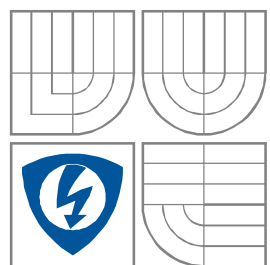


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

Regulátor pH pro akvárium

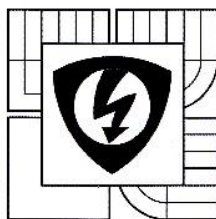
Regulator pH for aquarium

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Jan Dvořák
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO, 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jan Dvořák

Ročník: 3

ID: 133242

Akademický rok: 2012/13

NÁZEV TÉMATU:

Regulátor PH pro akvárium

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Provedte rozbor řešení elektronické jednotky pro regulaci PH vody v akváriu. Uvažujte systém s vhodným uživatelským rozhraním (klávesnice, displej s údajem aktuálního PH, požadovaného PH a na základě zadání uhličitánové tvrdosti vody vypočtenou hodnotu koncentrace kyslíku na 1 l). Výstupem řídicí jednotky bude relé spínající elektromagnetický ventil tlakové lahve. Na základě rozboru proveďte návrh elektronických obvodů jednotky včetně návrhu mechanického řešení a desek plošných spojů. Navrženou regulační jednotku realizujte a sestavte firmware pro řídicí mikroprocesor. Otestujte funkčnost regulátoru. Provedte soubor testovacích měření a vyhodnoťte parametry zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ŠEDA, M., ŠVARC, I., VÍTEČKOVÁ, M. Automatické řízení. 1. vydání. Praha: CERM, 2007.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na realizaci systému regulujícího hodnotu pH akvariijní vody dle zadaných parametrů. První a druhá kapitola obsahuje základní požadavky a možnosti řízení pH v akvariijní vodě. Jsou zde popsány hlavní metody měření pH, včetně řízení a regulace. Třetí kapitola bakalářské práce se zabývá návrhem systému pH regulátoru. Praktické řešení a programové vybavení bakalářské práce se nachází ve čtvrté a páté kapitole. V těchto kapitolách jsou popsány detaily hlavních bloků systému regulátoru – zesilovač, galvanické oddělení a výstupní výkonový stupeň. Výsledky testování a měření navržených systémů jsou prezentovány v poslední části této bakalářské práce.

KLÍČOVÁ SLOVA

akvárium, pH, měření pH, regulace, ATmega

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the system which is designed as a pH regulator for aquarium water. The first and second chapter are aims to the basic requirements and possibilities on controlling of the potential of hydrogen in water. Main methods of the pH measuring, its controlling and regulation are included. The third chapter presents a design of the pH regulator system. The practical and software solution of this project is presented in the fourth and fifth chapter. There are described in detail the main blocks of the pH regulator - amplifier, galvanic isolator and output power stage. The results of the testing and measuring of the designed subsystems are introduced in the last part of the work.

KEYWORDS

aquarium, pH, measuring pH, regulation, ATmega

DVOŘÁK, J. *Regulátor pH pro akvárium*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2013. 44 s., 16 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Regulátor pH pro akvárium jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Úvod	1
1 Teoretický úvod	2
1.1 Řízení v akvaristice	2
1.2 Požadavky pro měření	4
1.3 pH obecně	5
1.4 Metody měření pH	6
1.4.1 Acidobazické indikátory	6
1.4.2 Potenciometrické měření	7
1.5 Řízení a regulace	10
1.5.1 Řízení	10
1.5.2 Regulace	10
2 Návrh řešení regulátoru	12
2.1 Koncept regulátoru	12
3 Praktické řešení regulátoru	13
3.1 Zesilovač	13
3.1.1 Návrh zapojení zesilovače	13
3.1.2 Napájení	15
3.2 Galvanické oddělení	16
3.2.1 Návrh zapojení galvanického oddělení	16
3.3 Výstupní výkonový stupeň	18
3.3.1 Návrh zapojení výkonového stupně	18
3.4 Řídící část	19
3.4.1 Realizace řídicí části	20
4 Programové vybavení	22
4.1 Vývojové prostředí	22

4.1.1	Programování v jazyce symbolických adres.....	22
4.1.2	Programování v jazyku C	22
4.1.3	Vývojový kit s mikrokontrolérem.....	23
4.2	Návrh funkcí programu s ohledem na požadavky regulace a uživatelské rozhraní.....	24
4.3	Funkce programu.....	25
4.3.1	Přepočet pH na koncentraci CO ₂	25
4.3.2	Kalibrace.....	25
4.3.3	Průměrování měření.....	26
4.3.4	Regulace.....	26
4.3.5	Měření frekvence, běh programu.....	27
4.3.6	Regulace, běh programu	28
4.3.7	Kalibrace, běh programu.....	29
5	Realizace a výsledky praktického řešení	30
5.1	Zesilovač.....	30
5.1.1	Přípravek pro simulaci pH sondy.....	31
5.1.2	Uvedení do provozu.....	31
5.1.3	Výsledky měření	32
5.2	Galvanické oddělení	33
5.2.1	Výsledky měření	34
5.3	Základová deska pH regulátoru.....	35
5.4	Kompletace pH regulátoru	36
5.4.1	Oživení.....	37
5.4.2	Výsledky měření	38
6	Závěr	41
	Literatura	42
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	44
	Seznam příloh	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Koncentrace iontů v závislosti na pH.....	5
Obr. 1.2: pH stupnice lakmusového indikátoru	6
Obr. 1.3: Potenciometrická metoda měření pH	7
Obr. 1.4: Závislost měřeného napětí na pH	8
Obr. 1.5: Nastavení nulového bodu	8
Obr. 1.6: Strmost směrnice	9
Obr. 1.7: Kombinovaná elektroda.....	10
Obr. 2.1: Blokové schéma pH regulátoru	12
Obr. 3.1: Schéma zapojení zesilovače	14
Obr. 3.2: Vnitřní struktura DC/DC měniče ICL7660S [13]	15
Obr. 3.3: Napájecí část pro pH zesilovač.....	15
Obr. 3.4: Principiální zapojení U/f převodníku [11], [12].....	17
Obr. 3.5: Schéma zapojení U/f převodníku	17
Obr. 3.6: Schéma zapojení výstupní výkonové části	18
Obr. 3.7: Simulace výstupní výkonové části	19
Obr. 3.8: Schéma zapojení RTC	21
Obr. 4.1: Vývojový kit EvB 4.3	23
Obr. 4.2: Struktura uživatelského rozhraní	24
Obr. 4.3: Vývojový diagram běhu programu.....	27
Obr. 4.4: Vývojový diagram výkonu regulace	28
Obr. 4.5: Vývojový diagram obsluhy kalibrace.....	29
Obr. 5.1: Modul zesilovače, pohled z horní strany	30
Obr. 5.2: Modul zesilovače, pohled ze spodní strany	30
Obr. 5.3: Schéma zapojení odporového děliče simulující pH sondu (PSpice)	31
Obr. 5.4: Graf závislosti převodní charakteristiky zesilovače	32
Obr. 5.5: Modul galvanického oddělení, pohled z horní strany	33
Obr. 5.6: Modul galvanického oddělení, pohled ze spodní strany	33
Obr. 5.7: Graf naměřených hodnot převodní charakteristiky	34
Obr. 5.8: Návrh základové desky.....	35
Obr. 5.9: pH regulátor - spodní pohled.....	36
Obr. 5.10: Základová deska s moduly	36
Obr. 5.11: pH regulátor, zobrazení kalibrace.....	37
Obr. 5.12: pH regulátor, zobrazení regulace.....	37
Obr. 5.13: Graf závislosti pH na napětí ze sondy, regulační zásah (pH 10,4 -> 3,6)	38
Obr. 5.14: Graf závislosti pH na napětí ze sondy, regulační zásah (pH 3,6 -> 10,4)	39
Obr. 5.15: Graf závislosti zásahu regulace na pH a CO ₂	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Tillmanova tabulka, množství CO ₂ v závislosti na UT a pH [2].....	4
Tab. 1.2: Teplotní závislost strmosti směrnice [4].....	9
Tab. 3.1: Popis vývodů LCD displeje [16]	20
Tab. 5.1: Tabulka změřených hodnot závislosti převodní charakteristiky zesilovače....	32
Tab. 5.2: Tabulka změřených hodnot převodní charakteristiky galvanického oddělení	34
Tab. 5.3: Tabulka změřených hodnot pH regulátorem v závislosti na napětí pH sondy (pH 10,4 -> 3,6)	38
Tab. 5.4: Tabulka změřených hodnot pH regulátorem v závislosti na napětí pH sondy (pH 3,6 -> 10,4)	39

ÚVOD

K rostlinnému akváriu (dále jen akvárium), jež se dá přirovnat k vlastnímu ekosystému, ve kterém platí základní přírodní principy, je třeba vhodný přístup a sofistikovanost. Na rozdíl od přírody, která své ekologické rovnováhy, prosperitě, dosáhla vhodnými podmínkami a přizpůsobením se, v akváriu je třeba k dosažení této rovnováhy pomoci, nebo tuto rovnováhu udržovat uměle. Vzhledem k tomu, že dosažení výsledku samostatnosti akvária spolu s přirozeným koloběhem je téměř nemožné, byly vymyšleny různé metody, pro alespoň zdárné udržení vitality akvária uměle.

Základní modelem pro úspěch a zdárný růst rostlin, je dostatečná biologická filtrace, která má za úkol odbourávat škodlivé dusíkaté látky, které vznikají rozpadem odumřelých organických látek. Dále je nutné zajistit co možná největší pohyb vody v této nádrži, což je též velmi důležitým faktorem. Dalším neméně důležitým požadavkem je správný poměr mezi světlem, živinami a CO_2 .

Cílem této bakalářské práce je popsat, navrhnout a sestavit regulátor pH akvarijní vody, který je žádaný všemi akvaristy, kteří se věnují rostlinným akváriím. U těchto akvárií je třeba dosáhnout uživatelem nastavené hodnoty a stabilní koncentraci CO_2 ve vodě. Práce se tedy zabývá sestavením regulátoru veličiny pH, který bude po zadání parametrů vody a požadované koncentrace CO_2 tuto hodnotu kontinuálně udržovat.

Práce se snaží poskytnout čtenáři základní informace o problematice měření a regulované veličiny *pH*. Součástí jsou popsání metody jejího měření a stručný úvod do problematiky řízení a regulace.

Obsahem této bakalářské práce je podrobný rozbor řešení všech nutných částí regulátoru s ohledem na teoretický úvod. Po rozboru řešení je věnován zřetel na popis obslužného firmware, technickou realizaci dílčích komponent a jejich funkci. Závěrem práce bude čtenář seznámen s výsledky měření.

Při postupu vypracování této bakalářské práce byl brán důraz na ucelenost, systematickosti a výstižnost.

1 TEORETICKÝ ÚVOD

1.1 Řízení v akvaristice

Spínací hodiny

K regulaci akvariijní techniky je většinou možné použít jednoduchých zásuvkových spínacích hodin, které svou funkci plní poměrně spolehlivě. Dá se jich užít snad ve všech případech nespojité regulace většiny periférií, jako například zářivkového tak i v dnešní době účinnějšího - LED osvětlení, CO₂, hnojení i topení. Ovšem pokud je tímto způsobem regulováno více zařízení, vnáší se do řízení nepřehlednost.

PLC systémy

Na trochu vyšší úrovni je možné využití některé z PLC řídicích jednotek, které jsou primárně určené na montážní lištu DIN do rozváděčů.

Řada těchto programovatelných PLC jednotek je možné programovat pomocí logických bloků, nabízí uživateli nespočet funkcí, nastavení různých spojitostí a podmínek. Levnější varianty jsou vybavené digitálními vstupy i výstupy, dražší varianty disponují z části i vstupy analogovými. To přináší možnost užití A/D a D/A převodů, které se dají lehce využít. Díky zmíněným A/D převodům mohou být užity například k měření teploty a následnému zpracování. Zástupci z nejdostupnějších PLC řídicích jednotek pro běžného, ačkoliv elektriky znalého uživatele může být například Siemens LOGO!, či Zelio, které mohou být programované pomocí integrovaného programovacího rozhraní, či přes sériové rozhraní USB počítače v prostředí Windows. Tyto jednotky podporují řadu modulového rozšíření, proto se stávají velmi univerzálními.

Tento komfort se ovšem výrazně projevuje na pořizovací ceně.

Řízení mikrokontrolérem

Další možností je využití mikrokontrolérů, v dnešní době velmi rozšířených. Díky jejich dostupnosti a nízké ceně, jsou výborný prostředek pro řízení běhu akvária. Pouzdro obsahující mikrokontrolér obsahuje řídicí jednotku spolu s množstvím základních periférií, a tvoří tak kvalitní základ pro tvorbu uživatele.

Hlavní funkce mikrokontroléru záleží na hardwaru, který uživatel vyrobí dle svých představ o funkci tohoto celku.

Z tohoto je vyplývající, že užití mikrokontroléru je velmi rozsáhlé, avšak náročné po stránce technické i časové. Toto je možno sledovat jako nevýhodu, kdy je použitelnost tohoto zařízení omezena pouze technicky na znalé osoby s dobrou programátorskou praxí.

Řízení desktopovým počítačem

Další možností automatizace v akvaristice je užití klasického desktopového počítače. Tento koncept řízení s sebou přináší spíše negativa. Vyšší pořizovací cena, větší spotřeba elektrické energie, která pro tento účel není zanedbatelná. Dále to je vyšší hluknost a prostornost.

Rozhraní pro komunikaci s počítačem tvoří převodník s mikroprocesorem, který je možno zakoupit jako konkrétní měřicí kartu, nebo jej sestavit.

Pokud jsou předchozí požadavky akceptovány a splněny, je možné v počítači napsat pěkný a přehledný program, který bude pracovat s velkou spolehlivostí.

Programování tohoto konceptu se dá realizovat za pomoci některého z programovacích jazyků, kterých je celá řada. Nabízí se, jak textové, tak grafické, jako například hojně užívaný LabView. U varianty programování v grafickém prostředí je velkou výhodou přehlednost programu, jednodušší optimalizace a možnost jednodušších dodatečných úprav.

Z uvedeného přehledu je patrné, že existuje mnoho možností, jak tuto automatizaci v akvaristice realizovat. Zde záleží už jen na chovateli, co od této disciplíny v chovatelství očekává, jak je moc ochotný zajít do detailů a v neposlední řadě, jaké má finanční možnosti.

Každý z těchto chovatelů má možnost vybrat si mezi komfortem automatizace, kde tomu je tak například při volbě mikroprocesoru, přes PLC systémy, až po desktopové počítače, které disponují možností regulace spojité veličiny, nebo levnější variantě v podobě jednodušších reléových systémů či spínacích hodin, kde si chovatel musí vystačit pouze s regulací nespojitou. [1]

1.2 Požadavky pro měření

Jak již bylo jednou zmíněno, v rostlinné akvaristice je důležité, mimo jiné faktory, dosažení optimální hodnoty CO_2 . A to z toho důvodu, že rostliny při svém růstu potřebují uhlík, který je právě v CO_2 obsažený. Tato potřebná koncentrace se udává v jednotkách mg/l. Jelikož není jednoduše možné měřit hodnotu koncentrace CO_2 přímo, je proto nutné zvolit jinou metodu tohoto měření.

Pokud předem známe uhličitánovou tvrdost vody UT, kterou je možné zjistit od dodavatele vody, případně některým z kapkových testů, nabízí se nám možnost využít Tillmanovy tabulky [2] (viz tab. 1.1). Tato tabulka udává přepočty mezi koncentrací CO_2 v mg/l a pH, v závislosti na uhličitánové tvrdosti CO_2 .

Se znalostí tohoto poznatku nám stačí pro přepočet hodnota pH vody.

Tab. 1.1: Tillmanova tabulka, množství CO_2 v závislosti na UT a pH [2]

dKH\pH	6	6,2	6,4	6,6	6,8	7	7,2	7,4	7,6	7,8	8
0,5	15	9,3	5,9	3,7	2,4	1,5	0,93	0,59	0,37	0,24	0,15
1	30	18,6	11,8	7,4	4,7	3	1,86	1,18	0,74	0,47	0,3
1,5	44	28	17,6	11,1	7	4,4	2,8	1,76	1,11	0,7	0,44
2	59	37	24	14,8	9,4	5,9	3,7	2,4	1,48	0,94	0,59
2,5	73	46	30	18,5	11,8	7,3	4,6	3	1,85	1,18	0,73
3	87	56	35	22	14	8,7	5,6	3,5	2,2	1,4	0,87
3,5	103	65	41	26	16,4	10,3	6,5	4,1	2,6	1,64	1,03
4	133	84	53	33	21	13	8,9	5,7	3	1,9	1,2
5	147	93	59	37	23	14,7	9,3	5,9	3,7	2,3	1,47
6	177	112	71	45	28	17,7	11,2	7,1	4,5	2,8	1,77
8	250	149	94	59	37	24	14,9	9,4	5,9	3,7	2,4
10	321	203	128	81	51	32	20	13	10	6	4
15	440	280	176	111	70	44	28	17,6	11,1	7	4,4
20	590	370	240	148	94	59	37	24	14,8	9,4	5,9

1.3 pH obecně

Vodíkový exponent (Potential of hydrogen), neboli pH, vyjadřuje číslo, které udává, zda má kapalina charakter kyselosti, či naopak zásady.

Celý rozsah pH ve vodních roztocích tvoří stupnice hodnot od 0 po 14, kdy hodnoty pH 0 až 7 se nazývají kyselé a pH 7 až 14 se nazývají zásadité.

Definice: Hodnota pH je definována jako záporně vzatý dekadický logaritmus aktivity oxoniových kationtů.

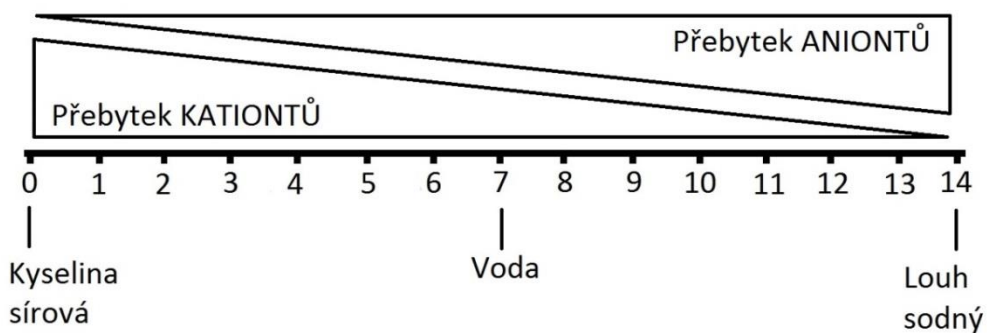
Obecně platí rovnice (2.1) [4]

$$pH = -\log(a_{H^+}) \quad (2.1)$$

kde a_{H^+} značí aktivitu iontu H_3O^+ (kationtu).

Ve vodném roztoku je vždy kromě molekul H_2O také určité množství oxoniových kationtů H_3O^+ (dále jen kationtů) a hydroxylových aniontů OH^- (dále jen aniontů). Součin koncentrací obou těchto iontů ve vodných roztocích je vždy konstantní, označovaný jako iontový součin a nabývá hodnot 10^{-14} . Z tohoto tvrzení se dá vyvodit, že neutrální roztok má hodnotu $pH = 7$, jelikož látková koncentrace obou iontů je stejná, tj. 10^{-7} [3].

Kyselost roztoku tedy vzniká větším podílem kationtů, než aniontů. V opačném případě vzniká zásaditý charakter roztoku, jak je vidět na obr. 1.1.



Obr. 1.1: Koncentrace iontů v závislosti na pH

1.4 Metody měření pH

Existují dvě nejpoužívanější metody, kterými se měří pH. Způsob tohoto měření volíme podle požadované přesnosti a způsobu měření. Pro dosažení orientační hodnoty spolu s nižší přesností se nám nabízí acidobazické indikátory či indikátorové papírky. Pro dosažení přesnějšího měření volíme z instrumentálních metod měření.

1.4.1 Acidobazické indikátory

Jedná se o nejpoužívanější a nejlevnější metodu stanovení pH. Pro její nižší přesnost je využívána pro stanovení orientační hodnoty pH roztoků. Měření je založeno na zbarvení určité chemické látky (indikátoru) po přidání do testovaného roztoku. Samotná identifikace měřené hodnoty je závislá na pozorovateli, který porovnává zbarvený roztok s barevnou, ocejchovanou předlohou.

Měřicí látky (reakční roztoky) mají schopnost měnit vnitřní uspořádání vazeb v molekule v závislosti na pH prostředí. Tato změna uspořádání se projevuje změnou barvy reakčního roztoku.

Při promíchání definovaného objemu měřeného vzorku s přidanou reakční kapalinou, dochází k neutralizaci (stav, kdy nastane rovnováha kyseliny a hydroxidu) tohoto vzorku. Současně s tímto chemickým dějem, až do neutralizovaného stavu kapaliny, dochází ke zbarvení reakčního roztoku, které poté odpovídá konkrétní hodnotě pH.

Nejčastější reakční látkou je lakmus, který při přechodu z kyselého prostředí do zásaditého, doprovází změnou barvy od červené formy po modrou.

Měření může též probíhat indikačním proužkem, který je napuštěný reakční látkou. Při ponoření proužku do testovaného vzorku kapaliny dojde k jeho zbarvení, odpovídající pH, viz obr. 1.2 [5].



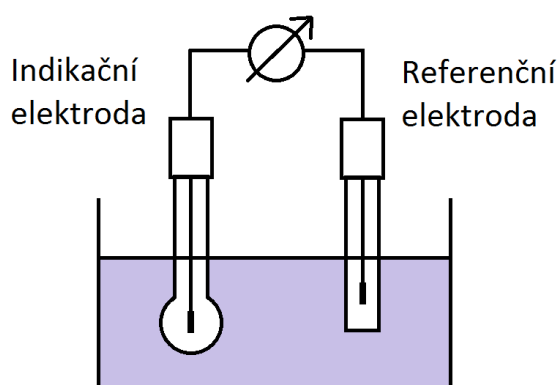
Obr. 1.2: pH stupnice lakmusového indikátoru

1.4.2 Potenciometrické měření

Jedná se o instrumentální metodu měření pH kapalin. Potenciometrické měření hodnot pH je založeno na vzniku a následném měření elektromotorického napětí galvanického článku. Tento galvanický článek je tvořený dvěma půl-čláčky, dvěma elektrodami.

První elektroda je měrná (dále jen indikační), jejíž potenciál je závislý na koncentraci vodíkových iontů H^+ (kationtů) v měřené kapalině. Druhá elektroda je srovnávací (dále jen referenční), se známým konstantním elektrodovým potenciálem, též ponořená do neznámého roztoku.

Podstatou této metody je měření elektrického potenciálu mezi indikační a referenční elektrodou (viz obr. 1.3). [3], [4]



Obr. 1.3: Potenciometrická metoda měření pH

Tento elektrický potenciál vznikne, vložíme-li indikační elektrodu do testované, jiné než neutrální kapaliny (tzn. $pH \neq 7$).

Začne vznikat rovnováha mezi kationty testované kapaliny a povrchu skleněné baňky a tím se změní její potenciál. Výsledné pH se měří vůči referenční elektrodě, kde je potenciál konstantní. Platí zde tedy vztah (2.2) [3]

$$\Delta E = E_{indik} - E_{ref}, \quad (2.2)$$

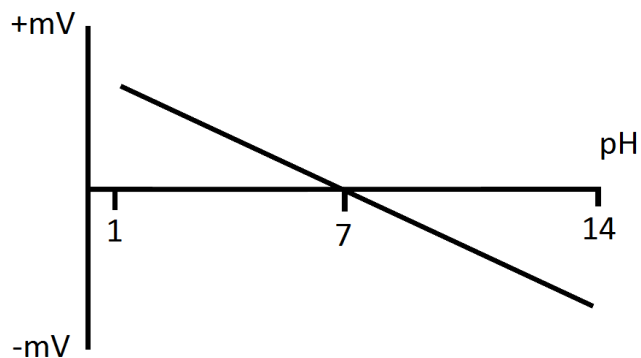
kde ΔE je rozdíl potenciálů (měřené elektrické napětí), E_{indik} potenciál indikační elektrody a E_{ref} potenciál referenční elektrody.

Tento potenciál je lineární funkcí koncentrace kationtu v měřeném roztoku. Platí zde Nerstnova rovnice (2.3) [4] pro pH elektrody

$$E = E_0 + 2,303 \frac{RT}{F} \times \log(a_{H^+}), \quad (2.3)$$

kde E je měřený potenciál; E_0 standardní potenciál; R univerzální plynová konstanta; T absolutní teplota; F Faradayova konstanta; $2,3RT/F$ Nerstův potenciál (směrnice); a_{H^+} kationtová aktivita měřeného roztoku.

Z rovnice plyne, že změna pH o jednu jednotku, vyvolá rozdíl potenciálů o 59 mV při 25 °C. Po odečtení indikovaného potenciálu a referenčního dostáváme při hodnotě $pH = 7$ napětí $U = 0$ V (viz obr. 1.4).

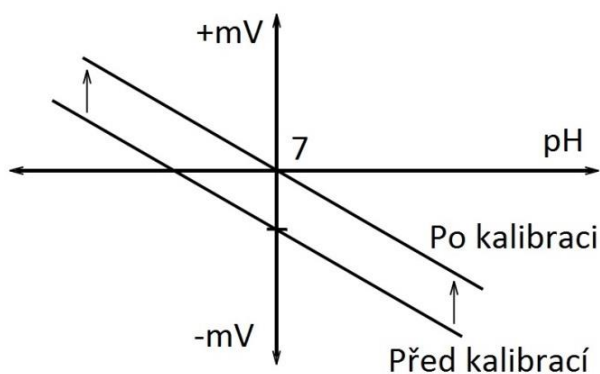


Obr. 1.4: Závislost měřeného napětí na pH

Před samotným měřením musíme provést kalibraci elektrody. V závislosti na konkrétních podmínkách použití je vhodné kalibraci pravidelně opakovat. Kalibraci je možné provádět hardwarově, nebo softwarově, uložením výchozích podmínek do softwaru pH metru. Kalibraci provádíme minimálně v jednom bodě, dvou bodech, případně třech bodech. Nejčastější kalibrace, dostatečná pro většinu běžných měření, se provádí ve dvou bodech, za pomoci pufrů, jež jsou porovnávací roztoky o přesné hodnotě pH . [4]

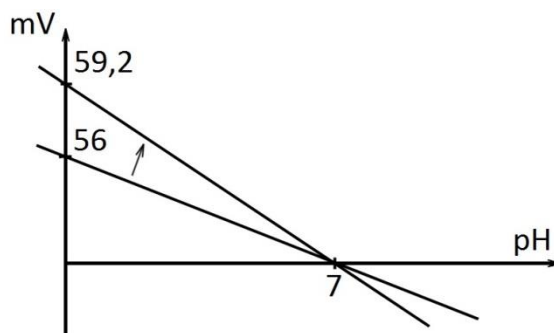
Tímto určujeme dva hlavní faktory, které nám slouží k popsání sondy:

- I. Asymetrický potenciál, kdy se křivka po kalibraci posune paralelně k $pH = 7$, tj. nastavení nulového bodu (ofsetu), viz obr. 1.5



Obr. 1.5: Nastavení nulového bodu

- II. Strmost směrnice, elektronické pootočení do $pH = 7$ při 59,16 mV (viz obr. 1.6)



Obr. 1.6: Strmost směrnice

Elektrody jsou závislé na teplotě, jak napovídá vztah (2.3). Proto je třeba v některých aplikacích, zejména při použití ve větším teplotním rozsahu, tuto závislost potlačovat vhodnou kompenzací. Jak je vidět na obr. 1.6, teplotní závislost nám mění strmost směrnice. Konkrétní strmosti nám udává tab. 1.2.

Tab. 1.2: Teplotní závislost strmosti směrnice [4]

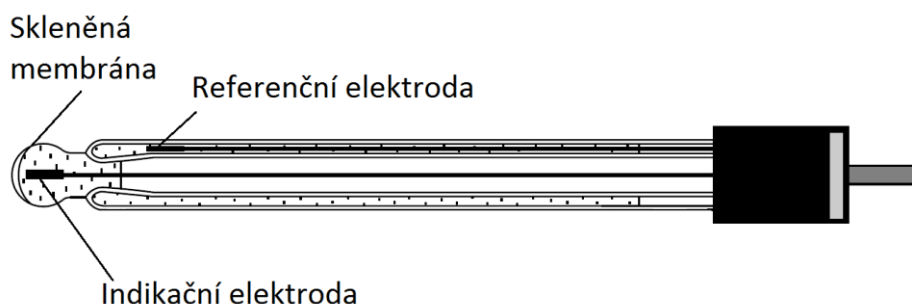
°C	mV/pH
0	54,2
10	56,2
25	59,2
50	64,1
75	69,1

Z uvedené tabulky plyne, že teplotní závislost sondy pro akvarijní účely, kde se teplota vody nemění (nebo v řádech 1 °C v důsledku hystereze topení), bude možno tuto závislost zanedbat.

Životnost sondy je velmi závislá na použitém měření. Ovlivňuje ji například chemické zatížení agresivního roztoku, mechanické zatížení. Mechanickým zatížením mohou být vodní usazeniny v podobě vodního kamene, který se může usazovat na skleněné elektrodě. Toto může způsobovat menší citlivost na kationty. Elektrody jsou také velmi závislé na teplotě, kdy při provozu ve 20 °C bývá udáváná životnost 1 roku. Naopak při měření při teplotách 80 °C tato životnost činí např. jen 6 týdnů. Z tohoto důvodu časové nestálosti elektrod, výrobci poskytují různou záruku dle kvality od 6 až po 18 měsíců. Tato záruka je ovšem podmíněna různými výhradami v podmínkách používání.

V dnešní době se převážně využívají kombinované elektrody, které nabízejí snazší manipulaci, než dvě samostatné elektrody. V těchto kombinovaných elektrodách bývá indikační elektroda rovnoměrně obklopená referenční, elektrodou naplněnou referenčním elektrolytem, znázorněno na obr. 1.7.

Co se přesnosti týče, dnešní pH sondy dosahují rozlišení na 0,01 až 0,001 jednotky pH. Jedná se ovšem o zařízení laboratorní. Disponují ovšem velmi vysokou výstupní impedancí, řádově $10^{12} \Omega$ [4], [6].



Obr. 1.7: Kombinovaná elektroda

1.5 Řízení a regulace

1.5.1 Řízení

Řízení v automatizaci je děj, ve kterém je řízené zařízení ovlivňováno řídicími signály. Tyto řídicí signály probíhají pouze jedním směrem, tedy není zde zpětná vazba. Řídicí signály působí na řízený objekt bez zpětné odezvy a následné úpravy řídicího signálu.

V této skupině jsou rozlišeny tři základní typy řízení. Jedná se o řízení analogové, binární a číslicové. Nejrozšířenější prvky analogového řízení jsou převody, ventily a operační zesilovače.

1.5.2 Regulace

Regulace v automatizaci udržuje určitou fyzikální veličinu na nastavené konstantní hodnotě, respektive v určitých daných mezích. Při tomto procesu je nutné využívat zpětnou vazbu, která zajišťuje odezvu regulační veličiny na regulované veličině. Tuto zpětnou vazbu v regulaci je možné nazvat regulační smyčkou.

Rozlišuje se regulace nastavení na konstantní hodnotu, na nastavení na proměnnou hodnotu, tedy vlečnou regulaci, nebo programovou regulaci. Při regulaci na konstantní hodnotu, se regulátor neustále pokouší uvést regulovanou veličinu do souladu s požadovanou veličinou. Při vlečné regulaci se řídicí veličina mění na jiné fyzikální veličině, než je čas. Programová regulace je zvláštním případem regulace vlečné, kdy řídicí veličina je dána předem, za pomoci například nějakého programu

Číslicové regulátory disponují možností měnit regulovanou veličinu stupňovitě. Dochází tedy k mnohastupňové regulaci. Tímto způsobem může být regulace velmi jemná a plynulá, srovnatelná s analogovou regulací.

Analogové regulátory umožňují nastavit kteroukoliv hodnotu mezi oběma krajními hodnotami spojitého rozsahu. Tyto regulátory pracují jako spojitě (reagují plynule). Existují ve formě P-regulátoru (proporcionálního regulátoru), zesilujícího diferenci na vstupu a následně ji zesilují. Další forma je PI-regulátor a PID-regulátor.

Nespojitě regulátory mají většinou dva stavy regulace. Většinou se používají pro regulaci teploty (bimetalový regulátor), tlaků, nebo se užívají pro řízení ventilů. Dojde-li k poklesu regulované hodnoty pod nastavenou mez, regulátor provede regulační zásah do doby, než se regulovaná hodnota dostane nad nastavenou mez. Poté regulátor regulační zásah ukončí do doby, než se opět regulovaná veličina dostane pod regulovanou mez. Jde tedy o regulaci s hysterezí. Čím je tato hystereze užší, tím se dá mluvit o kvalitnější regulaci.

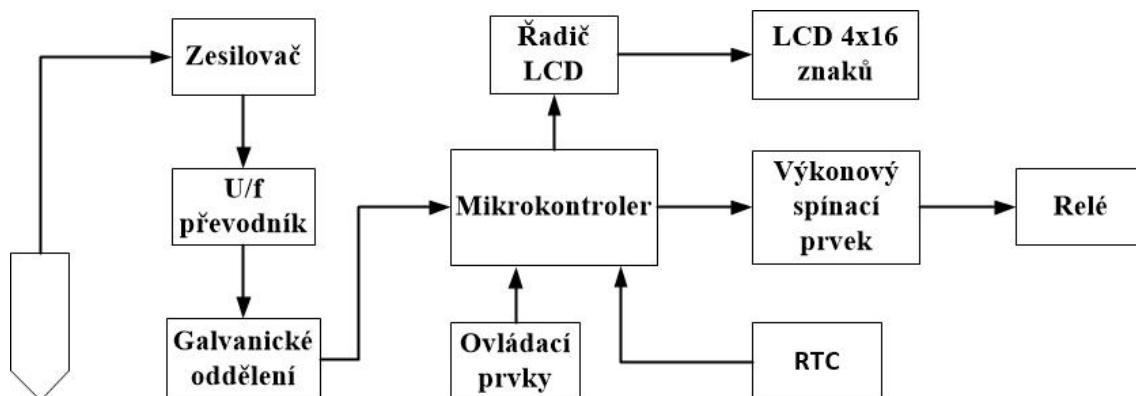
2 NÁVRH ŘEŠENÍ REGULÁTORU

2.1 Koncept regulátoru

Při praktickém řešení bakalářské práce je nutné dbát na požadavky, vycházející ze zadání práce a také na předpoklady z teoretického úvodu. Při návrhu konstrukce regulátoru pH pro akvárium je potřeba zvážit všechna možná technická řešení. Z tohoto výčtu technických řešení musí následovat výběr optimálního řešení. Optimální řešení znamená, vytvořit zařízení plně funkční, co nejvíce přesné, uživateli přívětivé a za co možná nejnížší cenu. Po teoretickém rozboru a zohlednění všech stanovisek pro návrh bylo rozhodnuto, z čeho bude vhodné technické řešení práce realizovat. Jádrem pH regulátoru je tvořeno řídicím systémem, který je realizován pomocí mikrokontroléru. K tomuto mikrokontroléru jsou následně připojeny ostatní periferní bloky.

Jedná se o tyto části. Vstupní zesilovač, který zesiluje naměřené napětí na výstupním konektoru pH sondy. Za tímto zesilovačem následuje převodník napětí/frekvence, který přizpůsobuje měřený signál pro galvanické oddělení. Takto galvanicky oddělovat je vhodné pro předcházení rušení zesilovače, které lze očekávat. Další částí musí být uzpůsobený výstup, který bude regulovat regulovanou veličinu. Součástí tohoto výstupu musí být relé, či stykač, pro ovládání následného elektromagnetického ventilu na tlakové lahvi s CO_2 . V neposlední řadě systém obsahuje uživatelské rozhraní. Toto uživatelské rozhraní je navrženo v podobě LCD displeje s řadičem spolu s ovládacími prvky, tvořenými tlačítky. Poslední periférii tvoří obvod reálného času, který bude mít za úkol vymezení času regulace hodnoty pH.

Vývojový návrh je vytvořen a technicky zrealizován samostatně pro zesilovač napětí z pH sondy, galvanické oddělení a pro mikroprocesor s obslužnými perifériemi. To z toho důvodu, že se počítá se s tím, že v průběhu vývoje a testování bude některé části pH regulátoru nutno ladit či obměňovat. Jakmile v rámci testování bude dosaženo požadovaných parametrů, či výsledků, bude s touto konfigurací zapojení přeneseno na jednu desku plošného spoje mikrokontroléru se zbylými perifériemi. Blokové schéma návrhu řešení pH regulátoru je znázorněno na obr. 2.1



Obr. 2.1: Blokové schéma pH regulátoru

3 PRAKTICKÉ ŘEŠENÍ REGULÁTORU

3.1 Zesilovač

Jelikož je v elektrotechnice pro měření pH vhodná nejvíce potenciometrická metoda, která disponuje velmi vysokou výstupní impedancí, je třeba v této vstupní části zařadit vhodný zesilovač. Z kapitoly 1.4.2 vyplývá, že pH sonda se chová jako zdroj napětí. Tato hodnota napětí se pohybuje okolo hodnoty 59 mV/pH do kladných i záporných hodnot od pH = 7. Pro zadaný pH regulátor si technické řešení vystačí s regulací pH 5 - 8, což jsou reálné hodnoty vody z veřejného rozvodu (tedy i akvarijní). Díky tomuto malému rozsahu hodnot je možné zanedbat teplotní a další nesymetrie napětí na sondě. Jelikož výstupní impedance sondy má velmi vysokou hodnotu, pohybujícími se okolo 10 TΩ, je nutné vstupní část pH regulátoru vhodně přizpůsobit.

Zesílení této naměřené hodnoty je realizovatelné pomocí zesilovačů. Tyto zesilovače musí mít stejně velký, nebo lépe o řád vyšší vstupní odpor, než měřicí sonda. Pokud by tomuto požadavku nebylo vyhověno, dojde k ovlivnění vzniklého napětí na výstupu sondy a tím ke zkreslení měření.

Jako zesilovače pro zesílení napětí ze sondy je možné použít některý z velkého výběru OZ na trhu. Zapojení s operačním zesilovačem je možné volit jako například sledovač napětí, pro dosažení menšího odporu výstupu (zesílení proudu). Další možností je použití OZ s částečnou zpětnou vazbou. Tímto dojde k zesílení napětí.

Nejvhodnější volbou pro účel zesílení napětí z pH sondy a pro následné zpracování je kombinace několika OZ zapojených v kaskádě. Při tomto druhu zapojení je nutné dbát zvýšené pozornosti při výběru v pořadí prvního OZ, který právě musí disponovat požadovaným extrémně vysokým vstupním odporem. Tento operační zesilovač je možné zapojit bez napěťového zesílení, pouze jako napěťový sledovač. Další operační zesilovač, případně zesilovače, zapojené do kaskády, mohou být použity pro napěťové zesílení, kalibraci, či nastavení referenční úrovně napětí (tedy ofset). Tato referenční úroveň, se volí tak, aby při měření kyselé vody (tedy záporného napětí na sondě), bylo výstupní napětí zesilovače kladné.

Jelikož výstup z pH sondy disponuje zmíněným velkým odporem, a je opatřený kabelem zakončeným BNC konektorem, je třeba vhodně přizpůsobit konstrukci při návrhu desky plošného spoje. Z tohoto důvodu je nutné, aby součástky na DPS byly vhodně a systematicky rozmístěny. Dle známé teorie popisující zesilování na velmi velkých impedancích, je nutné umístit první operační zesilovač co nejblíže BNC konektoru tak, aby bylo možné připájet nožičku z tohoto konektoru, přímo na příslušný pin vstupu OZ. A to za předpokladu, že tento úsek není rušený okolními vodivými cestami, či součástkami. Celý zesilovač by měl být dále odstíněn.

3.1.1 Návrh zapojení zesilovače

Při výběru zesilovače byly zváženy všechny možnosti, jakými se tento zesilovač dá realizovat. Je třeba zvolit zapojení, které splňuje požadavky pro měření signálu z pH sondy, tj. disponuje velmi vysokým vstupním odporem. Zároveň umožňuje nastavení ofsetu na výstupu posledního stupně zesílení, který se hodí pro následující zpracování naměřené a zesílené veličiny.

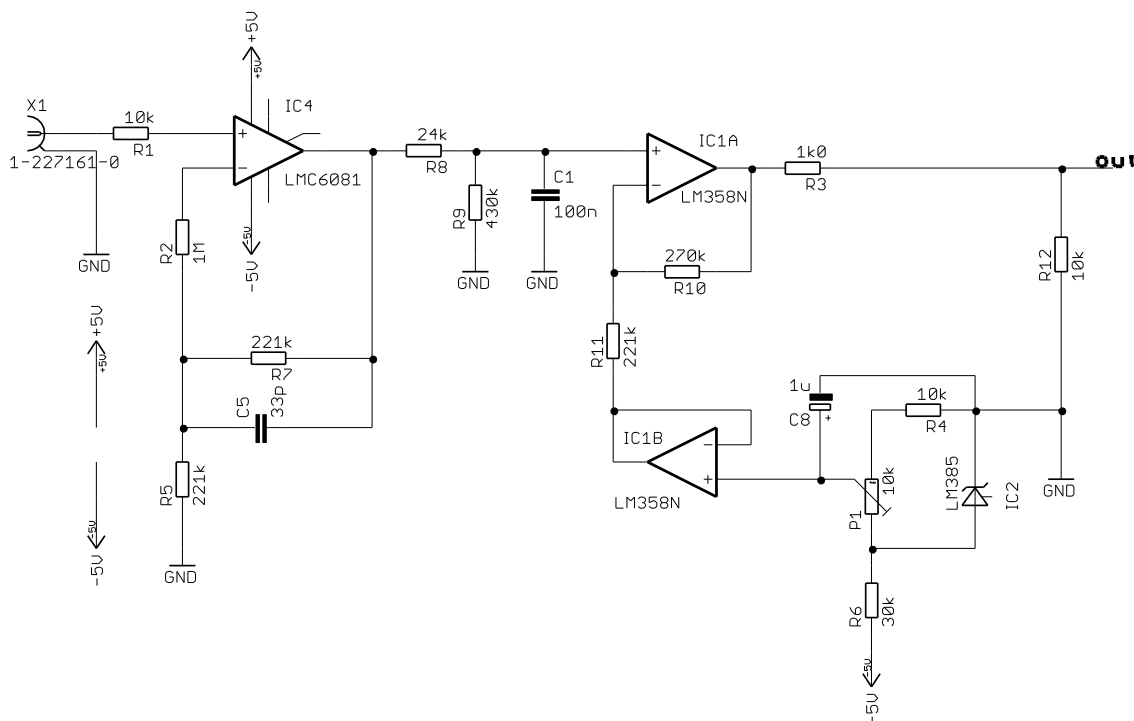
Bylo tedy zvoleno a během testování upraveno zapojení (obr. 3.1) [8] se dvěma operačními zesilovači napájenými symetrickým napětím 5V. Tyto dva operační zesilovače jsou zapojené do kaskády, přičemž první v pořadí má za úkol zesílit vstupní signál a druhý obstarává nastavení offsetu.

První z nich IC4 je volen s ohledem na parametry, jelikož ve značné míře určuje přesnost měření a životnost pH sondy. Jedná se o unipolární operační zesilovač (tedy OZ s vnitřní strukturou FET) LMC6081, který se vyznačuje velmi vysokým vstupním odporem. Vstupní proud zde činí 10 fA. Tento operační zesilovač má do záporné zpětné vazby zařazený rezistor R7, který určuje výsledné zesílení tohoto prvního zesilovacího stupně. Zmíněný rezistor R7 je třeba volit tak, aby zesílení nebylo příliš velké a aby měřený signál OZ nezkresloval. Tato zpětná vazba je zde doplněná o kondenzátor C5 sloužící pro potlačení možného vf rušení, které na vstupu zesilovače může vzniknout.

Odporový dělič tvořený rezistory R8 a R9 slouží pro nastavení úrovně signálu určeného pro další zpracování. Druhý zesilovací stupeň s OZ IC1A, který zesiluje referenční úroveň napětí přivedenou z IC1B a upravuje tedy výstupní signál na kladnou úroveň.

K nastavení této referenční úrovně slouží odporový dělič složený z R4 a P1 s doplněnou paralelně připojenou referenční diodu IC2. Její následné impedanční přizpůsobení je provedeno zapojením napěťového sledovače za pomoci operačního zesilovače IC1B.

Výstupní část zesilovače se skládá z dalšího odporového děliče, tvořeného rezistory R3 a R12. Tento odporový dělič slouží ke konečnému doladění úrovně signálu. Výstupní signál musí mít přesnou, předem známou hodnotu, se kterou musí být schopen pracovat následující blok zapojení. Slouží tedy k případnému konečnému doladění.



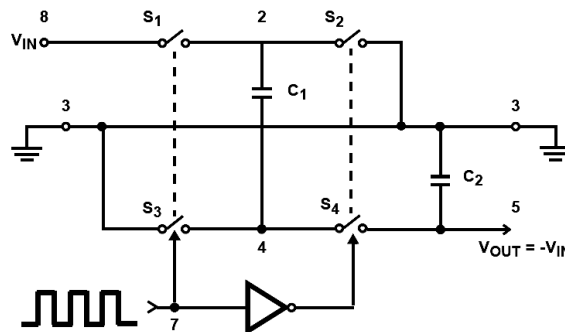
Obr. 3.1: Schéma zapojení zesilovače

3.1.2 Napájení

Vzhledem k požadavku zesilovače na symetrické napájení je nutné tohoto symetrického napájení nějakým způsobem dosáhnout.

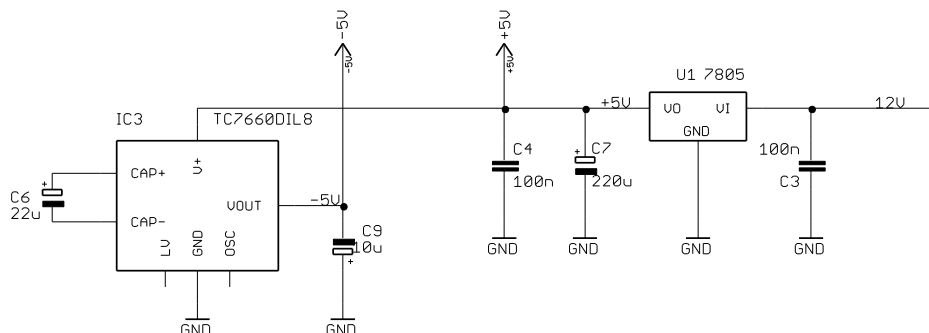
Prvním způsobem by mohlo být použití transformátoru se dvěma symetrickými sekundárními vinutími a následné usměrnění. Tento způsob je vhodný spíše pro výkonové napájení.

Druhý způsob zahrnuje použití DC/DC měniče. DC/DC měniče je možné zakoupit už jako integrovaný obvod, například v zapouzdření DIP8 (pro klasickou montáž), či SO8 (pro montáž SMT). Tento měnič je možné při volbě příslušného zapojení využít ve více rozdílných aplikacích, například jako násobič napětí. Pro získání symetrického napětí pro zesilovač pH regulátoru byl zvolen měnič ICL7660S v zapouzdření DIP8. Jak je vidět na obr. 3.2, pro dosažení symetrického napětí vůči vstupnímu, je nutné zapojit mezi piny 2, 4 a 3, 5 kondenzátor. Doporučená kapacita dle katalogového listu [13] by měla být 10 uF. Tyto kondenzátory slouží při střídavém přepínání spínačů S1, S3 a S2, S4 k předávání náboje ze vstupu směrem na výstup v opačné polaritě.



Obr. 3.2: Vnitřní struktura DC/DC měniče ICL7660S [13]

Celkové zapojení napájecí části zesilovače s DC/DC měničem je vyobrazeno na obr. 3.3. Napájecí napětí 8 - 15 V je nejdříve přivedeno na stabilizátor napětí 7805 s příslušnou filtrací. Poté usměrněných 5 V je přivedeno na DC/DC měnič, který zajišťuje symetrické napětí ± 5 V. Existuje způsob, kdy by bylo nejdříve získáno měničem symetrické napětí, a teprve poté by se toto napětí přivedlo symetricky na dva stabilizátory. Tímto způsobem je možné dosáhnout přesnější hodnotu symetrického napětí ± 5 V. Z důvodu relativně nízkého proudového odběru napájené aplikace pro popisovaný zesilovač stačí způsob s jedním stabilizátorem.



Obr. 3.3: Napájecí část pro pH zesilovač

3.2 Galvanické oddělení

Vzhledem k velkému zesílení měkkého napětí ze sondy, a tím pádem očekávání vysoké citlivosti na rušení po napájení, je vhodné do zapojení aplikovat galvanické oddělení.

Jde o způsob oddělení určité části obvodu od ostatních částí. Při tomto oddělení dochází k přenosu informace mezi dvěma obvody tak, že nejsou mezi sebou přímo spojené, tzn. vodivě spojené.

Takto galvanicky oddělovat je nutno mezi zesilovačem a ostatními periferiemi celého regulátoru.

Galvanicky oddělovat je možné za pomoci transformátorové vazby, která se nejčastěji využívá pro přenos výkonu střídavé veličiny. Druhý, vhodnější způsob pro tuto aplikaci, se nabízí využití optické vazby.

Oddělení optickou vazbou využívá některého ze zdroje světla, které může být například LED dioda nebo laser. Jako přijímač této světelné informace je možno využít fotodiodu, fototranzistor či fotorezistor. V dnešní době je možné jako galvanické oddělení optickou vazbou využít jedinou elektronickou součástku, a sice optočlen. Tato polovodičová součástka v sobě obsahuje jak vysílač, tak i přijímač.

3.2.1 Návrh zapojení galvanického oddělení

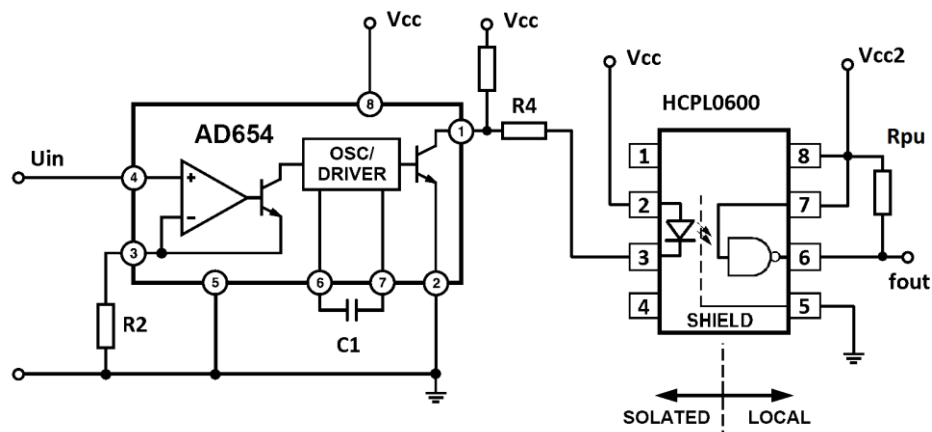
Před samotným návrhem galvanického oddělení pH zesilovače od ostatních periferií, je třeba rozhodnout, jakým způsobem se toto oddělení bude realizovat. Bylo rozhodnuto, že galvanické oddělení bude tvořeno optočlenem. Jelikož je k dispozici na výběr z více typů optočlenů, je nutné najít optimální řešení. Jsou k dispozici optočleny s fotodiodou, optočleny s tranzistorem, optočleny s hradlem, optočleny s OZ a další.

Při výběru optimálního řešení realizace je brán zřetel zejména na zpracování naměřené hodnoty. Jelikož tuto naměřenou hodnotu pH v popisované práci zpracovává mikroprocesor, který jednak disponuje A/D převodníkem a jednak čítačem/časovačem, máme tedy dvě možnosti, jak zmíněné části galvanicky oddělit.

Nabízí se první poměrně snadné řešení s použitím optočlenu s tranzistorem. Zde by předávání informace na tomto oddělení probíhalo spojitě se změnou napětí na vstupu optočlenu. V tomto případě by byl tento signál mikroprocesorem zpracován pomocí A/D převodníku.

Pro tuto aplikaci je ovšem volen způsob použití optočlenu s hradlem viz obr. 3.4 [11], [12]. Tento způsob realizace očekává přenos optočlenem TTL logiky (tj. dvou úrovní signálu, logická 0 a logická 1). Proto je nutné doplnit před optočlen součástku, která tuto dvou úrovniovou logiku zrealizuje. Pro tento účel byl zvolený obvod AD654, který plní funkci převodníku napětí/frekvence. Konkrétní kmitočtový rozsah je možné nastavit rezistorem R2 a kondenzátorem C1. Též je možné tento rozsah regulovat přidáním odporového děliče na vstup celého zapojení. Výsledným průběhem tohoto střídavého signálu je obdélník se střídou 1:1.

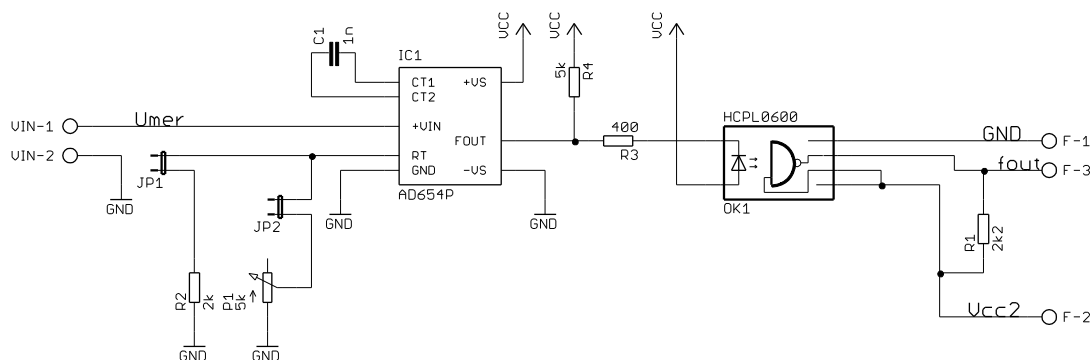
Toto řešení bylo zvoleno z důvodu přehlednosti a očekávané přesnosti přenosu informace přes optočlen. Následné zpracování signálu v podobě frekvence obdélníkového průběhu zajistí jeden z čítačů/časovačů mikroprocesoru.



Obr. 3.4: Principiální zapojení U/f převodníku [11], [12]

Při technickém návrhu zapojení galvanického oddělení vzniklo konkrétní schéma s dopočítanými hodnotami součástek, jak je vidět na obr. 3.5. Parametry součástek R2 a C1 zajišťují nastavení rozsahu frekvencí při určitém vstupním napětí. Toto vstupní napětí bylo zvoleno 0 – 2 V pro výstupní frekvenci 0 – 100 kHz. Nastavení maximální frekvence je též možné doplněným potenciometrem P1, který se uvede do obvodu propojením propojky JP2 (namísto JP1).

Dle katalogového listu [13] výrobce optočlenu HCPL0600 by měl být proud luminiscenční diodou I_F v rozsahu 5 – 15 mA. K dosažení této hodnoty proudu nám slouží rezistor R3, který je vypočítaný na proud $I_F = 12,5$ mA. Dále musí být připojený k výstupu optočlenu připojený pull-up rezistor, který zajišťuje při zhasnuté LED diodě logickou úroveň 1.



Obr. 3.5: Schéma zapojení U/f převodníku

3.3 Výstupní výkonový stupeň

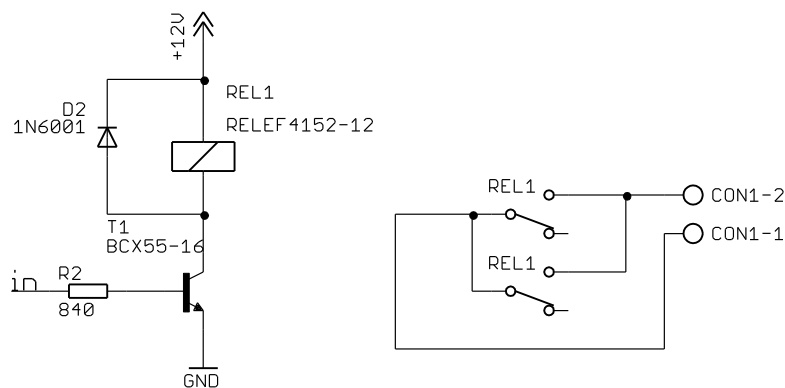
Jak již bylo popsáno v několika předchozích kapitolách, výstup pH regulátoru je nespojitý. Regulace je vykonávána elektromagnetickým ventilem tlakové lahve pouze v polohách otevřeno/zavřeno.

Aby bylo možné ovládat tento elektromagnetický ventil, který má odběr pohybující se okolo 1 A při napětí 12 V, je nutné tomuto požadavku přizpůsobit výstup.

Řešení tohoto přizpůsobení může být více. Je zde možné výstupním pinem z mikroprocesoru ovládat výkonový tranzistor, který by při vhodné konfiguraci zapojení mohl přímo spínat elektromagnetický ventil. Tato volba řešení ovšem s sebou přináší problém s univerzálností použití elektromagnetických ventilů. Jelikož tyto ventily se vyrábí v různém provedení s různým požadavkem napájení. Druhý problémem by mohla být neefektivnost, jelikož se na výkonovém tranzistoru objeví určitý úbytek napětí, který doprovází jeho ohřev a tepelné ztráty.

3.3.1 Návrh zapojení výkonového stupně

V návrhu regulátoru pH bylo užito druhé řešení, kdy je ventil spínán elektromagnetickým relé. Toto relé nemůžou ovládat výstupní piny mikrokontroléru přímo, jelikož jsou dimenzované na omezený proud při určitém napětí. Toto napětí u jednoho pinu mikrokontroléru ATmega činí 5 V a maximální proud 40 mA. Vzhledem k omezenému výběru zmíněného spínacího prvku s vyhovujícími parametry bylo rozhodnuto, že bude použito relé na 12 V. Pro zesílení výstupního pinu mikrokontroléru je zvolen tranzistor BCX55-16 zapojený se společným emitorem viz obr. 3.6.



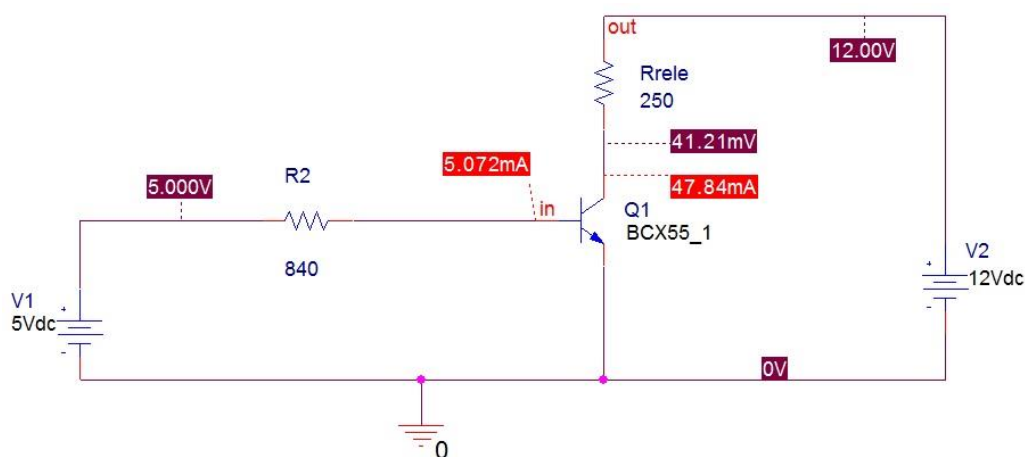
Obr. 3.6: Schéma zapojení výstupní výkonové části

Pro dosažení co nejmenších ztrát bylo nutné vypočítat odpor zařazený mezi výstupní pin příslušného mikrokontroléru a relé tak, aby tranzistor při sepnutí pracoval v režimu saturace. Dle vstupních a výstupních charakteristik tranzistoru byla z katalogového listu [18] zjištěna hodnota proudu do báze a následně vypočtena hodnota předřadného rezistoru určující pracovní bod $R2 = 840 \Omega$. Při této hodnotě odporu $R2$ bude téct do báze proud $I_b = 5 \text{ mA}$ a tranzistor bude v saturaci při proudu do $I_c = 350 \text{ mA}$, což je dostačující pro dostatečnou možnost výběru konkrétního relé.

Bylo vybráno konkrétní relé FINDER 41.52, které je konstruováno na jmenovité napětí $U = 12\text{ V}$ a při odebíraném proudu $I = 40\text{ mA}$. Dále je opatřeno dvojicí spínacích kontaktů, které jsou zapojeny paralelně z důvodu prodloužení jejich životnosti. Jelikož toto relé nemá paralelně s cívkou ochrannou diodu, je tato dioda doplněná zvlášť.

Návrh výstupní výkonové části s dopočítanou hodnotou rezistoru R2 byl odsimulovaný programem PSpice. Pro tuto simulaci byl taktéž dopočítaný rezistor Rrele, který klade cívka elektromagnetu při svém provozu.

Odsimulováno bylo za pomoci simulace „Bias point“, tedy simulace stejnosměrného pracovního bodu. Jak je vidět na obr. 3.7, simulace potvrzuje správnost vypočtené hodnoty R2. Napětí na kolektoru tranzistoru je minimální, což je ukazatel toho, že tranzistor pracuje v režimu saturace (nasycení).



Obr. 3.7: Simulace výstupní výkonové části

3.4 Řídící část

Řídící částí celého regulátoru byl zvolen osmibitový mikrokontrolér ATmega32 firmy ATMEL. Při výběru konkrétního modulu hrála prim paměť. Tímto modelem se předchází problému s možností nedostatku místa, který by mohl nastat.

Tento mikrokontrolér disponuje programovou pamětí typu FLASH o velikosti 32 kB a datovou pamětí typu SRAM o velikosti 2 kB.

PH regulátor je naprogramován přes rozhraní ISP. Mikrokontrolér je dále vybaven čtyřmi osmibitovými vstupně/výstupními porty a řadou vnitřních obvodů. Těmi jsou například čítače/časovače či A/D převodník, nebo I²C sběrnici. Napájecí napětí činí 4,5 - 5,5 V. Mikrokontrolér obsahuje vnitřní krystal kmitající na frekvenci 1 MHz, ovšem je možné připojit externí krystal až do kmitočtu 16 MHz. [15]

K mikrokontroléru je připojena vstupní - měřicí část, výstupní akční část, obvod reálného času a v neposlední řadě uživatelské rozhraní. Toto uživatelské rozhraní má podobu ovládacích tlačítek a LCD displeje.

3.4.1 Realizace řídicí části

LCD displej

S ohledem na kvalitu zobrazení a přehlednost byl zvolený alfanumerický displej Winstar WH1604A, který disponuje čtyřmi řádky a šestnácti znaky na řádek. Dále umožňuje zelené možnost zeleného podsvícení, které se hodí zejména při špatném osvětlení. Displej je vybaven integrovaným řadičem ST7066, který je kompatibilní s řadičem HD44780.

Komunikace procesoru s displejem může probíhat dvěma způsoby. První způsob připojení je pomocí osmi datových vodičů, kterými se posílá současně celý byte. Druhý způsob může být realizován připojením čtyřmi vodiči, kdy se při přenosu informace využívá přenosu jednoho bytu ve dvou krocích. Tento způsob přenosu je pomalejší. Řídicí vývody E, RS a R/W musí být připojeny v obou předchozích případech. Zbylé vývody jako jsou VDD, VSS, VEE a Vo slouží k napájení podsvícení a nastavení kontrastu. Podrobný popis vývodů je uveden v tab. 3.1. Popsané vývody jsou připojeny na portu B (PB) mikrokontroléru. Konkrétní připojení pinů se nachází v příloze A.3.

Tab. 3.1: Popis vývodů LCD displeje [16]

Č. vývodu	Název	Funkce
1	Vss	Zem, GND
2	Vdd	Napájení
3	Vo	Nastavení kontrastu
4	RS	H/L - data/instrukce
5	R/W	H/L - čtení/zápis
6	E	Povolení vstupu, start čtení/zápisu
7	DB0	Datové vývody
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	A/Vee	Napájení led, 4,2 V
16	K	GND

Tlačítka

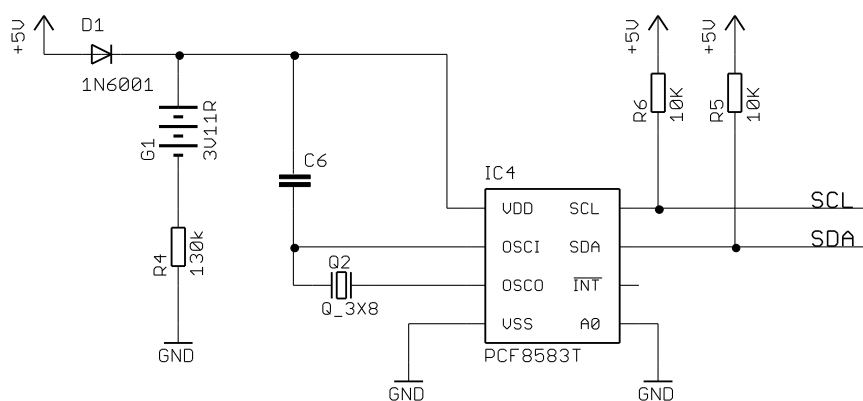
K mikrokontroléru je navrženo připojení šesti tlačítek, přičemž čtyři tlačítka budou tvořit křížový ovladač. Dvě tlačítka zastávají funkci potvrzení a návratu. V poslední řadě návrh obsahuje i tlačítko resetu v podobě zkratovací propojky. Logická úroveň 1 všech tlačítek je realizována za pomoci interních „pull-up“ rezistorů na příslušných pinech mikrokontroléru.

Obvod reálného času

Vzhledem k tomu, že je vhodné regulaci pH vymezit jen v určitou denní dobu, návrh pH regulátoru obsahuje i obvod reálného času, který nám bude toto určení času zajišťovat. Z důvodu dostupnosti byl zvolený obvod PCF8583T (verze SMD). Tento obvod bude s mikrokontrolérem komunikovat po I²C sběrnici. Touto sběrnici mikrokontrolér komunikuje přes piny PC1 a PC0 (SDA a SCL), proto bude připojen právě k nim.

Jak je vidět na obr. 3.8, zapojení obsahuje zajištění napájení obvodu, při výpadku dodávky energie. Toto zajištění je realizované za pomoci lithiové baterie o napětí 3,6 V. Dioda D1 zajišťuje při případném výpadku napájení, aby se lithiová baterie nevybíjela přes mikrokontrolér, ale pouze zajišťovala napájení obvodu RTC. Rezistor R1 v zapojení figuruje z důvodu omezeného nabíjecího proudu, při dodávce energie.

Dále je v popisovaném obvodu připojený krystal s frekvencí 32,768 kHz, který zajišťuje přesný zdroj hodinového signálu.



Obr. 3.8: Schéma zapojení RTC

4 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Ke kvalitní a přesné regulaci jsou třeba nejen kvalitní měřicí a obslužné obvody, ale také neméně kvalitní program vykonávající měření a regulaci. Tento řídicí program musí být schopen změřit a zpracovat naměřený signál. Hodnota naměřeného signálu musí být v ideálním případě stálá bez odchylek způsobenými rušeními a dalšími faktory. Dalším úkolem řídicího programu je regulovat regulovanou veličinu na přesně nastavenou hodnotu. V poslední řadě je třeba programové vybavení uzpůsobit uživatelsky přívětivě. To znamená vytvoření strukturovaného a přehledného menu.

4.1 Vývojové prostředí

Před samotným zahájením vývoje programu bylo nutné si uvědomit, jaké možnosti v oblasti programování mikrokontrolérů jsou. Jedná se o programovací jazyk a programátorské prostředí s vhodným překladačem.

4.1.1 Programování v jazyce symbolických adres

První možností je využití jazyku symbolických adres JSA. Tento jazyk je v informatice řazen jako nízkourovňový, realizovaný reprezentací strojových instrukcí, které jsou definovány pro konkrétní procesor. Z tohoto tvrzení je zřejmá nevýhoda a to, že je JSA závislý na konkrétním procesoru a není tedy lehce přenositelný. Další nevýhodou je nepřehlednost a složitost programů, které si žádají velmi zkušeného programátora. Instrukce tohoto jazyka jsou překladačem přímo překládány do strojového kódu. Výhodou tohoto jazyka je přesná znalost běhu programu po jednotlivých instrukcích a tedy i přesná znalost času běhu programu.

Vzhledem k nevýhodám se používá pouze jako „inline Assembler“ aplikovaný do vyšších programátorských jazyků (např. C), kdy existuje nějaký důvod pro jeho využití.

4.1.2 Programování v jazyku C

Pro tuto práci je použit programovací jazyk C, který je v dnešní době velmi rozšířený a oblíbený pro svoji komplexnost, přehlednost i jednoduchost. Další výhodou je přenositelnost na jiné architektury.

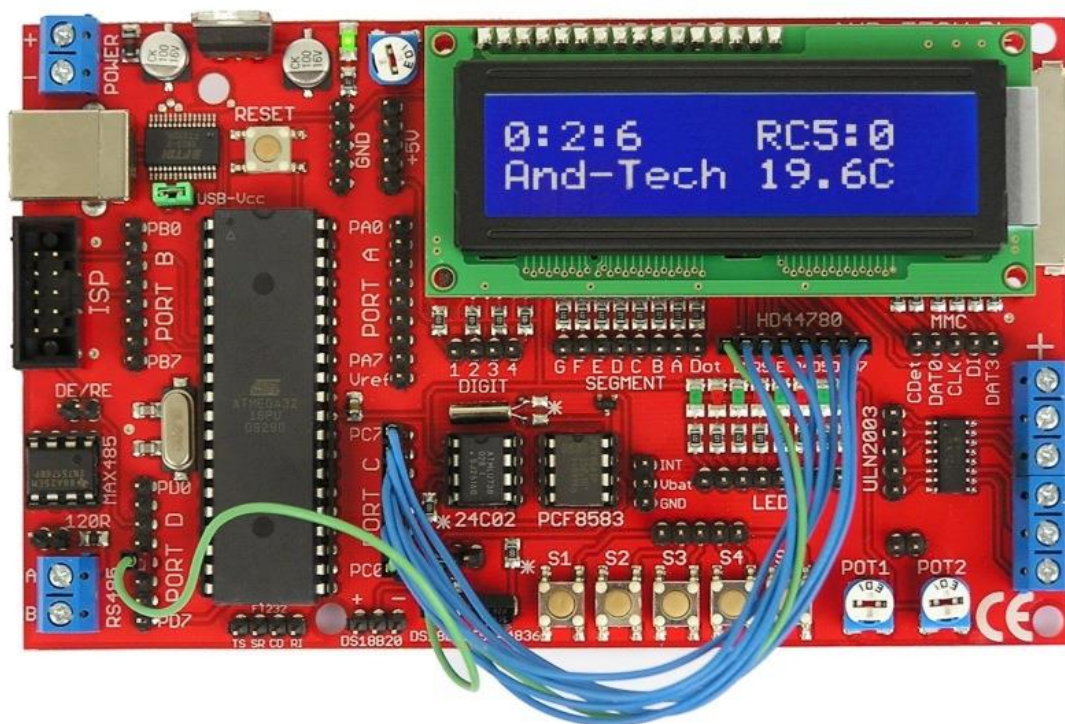
Jako editor tohoto jazyka je možné využít v prostředí Windows například C++ Builder či DevC++, využívající překladač GCC.

Pro programování mikrokontroléru Atmel, je možné využít od této firmy přímo nabízené programátorské prostředí AVR Studio s překladačem AVR GCC, nebo novější verzi Atmel Studio 5 nebo 6 využívající AVR8 GCC. Bylo rozhodnuto, že kvůli dostupnosti, přehlednosti a podpory programátoru přes rozhraní ISP, bude pro vývoj programu pH regulátoru použito Atmel Studio 6.

4.1.3 Vývojový kit s mikrokontrolérem

Jelikož je možné, že při vývoji obslužného firmware pH regulátoru může docházet k častým změnám v zapojení, bylo rozhodnuto, že se pro vývoj využije univerzálního vývojového kitu. Vzhledem k dnešnímu velkému výběru vývojových kitů, byl brán zřetel s ohledem na cenu a hardwarové vybavení.

Bylo vybíráno mezi italským výrobcem Arduino a polským výrobcem And-Tech. Pro svoji jednoduchost, možnost programování jak přes bootloader, tak ISP, byl vybrán polský výrobek EvB 4.3 (viz obr. 4.1) [10].



Obr. 4.1: Vývojový kit EvB 4.3

4.2 Návrh funkcí programu s ohledem na požadavky regulace a uživatelské rozhraní

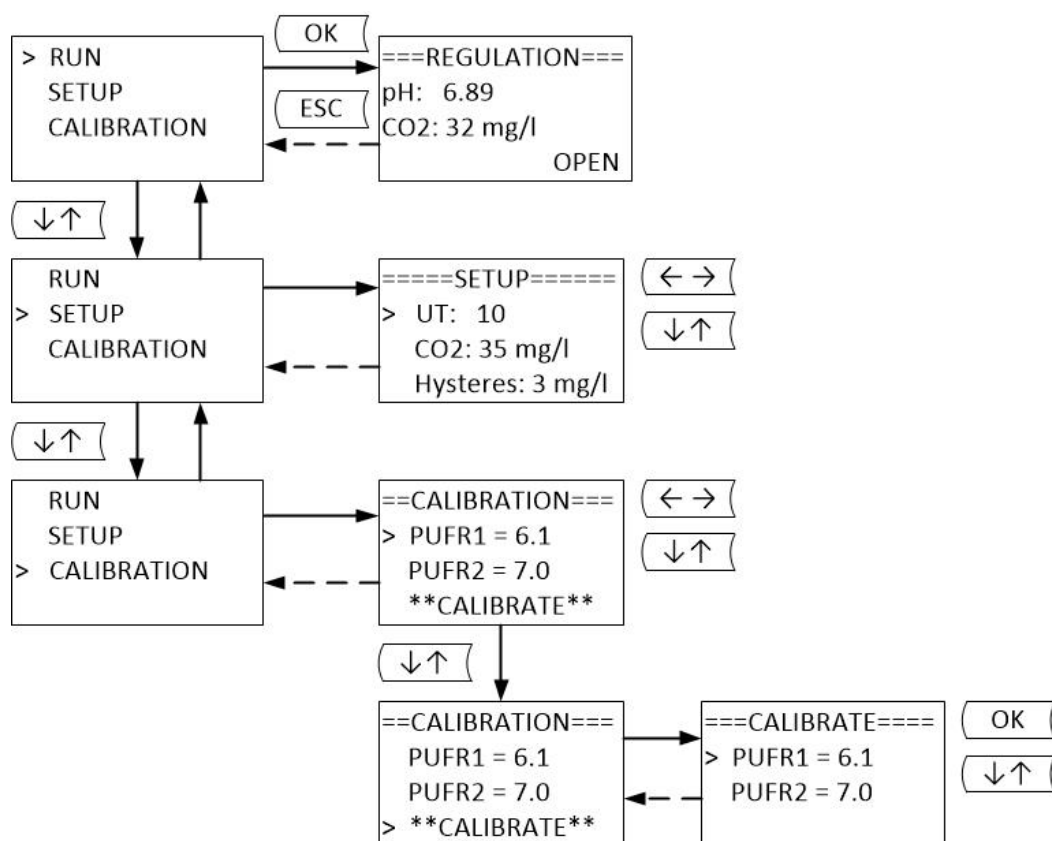
Jak již bylo zmíněno, programové vybavení regulátoru musí být schopné plnit veškeré potřebné náležitosti, které jsou s regulací spojené. Mezi tyto náležitosti se neřadí pouze samotné měření a regulace, ale také možnost nastavení vstupních hodnot a parametrů, které jsou pro nastavení regulace nezbytné. Těmito hodnotami jsou uhličitánová tvrdost UT a požadovaná koncentrace CO₂ v mg/l ve vodním sloupci.

Jak již plyne z teoretického úvodu, další nezbytnou položkou je možnost kalibrace pH sondy. Tato kalibrace je nutná po prvním spuštění regulátoru a následně je nutné tuto kalibraci opakovat v pravidelných intervalech.

Pro všechny tyto náležitosti byl navrhnut uživatelský interface v podobě funkčního křížového ovladače, potvrzovací a návratové klávesy. K zobrazení dat uživateli je použit výše popisovaný alfanumerický displej.

Celý program je navrhnutý tak, aby předcházel neočekávaným stavům, způsobených nesprávným nastavením vstupních hodnot, či špatnou kalibrací. V tomto případě se regulace vůbec nespustí.

Struktura uživatelských možností pohybu programem je vyobrazena na obr. 4.2.



Obr. 4.2: Struktura uživatelského rozhraní

4.3 Funkce programu

Celý firmware pH regulátoru byl psán a rozšiřován postupně. Při postupu návrhu byl kladen důraz na přehlednost a úspornost. Tento firmware vznikl chronologicky napsáním programu pro měření frekvence, zapisování hodnot do pole, následného průměrování, tvorbou uživatelské menu. Dále následovalo vytvoření programu pro korekce, výpočtů jednotlivých hodnot a kalibrace. V závěru bylo nutné naprogramovat ochranné části kódu pro neočekávané a chybné hodnoty. Všechny tyto kroky byly důkladně testované a laděné.

V následujících kapitolách jsou popsány důležitá výpočetní, programová řešení a vzniklé návrhové problémy.

4.3.1 Přepočet pH na koncentraci CO₂

Jak již bylo popsáno v teoretickém úvodu, Tillmanova tabulka slouží k přepočtu mezi CO₂ a pH. Vzhledem k tomu, že regulátor musí přepočítávat hodnotu pH na koncentraci CO₂ v mg/l, je možné tuto tabulku využít. Tento způsob by se dal realizovat přepsáním Tillmanovy tabulky do dvojrozměrného pole, přičemž průsečíky souřadnic v poli by odpovídaly požadované koncentraci. Tato možnost s sebou přináší nevýhodu v podobě zaokrouhlovaných hodnot.

Bylo rozhodnuto, že výhodnější možností je využití některého přepočtového vztahu. Byl vybrán vztah 6.1, který se při porovnání výsledných hodnot a hodnot v Tillmanově tabulce téměř neliší.

$$CO_2[mg/l] = 3 \times UT \times 10^{7-pH} \quad (6.1)$$

Tento vztah je v programu umístěn v samostatném podprogramu.

4.3.2 Kalibrace

Kalibrace pH regulátoru je realizována softwarově. Dle teoretického rozboru je přizpůsobena kalibraci ve dvou bodech.

Výsledná hodnota pH je při měření přepočítávána odvozenou lineární rovnicí 6.2, která nastavuje strmost výsledné charakteristiky a ofset

$$z = x \times \frac{\Delta puf}{cal2-cal1} + (puf1 - cal1 \times \frac{\Delta puf}{cal2-cal1}), \quad (6.2)$$

kde x je aktuální naměřená hodnota změřené frekvence, $puf1$ a $puf2$ jsou hodnoty pH kalibračních pufrů, a a b jsou globální proměnné, ve kterých je uložena frekvence při změření jednotlivých kalibračních pufrů.

Pro tento účel byly definovány dvě globální proměnné typu long int, do kterých je zapsána defaultní, přibližná hodnota frekvence, která se při daném kalibračním pH očekává. Toto kalibrační pH je zvoleno pro pufrы o hodnotě 6 a 8. Pro přesné měření je třeba nejdříve provést kalibraci, po které se tyto dvě globální proměnné přepíší na přesnou hodnotu frekvence.

V nastavení kalibrace je možné změnit hodnoty kalibračních pufrů, které jsou uloženy taktéž globálně.

4.3.3 Průměrování měření

Vzhledem k drobným nepřesnostem měření, které mohou vznikat mimo jiné rušením, bylo nutné do programu zahrnout podprogram, který slouží k zprůměrování a ustálení naměřené hodnoty. Další zpracování tedy probíhá už se zprůměrovanou hodnotou.

Při návrhu průměrování vznikly dvě verze. První verze průměruje způsobem, kdy je načten do pole určitý počet vzorků a následně se z tohoto počtu vzorků počítá průměr. Přičemž po dosažení plného obsazení pole, dochází k odečtení průměru a následuje zapsání další aktuální hodnoty frekvence. Jedná se tedy o průměrování s plovoucím oknem. Nevýhodou tohoto průměrování je pomalé ustálení hodnoty při změně měřené hodnoty a příliš velká reakce změny naměřené mnohem menší frekvence, než činí průměr.

Z tohoto důvodu vznikla druhá verze podprogramu průměrování, která pracuje na principu načítání hodnot frekvence do pole, kdy po naplnění pole dochází k přepisování vzorků od nejstarších. Zde se tedy jedná o průměrování s pevným oknem. Při této metodě průměrování se při změně frekvence průměr mění lineárně. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že bude aplikována právě tato metoda.

4.3.4 Regulace

Nastavení koncentrace CO₂ spočívá v uložení této hodnoty do globální proměnné. Vzhledem k tomu, že by mohlo docházet k příliš častému spínání elektromagnetického ventilu, nebo například k oscilacím, tak byla zavedena do regulace hystereze. Tuto hysterezi je možné libovolně nastavit dle potřeby v uživatelském nastavení přímo v jednotkách koncentrace.

Podprogram zajišťující regulaci funguje na principu přičtení a odečtení hysterezní hodnoty od požadované hodnoty koncentrace. Tyto dvě hodnoty následně uloží do dvou proměnných, které se porovnávají s aktuální hodnotou koncentrace. Tímto způsobem dochází k překlápění ventilu v okamžiku dosažení požadované hodnoty s přičtenou, či odečtenou hysterezí. Ukázka použitého zdrojového kódu je vidět níže.

```
int regmin = 0;
int regmax = 0;

regmax = setCO2 + hyster;           // přičtení hystereze
regmin = setCO2 - hyster;          // odečtení hystereze

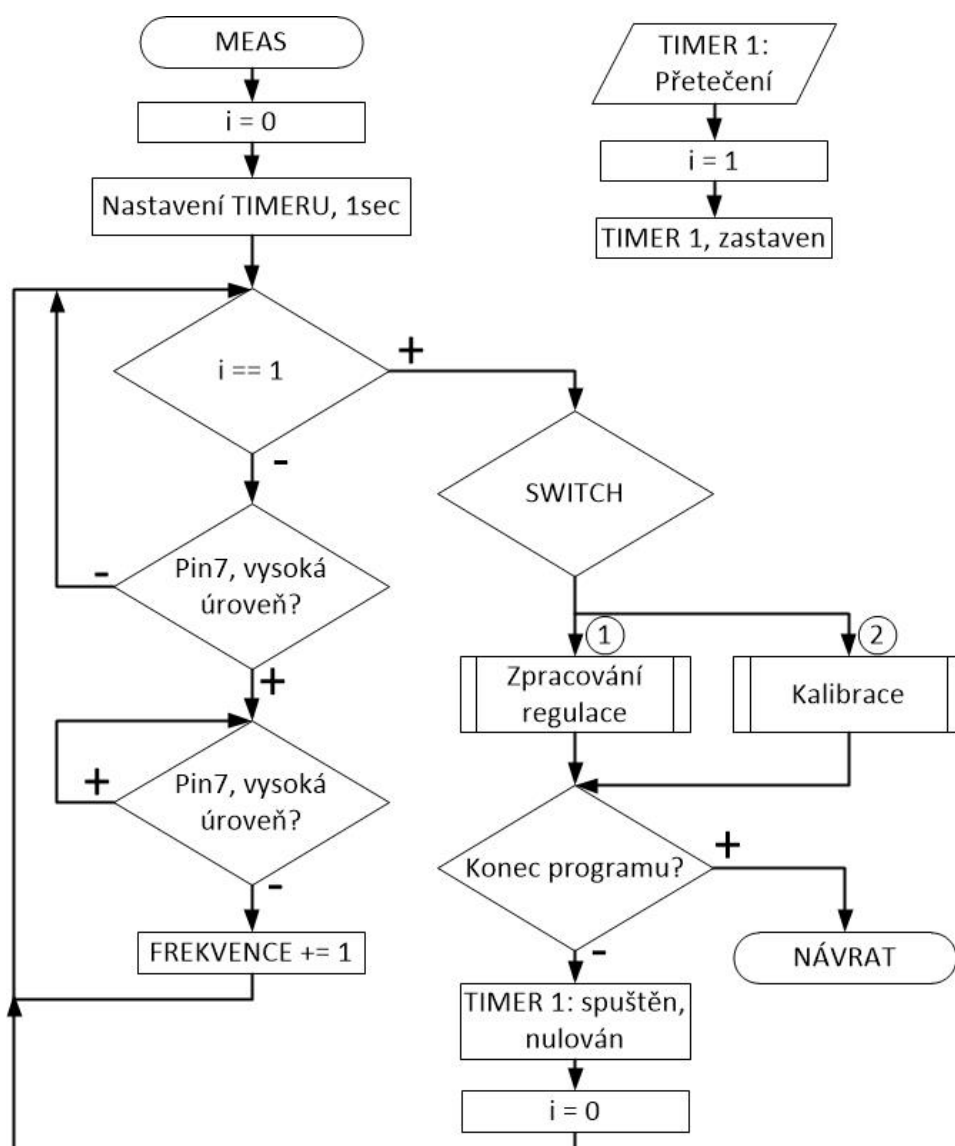
if(CO2<regmin)
{
    if(bit_is_clear(PORTC, 6))      //testování stavu
    {
        PORTC ^= (1<<PORTC6);      //XOR, zapise log. 1
    }
}

if(CO2>regmax)
{
    if(bit_is_set(PORTC, 6))        //testování stavu
    {
        PORTC ^= (1<<PORTC6);      //XOR, zapise log. 0
    }
}
```

4.3.5 Měření frekvence, běh programu

Vzhledem k tomu, že zesilovač pH sondy je galvanicky oddělen od mikroprocesoru přes převodník napětí – frekvence, je nutné tuto naměřenou frekvenci vhodně zpracovat.

Pro tento účel vznikly dvě možné úvahy o realizaci. První princip spočíval v použití dvou timerů. První timer by měl za úkol odměřovat čas určitého časového intervalu (např. 0,5 s) za použití vnitřního oscilátoru, a druhý timer by měl nastavený zdroj hodin z externího oscilátoru, tedy zdroje obdélníkového signálu z převodníku napětí – frekvence. Při přetečení prvního timeru by tedy došlo k uložení hodnot obsahu registru čítače timeru druhého a následovalo by jeho vynulování. Druhý způsob, který se pro tuto práci využil, spočívá v použití 16-ti bitového timeru, na kterém je nastaveno přetečení právě po jedné sekundě. Po tuto dobu dochází k načítání vzorků do proměnné, viz obr. 4.3.



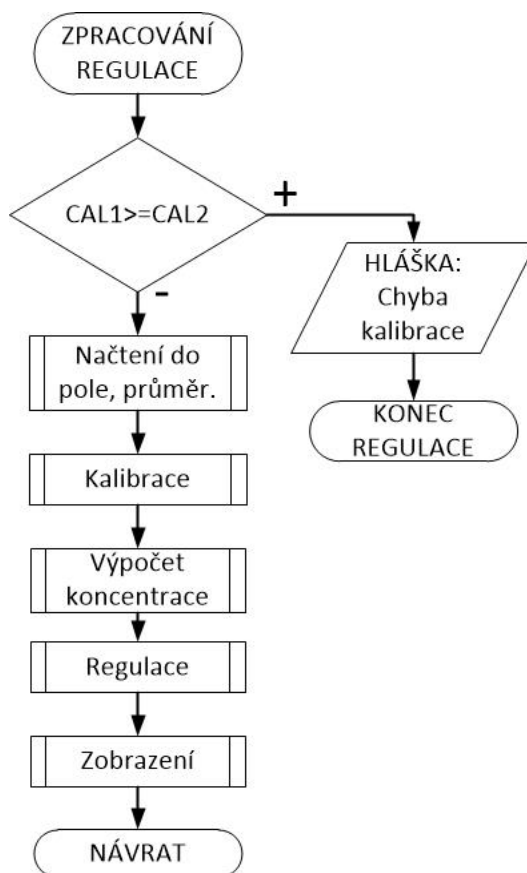
Obr. 4.3: Vývojový diagram běhu programu

Při programové realizaci tohoto způsobu měření musel být kladen důraz na co nejkratší cyklus, vzhledem k dodržení vzorkovacího teorému. Jak je vidět na vývojovém diagramu obr. 4.3, tak je v této měřicí smyčce pouze jedna podmínka, která reaguje na přetečení časovače (zápisu log. 1 do proměnné *i*). Další podmínka je realizována za pomoci testování tlačítka na logickou úroveň 1. Při splnění této podmínky se program dostane do cyklu, který je nekonečný při vysoké úrovni na výstupu převodníku. Slouží tedy k podržení po dobu vysoké úrovně obdélníkového signálu. Po dosažení nízké úrovně dojde k inkrementaci proměnné „FREKVENCE“. Poté se celý tento cyklus opakuje do doby, dokud timer nezpůsobí přerušení. Ve vektoru přerušení dojde k zapsání log. 1 do proměnné „*i*“ a následně dojde k vypnutí přerušení popisovaného timeru. Poté se program vrátí na pozici „měřicí“ smyčky, kde dojde díky proměnné *i* = 1 ke skoku a zpracování této naměřené frekvence.

Zpracování naměřené frekvence spočívá dle zadání uživatele buď k regulaci, nebo kalibraci. Hodnoty přepínače Switch se mění při zadání volby v menu programu, kdy při zvolení regulace se zapíše do globální proměnné příslušná hodnota.

4.3.6 Regulace, běh programu

Běh programu regulace zajišťuje podprogram, ve kterém jsou volány další podprogramy zajišťující regulaci pH. Před každým průchodem v řídicím podprogramu je ověřeno, zda hodnota frekvence při kalibraci je správná. Tato část kódu je vyobrazena na obr. 4.4.



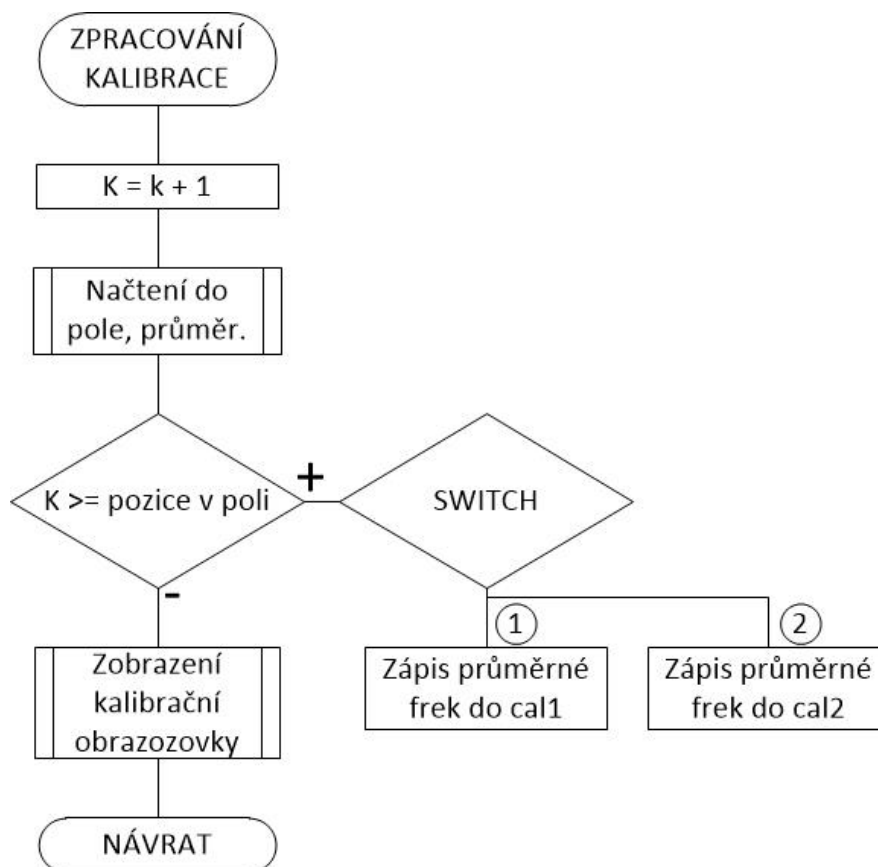
Obr. 4.4: Vývojový diagram výkonu regulace

4.3.7 Kalibrace, běh programu

Obslužný podprogram pro kalibraci využívá pro svou funkci program měření frekvence. Po spuštění a následné jedné sekundě nastane přerušení a program je přepnut switchem do podprogramu pro kalibraci. Počet průchodů podprogramem, neboli počet měření je závislý na velikosti pole, které slouží pro zapisování hodnot a následné průměrování. Výsledná kalibrační konstanta je tedy zprůměrovaná, což zvyšuje přesnost kalibrace.

Po tom, co se naplní pole a následně vypočte průměr, se provede skok na switch, který odkáže na zvolenou pozici uživatelem a zapíše výsledný průměr do kalibrační konstanty, viz obr. 4.5.

V průběhu kalibrace je na displeji zobrazen údaj o zbývající době kalibrace. Po skončení každé kalibrace je vyobrazen na displeji výsledek kalibrace v podobě hlášky o úspěšnosti, či neúspěšnosti. Neúspěšnost kalibrace může být způsobena předčasným ukončením kalibrace, či záměna kalibračních pufrů mezi sebou.



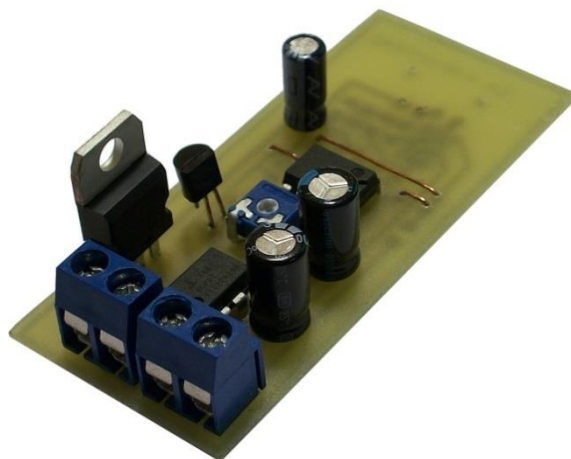
Obr. 4.5: Vývojový diagram obsluhy kalibrace

5 REALIZACE A VÝSLEDKY PRAKTICKÉHO ŘEŠENÍ

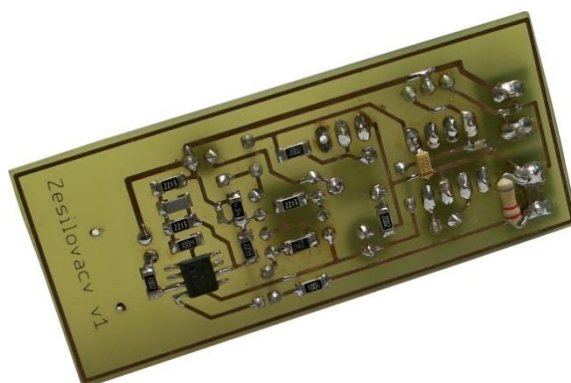
Pro konstrukci praktického řešení byla zvolena smíšená montáž součástek. Smíšená montáž zahrnuje jak klasické součástky s drátovými vývody, tak součástky určené pro povrchovou montáž SMT. Tato montáž byla zvolena jednak s ohledem na dostupnost součástek, tak na prostor a jednoduchost návrhu. Návrh desek plošných spojů byl vytvořen návrhovým softwarem Eagle od společnosti Cadsoft.

5.1 Zesilovač

Po praktickém návrhu zesilovače, byl tento zesilovač prakticky realizován, tedy sestaven, viz obr. 5.1 a obr. 5.2.



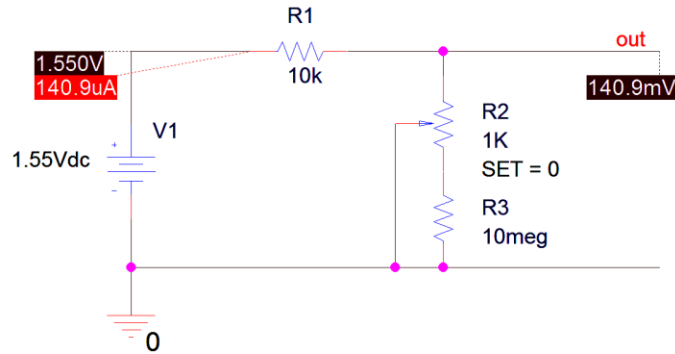
Obr. 5.1: Modul zesilovače, pohled z horní strany



Obr. 5.2: Modul zesilovače, pohled ze spodní strany

5.1.1 Přípravek pro simulaci pH sondy

Vzhledem k tomu, že testování s pH sondou by bylo značně problematické, bylo nutno navrženo zapojení, které toto výstupní napětí pH sondy bude simulovat. Pro tento účel je zvoleno zapojení odporového děliče.



Obr. 5.3: Schéma zapojení odporového děliče simulující pH sondu (PSpice)

Tento odporový dělič je sestavený z pevného rezistoru R1 a potenciometru R2 (dle obr. 5.3). Jeho napájení tvoří baterie o napětí 1,5 V. Při zvolených hodnotách odporů, jak je tomu na obr. 5.3, pohybuje se výstupní napětí v závislosti na poloze potenciometru v rozmezí 0 - 140 mV. Pro dosažení záporné polaroty je nutné zaměnit póly baterie.

5.1.2 Uvedení do provozu

Při prvním orientačním měření se vyskytl problém. Zesilovač zesiloval pouze ve velmi malém rozsahu, takže dále nepoužitelným. Po tomto zjištění následovala analýza problému a následné proměřování obvodů. Bylo zjištěno, že DC/DC měnič nevytváří symetrické záporné napětí. Po dalším studiu a konzultaci byla příčina problému zjištěna. Schéma zapojení dle [8] neobsahuje kondenzátor připojený na pinech 3 a 5 DC/DC měniče. Funkce tohoto kondenzátoru je popsána v kapitole 3.1.2. Po přijetí opatření a doplnění této součástky, byl problém s nesymetrií napájení vyřešen.

Následným měřením bylo prokázáno, že součástky v originálním zapojení [8], nejsou pro aplikaci měření pH akvariijní vody vhodné. Výstupní napětí ze zesilovače mělo příliš vysokou hodnotu offsetu a malé zesílení.

Tento nedostatek je částečně potlačen nastavením odporového děliče tvořeného rezistory R8 a R9 tak, aby měl menší dělicí poměr. Druhé opatření pro větší zesílení je záměna rezistoru R10 ve ZV operačního zesilovače IC1A. Tento rezistor je vybrán tak, aby OZ měl menší zpětnou vazbu. Další opatření bylo nutné pro nastavení offsetu menší hodnoty. Bylo třeba dosáhnout menšího úbytku napětí na rezistoru R4 a současně zachovat stejný protékající proud přes tuto větev. Rezistor R4 je tedy nahrazen rezistorem s menším odporem a následně R6 rezistorem s větším odporem.

5.1.3 Výsledky měření

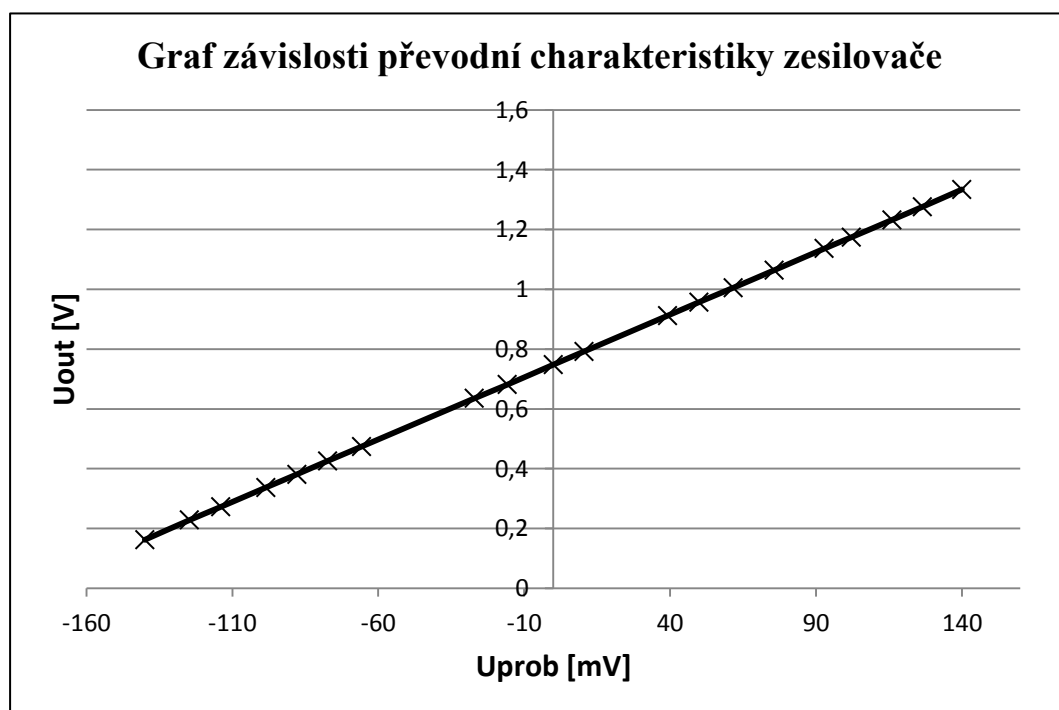
Po odladění a dosažení optimální úrovně zesílení i ofsetu následovalo měření. Byla naměřena závislost převodní charakteristiky zesilovače. Jak je vidět z tab. 5.1, měřený rozsah činí na 4 jednotky pH asi 1 V na výstupu zesilovače.

Tento rozsah zesílení je dostatečný pro další zpracování.

Tab. 5.1: Tabulka změřených hodnot závislosti převodní charakteristiky zesilovače

P.Č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_{prob} [mV]	140,0	126,5	116,0	102,1	92,8	75,7	61,6	49,9	39,2	10,5
U_{out} [V]	1,334	1,276	1,232	1,174	1,136	1,064	1,005	0,957	0,912	0,792
P.Č.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_{prob} [mV]	0,0	-15,8	-27,1	-65,7	-77,3	-87,9	-98,5	-114,0	-124,7	-140,0
U_{out} [V]	0,748	0,681	0,635	0,474	0,426	0,381	0,337	0,272	0,228	0,162

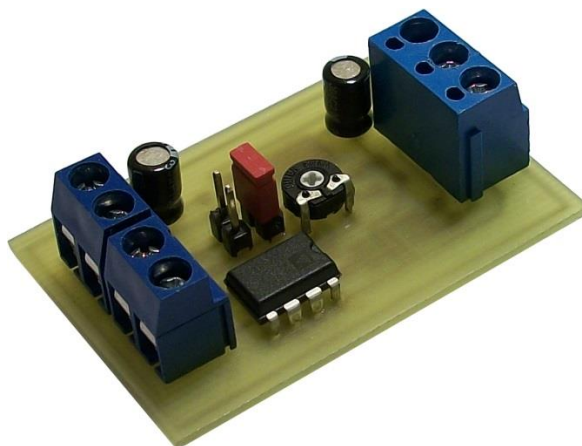
Tyto naměřené hodnoty byly zanesené do grafu na obr. 5.4. Jak je vidět, zesílení je lineární po celém možném rozsahu pH sondy. Toto je důležitý předpoklad pro přesnost výsledného měření a regulace.



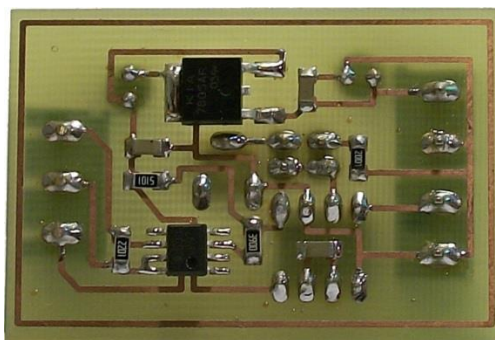
Obr. 5.4: Graf závislosti převodní charakteristiky zesilovače

5.2 Galvanické oddělení

Po výrobě a testování zesilovače, byl sestaven dle praktického návrhu i modul galvanického oddělení. Tento modul je vyobrazený na obr. 5.5 a obr. 5.6.



Obr. 5.5: Modul galvanického oddělení, pohled z horní strany



Obr. 5.6: Modul galvanického oddělení, pohled ze spodní strany

5.2.1 Výsledky měření

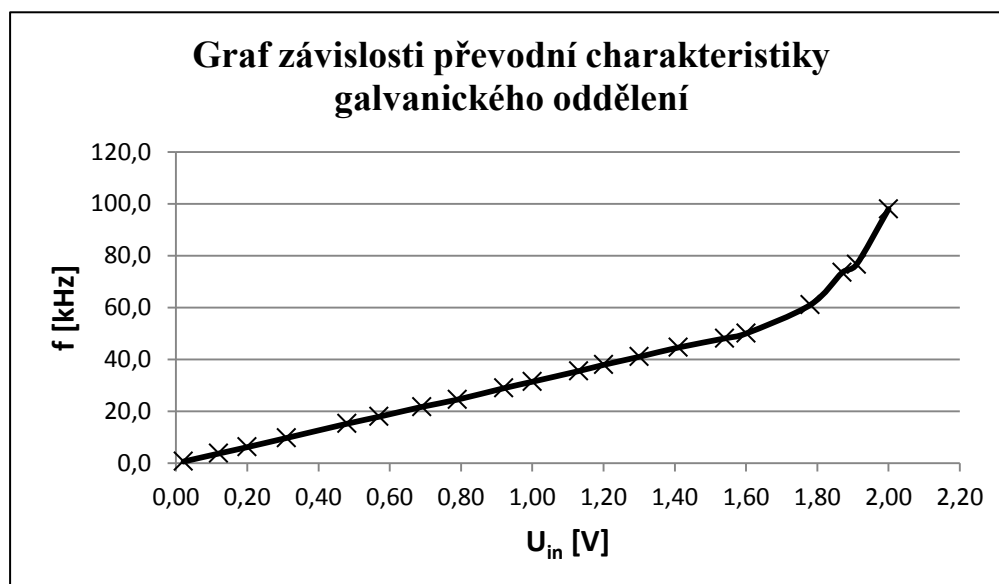
První orientační měření proběhlo na osciloskopu, pro názorné zobrazení výsledného průběhu. Byl očekáván výstupní signál obdélníkového průběhu, který se měřením potvrdil. Vzhledem k dosažení výsledku teoretických předpokladů, byla ihned změřena závislost frekvence na vstupním napětí (převodní charakteristika).

Před samotným měřením této charakteristiky, byl nastaven potenciometrem P1 rozsah vstupního měřicího napětí na 2 V. Poté bylo zahájeno proměřování popsané charakteristiky. Všechny změřené hodnoty jsou vepsány do tab. 5.2.

Tab. 5.2: Tabulka změřených hodnot převodní charakteristiky galvanického oddělení

Č. měř.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_{in} [V]	0,02	0,12	0,20	0,31	0,48	0,57	0,69	0,79	0,92	1,00
f [kHz]	0,6	3,7	6,2	9,7	15,2	17,9	21,7	24,5	28,9	31,4
Č. měř.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_{in} [V]	1,13	1,20	1,30	1,41	1,54	1,60	1,78	1,87	1,91	2,00
f [kHz]	35,5	37,9	41,0	44,6	48,1	50,0	61,0	73,5	76,6	98,0

Po naměření těchto hodnot byla sestrojena grafická závislost převodní charakteristiky (obr. 5.7). Jak je na této závislosti vidět, frekvence roste lineárně s napětím do hodnoty okolo 1,4 V. Po této hodnotě je převod nelineární a tedy i nepoužitelný.



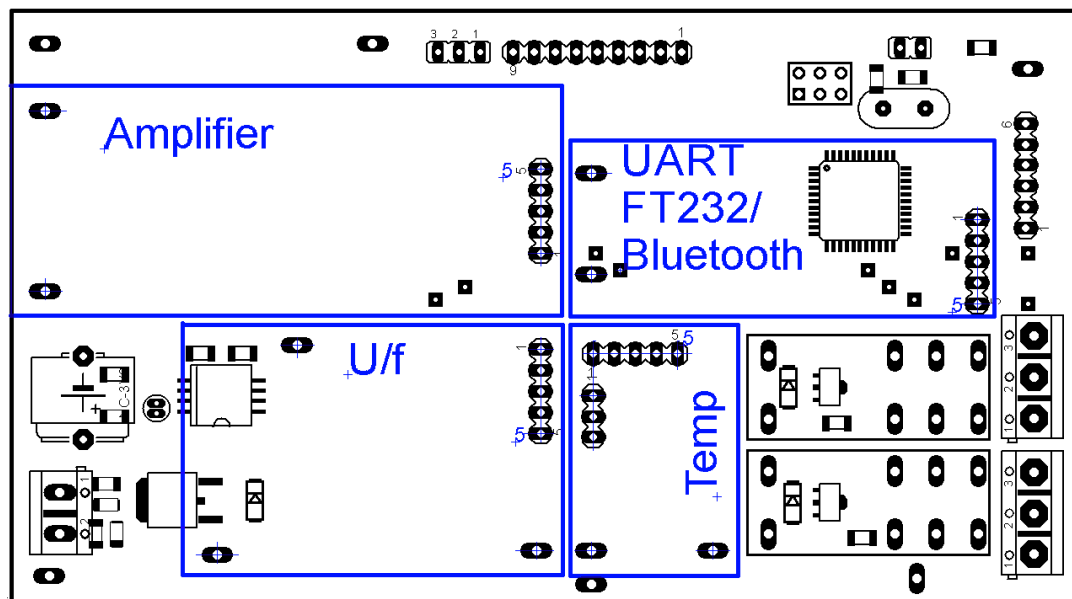
Obr. 5.7: Graf naměřených hodnot převodní charakteristiky

Jelikož maximální výstupní hodnota napětí zesilovače je 1,33 V, může být toto galvanické oddělení použito bez ztráty linearity.

5.3 Základová deska pH regulátoru

Po realizaci, následném odměření dílčích modulů a vytvoření programu na vývojovém kitu [10], vznikl optimalizovaný návrh řídicí části. Původním úmyslem bylo vytvoření jediné desky plošných spojů, obsahující odladěné a přenesené dílčí moduly spolu s mikroprocesorem. Po uvážení možných problémů, které se mohou vyskytnout a objevit, po mnohem delší době používání bylo rozhodnuto, že vznikne DPS řídicí části s mikroprocesorem samostatně, bez dalších periférií.

Vznikl tedy návrh základové desky s mikroprocesorem, ke které se budou připojovat moduly prostřednictvím patič (viz obr. 5.8).



Obr. 5.8: Návrh základové desky

Rozmístění rozložení desky s přípojnými moduly byly navrženy s ohledem na univerzálnost. Vstupy jsou orientovány na levé straně desky, tzn. výstup z pH sondy, napájení a záložní baterie. Výstupy jsou umístěny na pravé straně desky. Součástí základové desky je tedy pouze jen obvod RTC, napájecí obvody, výstupní obvody a mikrokontrolér.

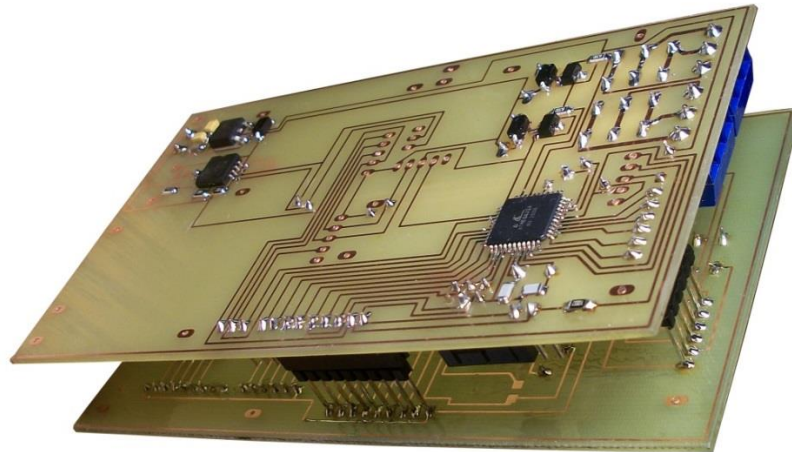
Jak je vidět na obr. 5.8, základová deska obsahuje konektory, které umožňují připojit i další periferie, které nejsou obsahem zadání této bakalářské práce.

Jedná se o možnost budoucího rozšíření pH regulátoru například o měření a regulaci teploty. Toto měření teploty je možné jednoduše realizovat dvěma způsoby. První možností je využití analogového zpracování a to při měření například termistorem. Druhý způsob je možné realizovat digitálně, kdy je využitý integrovaný obvod (například DS18B20) měřící teplotu. Další možností rozšíření je odesílání dat do PC prostřednictvím rozhraní USB, či Bluetooth. K těmto účelům jsou na základové desce regulátoru vyvedeny piny komunikující přes I2C, UART a piny A/D převodníku.

Ke každému z konektorů tvořící patiči pro rozšiřující modul, je přivedeno neusměrněné vstupní napětí, usměrněné vstupní napětí 5 V a zem.

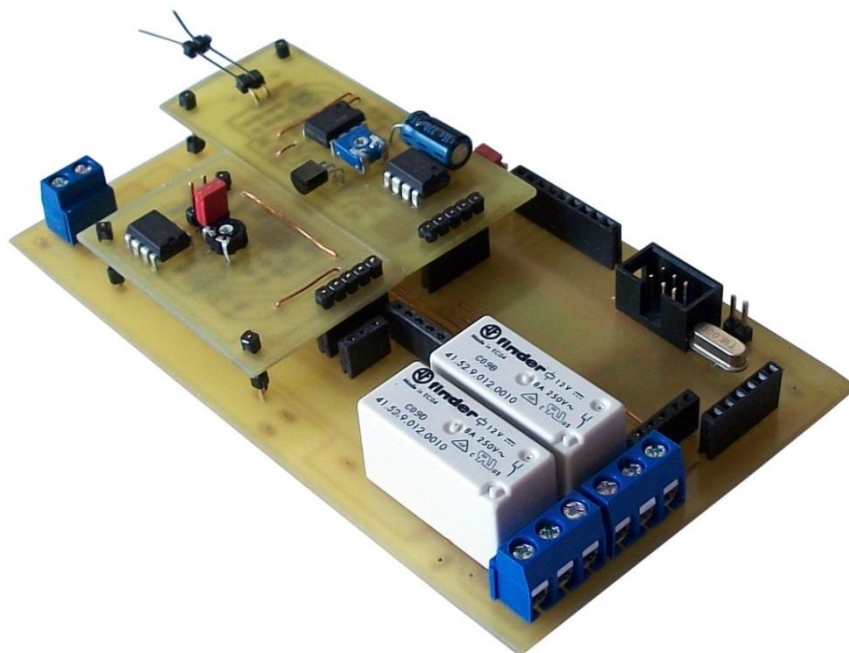
5.4 Kompletace pH regulátoru

Po sestavení základové desky byl do mikrokontroléru nahrán napsaný firmware. Při následném testování bylo zjištěno, že externí zdroj hodinového signálu (externí krystal) nepracuje periodicky. Tato neperiodičnost se projevila nahodilým zpožděním, až zastavováním krystalu. Tento problém byl vysvětlen tím, že měděné cesty zemnicího vodiče GND byly navrženy příliš úzké. Kondenzátory krystalu byly tedy špatně uzemněné, uplatňovala se zde indukčnost. Tato nedostatečnost je vyřešena pocínováním (zvětšením průřezu) zemnicích cest.



Obr. 5.9: pH regulátor - spodní pohled

Po otestování základové desky s uživatelským rozhraním následovalo připojení měřicích modulů. Po tomto připojení a proměření bylo zjištěno, že je třeba doladit nastavení offsetu zesilovače spolu s nastavením maximální frekvence převodníku U/f.

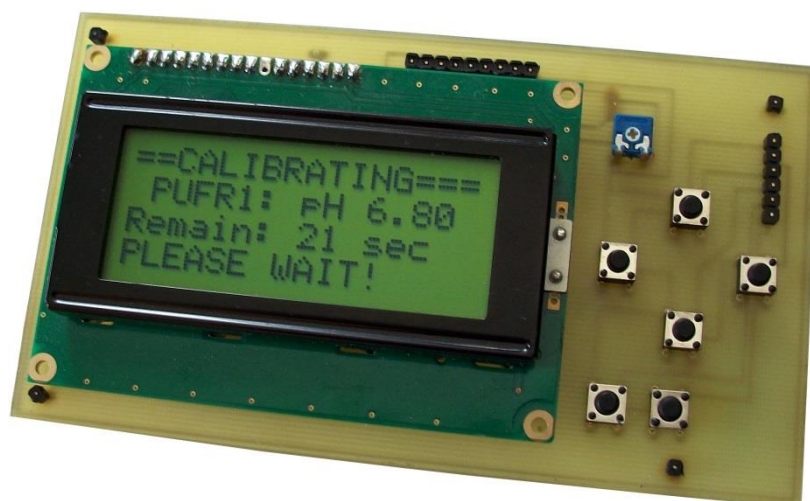


Obr. 5.10: Základová deska s moduly

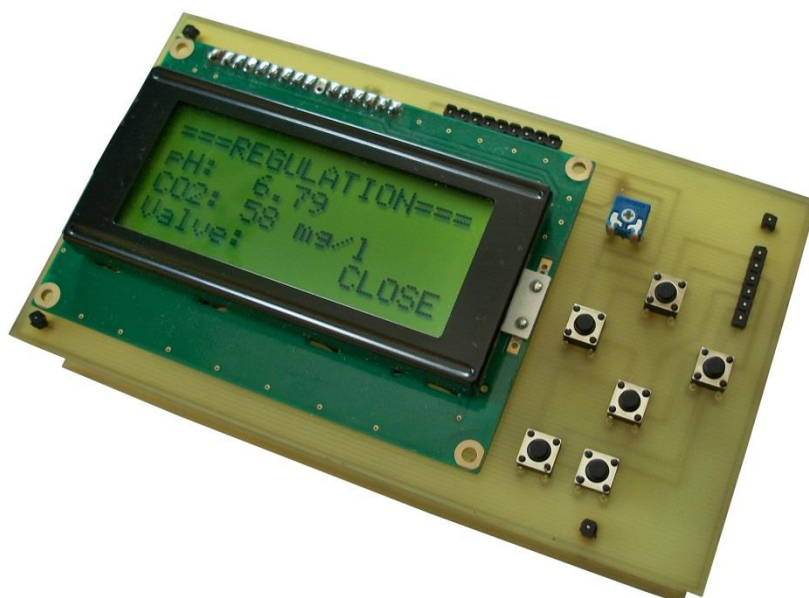
5.4.1 Oživení

Oživení předcházela kontrola celého zapojení. Po prvním spuštění byl shledán problém s nedostatečným chlazením stabilizátoru 7805, který napájí procesor spolu s displejem. Tento problém byl odstraněn nahrazením předřadného rezistoru podsvícení, větší hodnotou odporu, konkrétně $R = 100\ \Omega$.

Funkční výrobek je vyobrazen na obr. 5.11 a obr. 5.12.



Obr. 5.11: pH regulátor, zobrazení kalibrace



Obr. 5.12: pH regulátor, zobrazení regulace

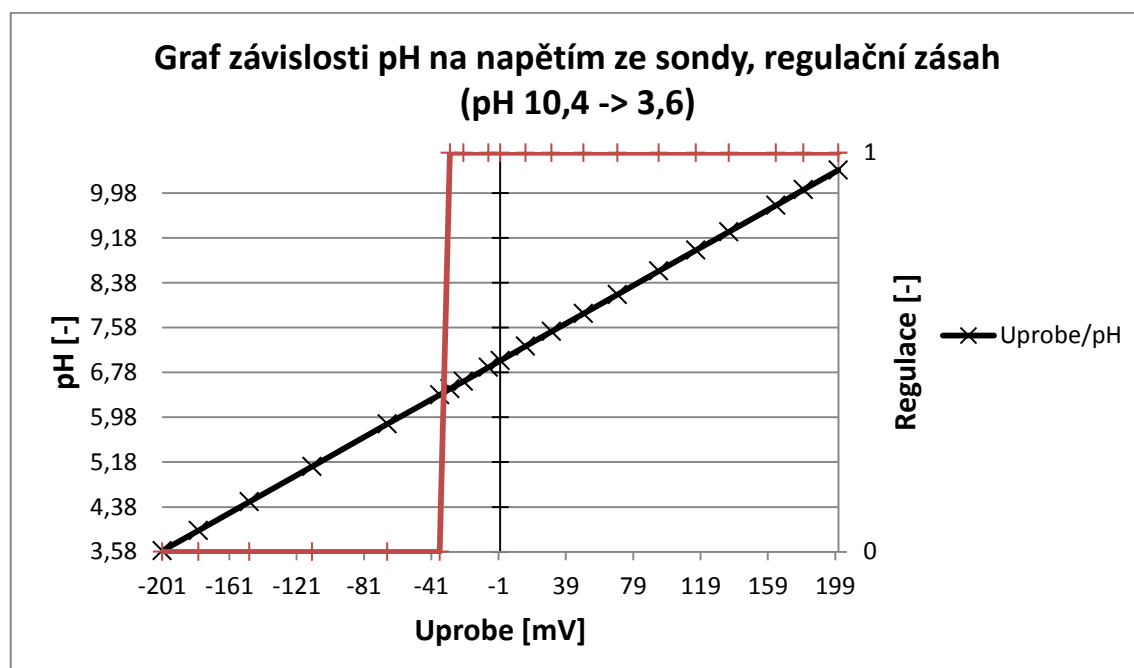
5.4.2 Výsledky měření

Po oživení pH regulátoru byla provedena kalibrace na nasimulovaném napětí pH sondy, kde $U = 178$ mV pro pufr $pH = 4$ a $U = 30$ mV pro pufr $pH = 7,5$. Po tomto zkalibrování byla provedena dvě měření.

První měření probíhalo od simulovaného napětí pH sondy $U = 200,9$ mV po $U = -200,9$ mV. Při tomto měření byla zapisována procesorem naměřená frekvence (výstup U/f převodníku), vypočítané pH, vypočítané koncentrace CO_2 a stav elektromagnetického ventilu. Naměřené hodnoty jsou zapsány do tab. 5.3 a vyobrazeny v grafické závislosti obr. 5.13.

Tab. 5.3: Tabulka změřených hodnot pH regulátorem v závislosti na napětí pH sondy (pH 10,4 -> 3,6)

Č. měř.	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uprobe [mV]	200,9	180,1	163,8	135,9	116,2	94,2	69,6	49,5	30,5	15,1
pH [-]	10,39	10,04	9,76	9,29	8,96	8,59	8,17	7,83	7,51	7,25
CO ₂ [mg/l]	0	0	0	0	0	0	1	2	5	10
f [Hz]	35724	33891	32468	30020	28301	26379	24232	22471	20805	19455
Ventil [-]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Č. měř.	11*	12	13	14	15	16	17	18	19	20*
Uprobe [mV]	0	-7,1	-21,8	-29,9	-36	-67,2	-111,9	-149,2	-179,3	-200,8
pH [-]	6,99	6,87	6,62	6,49	6,38	5,86	5,1	4,47	3,96	3,6
CO ₂ [mg/l]	18	24	43	58	75	248	999	999	999	999
f [Hz]	18131	17506	16214	15509	14971	12244	8330	5062	2428	539
Ventil [-]	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0



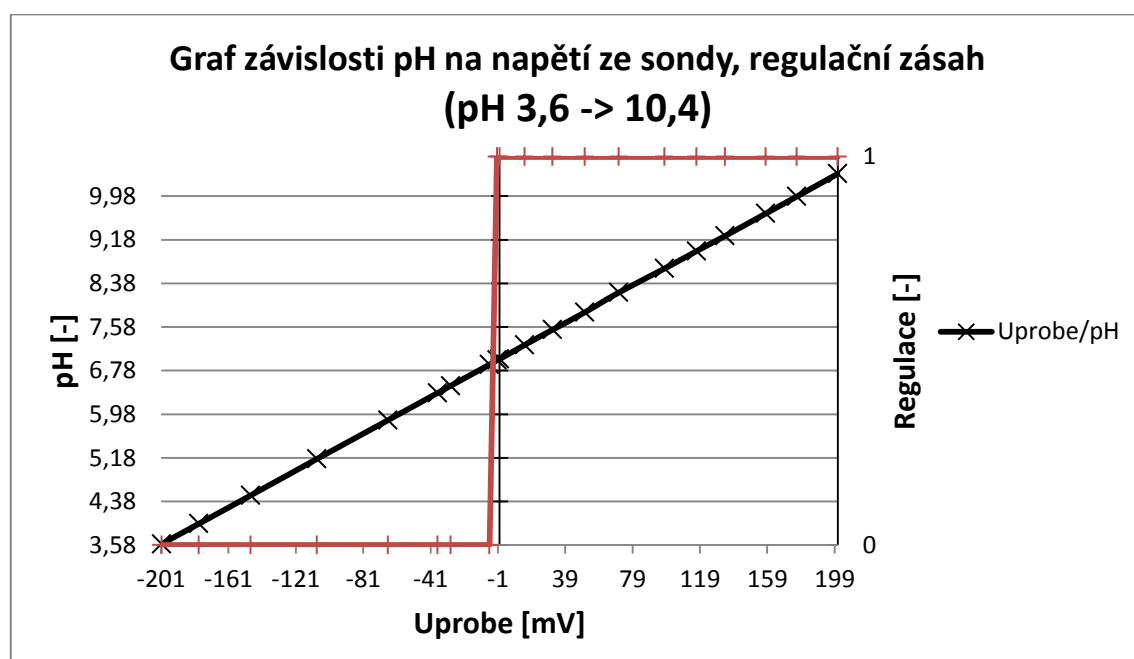
Obr. 5.13: Graf závislosti pH na napětí ze sondy, regulační zásah (pH 10,4 -> 3,6)

Druhé měření proběhlo s časovým odstupem 60 minut. Tento časový odstup byl zaveden pro příkladnou ukázkou časové stálosti měření. Měření druhé charakteristiky probíhalo od hodnot napětí pH sondy $U = -200,9$ mV po $U = 200,9$ mV, tedy opačným směrem.

Při tomto měření byla zapisována procesorem naměřená frekvence (výstup U/f převodníku), vypočítané pH, vypočítané koncentrace CO_2 a stav elektromagnetického ventilu. Naměřené hodnoty jsou zapsány do tab. 5.4 a vyobrazeny v grafické závislosti obr. 5.14.

Tab. 5.4: Tabulka změřených hodnot pH regulátorem v závislosti na napětí pH sondy (pH 3,6 -> 10,4)

Č. měř.	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uprobe [mV]	200,9	176,4	158,1	134	116,9	97,9	70,7	50,7	31,5	14,9
pH [-]	10,39	9,97	9,66	9,25	8,97	8,65	8,21	7,85	7,53	7,25
CO ₂ [mg/l]	0		0	0	0	0	1	2	5	10
f [Hz]	35723	33559	31956	29845	28356	26696	24409	22573	20891	19442
Ventil [-]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Č. měř.	11*	12	13	14	15	16	17	18	19	20*
Uprobe [mV]	0	-1,5	-6	-29,1	-36,8	-66,3	-108,5	-147,9	-178,7	-200,8
pH [-]	6,99	6,97	6,89	6,5	6,37	5,87	5,16	4,49	3,97	3,6
CO ₂ [mg/l]	18	19	23	56	76	242	999	999	999	999
f [Hz]	18131	18003	17606	15584	149141	12332	8635	5181	2477	539
Ventil [-]	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

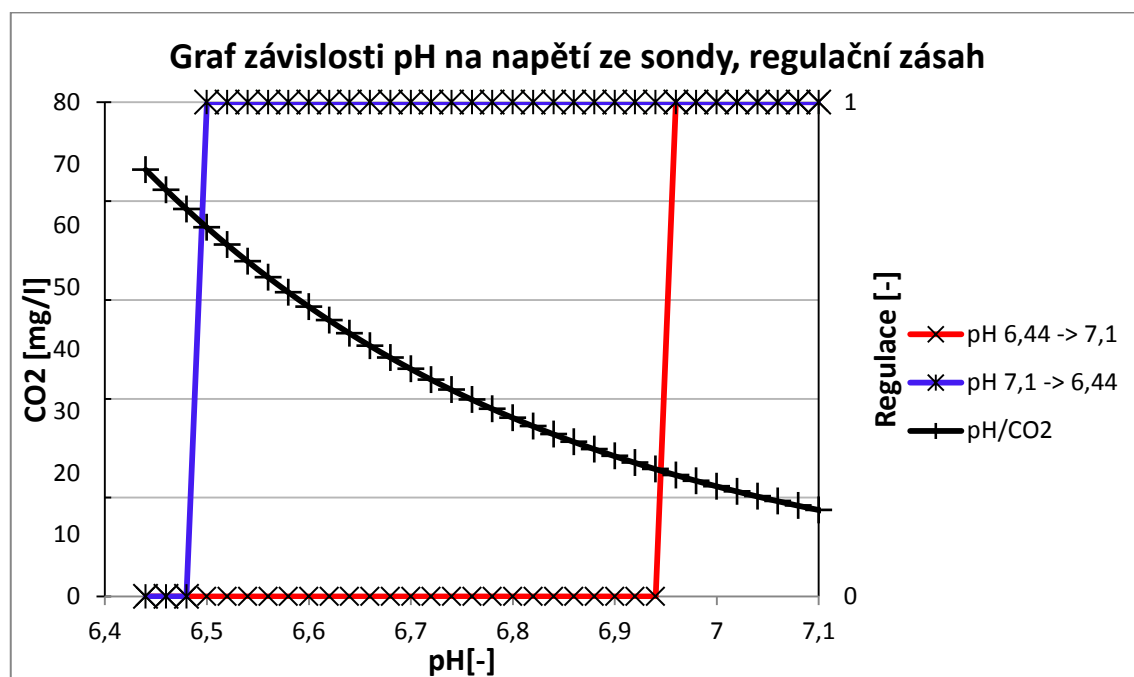


Obr. 5.14: Graf závislosti pH na napětí ze sondy, regulační zásah (pH 3,6 -> 10,4)

Vyhodnocení měření

Jak je vidět z grafů (obr. 5.13 a obr. 5.14), tak jsou obě závislosti zobrazující napětí z pH sondy na pH lineární, bez sebemenších odchylek. V tabulkách s naměřenými hodnotami (tab. 5.3 a tab. 5.4) jsou vyznačené hodnoty pro měření č. 1, 11 a 20, kde je vidět přesná frekvence na výstupu U/f převodníku. Při porovnání těchto frekvencí se dá říci, že tyto hodnoty jsou vzájemně shodné pro obě měření. Z tohoto vyplývá, že měření je velmi přesné i s ohledem na časovou stálost.

Na obr. 5.15 je zobrazena změřená grafická závislost zásahu regulace na pH a CO₂, při nastavení udržování koncentrace CO₂ na hodnotě 40 mg/l s regulační hysterezí ± 20 mg/l.



Obr. 5.15: Graf závislosti zásahu regulace na pH a CO₂

6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout technické řešení regulátoru pH akvarijní vody. První částí řešení práce je stručný teoretický úvod. Zabývá se zejména základní otázkou hodnoty pH a metodami jejího měření. Druhou částí je praktický rozbor řešení, ve kterém jsou probrány možnosti realizace regulátoru. Tyto možnosti realizace jsou podepřené na základě studia teoretických podkladů.

Po předchozím studiu možného řešení bylo rozhodnuto, že se jednotlivá funkční řešení budou skládat z více funkčních modulů. Tyto moduly jsou vyrobené samostatně. Rozhodnutí vzniklo na základě myšlenky většího komfortu a kompatibility při jejich testování. Byly tedy sestaveny a osazeny zvlášť desky plošných spojů pro moduly: zesilovače, galvanického oddělení, základové desky a čelního panelu.

U modulu zesilovače nastal při oživení problém v podobě nefunkčního DC/DC měniče, a tedy celého zapojení. Příčina nefunkčnosti měniče byla po důkladnější analýze objevena a následně odstraněna. Při následném orientačním měření byl zjištěn nedostatek v podobě nevhodného zesílení, který byl postupnou úpravou součástek a zapojením odstraněn.

Oživení modulu galvanického oddělení proběhlo úspěšně. Byla proměřená převodní charakteristika, u které se ovšem objevila určitá nelinearita na konci měřícího rozsahu. Tato nelinearita byla při dalším návrhu zohledněna a účinně potlačena.

U návrhu základové desky s procesorem se projevil drobný funkční, konstrukční problém v podobě nedostatečné zemnicí plochy. Tento problém se projevoval zastavováním externího krystalu mikroprocesoru, kdy se na zemnicí měděné cestě projevovala, vlivem jejího malého průřezu, parazitní indukčnost. Tento problém byl zcela vyřešen pocínováním této zemnicí cesty. Další konstrukční nedostatek zde byl v podobě nedostatečné měděné plochy pro odvod tepla ze stabilizátoru napětí. Tento nedostatek byl potlačen útlumem podsvícení LCD displeje, který byl stabilizátorem též napájen.

Výsledné parametry regulátoru vycházející ze samotného měření a testování jsou více než uspokojivé. Regulátor netrpí v celém svém rozsahu měření ani nejmenší nelinearitou a je velmi časově stálý. Při opakovaných měření vychází totožné hodnoty.

Takto navrhnutý pH regulátor je zcela dostačující pro použití v akvaristice pro regulaci koncentrace CO_2 .

Ph regulátor je také připraven pro řadu budoucích rozšíření. Jedná se zejména o možnost měření a regulaci teploty, o nastavování parametrů a odesílání dat do PC prostřednictvím Bluetooth a nastavení času regulace.

LITERATURA

- [1] ŠÁTEK, M. AKVARKO.CZ: *Možnosti řízení a automatizace v akvaristice* [online]. 2007 - [cit. 5. 10. 2012]. Dostupné na www: <http://www.akvarko.cz/clanky.php?str=52&cast=2>>.
- [2] ŠPETA, R. AKVARISTA.CZ: *Všechno, co jste chtěli vědět o vodě...* [online]. 6. 2. 2008 - [cit. 5.10. 2012]. Dostupné na www: <http://www.akvarista.cz/web/clanky/clanek-183;2>>.
- [3] WEBSTER, J. G.: *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*. Boca Raton, Florida: CRC Press published in cooperation with IEEE Press, 1998. 2630 s. ISBN 978-0849383472.
- [4] ŽÁK, Z. *Kvalita měření pH – TEORIE A PRAXE*. CHEMagazín, 2005, roč. 15, č. 6, s. 22-23. ISSN: 1210- 7409.
- [5] BARTOŠ, M., ŠRÁMKOVÁ, J., STANĚK, V., RENGIER, F., KALOUS, J. *ANALYTICKÁ CHEMIE I*. Elektronické skriptum. Pardubice: KOAnCh, 2006.
- [6] Mettler Toledo. *Průvodce teorií měření pH* [online]. Švýcarsko: MCG MarCom Greifensee, 2007 – [cit. 10. 10. 2012]. Dostupné na www: <http://cs.mt.com/>.
- [7] HRUŠKA, V. SMT | HW.cz: *Úvod do povrchové montáže* [online]. 26. 2. 2001 - [cit. 12. 10. 2012]. Dostupné na www: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/uvod-do-povrchove-montaze-smt.html>>.
- [8] EME Systems. *Ph Sensor OWL2pe or BASIC Stamp interface* [online]. U.S.A.: Berkeley, 2003 – [cit. 25. 11. 2012]. Dostupné na www: <http://emesystems.com/OL2ph.htm>>.
- [9] PUNČOCHÁŘ, J. *Operační zesilovače v elektronice*. 5. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 495 s. ISBN 80-730-0059-8.
- [10] And-Tech.pl. *Zestaw startowy EvB 4.3* [online]. Poland: Toruń, 2012 – [cit. 2. 11. 2012]. Dostupné na www: <http://and-tech.pl/produk-testowy/>>.
- [11] Analog Devices. *AD654 Datasheet* [online]. U.S.A.: Norwood, 1999 - [cit. 18. 11. 2012]. Dostupné na www: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD654.pdf>.

- [12] Agilent Technologies. *High CMR, High Speed TTL Compatible Optocouplers Datasheet* [online]. 29. 12. 2004 - [cit. 5. 11. 2012]. Dostupné na [www: <http://www.hqew.net/datasheet/HCPL\\$2d0600-datasheet-pdf-download-219031.html>](http://www.hqew.net/datasheet/HCPL$2d0600-datasheet-pdf-download-219031.html).
- [13] Intersil. *ICL7660S FN3179.6 Datasheet* [online]. 14. 9. 2011- [cit. 18. 11. 2012]. Dostupné na [www: <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/fn31/fn3179.pdf>](http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/fn31/fn3179.pdf).
- [14] MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR: Měření, řízení a regulace pomocí několika jednoduchých přípravků*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 319 s. ISBN 80-730-0174-8.
- [15] Atmel Corporation. *8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash: ATmega32 Datasheet*. [online]. 2503G-11/04 - [cit. 2. 12. 2012]. Dostupné na [www: <http://www.atmel.com/Images/2503s.pdf>](http://www.atmel.com/Images/2503s.pdf)
- [16] Winstar. *WH1604A Datasheet* [online]. [cit. 5. 12. 2012]. Dostupné na [www: <http://www.datasheet.co.kr/download.php?id=370771>](http://www.datasheet.co.kr/download.php?id=370771).
- [17] NXP B.V. *PCF8583 Datasheet* [online]. 6. 10. 2010 - [cit. 2. 12. 2012]. Dostupné na [WWW: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8583.pdf>](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8583.pdf)
- [18] NXP SEMICONDUCTORS N.V. BC55: Product datasheet. [online]. 25. 6. 2007 - [cit. 2012-12-13]. Dostupné z: <http://tec.icbuy.com/upload/database/200708/0708141620520419982001187079652.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

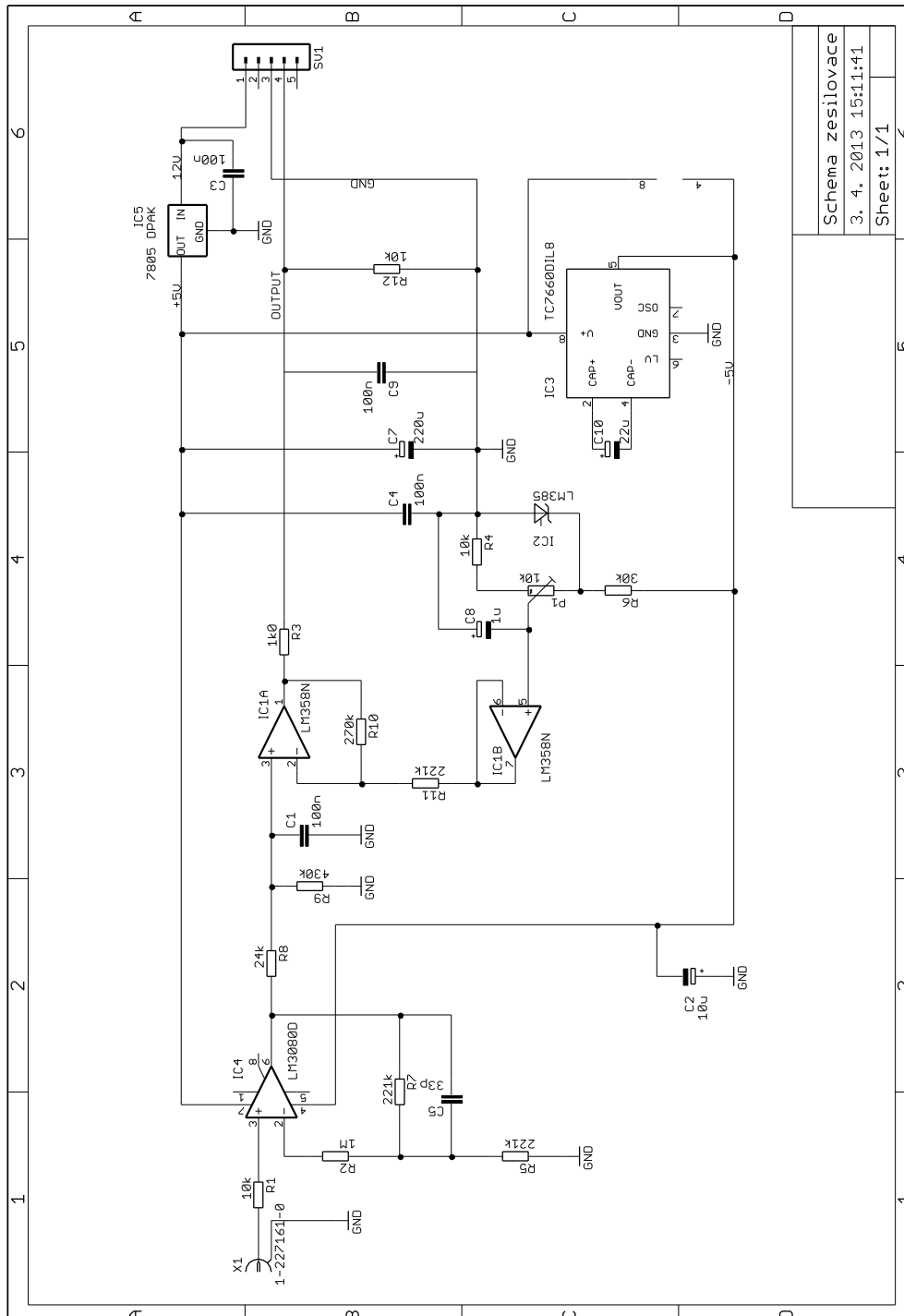
pH	Potential of hydrogen, vodíkový exponent
a_{H^+}	Kationt
ΔE	Rozdíl potenciálů
E_{ref}	Potenciál referenční elektrody
E_{indik}	potenciál indikační elektrody
U	Elektrické napětí
I	Elektrický proud
I_b	Proud báze
I_c	Proud kolektorem
f	Frekvence
R	Univerzální plynová konstanta
T	Absolutní teplota
F	Faradayova konstanta
UT	Uhličitánová tvrdost
PLC	Programmable Logic Controller, programovatelný logický automat
DIN	Deutsche Industrie-Norm, německá standardizační organizace, norma
A/D	převodník analog/digital
USB	Universal Serial Bus, sériová počítačová sběrnice
CO_2	Oxid uhličitý
SMT	Surface Mount Technology
SMD	Surface Mount Device
FET	Field-Effect Transistors, polovodič řízený polem
DPS	Deska plošného spoje
OZ	Operační zesilovač
H_3O^+	Oxoniový kationt
OH^-	Hydroxylový aniont
H_2O	Chemické značení vody
H^+	Kationt vodíku
pH	Potential of hydrogen, vodíkový exponent
DC/DC	Stejnoseměrný měnič napětí
I^2C	Inter-Integrated Circuit
RTC	Real Time Clock, Hodiny reálného času
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i> , Statická paměť s přímým přístupem
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FLASH	Typ paměti vycházející z EEPROM
LCD	<i>Liquid Cristal Display</i> , Typ displeje z tekutých krystalů
TTL	Transistor-transistor logic, Tranzistorově-tranzistorová logika
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter
JSA	Jazyk symbolických adres
GCC	Compiler Collection

SEZNAM PŘÍLOH

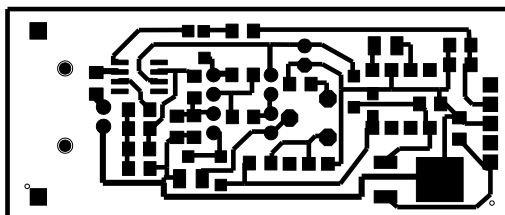
Obsah	vi
A Návrh zařízení	47
A.1 Obvodové zapojení zesilovače	47
A.1.1 Deska plošného spoje modulu zesilovače - bottom	48
A.1.2 Deska plošného spoje modulu zesilovače – top.....	48
A.1.3 Rozložení součástek modulu zesilovače – bottom	48
A.1.4 Rozložení součástek modulu zesilovače – top.....	48
A.2 Obvodové zapojení galvanického oddělení.....	49
A.2.1 Deska plošného spoje modulu galvanického oddělení – bottom.....	50
A.2.2 Deska plošného spoje modulu zesilovače - top	50
A.2.3 Rozložení součástek modulu galvanického oddělení – bottom	50
A.2.4 Rozložení součástek modulu galvanického oddělení – top	51
A.3 Obvodové zapojení ostatních periférií včetně mikroprocesoru.....	52
A.3.1 Deska plošného spoje modulu mikroprocesoru a ostatních periférií – bottom.....	53
A.3.2 Deska plošného spoje modulu mikroprocesoru a ostatních periférií – top	53
A.3.3 Rozložení součástek modulu mikroprocesoru a ostatních periférií – bottom.....	54
A.3.4 Rozložení součástek modulu mikroprocesoru a ostatních periférií – top	54
A.4 Obvodové zapojení čelního panelu	55
A.4.1 Deska plošného spoje modulu čelního panelu – bottom.....	56
A.4.2 Deska plošného spoje modulu čelního panelu – top.....	56
A.4.3 Rozložení součástek modulu čelního panelu – bottom.....	57
A.4.4 Rozložení součástek modulu čelního panelu – top	57
B Seznam součástek	58
B.1 Seznam součástek zesilovače	58
B.2 Seznam součástek galvanického oddělení.....	59
B.3 Seznam součástek ostatních periférií včetně mikroprocesoru.....	60
B.4 Seznam součástek čelního panelu	61

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení zesilovače

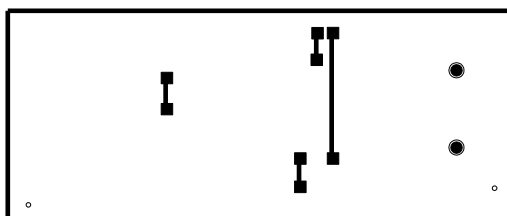


A.1.1 Deska plošného spoje modulu zesilovače - bottom



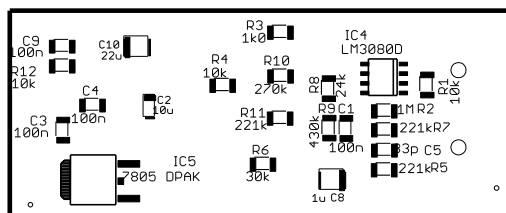
Rozměr desky 66,6 x 27,5 [mm], měřítko M1:1

A.1.2 Deska plošného spoje modulu zesilovače – top



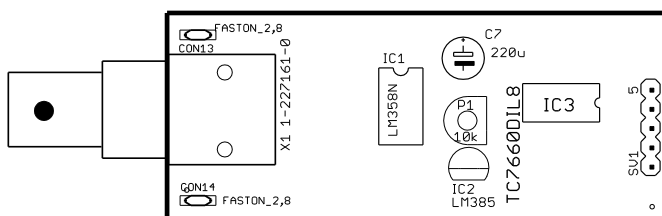
Rozměr desky 66,6 x 27,5 [mm], měřítko M1:1

A.1.3 Rozložení součástek modulu zesilovače – bottom



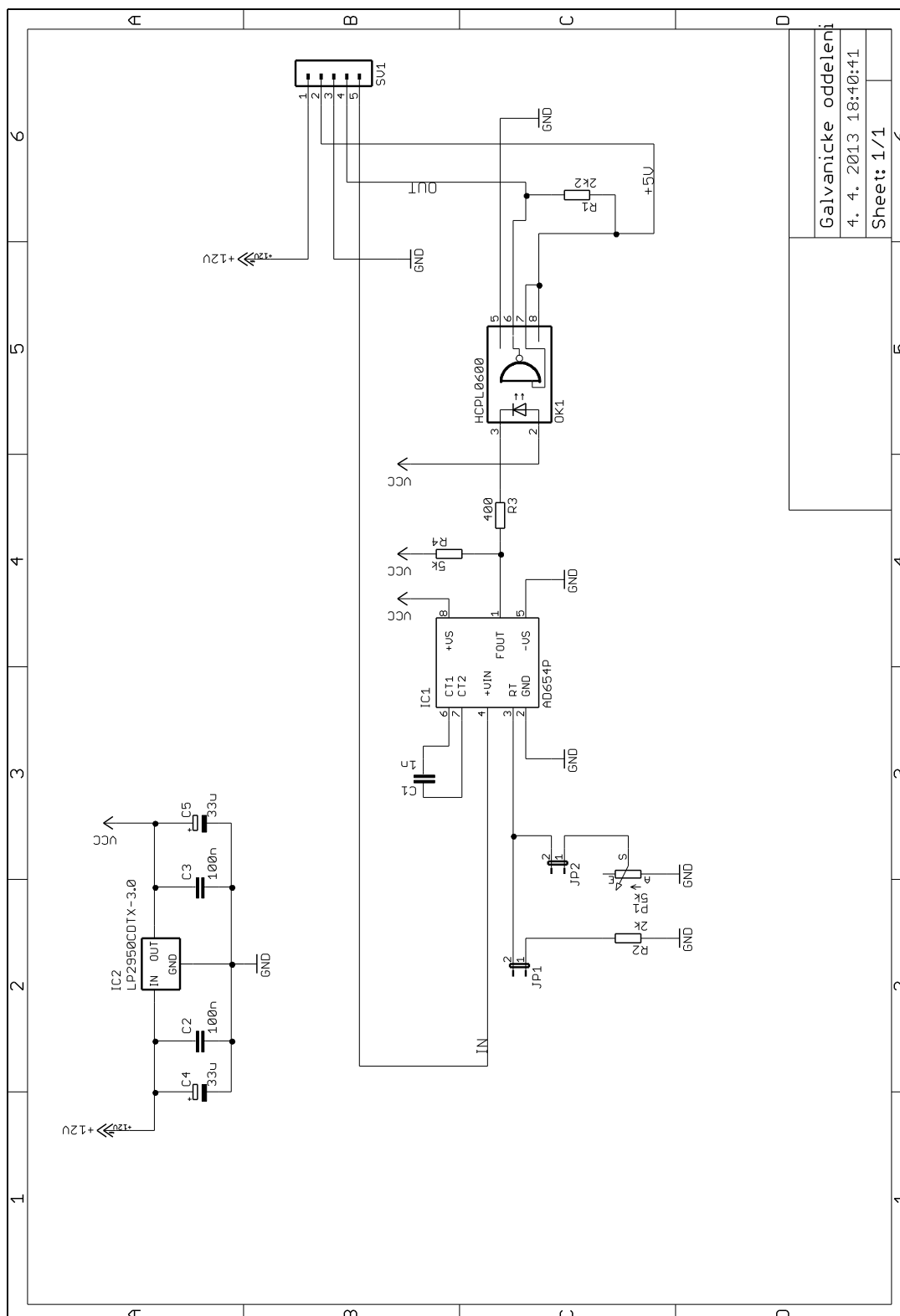
Rozměr desky 66,6 x 27,5 [mm], měřítko M1:1

A.1.4 Rozložení součástek modulu zesilovače – top



Rozměr desky 66,6 x 27,5 [mm], měřítko M1:1

A.2 Obvodové zapojení galvanického oddělení

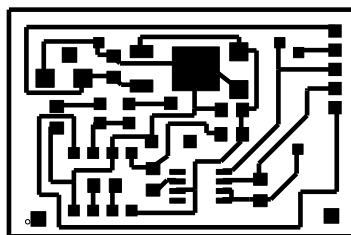


Galvanické oddělení

4. 4. 2013 18:40:41

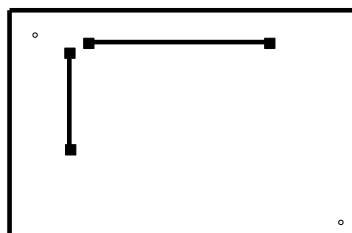
Sheet: 1/1

A.2.1 Deska plošného spoje modulu galvanického oddělení – bottom



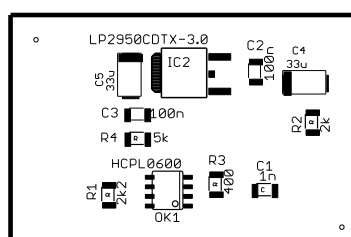
Rozměr desky 45,9 x 30 [mm], měřítko M1:1

A.2.2 Deska plošného spoje modulu zesilovače - top



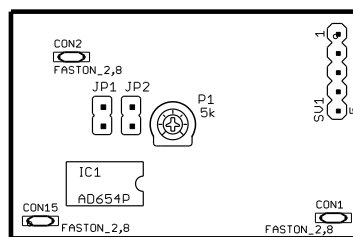
Rozměr desky 45,9 x 30 [mm], měřítko M1:1

A.2.3 Rozložení součástek modulu galvanického oddělení – bottom



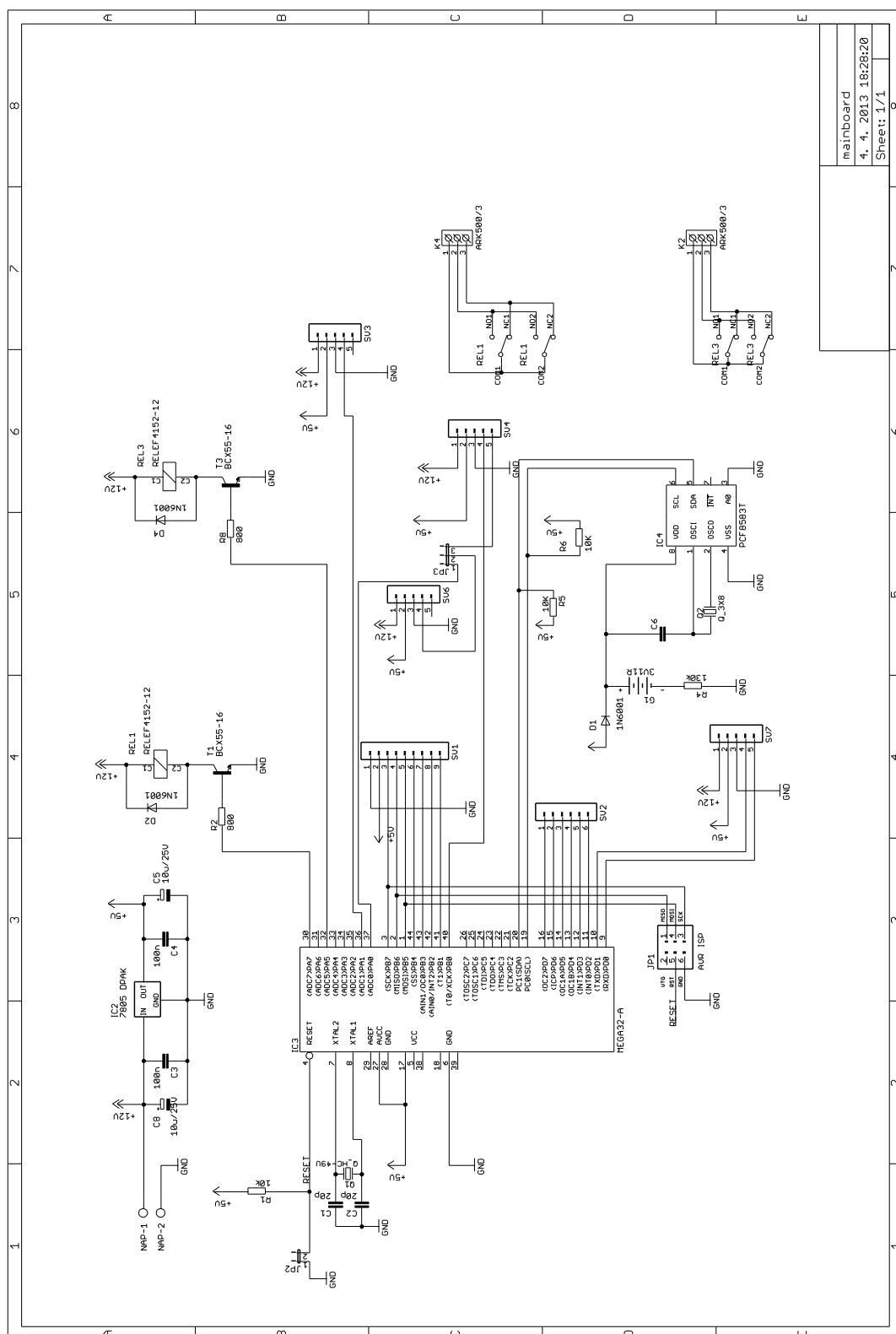
Rozměr desky 45,9 x 30 [mm], měřítko M1:1

A.2.4 Rozložení součástek modulu galvanického oddělení – top

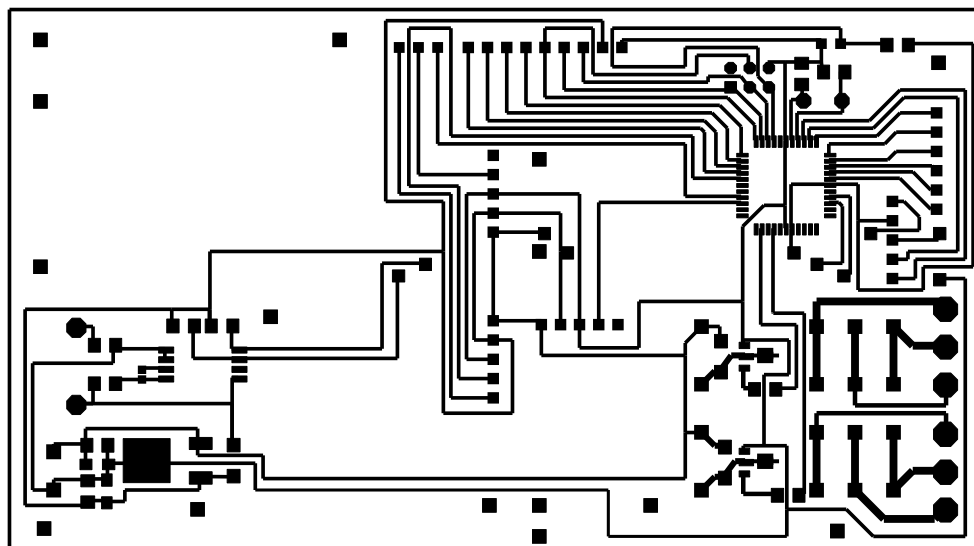


Rozměr desky 45,9 x 30 [mm], měřítko M1:1

A.3 Obvodové zapojení ostatních periférií včetně mikroprocesoru

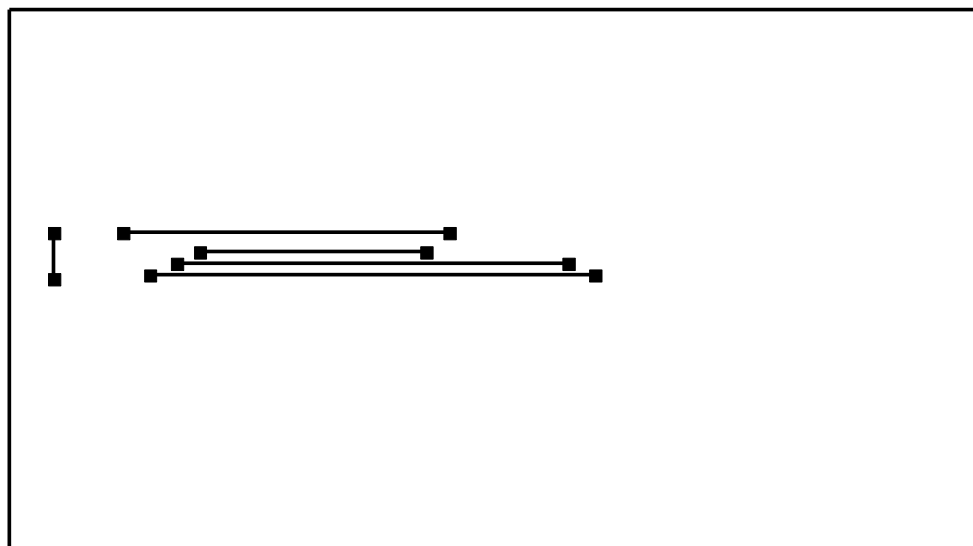


A.3.1 Deska plošného spoje modulu mikroprocesoru a ostatních periférií – bottom



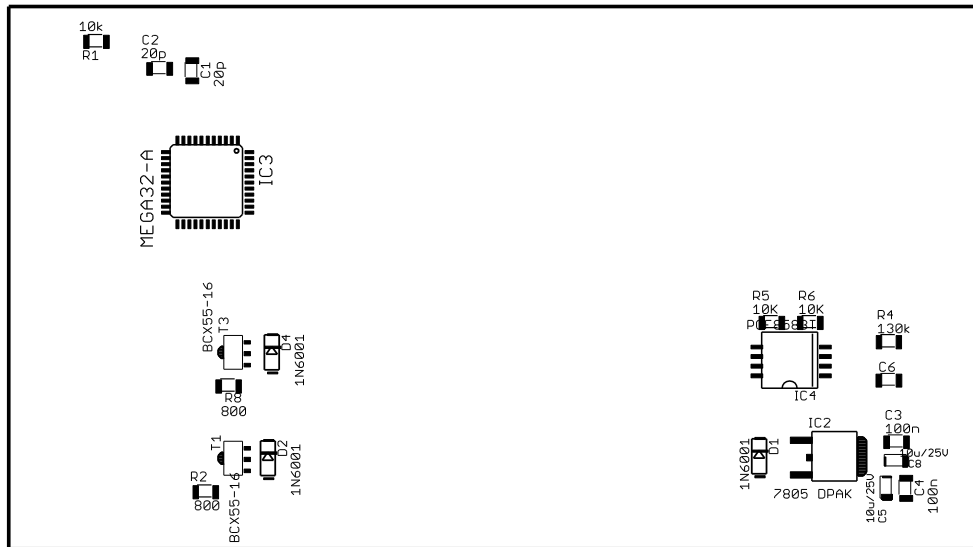
Rozměr desky 129x 72 [mm], měřítko M1:1

A.3.2 Deska plošného spoje modulu mikroprocesoru a ostatních periférií – top



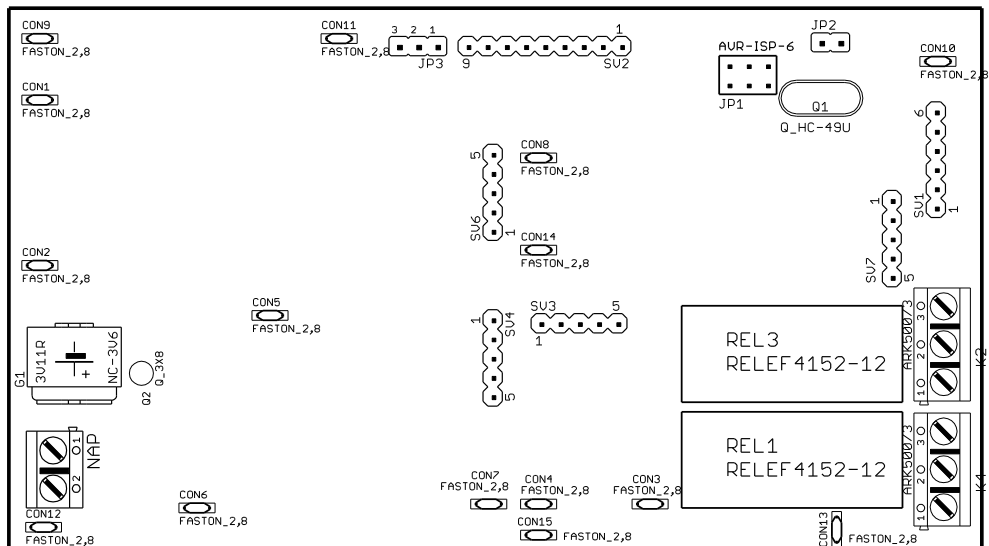
Rozměr desky 129x 72 [mm], měřítko M1:1

A.3.3 Rozložení součástek modulu mikroprocesoru a ostatních periférií – bottom



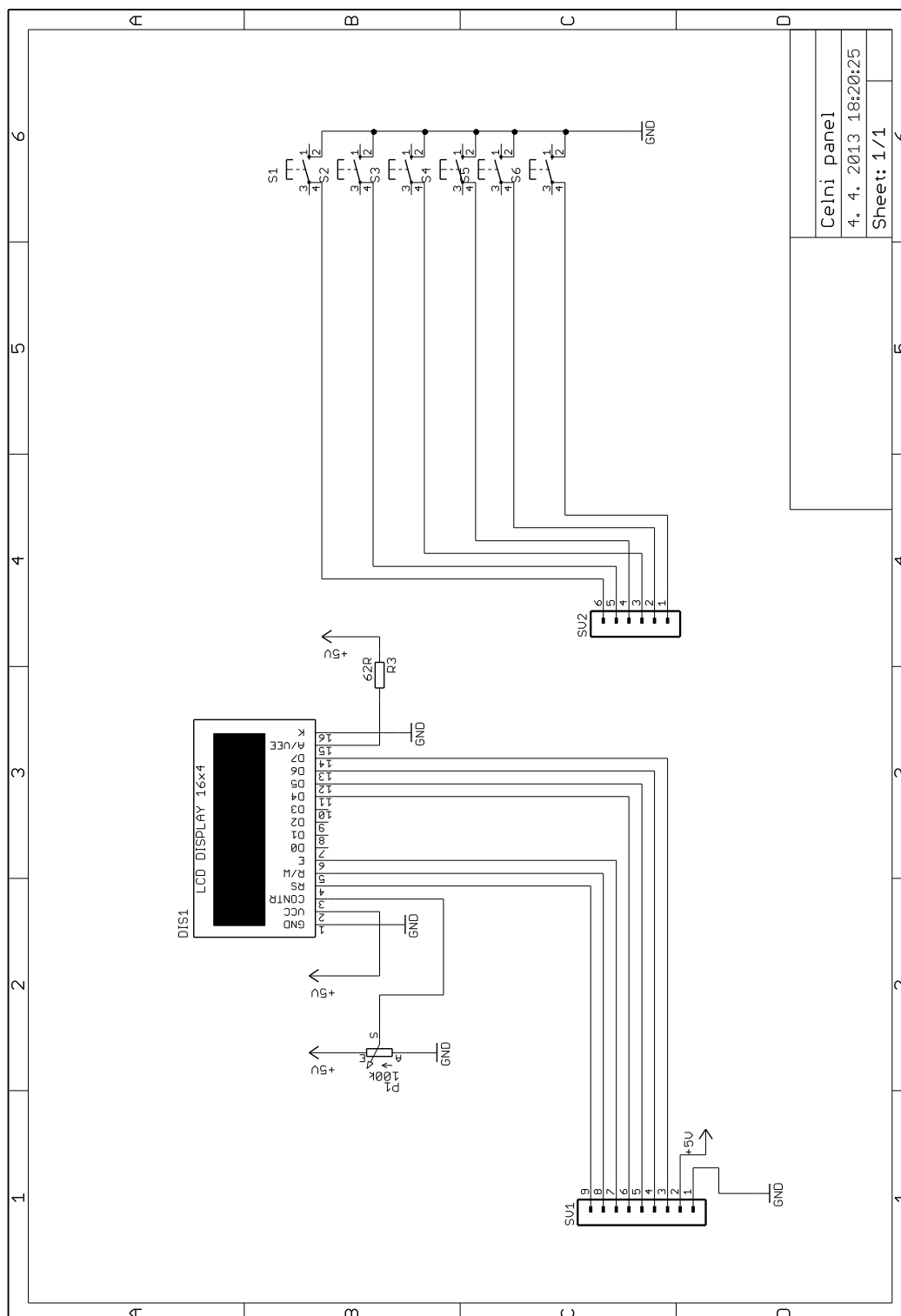
Rozměr desky 129x 72 [mm], měřítko M1:1

A.3.4 Rozložení součástek modulu mikroprocesoru a ostatních periférií – top

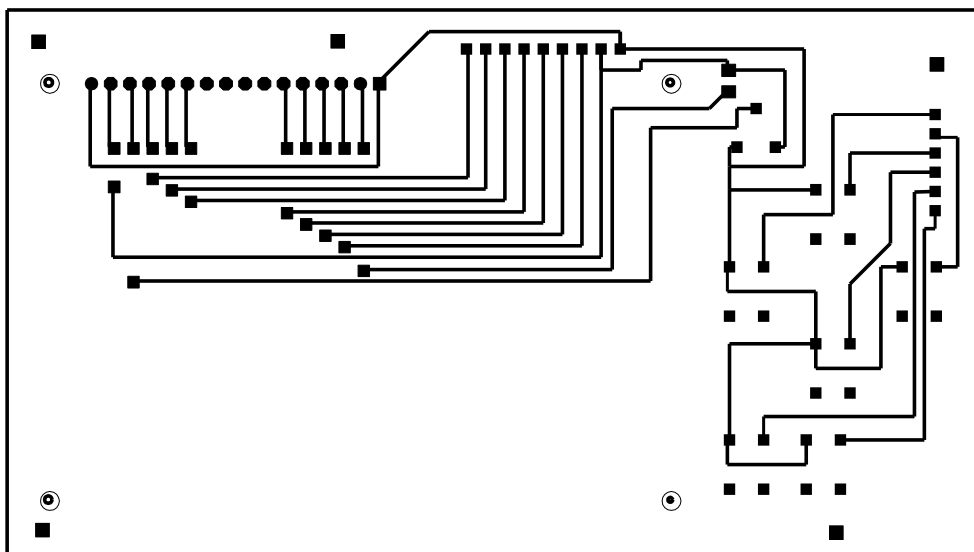


Rozměr desky 129x 72 [mm], měřítko M1:1

A.4 Obvodové zapojení čelního panelu

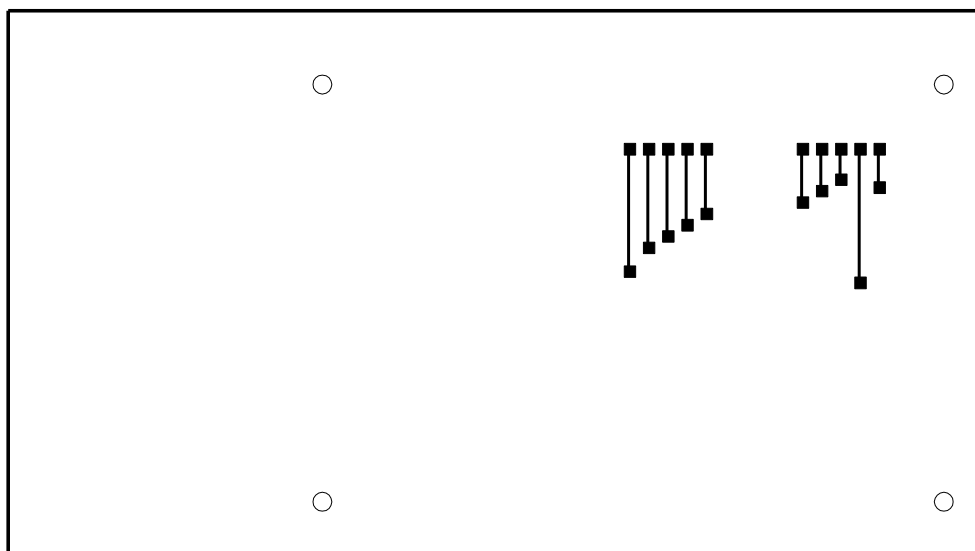


A.4.1 Deska plošného spoje modulu čelního panelu – bottom



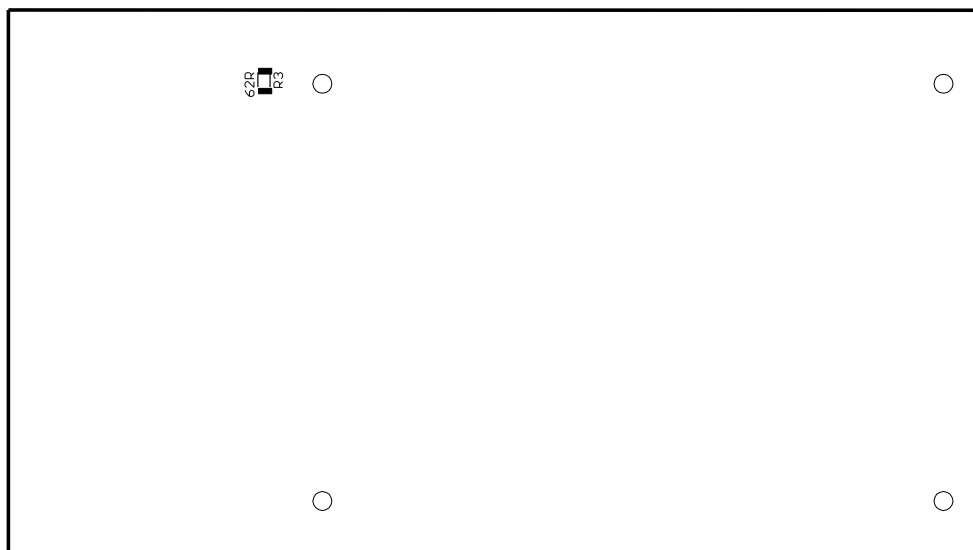
Rozměr desky 129x 72 [mm], měřítko M1:1

A.4.2 Deska plošného spoje modulu čelního panelu – top



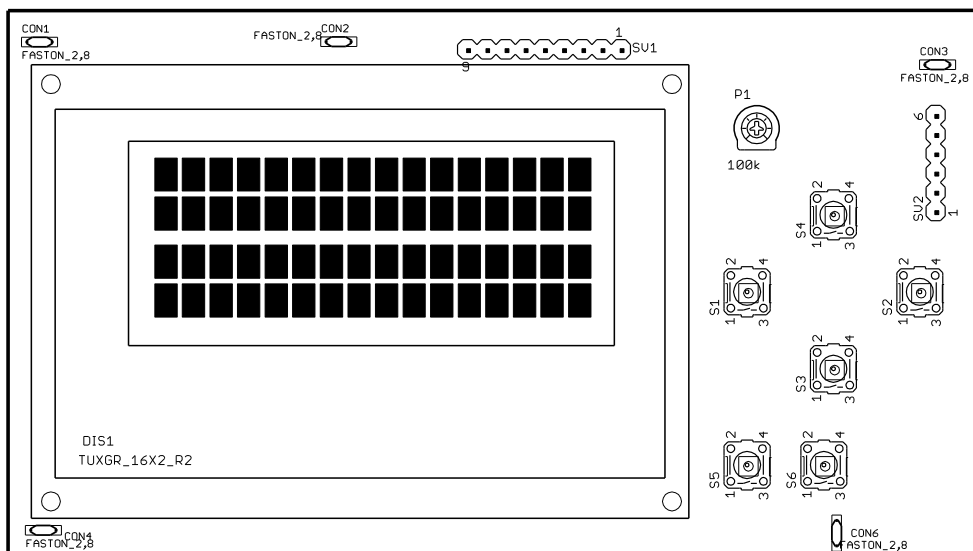
Rozměr desky 129x 72 [mm], měřítko M1:1

A.4.3 Rozložení součástek modulu čelního panelu – bottom



Rozměr desky 129x 72 [mm], měřítko M1:1

A.4.4 Rozložení součástek modulu čelního panelu – top



Rozměr desky 129x 72 [mm], měřítko M1:1

B SEZNAM SOUČÁSTEK

B.1 Seznam součástek zesilovače

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C2	10u	SMC_A	Tantalový kondenzátor
C3	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C4	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C5	33p	C1206	Keramický kondenzátor
C7	220u	E2,5-6E	Elektrolytický kondenzátor
C8	1u	SMC_B	Tantalový kondenzátor
C9	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C10	22u	SMC_B	Tantalový kondenzátor
CON13	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON14	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
IC1	LM358N	DIL08	Operační zesilovač
IC2	LM385	TO92-	Napěťová reference
IC3	TC7660DIL8	DIL8	DC/DC měnič
IC4	LM3080D	SO08	Operační zesilovač
IC5	7805 DPAK	DPAK	Stabilizátor napětí
P1	10k	PT6V	Potenciometr
R1	10k	R1206	Uhlíkový rezistor
R2	1M	R1206	Uhlíkový rezistor
R3	1k0	R1206	Uhlíkový rezistor
R4	10k	R1206	Uhlíkový rezistor
R5	221k	R1206	Uhlíkový rezistor
R6	30k	R1206	Uhlíkový rezistor
R7	221k	R1206	Uhlíkový rezistor
R8	24k	R1206	Uhlíkový rezistor
R9	430k	R1206	Uhlíkový rezistor
R10	270k	R1206	Uhlíkový rezistor
R11	221k	R1206	Uhlíkový rezistor
R12	10k	R1206	Uhlíkový rezistor
SV1		MA05-1	Pin konektor
X1	1-227161-0	AMP_227161	BNC konektor

B.2 Seznam součástek galvanického oddělení

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	1n	SMD1206	Keramický kondenzátor
C2	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C3	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C4	33u	SMC_C	Tantalový kondenzátor
C5	33u	SMC_C	Tantalový kondenzátor
CON1	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON2	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON15	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
IC1	AD654P	DIL08	U/f převodník
IC2	7805	DPACK	Stabilizátor napětí
JP1		JP1	Jumper
JP2		JP1	Jumper
OK1	HCPL0600	SOIC08	Optočlen
P1	5k	PT6V	Potenciometr
R1	2k2	R1206	Uhlíkový rezistor
R2	2k	R1206	Uhlíkový rezistor
R3	400	R1206	Uhlíkový rezistor
R4	5k	R1206	Uhlíkový rezistor
SV1		MA05-1	Pin. Konektor

B.3 Seznam součástek ostatních periférií včetně mikroprocesoru

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	20p	C1206	Keramický kondenzátor
C2	20p	C1206	Keramický kondenzátor
C3	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C4	100n	C1206	Keramický kondenzátor
C5	10u/25V	SMC_A	Tantalový kondenzátor
C6	-	C1206	Keramický kondenzátor
C8	10u/25V	SMC_A	Tantalový kondenzátor
CON1	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON2	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON3	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON4	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON5	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON6	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON7	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON8	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON9	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON10	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON11	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON12	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON13	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON14	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
CON15	FASTON_2,8	FAST_28-08	Konektor
D1	1N6001	C DO214AC	Dioda
D2	1N6001	C DO214AC	Dioda
D4	1N6001	C DO214AC	Dioda
G1	3V11R	3V11R	Baterie
IC2	7805 DPAK	0 DPACK	Stabilizátor napětí
IC3	MEGA32-A	TQFP44	Mikrokontroler
IC4	PCF8583T	SO8-7_5	Hodiny reálného času
JP1		AVR-ISP-6	Konektor
JP2		JP1	Jumper
JP3		JP2	Jumper
K2		ARK500/3	Svorkovnice
K4		ARK500/3	Svorkovnice
NAP		AK500/2	Svorkovnice
Q1	16MHz	HC-49U	Krystal
Q2	32.768 kHz	Q_3X8	Krystal

R1	10k	R1206	Uhlíkový rezistor
R2	800	R1206	Uhlíkový rezistor
R4	130k	R1206	Uhlíkový rezistor
R5	10K	R1206	Uhlíkový rezistor
R6	10K	R1206	Uhlíkový rezistor
R8	800	R1206	Uhlíkový rezistor
REL1	RELEF4152-	RELEMZPA92	Elektromagnetické relé
REL3	RELEF4152-	RELEMZPA92	Elektromagnetické relé
SV1		MA09-1	Tlačítko
SV2		MA06-1	Tlačítko
SV3		MA05-1	Tlačítko
SV4		MA05-1	Tlačítko
SV6		MA05-1	Tlačítko
SV7		MA05-1	Tlačítko
T1	BCX55-16	CE SOT89-BCE	Tranzistor
T3	BCX55-16	CE SOT89-BCE	Tranzistor

B.4 Seznam součástek čelního panelu

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
CON1		FAST_28-08	Konektor
CON2		FAST_28-08	Konektor
CON3		FAST_28-08	Konektor
CON4		FAST_28-08	Konektor
CON6		FAST_28-08	Konektor
DIS1	LCD 16x4	TUXGR_16X2_R2	Konektor
P1	100k	PT6V	Potenciometr
R3	62R	R1206	Uhlíkový rezistor
S1		B3F-10XX	Tlačítko
S2		B3F-10XX	Tlačítko
S3		B3F-10XX	Tlačítko
S4		B3F-10XX	Tlačítko
S5		B3F-10XX	Tlačítko
S6		B3F-10XX	Tlačítko
SV1		MA09-1	Konektor
SV2		MA06-1	Konektor

C DIGITÁLNÍ PŘÍLOHA

Přiložený CD disk obsahuje:

- Bakalářskou práci – soubor BP.pdf
- Zdrojový kód firmware pH regulátoru – soubor firmware.zip
- Předlohy pro tisk DPS (.eps) – soubor předlohy.zip