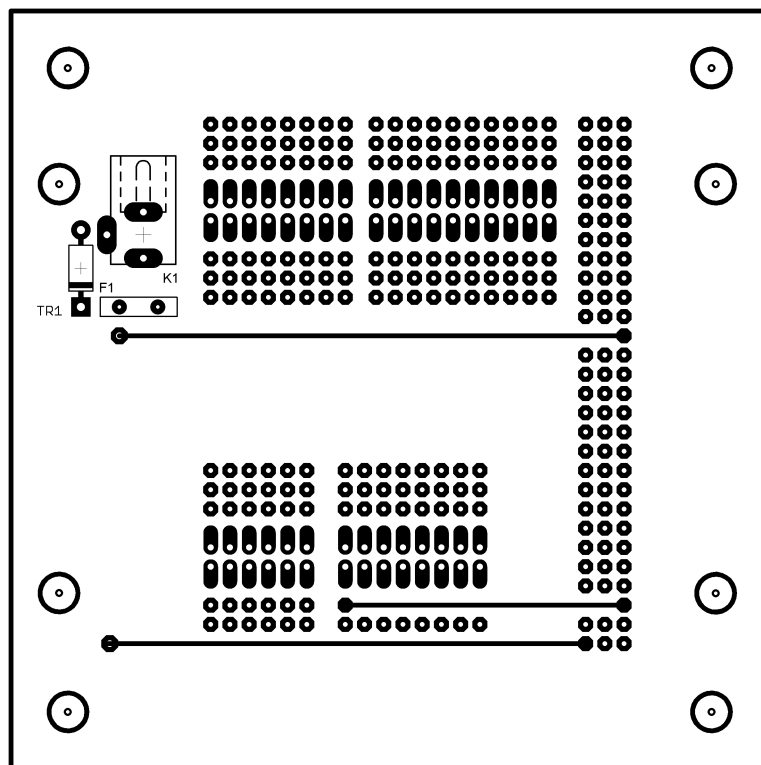
# PŘÍLOHA P IV: DPS PROTOTYPOVÉHO MODULU



# PŘÍLOHA P V: OSAZENÍ PROTOTYPOVÉHO MODULU



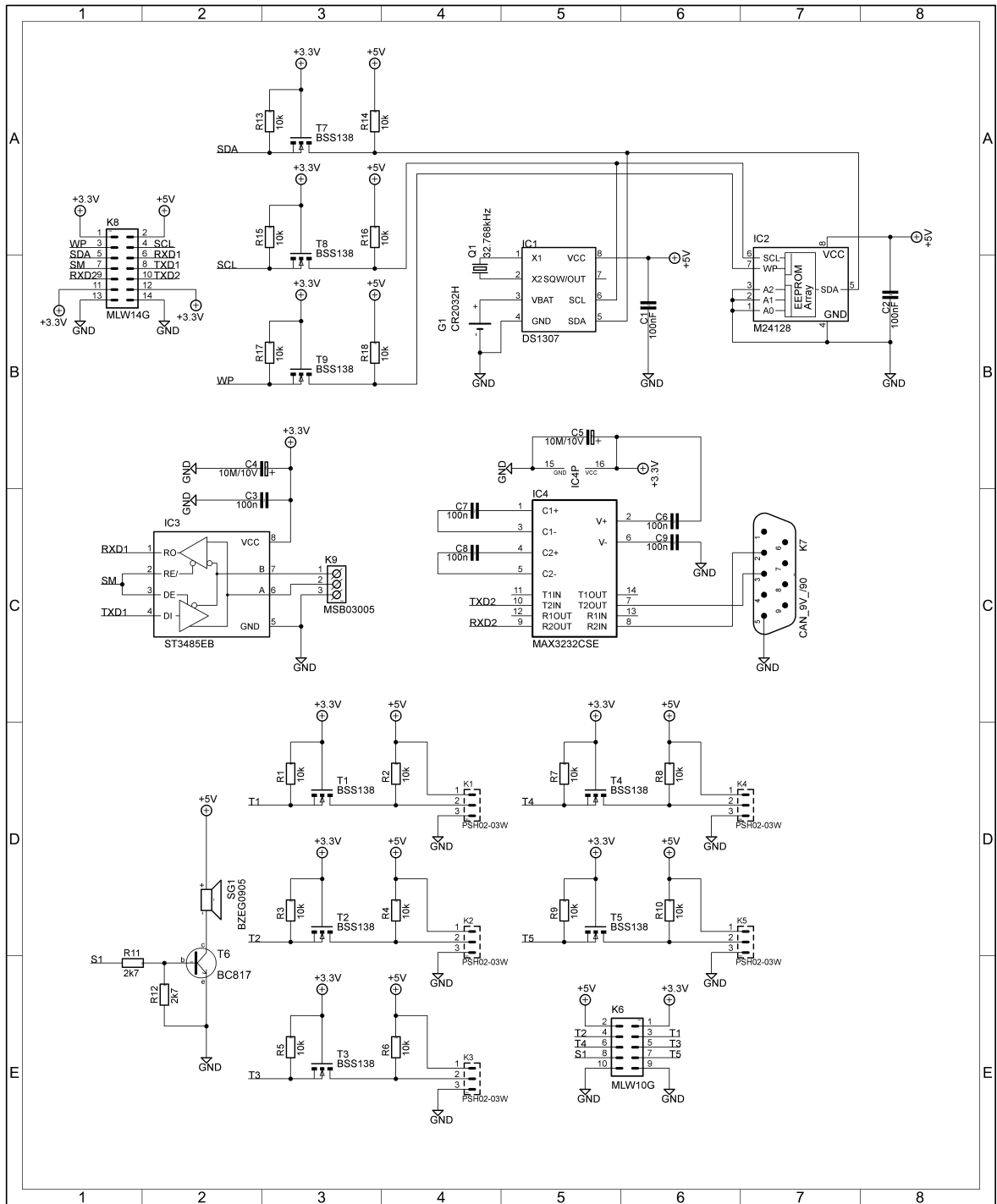
*top*



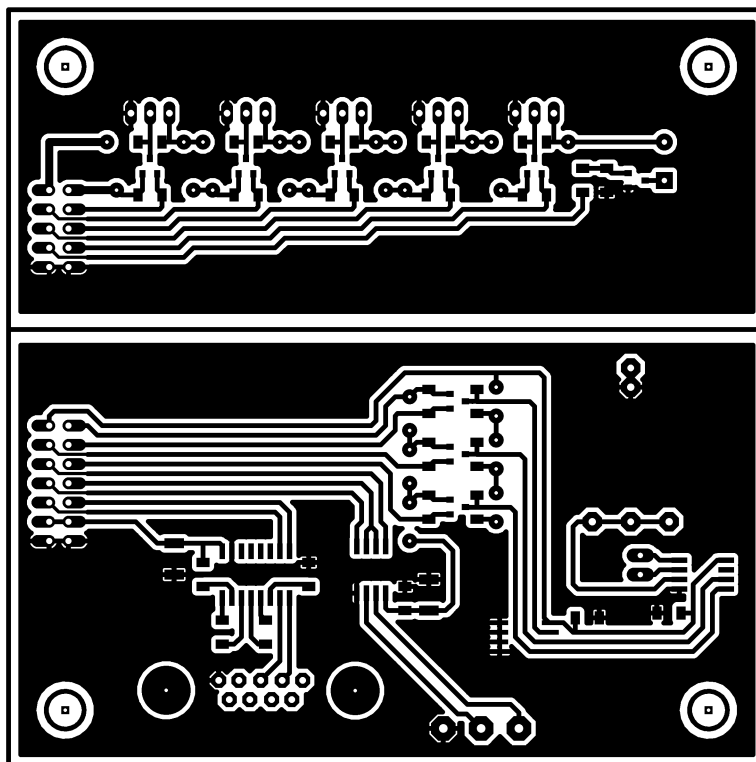
*bottom*



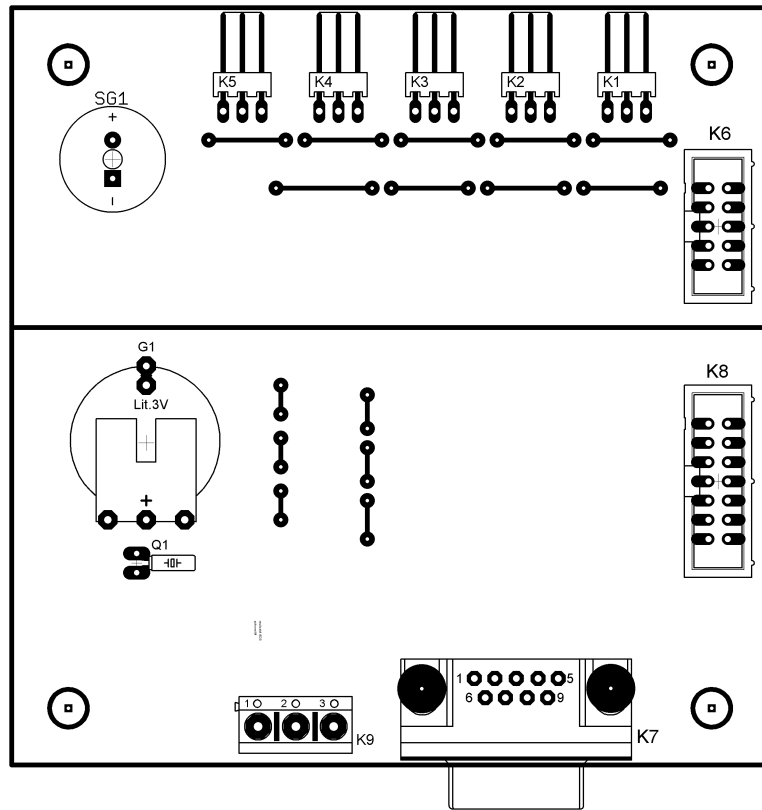
# PŘÍLOHA P VII: SCHÉMA DIGITÁLNÍHO MODULU



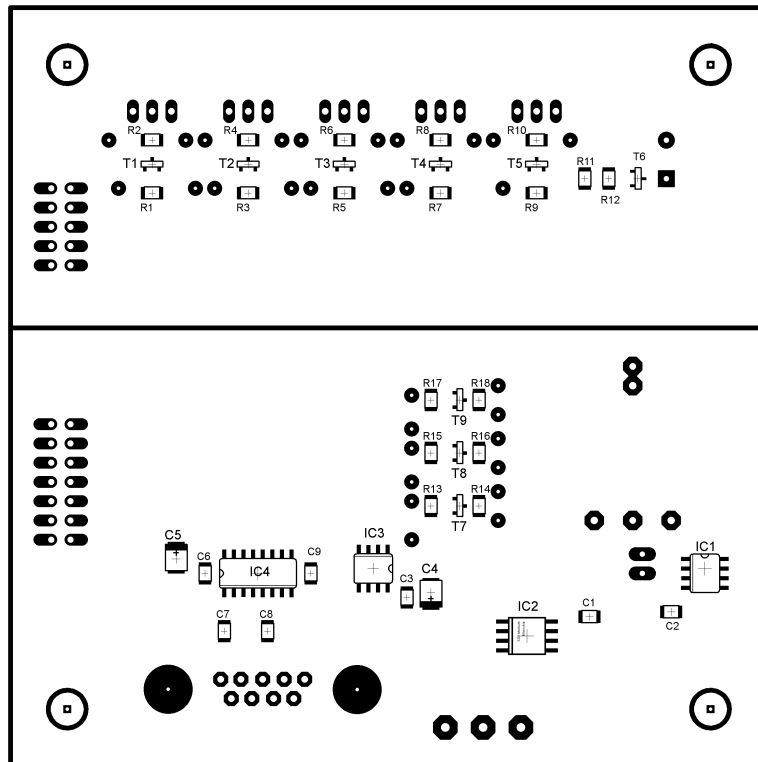
## PŘÍLOHA P VIII: DPS DIGITÁLNÍHO MODULU



# PŘÍLOHA P IX: OSAZENÍ DIGITÁLNÍHO MODULU

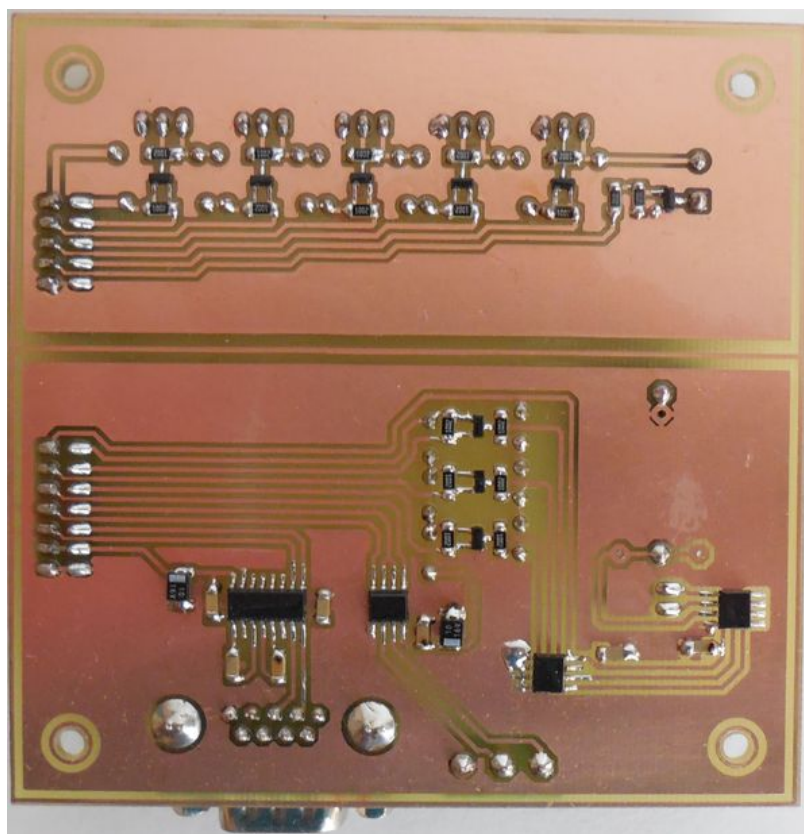
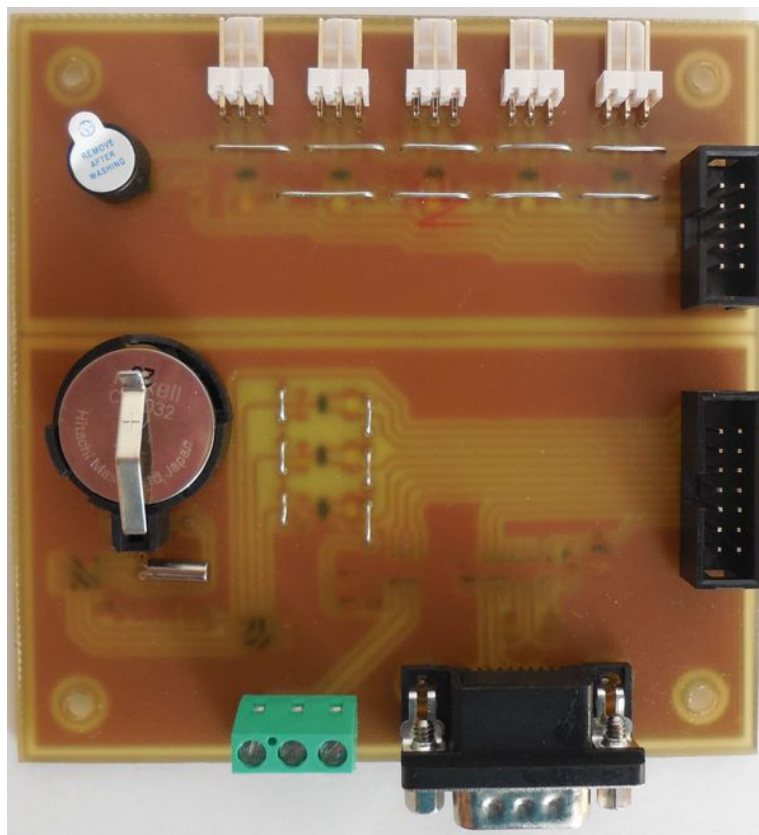


*top*

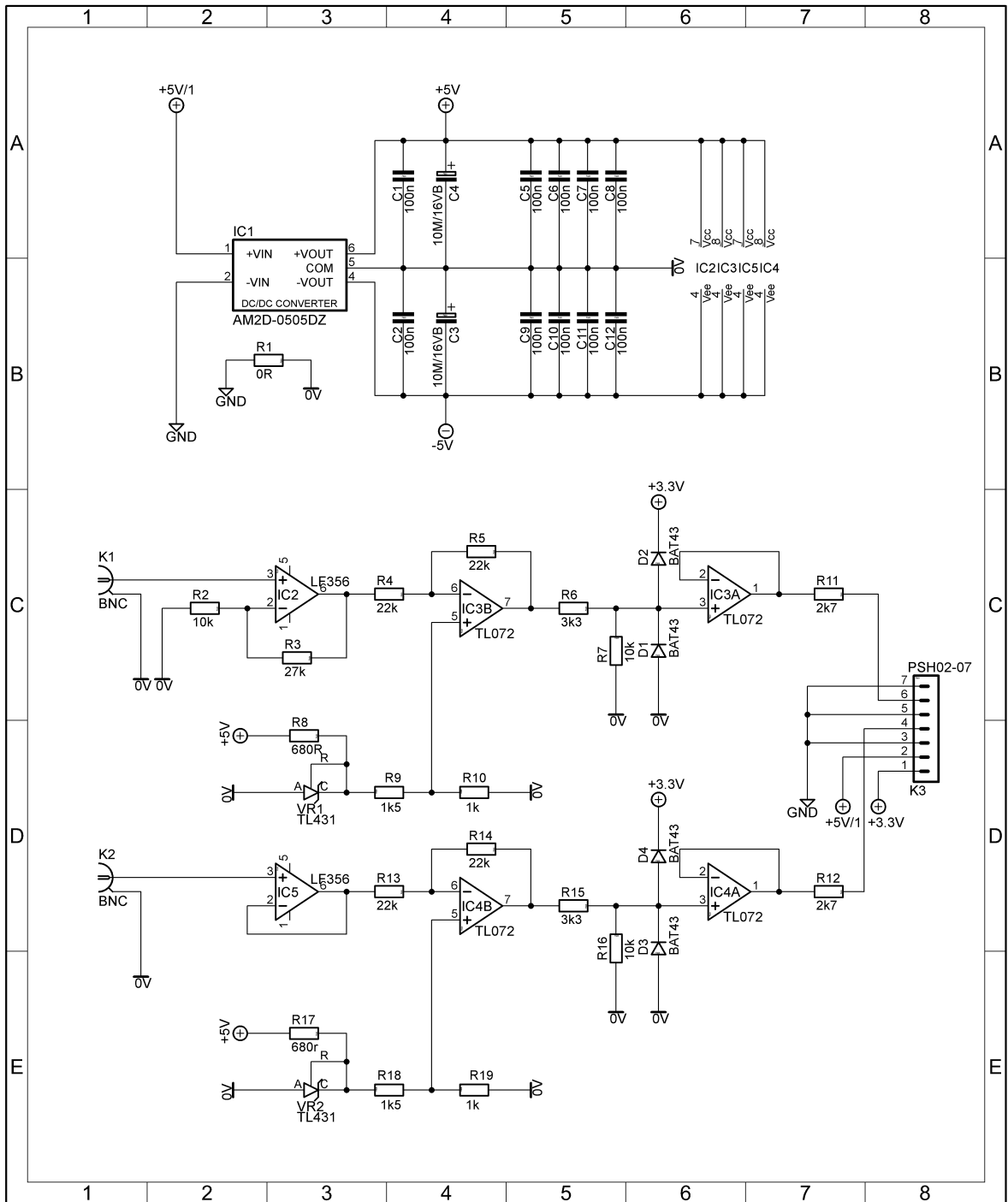


*bottom*

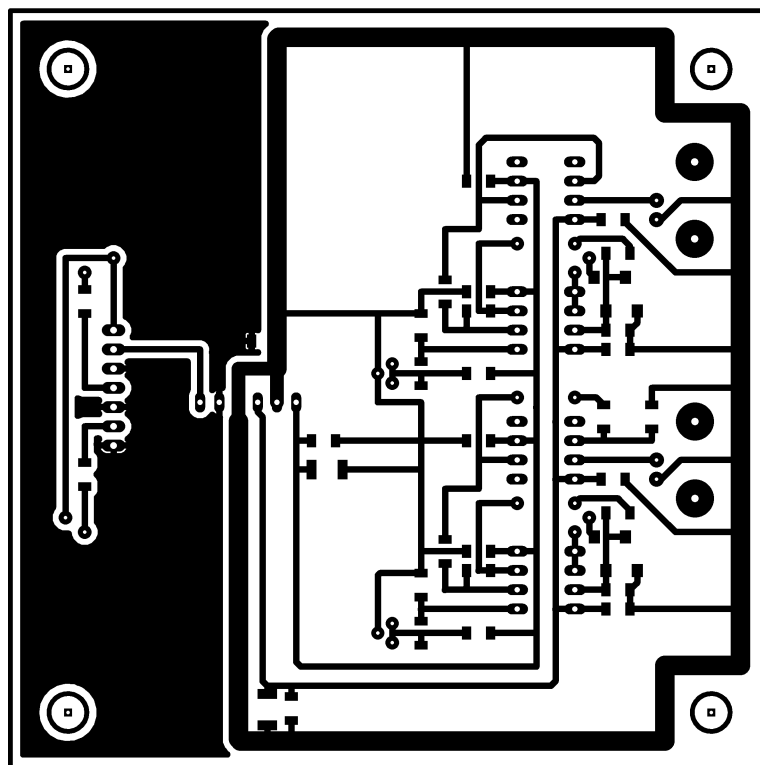
## PŘÍLOHA P X: FOTO DIGITÁLNÍHO MODULU



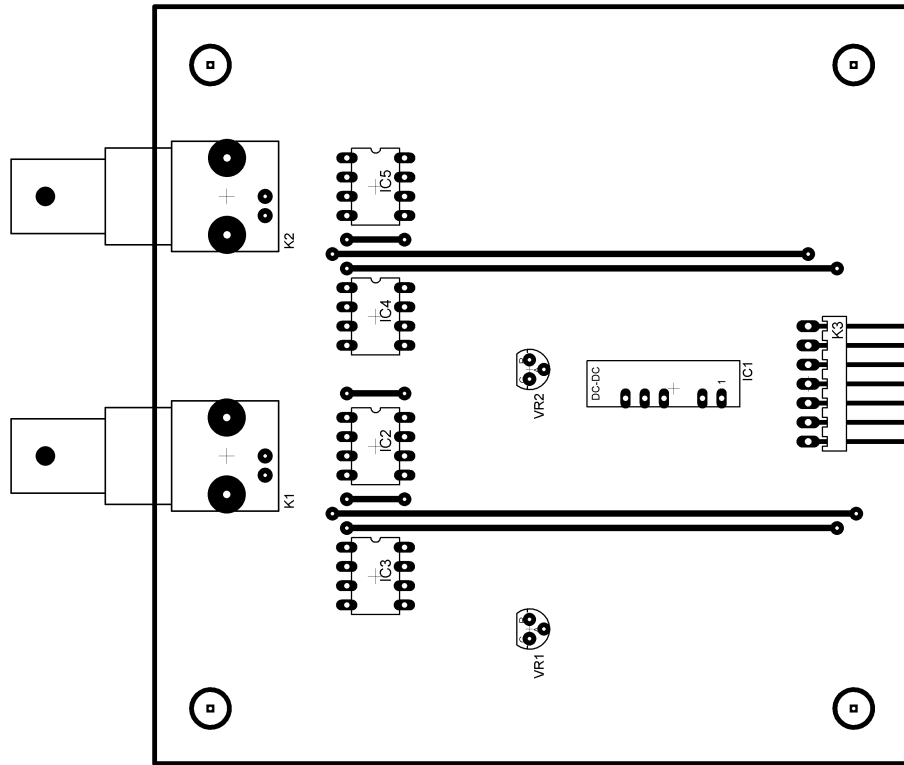
# PŘÍLOHA P XI: SCHÉMA ANALOGOVÉHO MODULU



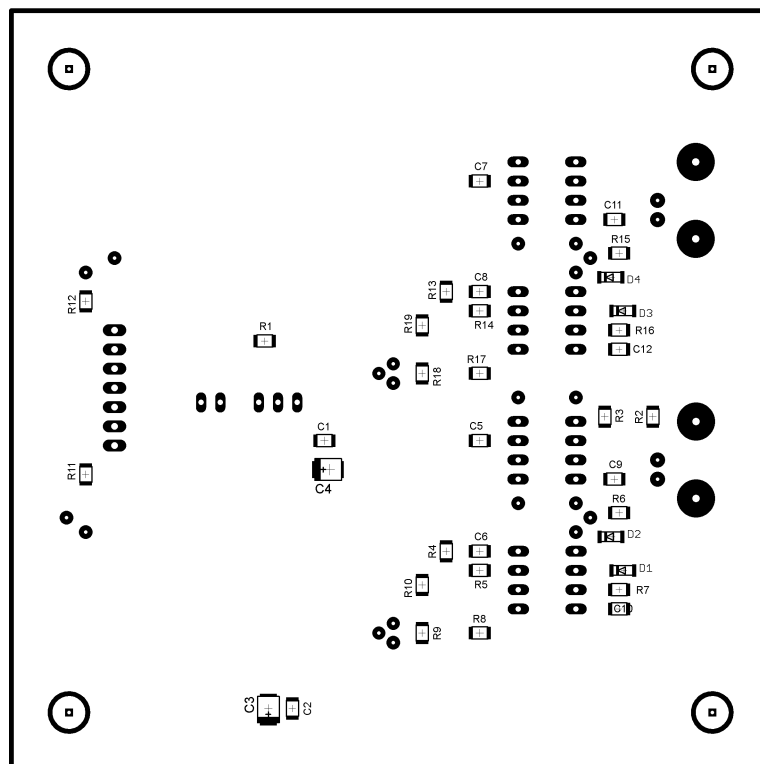
## PŘÍLOHA P XII: DPS ANALOGOVÉHO MODULU



# PŘÍLOHA P XIII: OSAZENÍ ANALOGOVÉHO MODULU

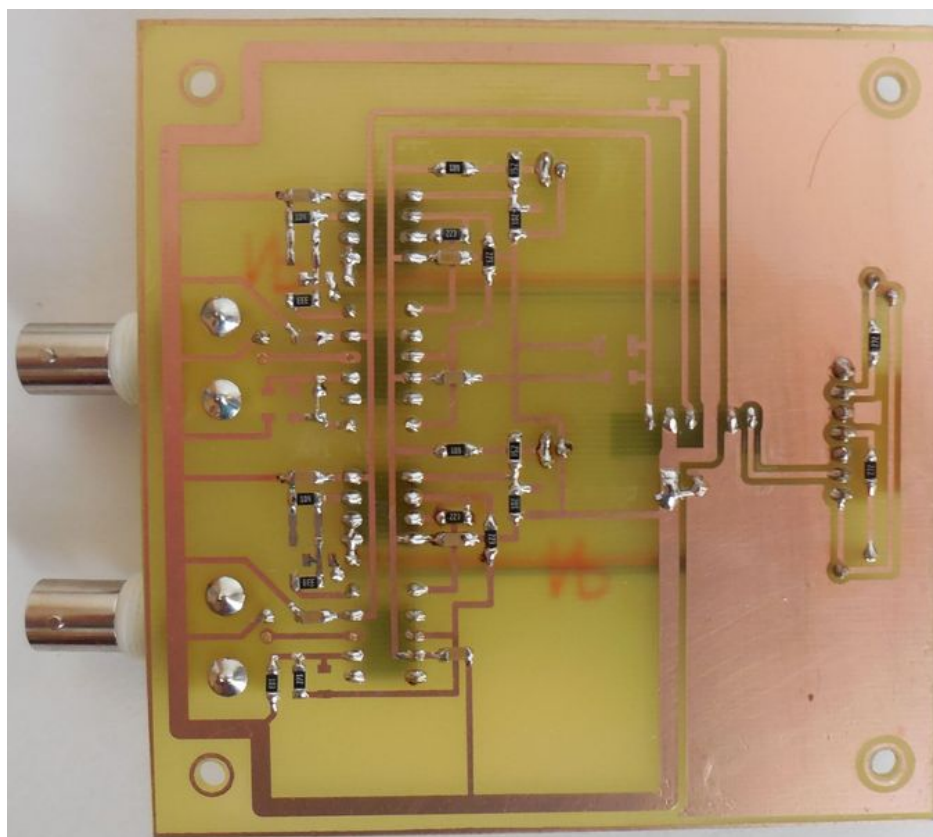
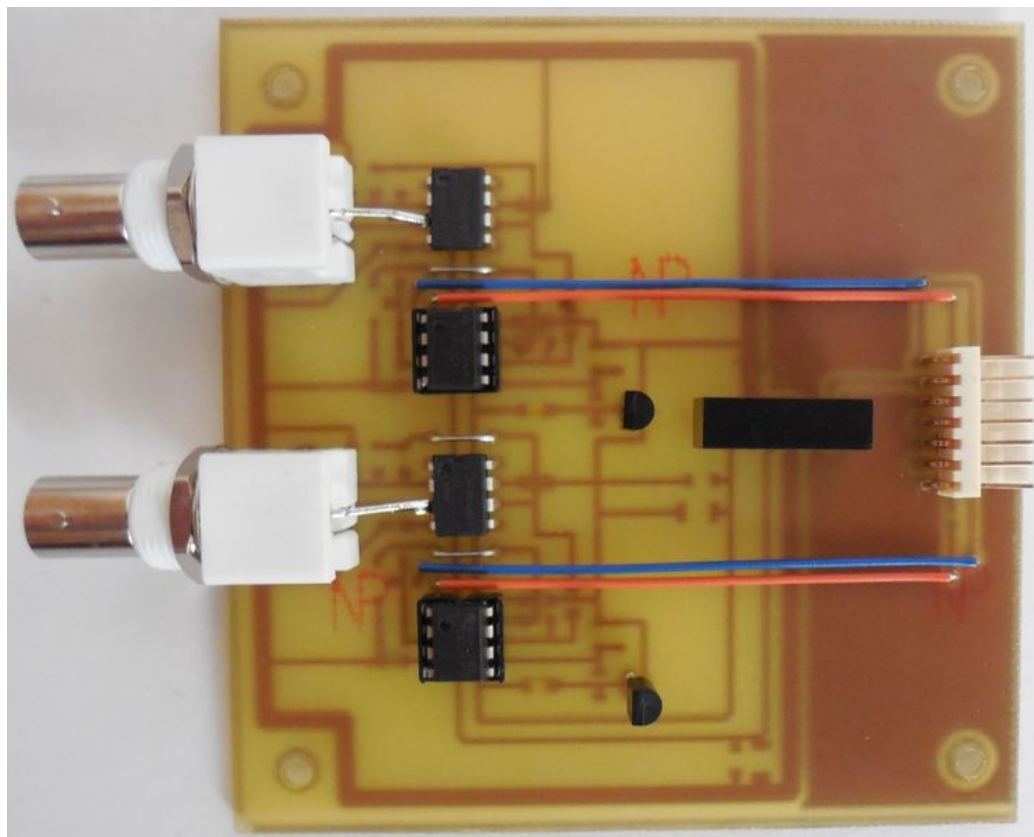


top

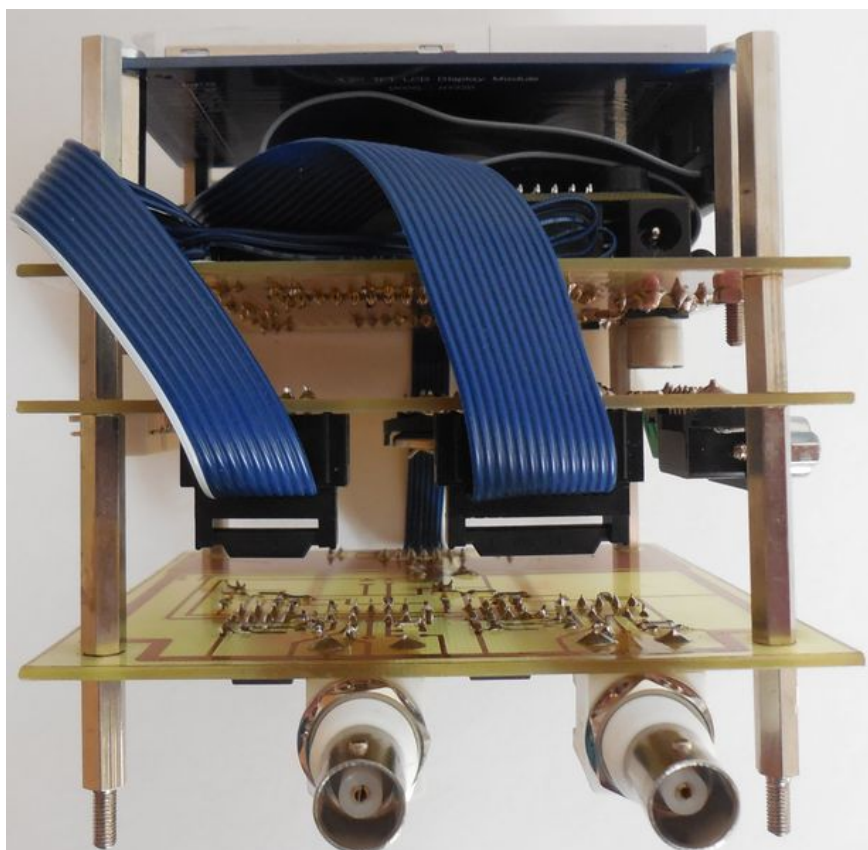
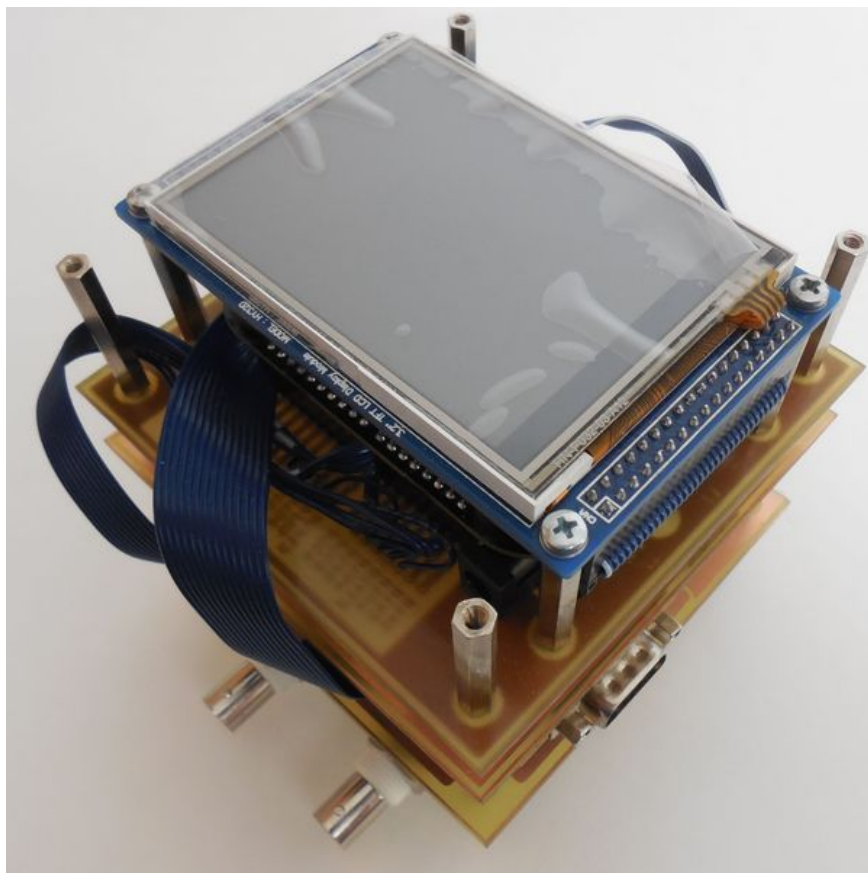


bottom

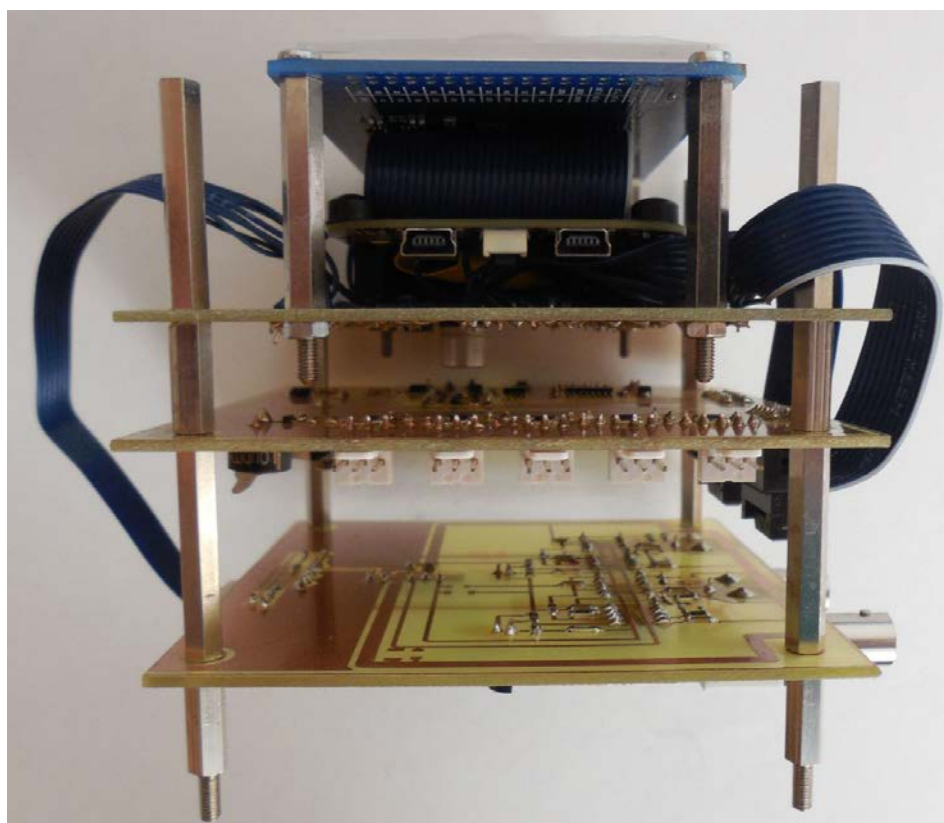
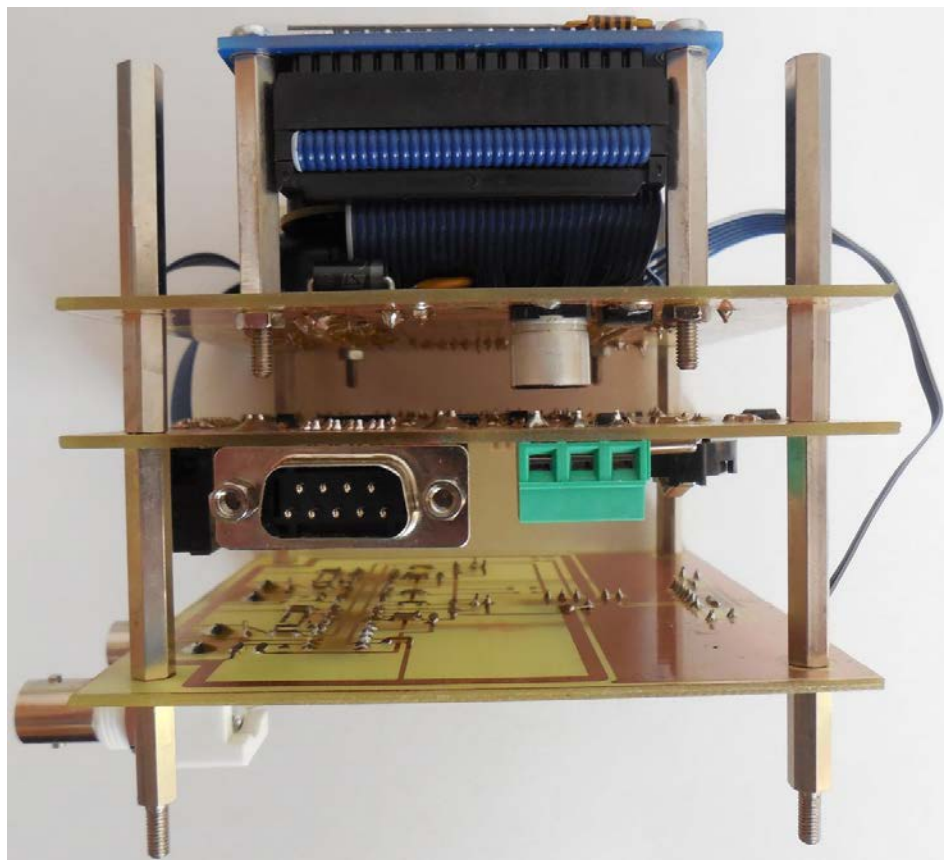
## PŘÍLOHA P XIV: FOTO ANALOGOVÉHO MODULU



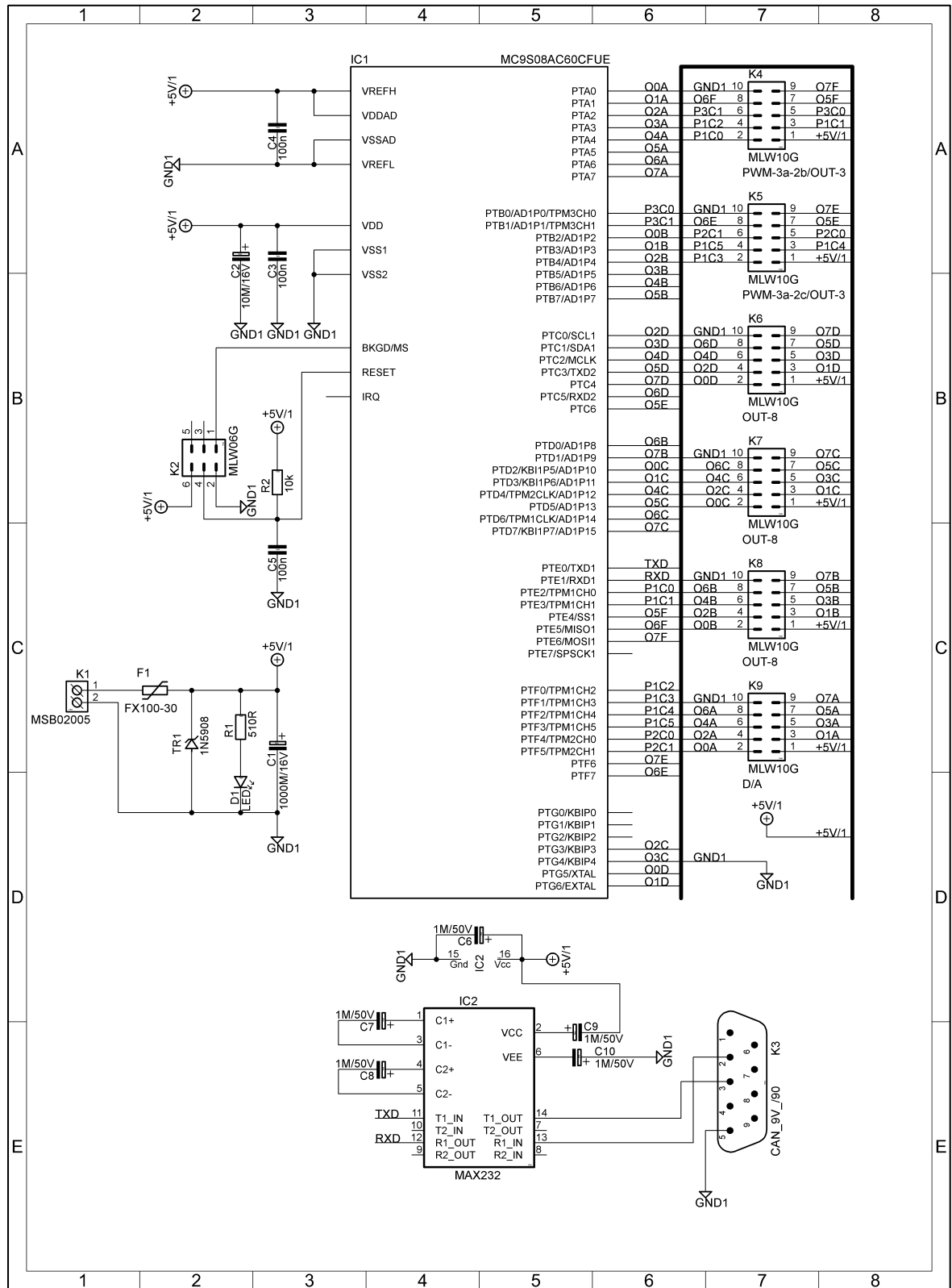
## PŘÍLOHA P XV: FOTO ŘÍDICÍ JEDNOTKY 1



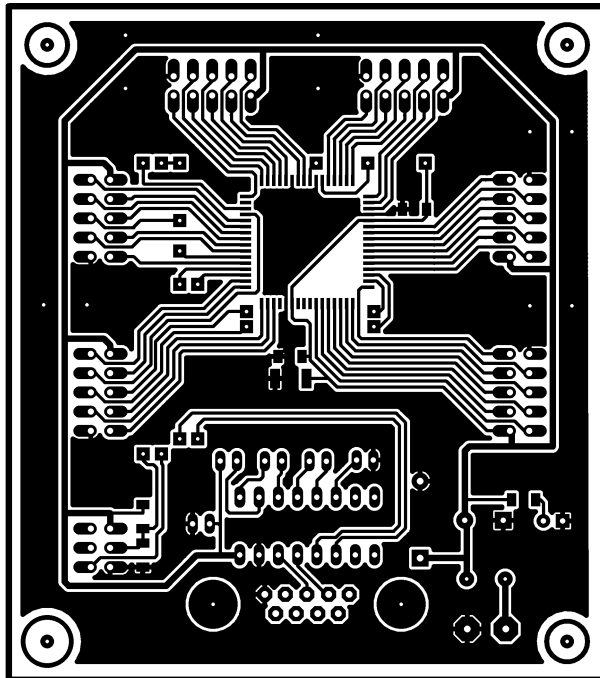
## PŘÍLOHA P XVI: FOTO ŘÍDICÍ JEDNOTKY 2



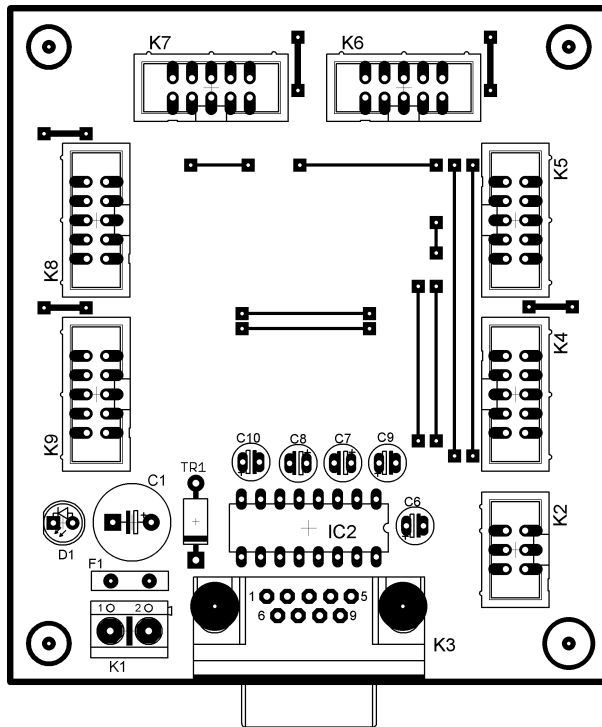
# PŘÍLOHA P XVII: SCHÉMA MCU MODULU



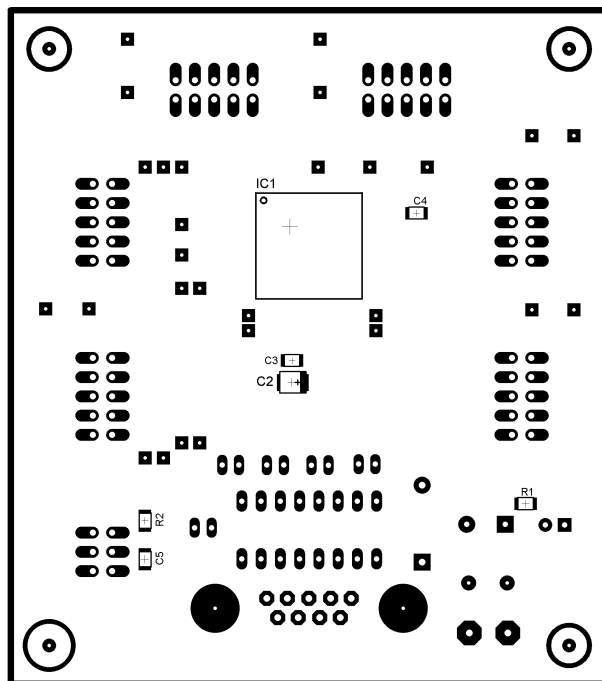
## PŘÍLOHA P XVIII: DPS MCU MODULU



# PŘÍLOHA P XIX: OSAZENÍ MCU MODULU

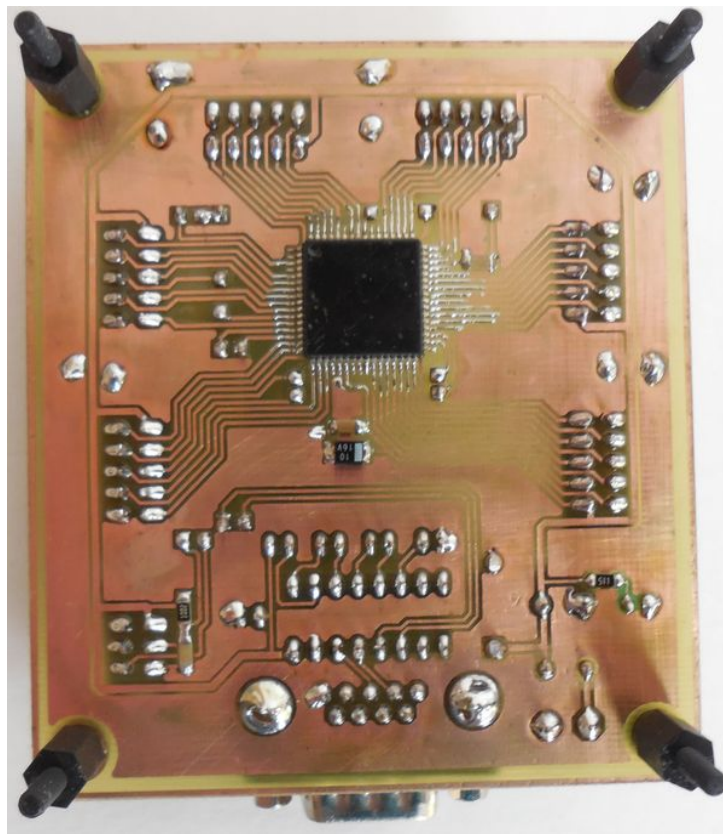
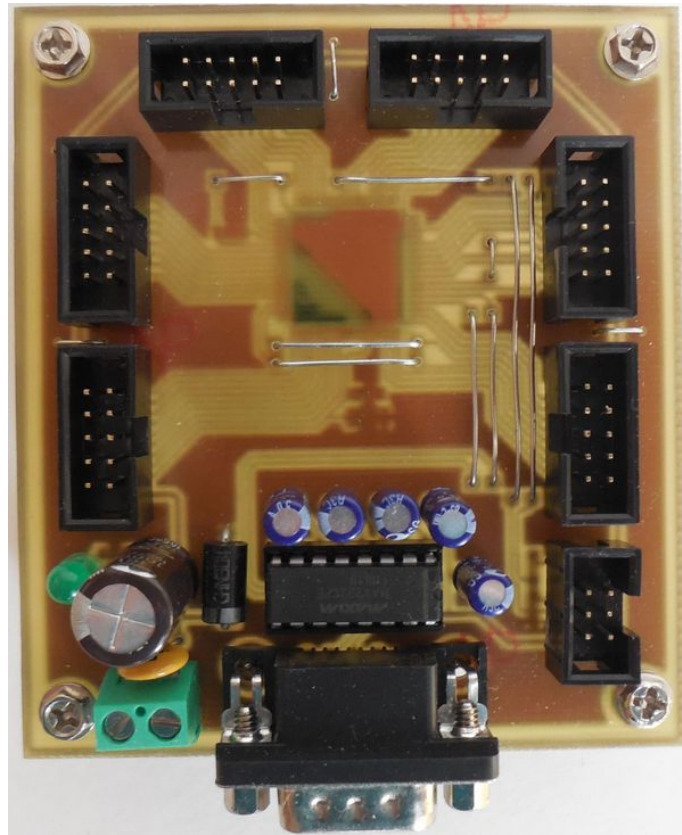


*top*

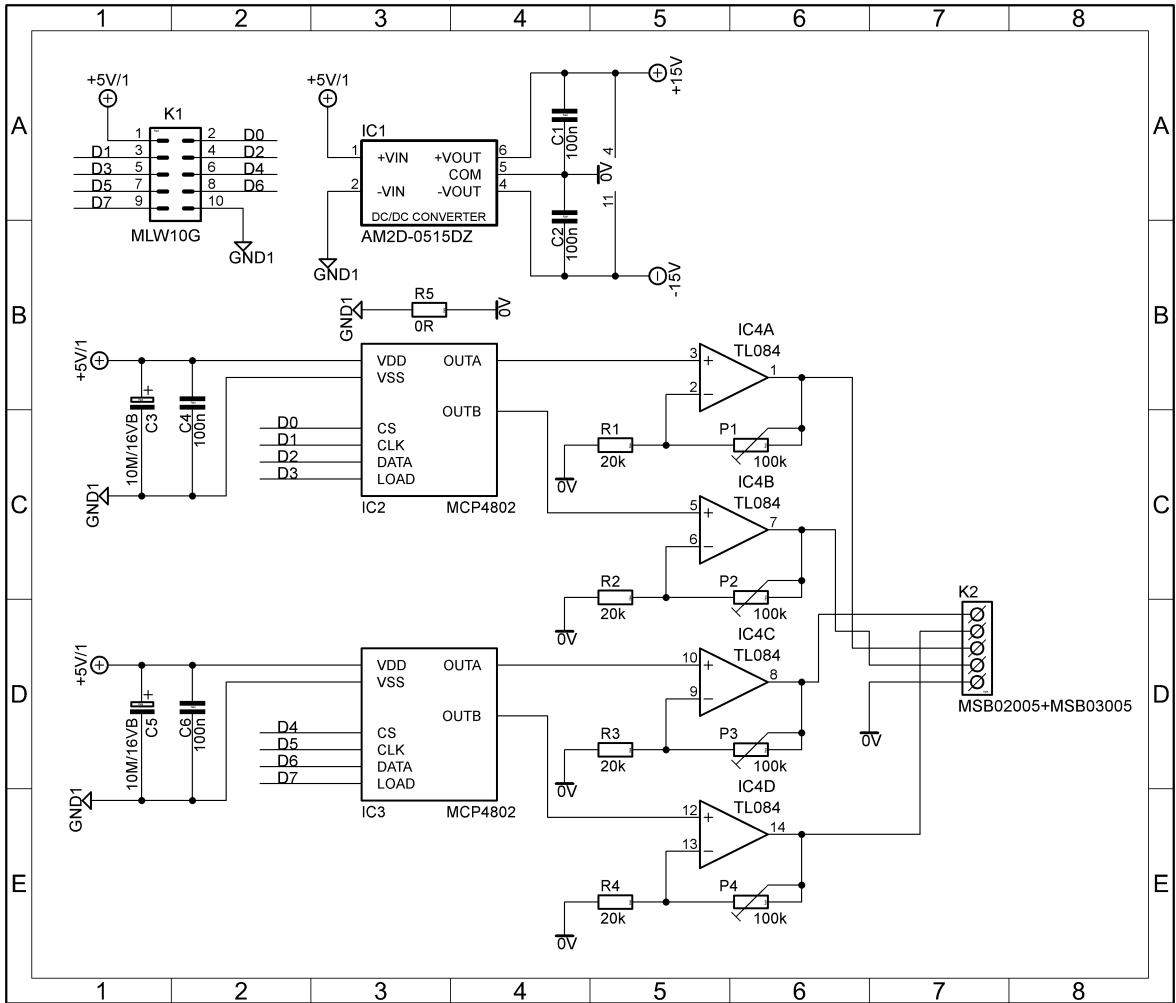


*bottom*

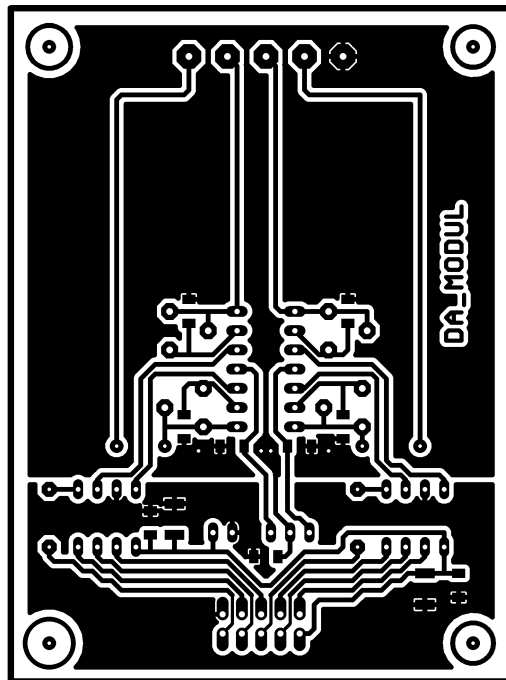
## PŘÍLOHA P XX: FOTO MCU MODULU



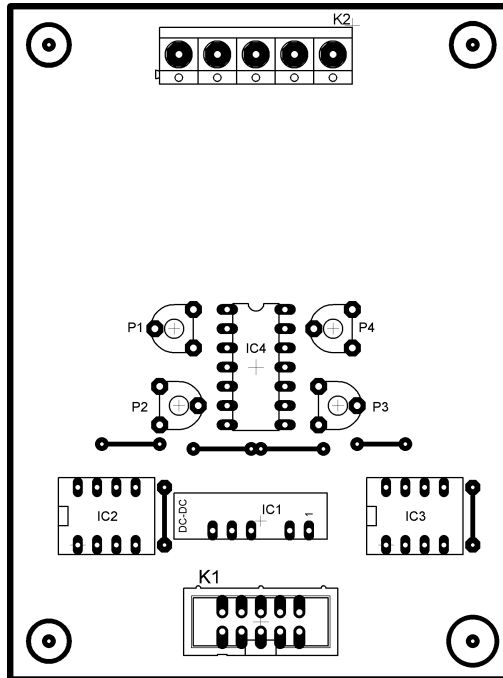
# PŘÍLOHA P XXI: SCHEMA D/A MODULU



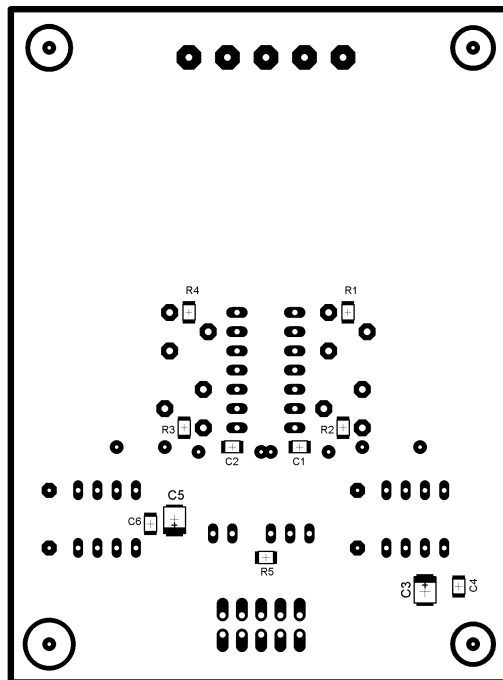
## PŘÍLOHA P XXII: DPS D/A MODULU



# PŘÍLOHA P XXIII: OSAZENÍ D/A MODULU

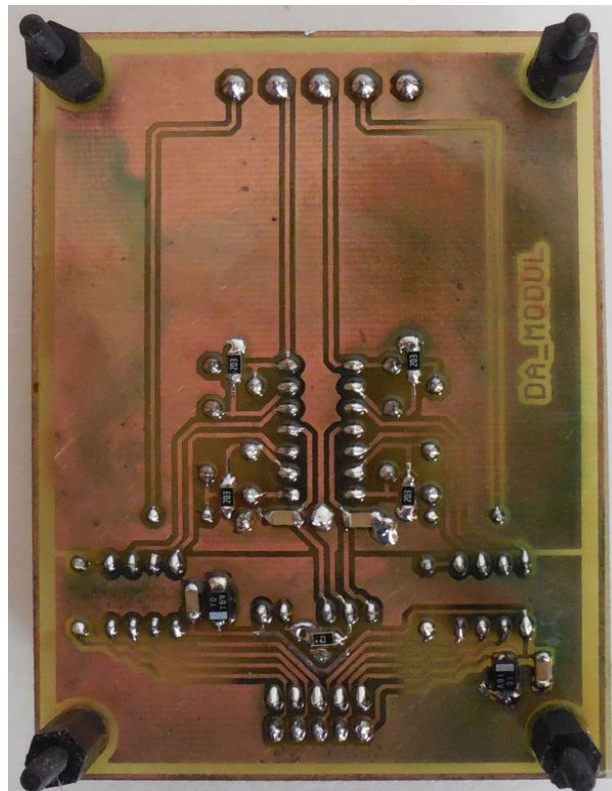
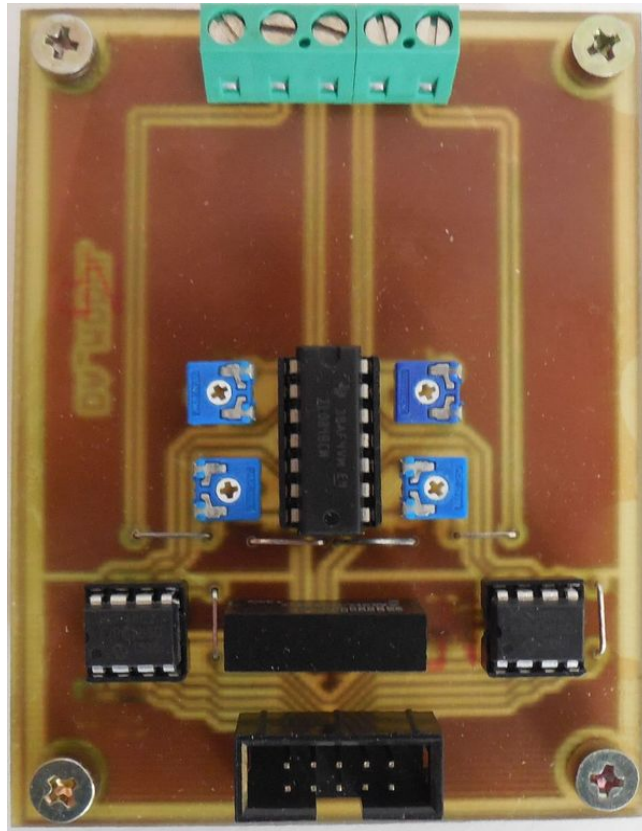


*top*

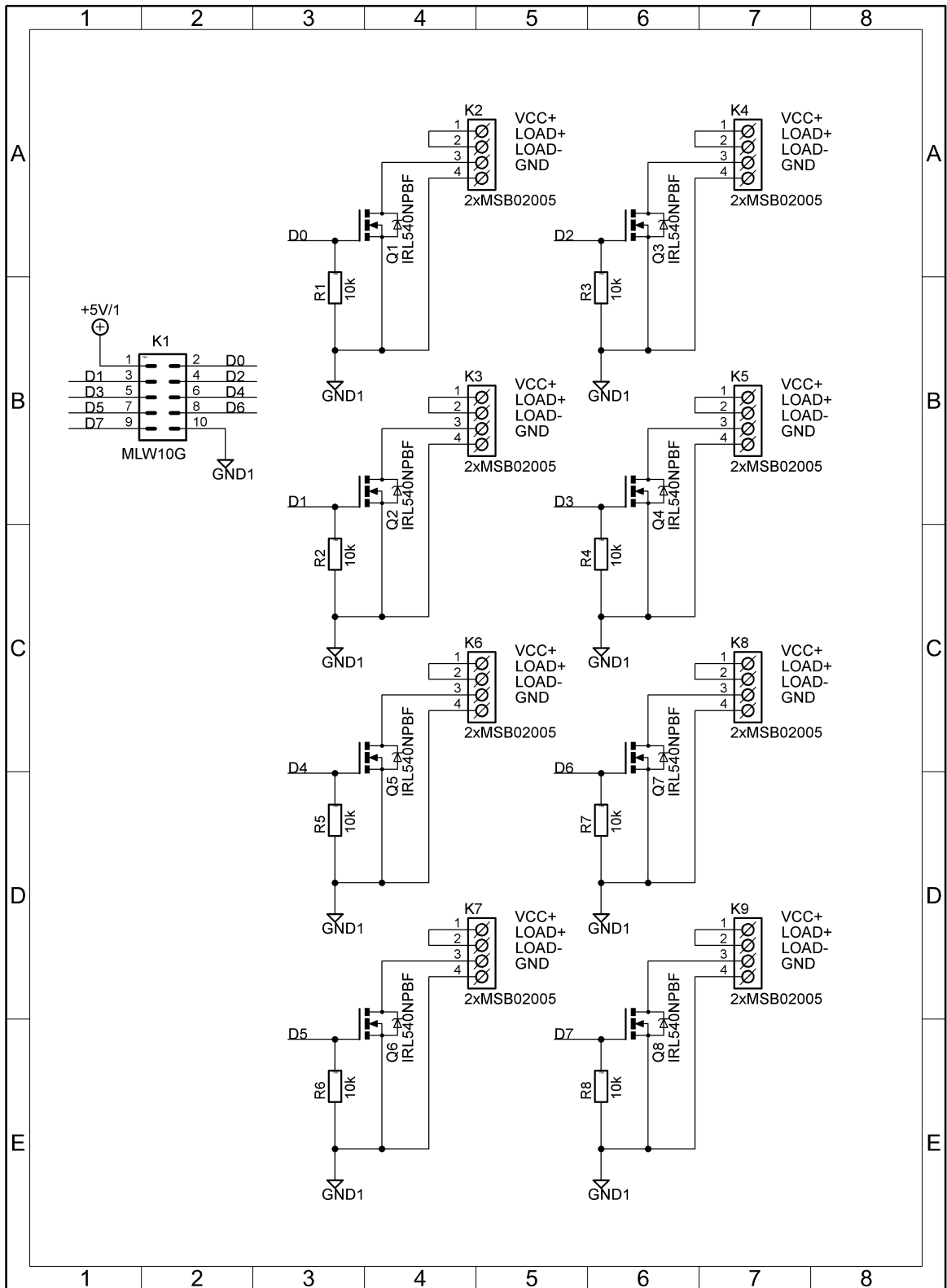


*bottom*

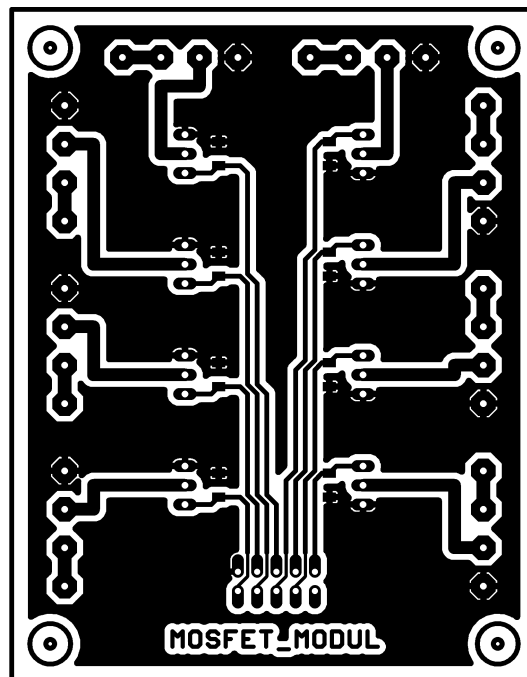
**PŘÍLOHA P XXIV: FOTO D/A MODULU**



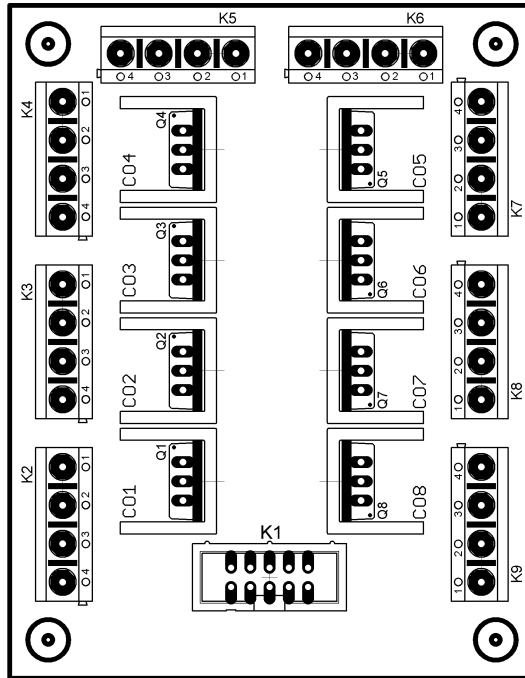
# PŘÍLOHA P XXV: SCHÉMA MOSFET MODULU



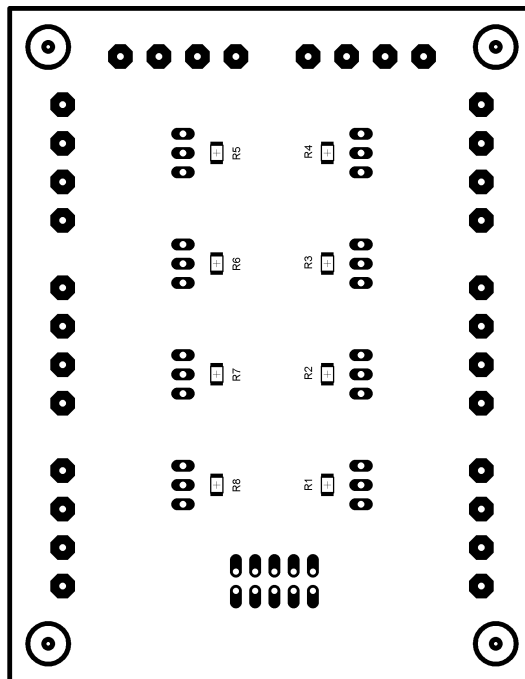
**PŘÍLOHA P XXVI: DPS MOSFET MODULU**



# PŘÍLOHA P XXVII: OSAZENÍ MOSFET MODULU

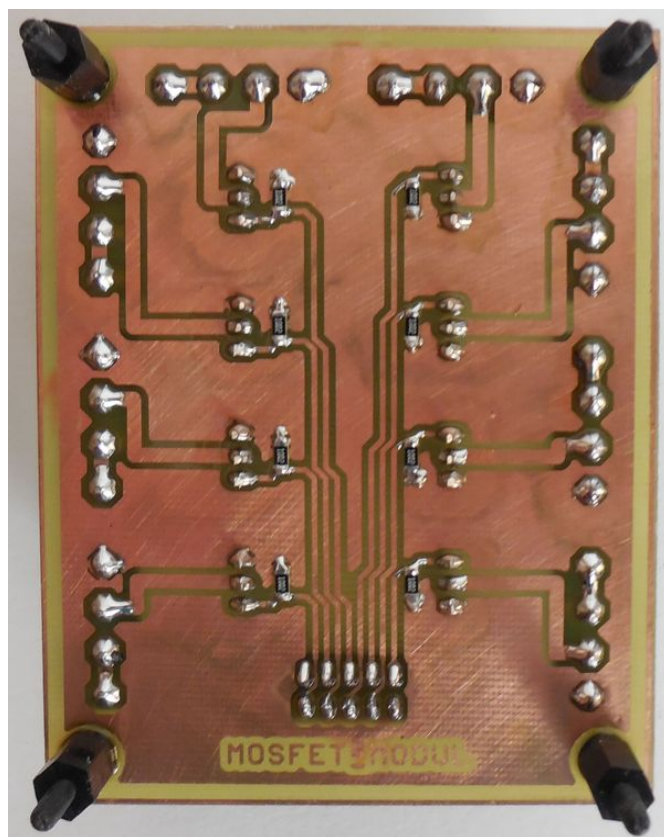
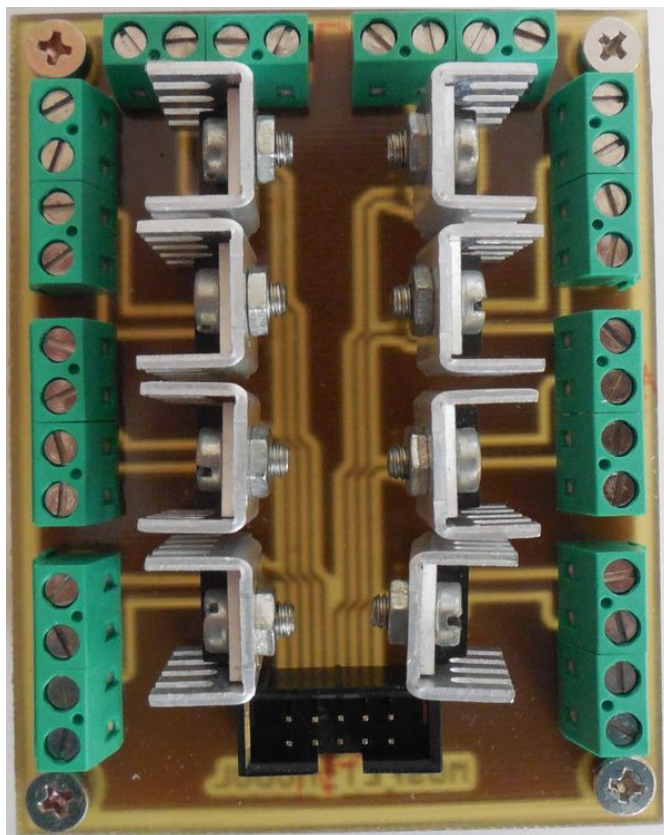


*top*

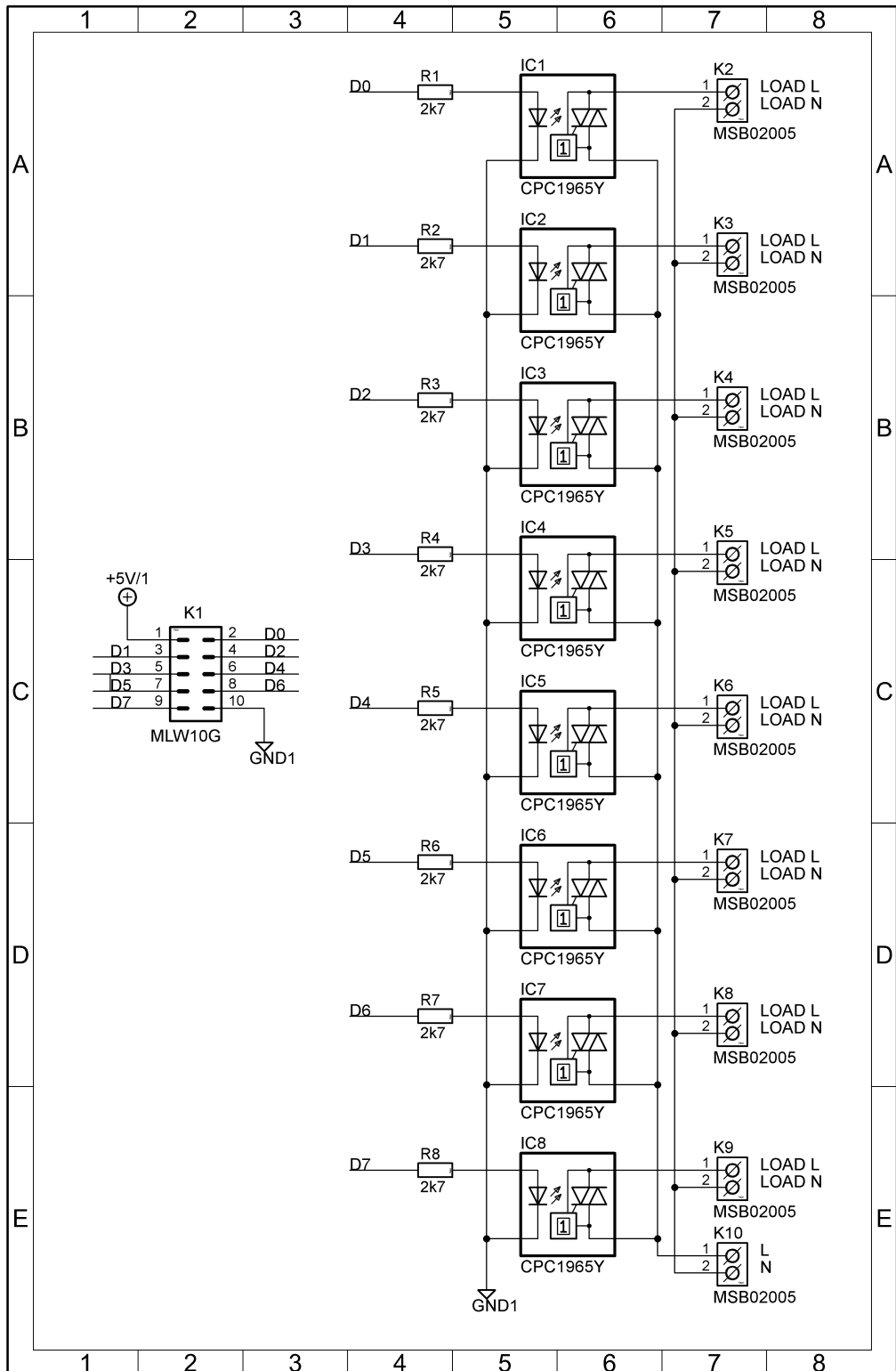


*bottom*

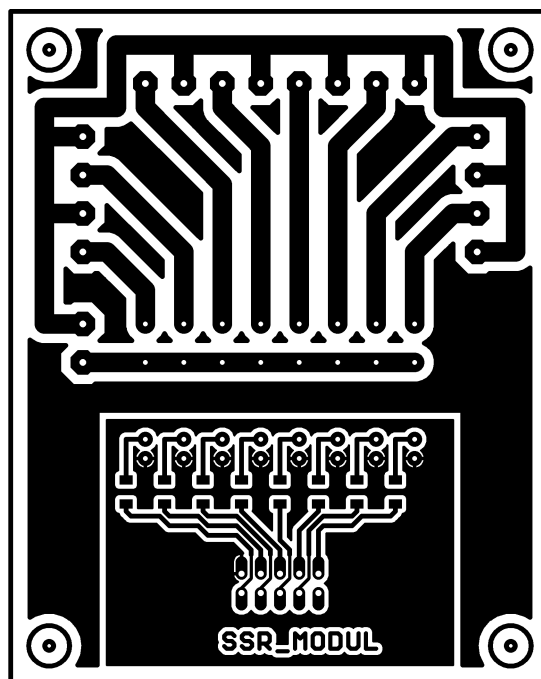
## PŘÍLOHA P XXVIII: FOTO MOSFET MODULU



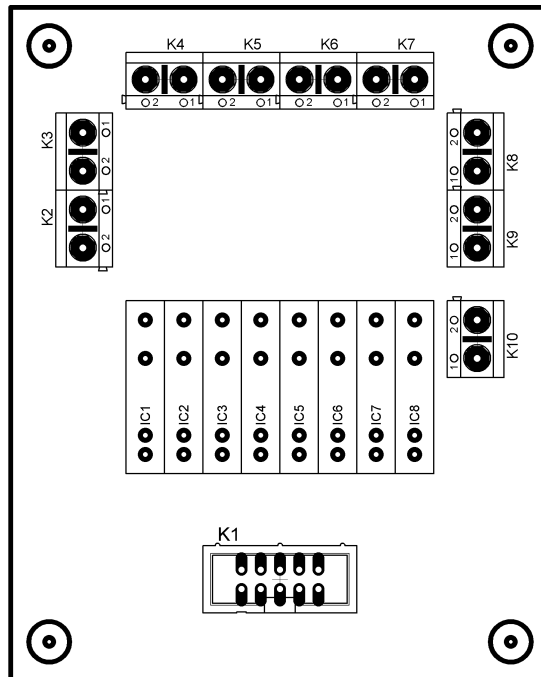
# PŘÍLOHA P XXIX: SCHÉMA SSR MODULU



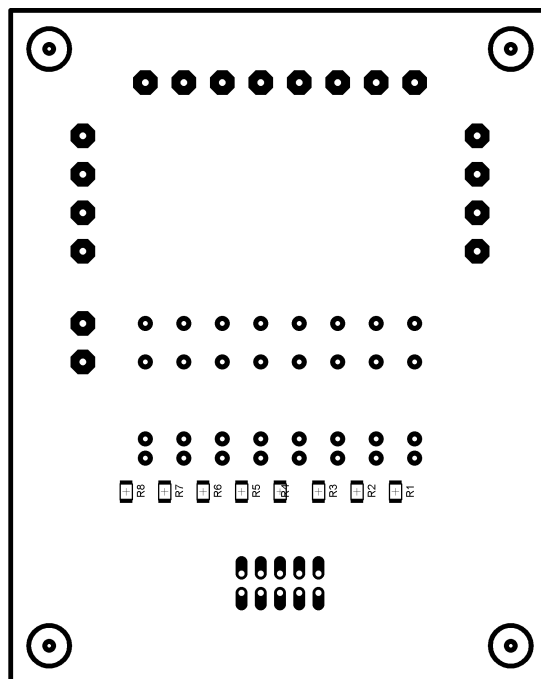
## PŘÍLOHA P XXX: DPS SSR MODULU



# PŘÍLOHA P XXXI: OSAZENÍ SSR MODULU

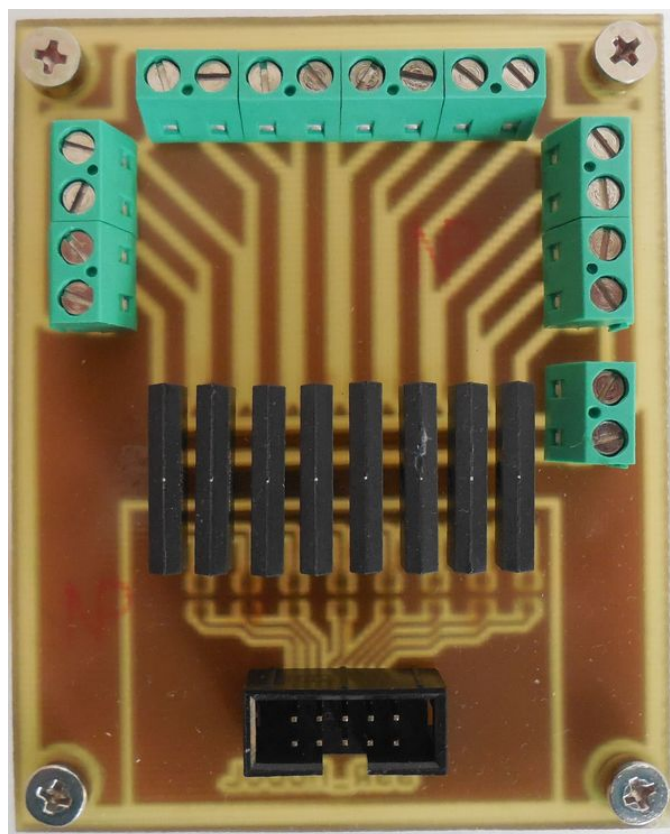
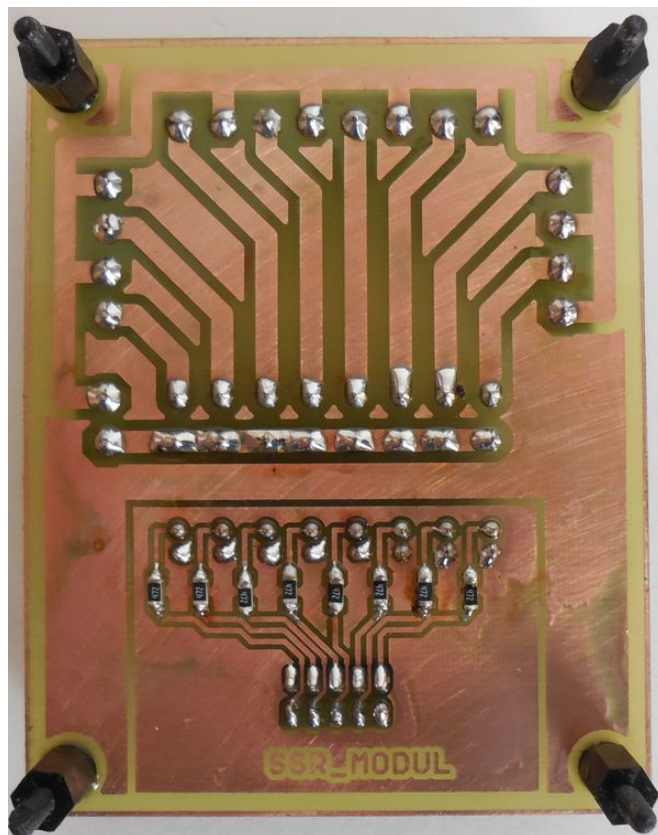


*top*

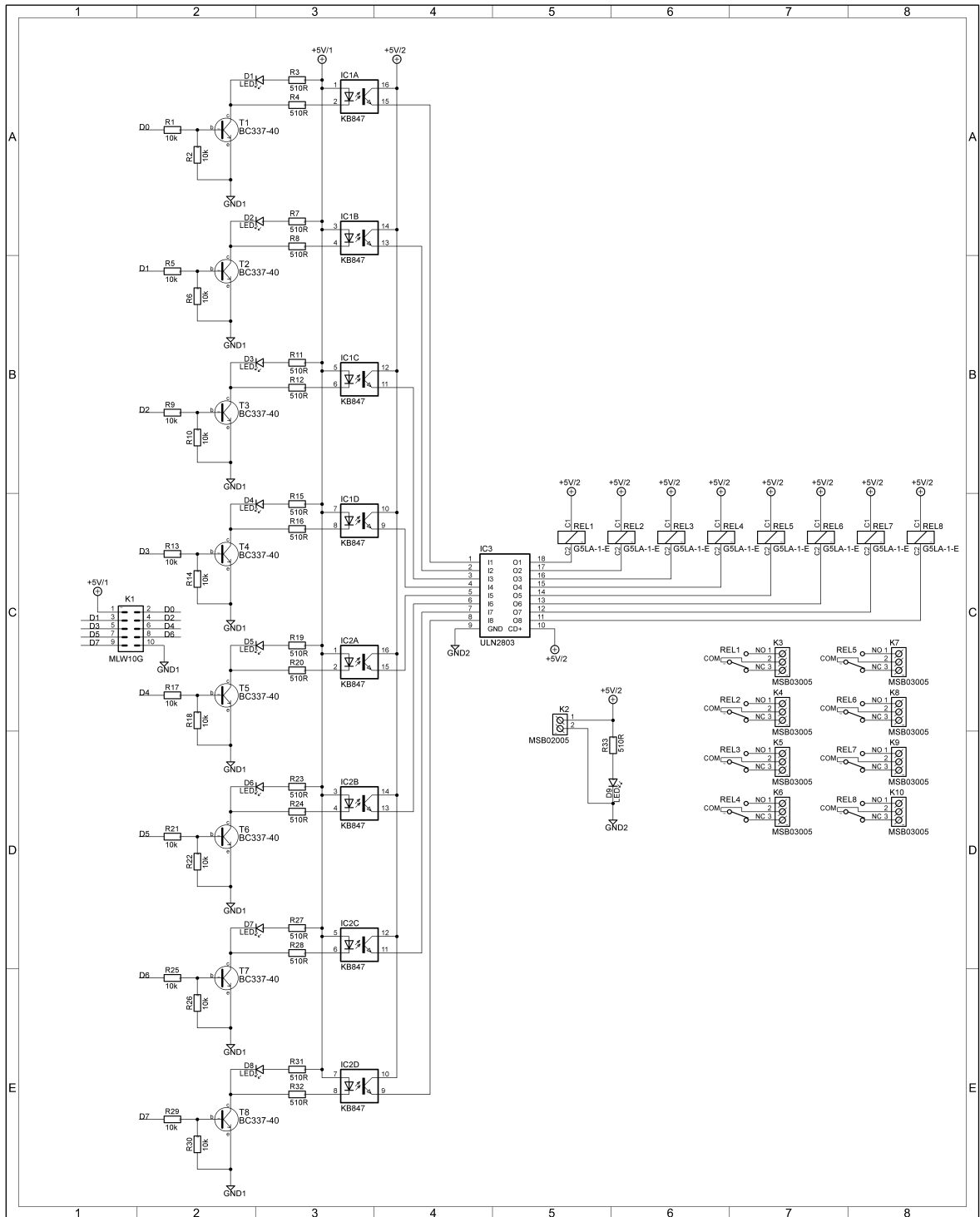


*bottom*

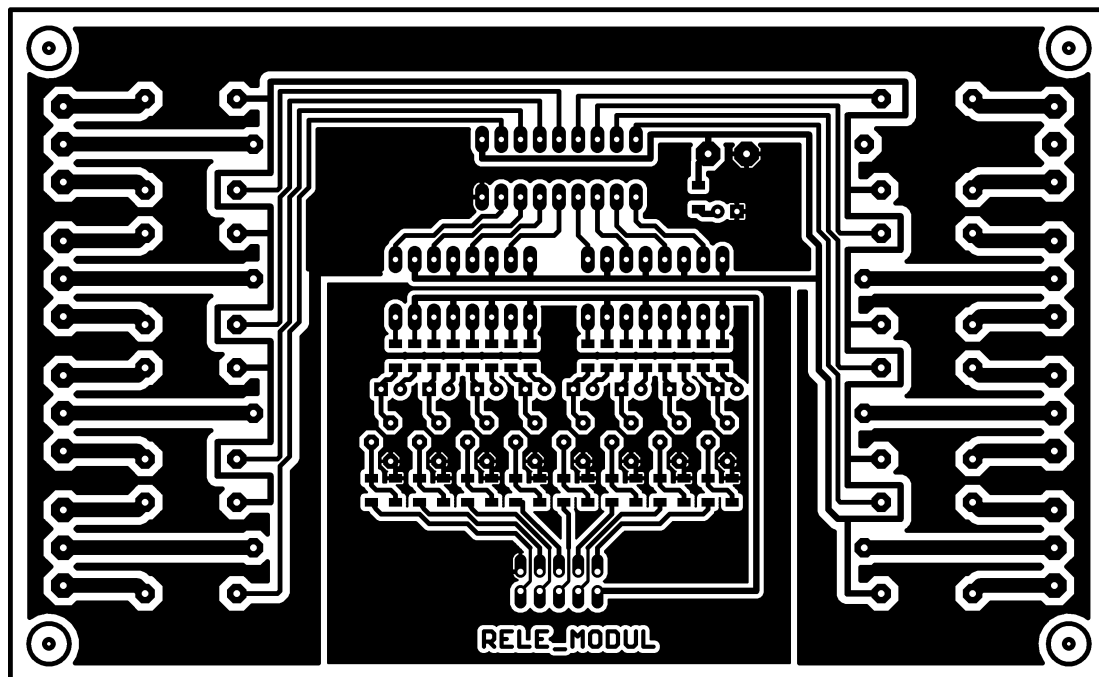
## PŘÍLOHA P XXXII: FOTO SSR MODULU



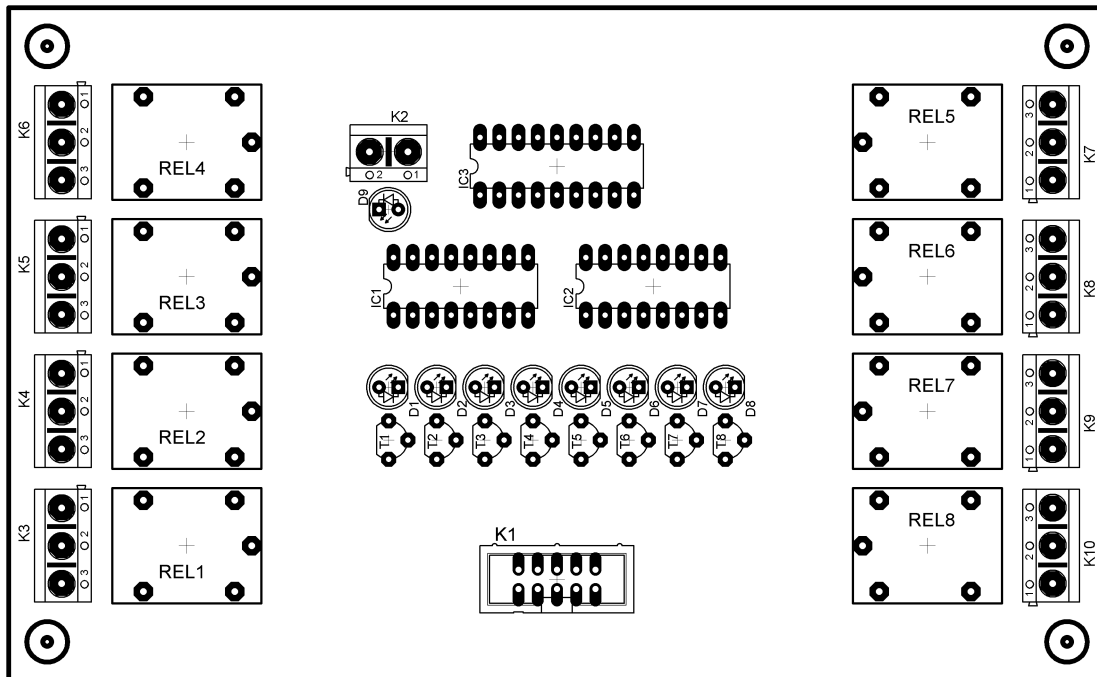
# PŘÍLOHA P XXXIII: SCHÉMA RELE MODULU



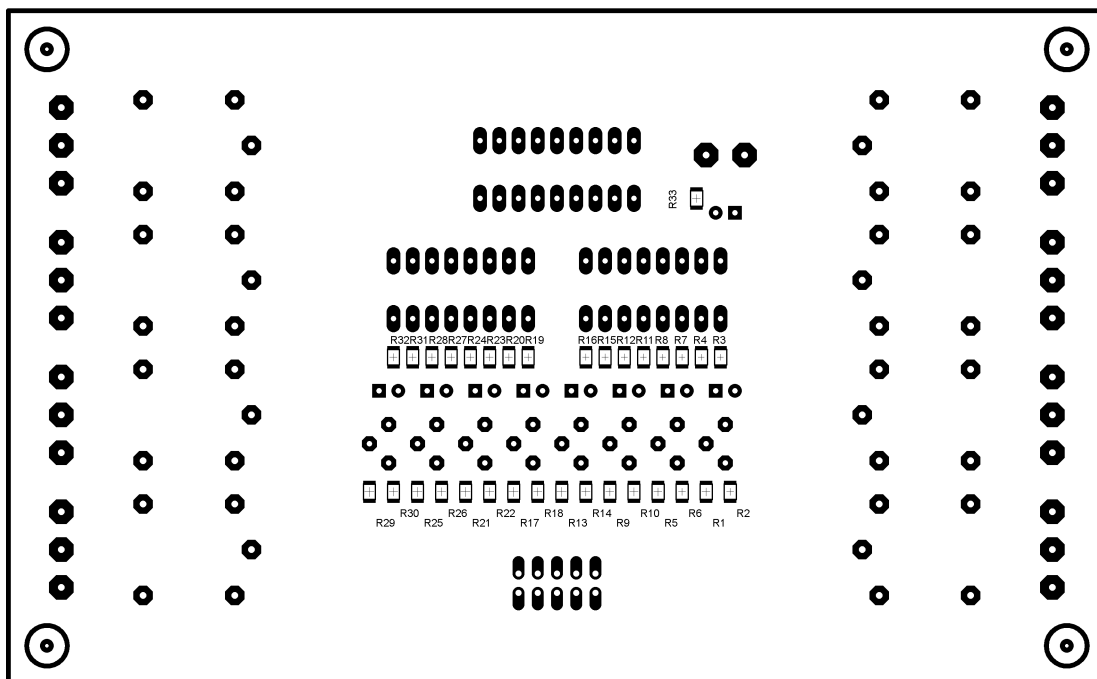
PŘÍLOHA P XXXIV: DPS RELE MODULU



# PŘÍLOHA P XXXV: OSAZENÍ RELE MODULU

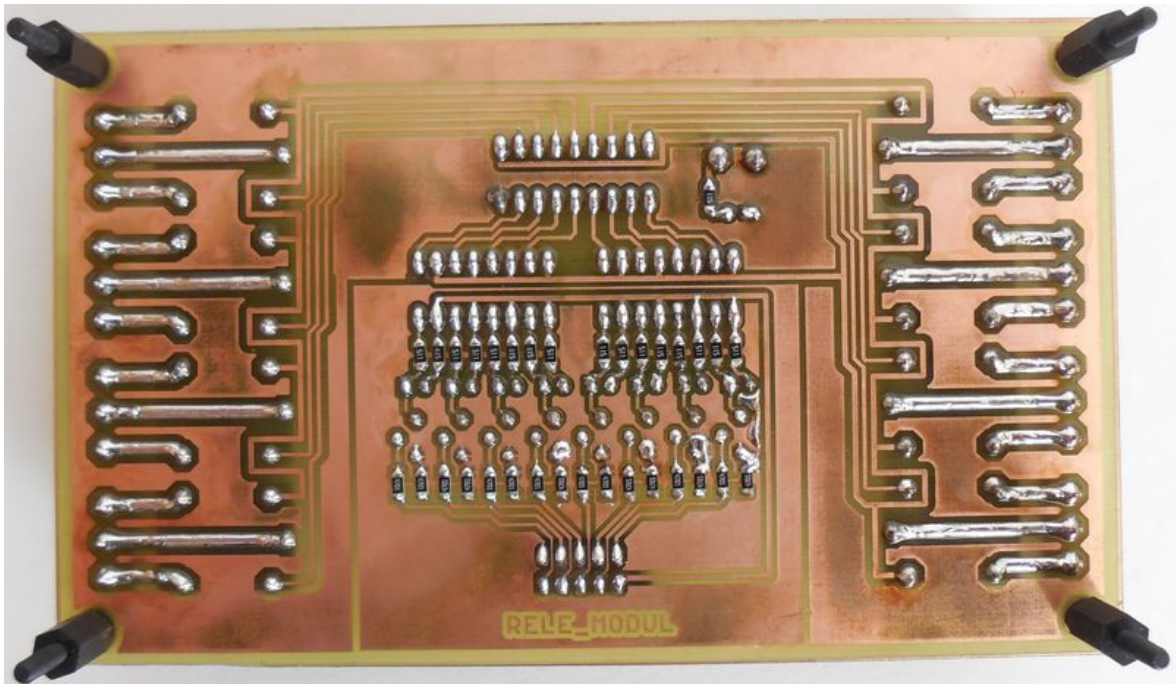
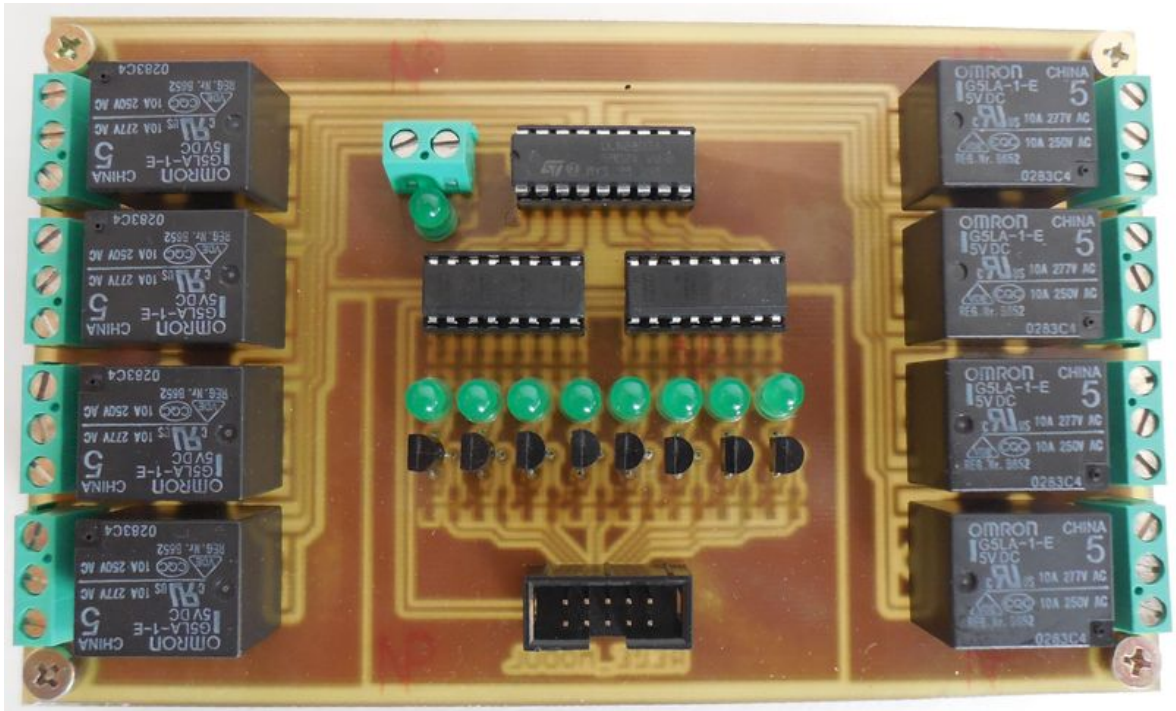


*top*

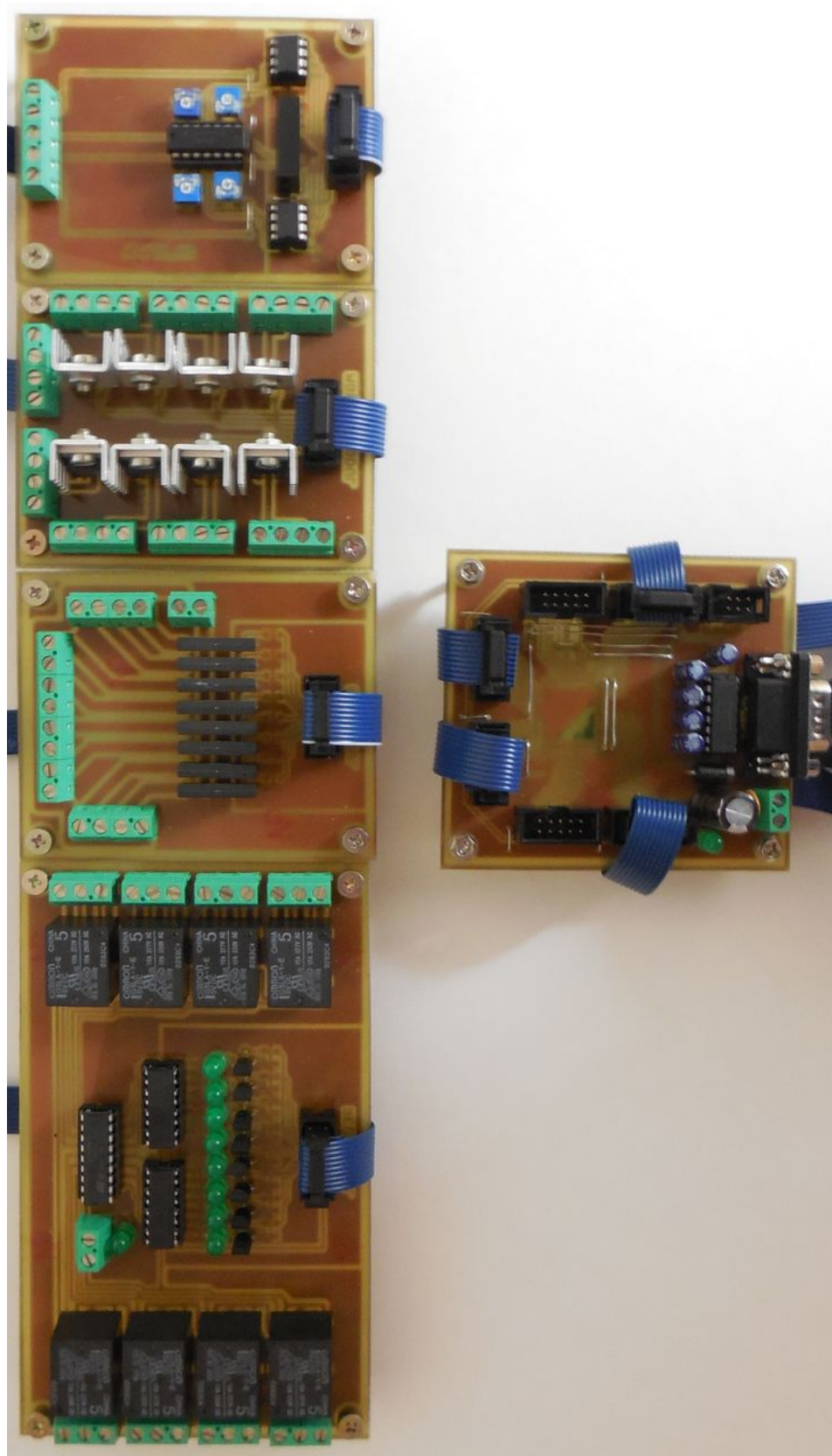


*bottom*

## PŘÍLOHA PXXXVI: FOTO RELE MODULU



## PŘÍLOHA PXXXVII: FOTO VÝKONOVÉ JEDNOTKY



## PŘÍLOHA PXXXVIII: CELKOVÉ PROPOJENÍ SYSTÉMU

