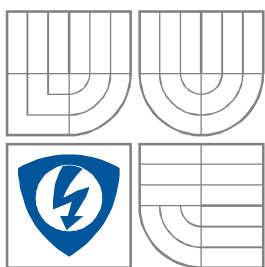


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

HLADINOMĚR S BEZDRÁTOVÝM PŘENOSEM

LEVEL INDICATOR WITH WIRELESS COMMUNICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ SMATANA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZOLTÁN SZABÓ, Ph.D.

BRNO 2013



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Tomáš Smatana
Ročník: 3

ID: 136583
Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Hladinoměr s bezdrátovým přenosem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte relevantní literaturu o měření hladiny kapalin a bezdrátovém přenosu signálu. Proveďte návrh zařízení, který bude signalizovat hladinu kapaliny a bezdrátově posílat informace do řídicí jednotky. Řídicí jednotka bude podle nastavených požadavků řídit spotřebič pro vyčerpání nebo dočerpání kapaliny. Navrhněte obvodové řešení systému využívající vhodnou mikroprocesorovou platformu. Systém bude napájen ze sítě a zálohován pro případ výpadku proudu. Zařízení realizujte a jeho správnou činnost ověřte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006.

[2] BENSKY, A. Short-range wireless communication, 2nd Editon. Burlington: Elsevier, 2004.

Termín zadání: 11. 2. 2013

Termín odevzdání: 31. 5. 2013

Vedoucí práce: Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

Konzultanti semestrální práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku 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 práce se zabývá návrhem a realizací zařízení, které slouží k bezdrátovému měření a regulaci výšky hladiny kapaliny. V první části jsou rozebrány různé možnosti měření výšky hladiny, různé možnosti realizací bezdrátové komunikace a jsou zde popsány základní vlastnosti mikrokontrolérů AVR firmy Atmel. Na základě tohoto rozboru jsou vybrána vhodná řešení senzorů a vhodných bezdrátových modulů pro návrh zařízení. V druhé části je proveden návrh zařízení, které je následně realizované.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měření výšky hladiny, hladinoměr, bezdrátový přenos dat, RF modul, mikrokontrolér.

ABSTRACT

This thesis describes the design and realization of a device that is used for wireless measurement and control of liquid level. The first section explains the different options for level measurement, different implementation of wireless communication and describes the basic features of the Atmel AVR microcontrollers. Based on this analysis, appropriate solutions are selected sensors and wireless modules suitable for the design of the device. The second part is the design of a device which is subsequently implemented.

KEYWORDS

Level measurement, level indicator, wireless data transmission, RF module, microcontroller.

SMATANA, T. *Hladinoměr s bezdrátovým přenosem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 43 s., 15 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zoltán Szabó, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Hladinoměr s bezdrátovým přenosem 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 Ing. Zoltánu Szabóovi, 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	ix
SEZNAM TABULEK	xi
ÚVOD	1
1 MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY	2
1.1 Požadavky na senzor.....	2
1.2 Rozdělení hladinoměří.....	3
1.2.1 Jednoduché indikátory hladiny	3
1.2.2 Plovákové hladinoměří	4
1.2.3 Mechanické hladinoměří.....	6
1.2.4 Tlakové hladinoměří	8
1.2.5 Elektrické hladinoměří.....	9
1.2.6 Optické hladinoměří.....	11
1.2.7 Ultrazvukové hladinoměří	12
2 BEZDRÁTOVÝ PŘENOS SIGNÁLU	14
2.1 Historie bezdrátového přenosu signálu.....	14
2.2 Rozdělení rádiového spektra.....	14
2.2.1 Pásmo ISM.....	14
2.3 RF moduly	15
2.4 Modulace používané u RF modulů.....	15
2.4.1 ASK	16
2.4.2 FSK.....	16
2.5 Přehled dostupných RF modulů.....	17
2.5.1 Aurel	17
2.5.2 Hope Microelectronics.....	17
3 MIKROKONTROLÉRY ATMEL AVR	19
3.1 Typy pouzdra a označení vývodů	19
3.2 Základní vlastnosti [13][12].....	21
3.3 Přerušení	21

3.4	A/D převodník	22
3.4.1	Základní parametry A/D převodníku [11][12].....	23
3.4.2	Výsledek A/D převodu	23
3.5	Časovače/čítače.....	23
3.6	SPI sběrnice	24
3.6.1	Vlastnosti sběrnice SPI u mikrokontroléru	24
4	NÁVRH ZAŘÍZENÍ	25
4.1	Požadavky kladené na zařízení	25
4.2	Výběr řešení	25
4.2.1	Výběr senzoru	25
4.2.2	Návrh senzoru	26
4.2.3	Výběr RF modulu	27
4.2.4	Modul RFM12B-433D	28
4.3	Blokové schéma	28
4.3.1	Kompletní řešení.....	28
4.3.2	Řídící jednotka	29
4.3.3	Popis některých částí řídicí jednotky	30
4.3.4	Ovládací jednotka	31
5	REALIZACE ZAŘÍZENÍ	32
5.1	Návrh obvodového zapojení	32
5.1.1	Řídící jednotka	32
5.1.2	Ovládací jednotka	33
5.1.3	Tlačítka	33
5.2	Oživení.....	33
5.3	Konstrukce zařízení	33
5.3.1	Konstrukce řídicí jednotky.....	33
5.3.2	Konstrukce ovládací jednotky	34
5.4	Konstrukce senzoru.....	35
5.4.1	Vodící tyč.....	35
5.4.2	Plovák	38
6	OVĚŘENÍ SPRÁVNÉ ČINNOSTI	39
6.1	Ověření správné činnosti zařízení.....	39
6.2	Ověření činnosti senzoru a změření jeho přesnosti	39

7 ZÁVĚR	41
LITERATURA	42
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	43
SEZNAM PŘÍLOH	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Externí stavoznak [1].	3
Obr. 1.2	Magnetický stavoznak [1].	4
Obr. 1.3	Plovákový spínač s jazýčkovým kontaktem instalovaný pro sepnutí nebo rozepnutí při stoupání hladiny [1].	4
Obr. 1.4	Vícepolohový plovákový systém [1].	5
Obr. 1.5	Plovákový spínač s vertikálním pohybem [1].	5
Obr. 1.6	Odporový spínačový hladinoměr se „spojitým“ výstupem [1].	6
Obr. 1.7	Ukazatel paliva v automobilu [1].	6
Obr. 1.8	Překlápěcí spínač [1].	7
Obr. 1.9	Princip vztlakového tělesa [1].	7
Obr. 1.10	Spouštěný plovák (pro kapaliny) nebo závaží (pro sypké materiály) [1].	8
Obr. 1.11	Senzor diferenčního tlaku na kapacitním principu [1].	9
Obr. 1.12	Senzor diferenčního tlaku na tenzometrickém principu [1].	9
Obr. 1.13	Potenciometrický hladinoměr [1].	10
Obr. 1.14	Konstrukce odporového páskového hladinoměru [1].	10
Obr. 1.15	Odporový páskový hladinoměr [1].	10
Obr. 1.16	Vodivostní sonda [1].	11
Obr. 1.17	Reflexní snímač kapaliny [1].	11
Obr. 1.18	Transmisní senzor hladiny [1].	12
Obr. 1.19	Transmisní senzor pro sypké materiály [1].	12
Obr. 1.20	Transmisní senzor pro kapaliny [1].	13
Obr. 1.21	Měření přes stěnu nádoby s odrazem od protější stěny [1].	13
Obr. 2.1	Průběh modulace typu ASK [5].	16
Obr. 2.2	Průběh modulace typu FSK [5].	16
Obr. 2.3	Ukázka RF modulu firmy Aurel (TX-SAW-MID-3V) [8].	17
Obr. 2.4	Ukázka RF modulu firmy Hope Microelectronics (RFM12B-433S2P) [9].	18
Obr. 3.1	ATmega16 pouzdro DIP40 [11].	19
Obr. 3.2	ATmega16 pouzdro TQFP44 [11].	20
Obr. 3.3	ATmega8 pouzdro DIL28 [12].	20
Obr. 3.4	ATmega8 pouzdro TQFP32 [12].	20

Obr. 4.1	Vnitřní zapojení senzoru	27
Obr. 4.2	RF modul RFM12B-433D firmy Hope Microelectronics [9].....	28
Obr. 4.3	Blokové schéma kompletního řešení	29
Obr. 4.4	Blokové schéma řídicí jednotky.....	30
Obr. 4.5	Blokové schéma ovládací jednotky	31
Obr. 5.1	Schéma převodníku napěťové úrovně.....	32
Obr. 5.2	Vzhled konstrukčního řešení krabičky řídicí jednotky při vnějším pohledu	34
Obr. 5.3	Vzhled konstrukčního řešení krabičky řídicí jednotky při vnitřním pohledu	34
Obr. 5.4	Vzhled konstrukčního řešení krabičky ovládací jednotky při vnějším pohledu.....	35
Obr. 5.5	Vzhled konstrukčního řešení krabičky ovládací jednotky při vnitřním pohledu.....	35
Obr. 5.6	Zhotovený kompletní senzor.....	37
Obr. 5.7	Detail na vývod kabelu ze senzoru	37
Obr. 5.8	Detail na jednu dvojici jazýčkového kontaktu s rezistorem	38
Obr. 5.9	Detail na plovák	38
Obr. 6.1	Displej řídicí jednotky, změřená hodnota	39
Obr. 6.2	Závislost změřené hodnoty hladiny na nastavené hodnotě na senzoru.....	40

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1	Kmitočty pásem ISM [2].	15
Tab. 2.2	Přehled vybraných RF modulů firmy Aurel	17
Tab. 2.3	Přehled vybraných RF modulů firmy Hope Microelectronics.....	17
Tab. 3.1	Vektory přerušení ATmega16 [11].....	21
Tab. 3.2	Vektory přerušení ATmega8 [12].....	22
Tab. 4.1	Přehled hlavních výhod a nevýhod jednotlivých typů uvažovaných senzorů hladinoměrů	26
Tab. 4.2	Označení vývodů modulu RFM12B [7].	28
Tab. 4.3	Napěťové úrovně RF modulů a mikrokontrolérů	30
Tab. 9	Zapojení vodičů senzoru	36

ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem a realizací zařízení určeného k měření a regulaci výšky hladiny, přičemž nastavení hodnot regulace probíhá bezdrátově. Zařízení tvoří dvě části. První částí je řídicí jednotka, ke které je připojen senzor k měření výšky hladiny kapaliny a řízené zařízení. Řídicí jednotka snímá a signalizuje výšku hladiny. Změřenou hodnotu následně bezdrátově posílá do druhé části zařízení, kterou je ovládací jednotka. Ovládací jednotka zobrazuje naměřenou hodnotu a umožňuje uživateli nastavit meze výšky hladiny, ve kterých se spíná nebo vypíná řízené zařízení. Toto nastavení je následně odesláno do řídicí jednotky, ve které dochází ke spínání řízeného zařízení, určeného pro odčerpání nebo dočerpání měřené kapaliny. Technicky lze spínat libovolné elektrické zařízení.

Práce je rozdělená do tří částí. V první části je zpracován teoretický rozbor dané problematiky. Jsou zde rozebrány vybrané realizace senzorů k měření výšky hladiny používaných v dnešní době, možné způsoby bezdrátového přenášení dat pomocí rádiového signálu a popis základních vlastností mikrokontrolérů řady AVR firmy Atmel, převážně však těch, které budou použity v navrhovaném zařízení.

V druhé části je na základě poznatků z teoretického rozboru vybrán pro daný účel nejvhodnější typ senzoru hladinoměru a vhodný typ RF modulu. Následuje návrh zařízení v podobě blokových schémat pro následnou konstrukci zařízení.

Ve třetí části práce je popsána fyzická realizace zařízení. Je zde návrh obvodového zapojení, konstrukce zařízení, oživení a ověření správné činnosti zařízení.

Práce obsahuje také tři přílohy. V příloze A jsou obvodová schémata, návrh plošných spojů a osazovací plán součástek. V příloze B je seznam součástek. V příloze C je návrh potisku přístrojových krabiček.

1 MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY

Hladinoměr je měřicí zařízení sloužící k měření výšky hladiny kapaliny nebo sypkých materiálů. Měření výšky hladiny patří k vůbec nejstarším měřením v lidské historii. Ve značné většině případů je důvodem měření výšky hladiny potřeba zjistit objem měřeného materiálu. Používá se u těch jednodušších měření například k indikaci stavu hladiny vody v korytech řek, ve vodních přehradách, k indikaci stavu obsahu v nádržích, tak i u těch složitějších a na přesnost náročnějších jako je dávkování přísad ve výrobě, inventární a fakturační měření, detekce úniku látek, atd.

1.1 Požadavky na senzor

Při návrhu senzoru měření hladiny se bere v úvahu, že neexistuje jeden univerzální senzor, který by fungoval na všechny typy měřených médií. Pro každou aplikaci se musí individuálně zhodnotit vlastnosti měřeného média a nejrůznější okolnosti, ze kterých se následně vznese požadavek na navrhovaný senzor a zvolí se jeho vhodný typ.

Jeden z prvních problémů jsou prostorové nároky na senzor. Musí se zohlednit nejen vnější rozměry nádrže, ale také její vnitřní uspořádání. Uvnitř nádrže mohou být nejrůznější přepážky, vzpěry nebo míchadla, která by mohla omezovat pracovní pole používaných u některých typů senzorů, jako jsou třeba ultrazvukové nebo radarové senzory.

V aplikacích, kdy se pracuje s výbušnými a těkavými látkami musí být striktně dodržena jiskrová bezpečnost. Princip této bezpečnosti spočívá v omezení dodávky elektrické energie a celkově vhodném konstrukčním uspořádání senzoru tak, aby bylo zamezeno vzniku jiskry, což by mohlo vést k zapálení těkavých pár obsažených v atmosféře.

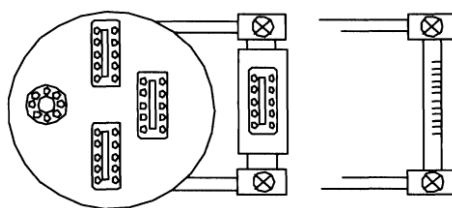
Jako u každého jiného elektrického zařízení, tak i u senzorů se uvádí stupeň krytí IP. První číslice IP0x – IP6x uvádí stupeň krytí zařízení před nebezpečným dotykem a před vniknutím cizích těles. Druhá číslice IPx0 – IPx8 uvádí stupeň krytí před vnikem vody. Jelikož senzory hladiny často pracují ve velmi vlhkém prostředí, bývá jejich stupeň krytí vysoký, často IP67.

1.2 Rozdělení hladinoměrů

1.2.1 Jednoduché indikátory hladiny

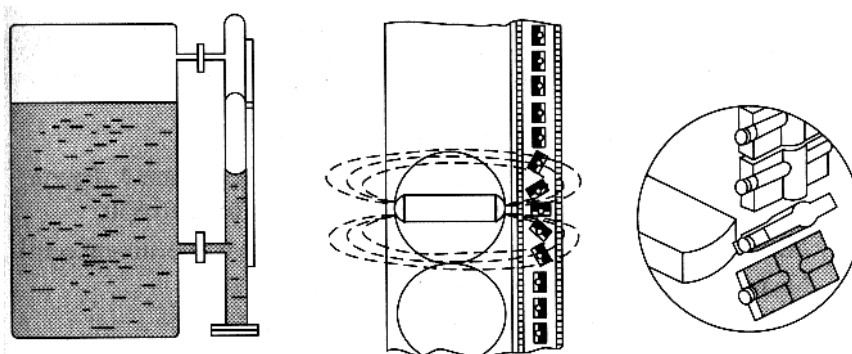
Jedná se o hladinoměry vůbec nejjednodušší a nejstarší na světě. I přesto jsou to asi nejrozšířenější a nejpoužívanější hladinoměry. Mezi hlavního zástupce patří ponorná tyč. Použití ponorné tyče spočívá v ponoření tyče do měřené kapaliny a následně po jejím vytažení změřením délkovým měřidlem délky smočené části. Dále se její použití uplatňuje například ve formě měrné stupnice na břehu řek pro potřeby říční plavby a monitorování povodňového nebezpečí.

Dalším zástupcem jsou průhledítka a stavoznaky. Jedná se o otvor ve stěně nádoby nebo nádrže vyplněn průhledným materiálem, nejčastěji sklem, kterým se pozoruje aktuální výška hladiny kapaliny. Při ocejchování takového průzoru se může zjistit hodnota výšky hladiny. Použití těchto průzorů je značně omezeno technickými možnostmi konstrukce nádrže, proto bývá poměrně malých rozměrů. Tuto nevýhodu lze vyřešit použitím externího stavoznaku připojeného pomocí potrubí (Obr. 1.1). Externí stavoznak může být realizován jako skleněná trubice s délkou celé výšky nádoby, čímž se zajistí použití jednoho stavoznaku na celý rozsah měření.



Obr. 1.1 Externí stavoznak [1].

Jistým druhem stavoznaků jsou magnetické stavoznaky (Obr. 1.2). Tento druh neklade tak vysoké nároky na kvalitní provedení (tepelná, chemická, mechanická odolnost a hermetičnost) externího stavoznaku. Důvodem je nepřítomnost měřené kapaliny uvnitř stavoznaku. Principem je plovák s integrovaným permanentním magnetem umístěný ve zvláštní plovákové komoře spojené s hlavní nádrží. Pohyb plováku je společný s pohybem výšky hladiny kapaliny. Současně se jeho poloha přenáší magnetickou vazbou na indikátor v odděleném prostoru. Indikátor může být řešen jednoduchým ukazatelem, který pomocí magnetické síly kopíruje polohu plováku. Častějším řešením je řada magnetů zbarvených z obou stran rozdílnou barvou. Při pohybu plováku jedním směrem způsobí překlopení magnetů na opačnou stranu. Při pohybu opačným směrem dochází k překlopení magnetů do původního stavu. V místě, kde jsou sousední magnety rozdílné barvy, můžeme pomocí stupnice odečíst výšku hladiny.

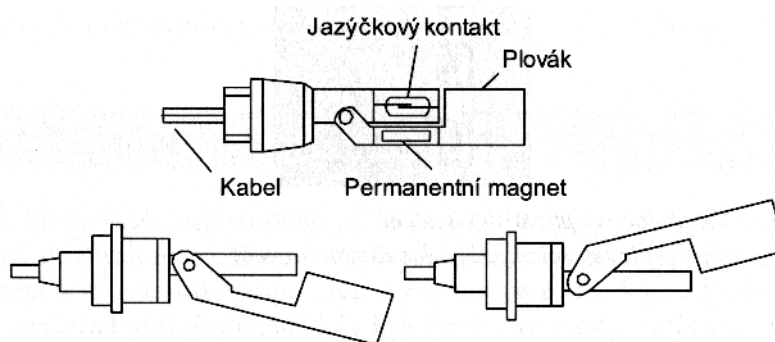


Obr. 1.2 Magnetický stavoznak [1].

1.2.2 Plovákové hladinoměry

Principem plovákového hladinoměru je použití plovákového tělesa, které se vznáší na rozhraní dvou látek rozdílných hustot (např.: vody a vzduchu). Plovákové těleso musí být zhotoveno z materiálů jednak chemicky a tepelně odolných vůči měřené kapalině, ale také takových, aby celková hustota plováku byla co možná nejvíce uprostřed mezi hustotami látek tvořící měřené rozhraní. Plovákové těleso by mělo mít co nejméně vodorovných ploch, kde by se nemohly při provozu zdržovat a následně usazovat kapky kapaliny, což by vedlo k nepřesnému měření.

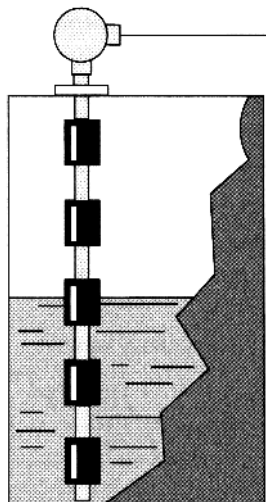
Zástupcem plovákových hladinoměrů jsou plovákové spínače. Z nich nejjednodušší a nejrozšířenější konstrukcí jsou plovákové spínače s jazýčkovým kontaktem (Obr. 1.3). Základem těchto spínačů je jazýčkový kontakt a plovák s integrovaným permanentním magnetem. Jazýčkový kontakt je podobný kontaktu v jazýčkovém relé. Při stoupnutí plovákového tělesa se kontakty z magneticky měkkého materiálu ocitnou v přítomnosti permanentního magnetu, čímž jsou nesouhlasně zmagnetovány. Důsledkem je vzájemné přitažení kontaktů a jejich elektrického sepnutí. Při klesnutí plovákového tělesa je jazýčkový kontakt bez přítomnosti permanentního magnetu a pružná síla kontaktů způsobí jejich opětovné rozpojení. Nevýhodou tohoto principu je vhodnost použití jen na měření jedné úrovně výšky hladiny kapaliny.



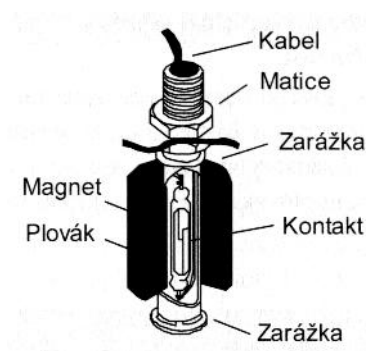
Obr. 1.3 Plovákový spínač s jazýčkovým kontaktem instalovaný pro sepnutí nebo rozepnutí při stoupání hladiny [1].

Tato nevýhoda je částečně řešena použitím těchto plovákových spínačů v měřeném rozsahu více. Konstrukci takového systému lze pak řešit svislou tyčí, po které se pohybuje několik na sobě nezávislých plováků s integrovaným permanentním magnetem (Obr. 1.4). Musí být zajištěno omezení pohybu každého plovákového tělesa jen v určitém rozsahu. Uvnitř tyče je v každém tomto rozsahu umístěn jazýčkový

kontakt (Obr. 1.5). Nevýhodou je nutnost z konstrukčních důvodů (omezený průměr vodičí tyče) použít jazýčkových spínačů s malou velikostí a tím jejich malou zatížitelností. Nevýhodou je také nutnost vést vodiče ke každému kontaktu zvlášť.

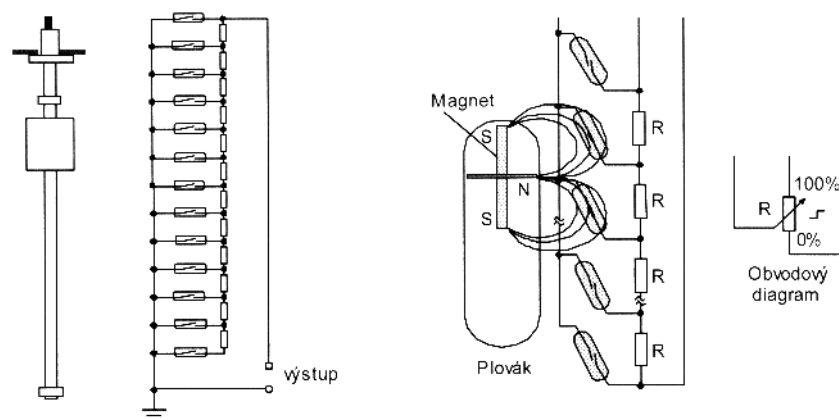


Obr. 1.4 Vícepolohový plovákový systém [1].



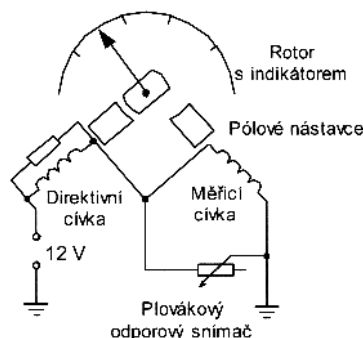
Obr. 1.5 Plovákový spínač s vertikálním pohybem [1].

Technicky dokonalejším řešením je použití jazýčkových spínačů společně s rezistorovou sítí (Obr. 1.6). Při pohybu plováku jazýčkové spínače spínají určitý počet rezistorů zapojených do série. Tím mění jejich celkový odpor, který je následně vyhodnocen elektronikou. Výhodou je potřeba použít jen jedno plovákové těleso a dva vodiče. Nevýhodou, dnes téměř zanedbatelnou, je nutnost použití vyhodnocovací elektroniky.



Obr. 1.6 Odporový spínačový hladinoměr se „spojitým“ výstupem [1].

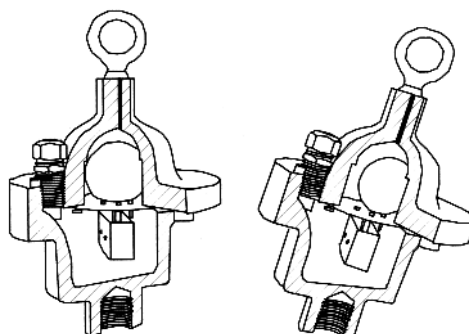
Mezi další zástupce plovákových hladinoměrů patří odporové snímače. Tento typ se často používal k měření množství paliva v palivových nádržích automobilů (Obr. 1.7). Principem je pohyb plováku v nádrži na kyvném rameni, který přenáší svou polohu na odporovou dráhu potenciometru. Změna jeho odporu určuje výchylku ručky magnetoelektrického poměrového ústrojí. Výhodou těchto snímačů je neovlivnění přesnosti měření při kolísání napájecího napětí, což je výhodné při napájení třeba z akumulátorů. Nevýhodou je opotřebovávání odporové dráhy potenciometru.



Obr. 1.7 Ukazatel paliva v automobilu [1].

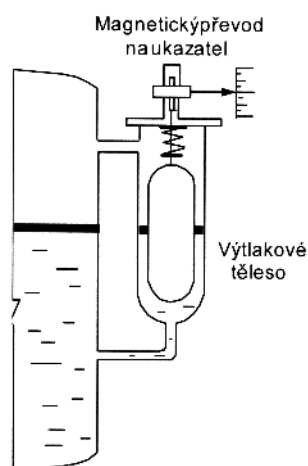
1.2.3 Mechanické hladinoměry

Mezi nejjednodušší mechanické senzory patří překlápěcí spínač (Obr. 1.8). Slouží pro zapnutí spotřebiče při jedné úrovni výšky hladiny kapaliny a při druhé úrovni jeho vypnutí. Pro jednoduchost a účelnost se používá například u malých domácích vodních čerpadel do studny. Tyto senzory tvoří malá vodotěsná krabíčka, do které jsou přivedeny napájecí vodiče zařízení, které má být spouštěno (u čerpadel je to motor čerpadla). Uvnitř této krabíčky je vyhrazený prostor pro volný pohyb ocelové kuličky, která při svém pohybu ovládá elektrický spínač. Krabíčka při provozu tvoří plovákové těleso zavěšené v pevném bodě za přivedené kabely. Při nízkém stavu výšky hladiny je krabíčka svěšená a v ní umístěná kulička zaujímá nejnižší polohu a svou váhou tlačí na ovládací mechanismus elektrického spínače. V tomto případě je elektrický spínač rozepnutý. V opačném případě je vysokým stavem výšky hladiny krabíčka nad úroveň zavěšení, což způsobí naklopení krabíčky na stranu, následného odvalení kuličky z ovládacího mechanismu elektrického spínače a jeho sepnutí. Výhodou je jejich jednoduchost. Nevýhodou je nemožnost přesného nastavení požadované výšky zapnutí a vypnutí spínače.



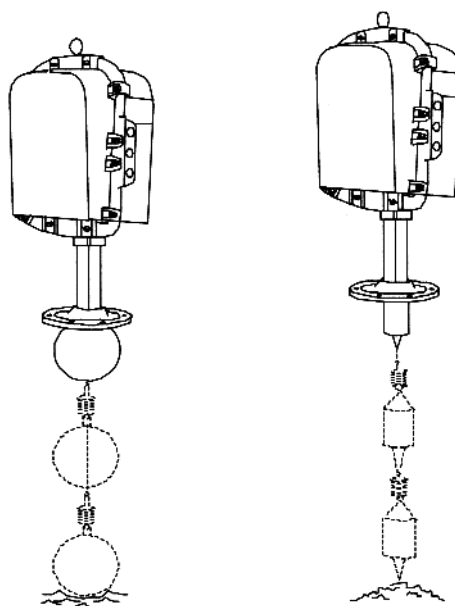
Obr. 1.8 Překlápěcí spínač [1].

Dalším řešením mechanického senzoru je vztlakové těleso (Obr. 1.9). U tohoto řešení se používá vztlakového tělesa, které se podobá plovákovému tělesu. Rozdíl je však v jejich hustotě. Plovákové těleso má malou hustotu a při provozu kopíruje rozhraní kapaliny a vzduchu. Vztlakové těleso má vyšší hustotu, než měřená kapalina a při provozu se pohybuje jen velmi málo. Změnou výšky hladiny se mění míra jeho ponoření a tím se mění jeho vztlaková síla. Jeho vertikální pohyb může být převeden na indikační zařízení. Jejich nevýhodou je nutnost zajištění konstantní hustoty měřené kapaliny (a taky vzduchu). Výhodou je necitlivost na případnou pěnu na hladině měřené kapaliny.



Obr. 1.9 Princip vztlakového tělesa [1].

Mechanický hladinoměr typu spouštěný plovák (Obr. 1.10) tvoří navíjecí mechanismus, který je zavěšený v horní části nádrže, z něhož je v režimu měření na laně spouštěn plovák. V okamžiku, kdy dojde ke styku plováku s měřenou kapalinou, dojde k jeho odlehčení, které zaznamená vyhodnocovací elektronika v navíjecím mechanismu a zastaví odvíjení. Tento bod se pak vyhodnotí a předá na indikační zařízení. Poté se lano navine a celý proces se může opakovat. Pro kapaliny se používá plovák a pro sypké materiály závaží. Nevýhodou tohoto systému je možnost uvíznutí v měřeném materiálu.



Obr. 1.10 Spouštěný plovák (pro kapaliny) nebo závaží (pro sypké materiály) [1].

1.2.4 Tlakové hladinoměry

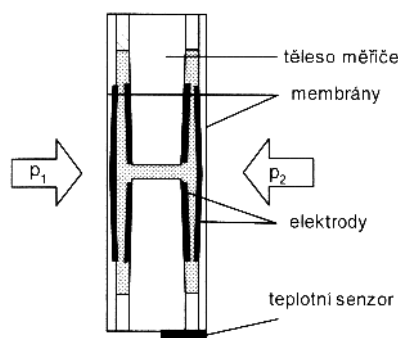
Tento typ hladinoměru je založen na principu měření hydrostatického tlaku. Senzory se umísťují na stěně spodní části nádrže nebo se spouštějí na kabelu z horní části nádrže. Hydrostatický tlak v místě měření vyvinutý sloupcem kapaliny je dán vztahem [1]

$$P = h \cdot \rho \cdot g, \quad (1.1)$$

kde P je hydrostatický tlak, h výška vodního sloupce nad bodem měření, ρ hustota kapaliny a g tíhové zrychlení. Ze změřeného tlaku se následně přepočítává výška hladiny.

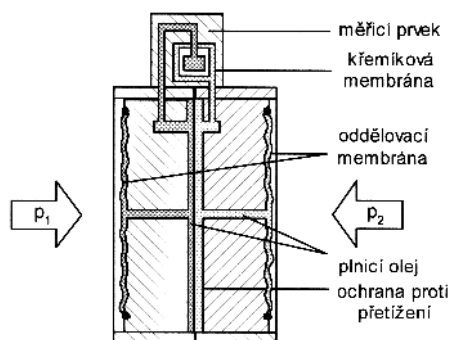
Konstrukci tlakových senzorů tvoří tlakový senzor, který je převážně od měřené kapaliny oddělen přes membránu, kde prostor mezi nimi je vyplněn silikonovým nebo minerálním olejem. Tyto senzory jsou relativně jednoduché, protože neobsahují žádné složité mechanismy, jako třeba plovákové systémy.

Nejčastěji se používají diferenční snímače tlaku. Mezi ně patří senzor diferenčního tlaku pracující na kapacitním principu (Obr. 1.11). Tento senzor obsahuje elektrody, které tvoří elektrody deskového kondenzátoru. Při působení tlaku kapaliny na membránu dochází k deformaci elektrod a tím změně kapacity kondenzátoru, která je vyhodnocována elektronikou.



Obr. 1.11 Senzor diferenčního tlaku na kapacitním principu [1].

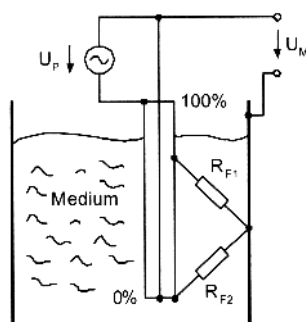
Další senzor diferenčního tlaku pracuje na tenzometrickém principu (Obr. 1.12). U tohoto senzoru je měřený tlak kapaliny přiváděn na membrány. Za membránami jsou prostory vyplněné silikonovým olejem, které přivádějí tlak na křemíkovou membránu s polovodičovými odporovými tenzometry.



Obr. 1.12 Senzor diferenčního tlaku na tenzometrickém principu [1].

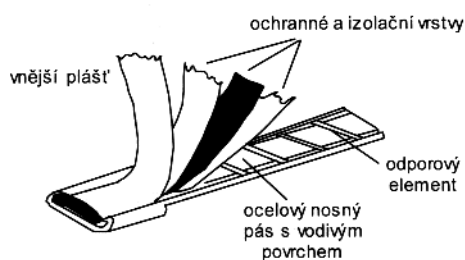
1.2.5 Elektrické hladinoměry

Prvním zástupcem elektrických hladinoměrů jsou hladinoměry potenciometrické (Obr. 1.13). Podmínkou tohoto měření je dobrá elektrická vodivost měřené kapaliny a nádrž vyrobená z vodivého materiálu, třeba z kovu. U tohoto typu hladinoměrů je tyč z nerezové oceli ponořena do nádrže s kapalinou. Tato tyč tvoří odporovou dráhu potenciometru. Jako jezdec potenciometru zde funguje měřená kapalina. Vyhodnocovací elektronika měří elektrický odpor mezi nádrží a horním koncem tyče. Při zvyšování výšky hladiny se odpor tyče snižuje a naopak při snižování výšky hladiny se odpor tyče zvyšuje. Změřený odpor se následně přepočítá na výšku hladiny kapaliny.

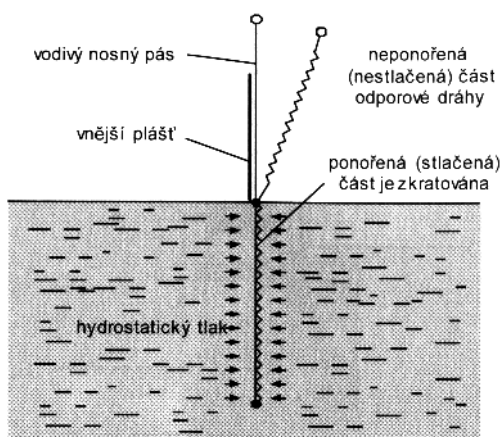


Obr. 1.13 Potenciometrický hladinoměr [1].

Podobným způsobem fungují odporové pásky (Obr. 1.15). Odporový pásek tvoří nosný a zároveň vodivý pás a odporový pás. Odporový pás je za klidového stavu elektricky oddělen od vodivého pásu. Při ponoření odporového pásu do měřené kapaliny působí hydrostatický tlak přes vnější plášť na odporový pásek, který se zkratuje s vodivým páskem. V závislosti na výšce hladiny se zkratuje určitá část odporového pásu. Výsledný odpor je následně vyhodnocován elektronikou a přepočítáván na výšku hladiny kapaliny.

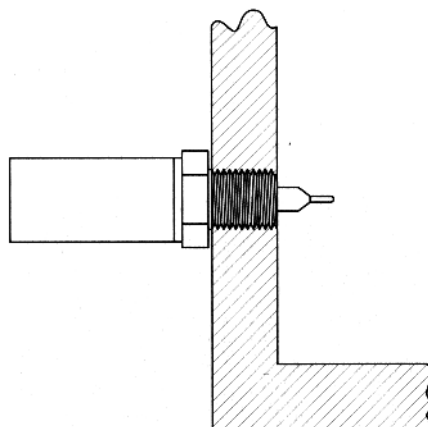


Obr. 1.14 Konstrukce odporového páskového hladinoměru [1].



Obr. 1.15 Odporový páskový hladinoměr [1].

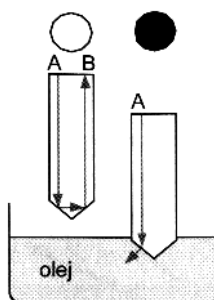
Dalším zástupcem elektrického senzoru jsou vodivostní hladinové spínače. Tyto senzory tvoří vodivostní sondy (Obr. 1.16), které při dosažení určité úrovně výšky hladiny uzavřou elektrický okruh s elektricky vodivou nádrží. Pro snímání více úrovní výšky hladiny se musí instalovat více těchto senzorů. K zabránění vzniku elektrolýzy se musí výhradně použít střídavý proud.



Obr. 1.16 Vodivostní sonda [1].

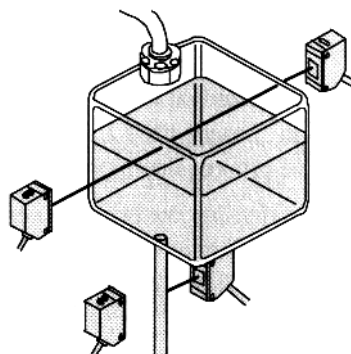
1.2.6 Optické hladinoměry

Prvním typem optických hladinoměrů jsou hladinoměry reflexní (Obr. 1.17). Tyto hladinoměry využívají lom paprsků světla na rozhraní sklo/vzduch a sklo/kapalina. Do nádrže je umístěn hranol z opticky vodivého materiálu. Jeho spodní konec je opatřen hrotem. Na horním konci je zdroj světla, nejčastěji tvořen infračervenou LED, namířen směrem dovnitř hranolu. Při nízkém stavu výšky kapaliny dochází na hrotu hranolu k lomu paprsků světla na rozhraní sklo/vzduch. Protože index lomu vzduchu je výrazně nižší než index lomu kapaliny, dochází k téměř úplnému odrazu vysílaných paprsků světla zpět do zdroje. Při dostatečné úrovni výšky hladiny je hrot hranolu smočen v kapalině a dochází k lomu paprsků světla na rozhraní sklo/kapalina. V tomto případě část světla unikne mimo hranol a intenzita odraženého světla snímaného defektem je nižší. Výhoda těchto senzorů je možnost použití v prostředí vyžadující jiskrovou bezpečnost.



Obr. 1.17 Reflexní snímač kapaliny [1].

Dalším zástupcem jsou transmisní senzory (Obr. 1.18). U tohoto typu musí být nádrž zhotovená z průhledného materiálu nebo musí obsahovat dva malé skleněné otvory na protilehlých stranách. Na jedné straně nádrže je umístěn zdroj paprsku světla (laser), nejčastěji viditelného nebo infračerveného spektra. Na protilehlou stranu nádrže se umístí senzor světla. Obě jednotky jsou umístěny do výšky, ze které chceme snímat přítomnost kapaliny. Jakmile úroveň výšky hladiny nedosahuje této výšky, světelný paprsek je jen velmi málo zeslaben a vyhodnocovací jednotka vyhodnotí nízký stav hladiny. V opačném případě, kdy výška dosáhne této výšky, utlumí intenzitu procházejícího světelného paprsku a vyhodnocovací jednotka vyhodnotí stav výšky hladiny vyšší, než je instalační výška senzoru.



Obr. 1.18 Transmisní senzor hladiny [1].

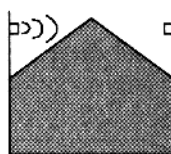
1.2.7 Ultrazvukové hladinoměry

Senzory využívající ultrazvukové hladinoměry pracují s akustickým signálem o kmitočtu ležícím nad slyšitelným pásmem, tedy nad 20 kHz. Ke generování těchto ultrazvukových signálů se využívají ultrazvukové převodníky nejčastěji konstruované jako piezoelektrické. U těchto převodníků je využíván piezoelektrický jev, kde přivedené elektrické napětí na piezoelektrický materiál způsobuje jeho jisté (vratné) mechanické deformace, které jsou přivedeny na membránu vyzařující akustický signál. Největší nevýhodou ultrazvukových senzorů je značná závislost rychlosti šíření zvuku na teplotě. Rychlost šíření zvuku je dána vztahem [1]

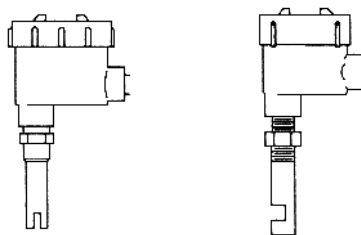
$$c = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T}, \quad (1.2)$$

kde κ je adiabatická konstanta (1,402 pro vzduch), R je plynová konstanta pro vzduch ($287,05 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) a T je termodynamická teplota ($t + 273,15 \text{ K}$).

Nejjednodušší verzí ultrazvukového hladinoměru jsou transmisní spínače. Jejich konstrukce se liší v závislosti na použití při měření výšky sypkých materiálů (Obr. 1.19) nebo při měření výšky hladiny u kapalin (Obr. 1.20). U obou konstrukcí se jedná o zdroj akustického signálu a o jeho přijímač natočených proti sobě. U sypkých materiálů se tyto dva senzory umísťují na protilehlé strany nádrže v požadované výšce měření. U kapalin se umísťují do štěrbin zkonstruované na konci měřicí části senzoru. Zdroj vysílá akustický signál, který je přijímán na protější straně. V případě dosažení určité výšky měřeného materiálu se tento signál přeruší a na přijímač přestane dopadat. Což je dále vyhodnocováno vyhodnocovací elektronikou.

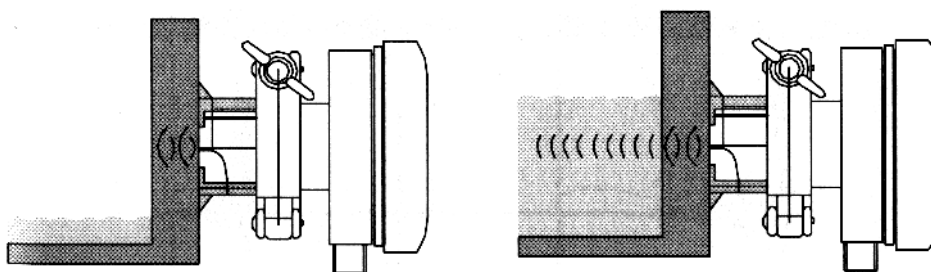


Obr. 1.19 Transmisní senzor pro sypké materiály [1].



Obr. 1.20 Transmisní senzor pro kapaliny [1].

Dalším typem jsou reflexní spínače (Obr. 1.21). Tyto senzory pracují na principu podobném radaru. Zdroj vysílá v určitém intervalu krátké (1 ms) akustické impulsy. V době, kdy nevysílá, se zdroj přepne na přijímač a čeká na odražený impuls. Při dopadu se měří časové zpoždění od vyslání signálu. Senzor se umísťuje na stěnu nádoby z vnější strany. Při nízké výšce hladiny je na druhé straně stěny nádoby vzduch, čímž je většina signálu odražena. V případě dostatečné výšky hladiny je většina energie akustického signálu rozptýlena v kapalině a k odrazu dojde jen z malé části.



Obr. 1.21 Měření přes stěnu nádoby s odrazem od protější stěny [1].

2 BEZDRÁTOVÝ PŘENOS SIGNÁLU

2.1 Historie bezdrátového přenosu signálu

Počátkem vzniku bezdrátové komunikace je touha člověka po jednoduchém přenášení informace mezi lidmi na velkou vzdálenost. Nejjednodušší způsob přenášení informace je použití lidského hlasu. Nevýhodou je však malý dosah. Následným vývojovým řešením bylo postupně oheň, kouřové signály, záblesky využívající zrcadla a denní světlo, vlajky, semaforey, atd.

Po objevení elektřiny bylo možno přenášet informace pomocí elektrického obvodu. Roku 1837 byl vynalezen telegraf, kde k přenosu informace sloužil vodič. Nevýhodou telegrafu byla možnost přenášet pouze kódovaný dvoustavový signál, podobný dnešnímu digitálnímu signálu. Ke kódování se používaly překládací abecedy, z nichž nejznámější je Morseova abeceda. Nevýhodu kódování vyřešil roku 1876 vynález telefonu. Telefon umožňoval pomocí elektroakustických měničů přenášet lidský hlas. Nicméně jedná se stále přenos po kabelu. S vývojem techniky narůstaly nároky na množství přenášených informací, kde se projevovaly hlavní nevýhody přenášení informací po kabelu. Těmito nevýhodami jsou poměrně vysoké pořizovací náklady samotných kabelů a technická, časová i právní náročnost jejich rozvedení. Tyto nevýhody vyřešil bezdrátový přenos.

Základ pro bezdrátový přenos informace pomocí elektromagnetických vln dal roku 1870 americký fyzik James Clerk Maxwell, kdy formuloval rovnice pro šíření elektromagnetického vlnění. Elektromagnetického vlnění využil roku 1895 italský vědec Guglielmo Marconi, kdy bezdrátově přenesl informaci na vzdálenost přibližně jedné míle. První transatlantický bezdrátový přenos byl uskutečněn roku 1901. Stejně jako u telegrafu se i u bezdrátového přenosu zpočátku využívalo Morseovy abecedy. Roku 1904 poprvé nahrazena přenosem hlasu. Postupem času byly vyvinuty různé druhy modulace.

Přenášení informace bezdrátovým přenosem pomocí elektromagnetického vlnění se používá dodnes. V dnešní době se však masově přechází na digitální modulaci, z důvodu efektivního využití rádiového spektra, které využitelnou část nemá nekonečnou.

2.2 Rozdělení rádiového spektra

Z důvodu konečné šířky použitelného spektra vznikla Mezinárodní telekomunikační unie (ITU), která zabezpečuje jeho koordinované využití. Pro Českou republiku pod něj spadá Český telekomunikační úřad (ČTU), který řídí využití rádiového spektra v ČR v souladu s §56 a §95 zákona č. 151/2000Sb. Plán přidělení kmitočtových pásem pro Českou republiku určuje národní kmitočtová tabulka [2].

2.2.1 Pásmo ISM

Pásmo ISM jsou pásma rádiového spektra, která jsou určena pro využívání v průmyslu, vědě a zdravotnictví. V dnešní době jsou také často využívána např. pro datovou

komunikaci u dálkového ovládání, bezdrátového měření, RC modelů, atd. Jedná se o tzv. volné pásmo, ve kterém je povoleno používání homologovaných zařízení bez licenčních poplatků. Podmínky pro provoz těchto zařízení jsou stanoveny licencemi s číslem GL-12/R/2000, nebo GL-30/R/2000 vydané Českým telekomunikačním úřadem. Zároveň v tomto pásmu není zaručeno zamezení vzniku rušení vlivem vysílání dvou a více zařízení na stejném kmitočtu ve stejný okamžik. Kmitočty volných pásem ISM jsou uvedeny v Tab. 2.1.

Tab. 2.1 Kmitočty pásem ISM [2].

Pásmo	Střední kmitočet
13 553-13 567 kHz	13 560 kHz
26 957-27 283 kHz	27 120 kHz
40,66-40,70 MHz	40,68 MHz
902-928 MHz	915 MHz
2400-2500 MHz	2450 MHz
5725-5875 MHz	5800 MHz
24-24,25 GHz	24,125 GHz

2.3 RF moduly

Elektronické obvody sloužící k bezdrátovému přenosu dat v pásmu ISM jsou z hlediska návrhu a výroby dosti náročná zařízení. Jejich amatérská stavba je většinou dosti drahou záležitostí. Na jejich nastavení je zapotřebí speciálních přístrojů. Navíc po jejich vyvinutí a následném zhotovení je nutné je pro jejich legální používání nechat homologovat u Českého telekomunikačního úřadu. V dnešní době jsou běžně a za přijatelnou cenu dostupné hotové RF moduly, určené pro použití ve vlastních navrhovaných zařízeních, které zajišťují bezdrátový přenos dat. Tyto moduly jsou již homologovány. Při použití těchto modulů ve vlastním zařízení a dodržení podmínek uváděných výrobcem není potřeba námi vyhotovené zařízení znovu homologovat.

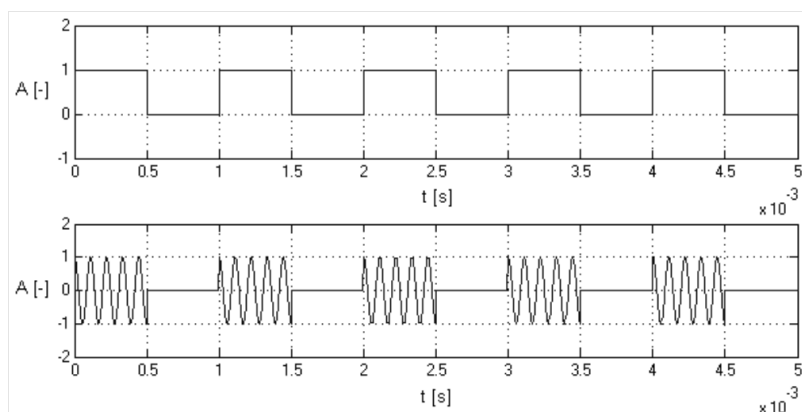
Dnes dostupné RF moduly jsou vyráběny mnoha výrobci v různých specifikacích. Rozlišují se např. na vysílací, přijímací nebo obousměrné. Dále se dělí podle typu použité modulace, podle použitého pásma a také podle druhu komunikačního rozhraní.

2.4 Modulace používané u RF modulů

Aby se signál mohl dobře šířit prostředím pomocí elektromagnetického vlnění, musí mít dostatečnou frekvenci. Bohužel signál určený k přenosu takový kmitočet nemá, proto se musí provádět modulace. Modulace je v podstatě spojení těchto dvou signálů dohromady. Podle toho, jakým způsobem se toho docílí, se rozlišují různé typy modulace. Mezi nejstarší modulace patří AM a FM. Jsou to modulace analogové. U komerčně dostupných RF modulů se používají modulace digitální, např. ASK, FSK, GFSK, OOK, atd.

2.4.1 ASK

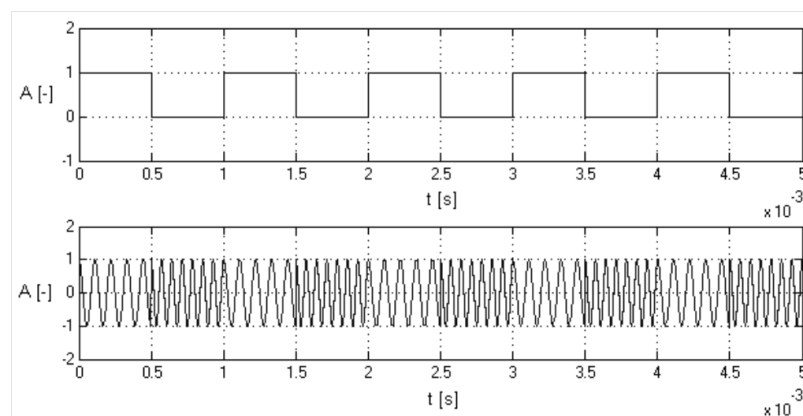
Modulace ASK (Amplitude Shift Keying) neboli amplitudové klíčování je podobné modulaci AM. Liší se jen tím, že modulační signál je digitální. Nosný kmitočet konstantní amplitudy je ovlivňován amplitudou modulačního signálu. Při úrovni modulačního kmitočtu odpovídajícího log 1 zůstane amplituda nosného kmitočtu nezměněna. Při úrovni modulačního kmitočtu odpovídajícího log 0 se amplituda nosného kmitočtu sníží k nule. Průběh modulace ASK je vidět na Obr. 2.1.



Obr. 2.1 Průběh modulace typu ASK [5].

2.4.2 FSK

Modulace FSK (Frequency Shift Keying) neboli kmitočtové klíčování je podobné modulaci FM. Stejně jako u ASK je rozdíl v tom, že je modulační kmitočet digitální. Kmitočet nosného signálu je ovlivňován velikostí amplitudy modulačního kmitočtu. Při úrovni modulačního signálu odpovídajícího log 1 se kmitočet nosného signálu sníží a naopak, při úrovni modulačního kmitočtu odpovídajícího log 0 se kmitočet nosného signálu zvýší. Průběh modulace FSK je na Obr. 2.2.



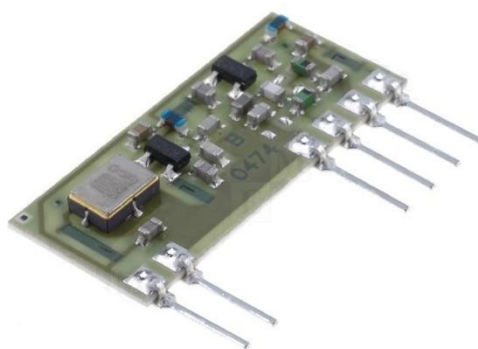
Obr. 2.2 Průběh modulace typu FSK [5].

2.5 Přehled dostupných RF modulů

2.5.1 Aurel

Tab. 2.2 Přehled vybraných RF modulů firmy Aurel

Název	Frekvence [MHz]	Přenosová rychlost [kB/s]	Výkon/citlivost [dBm]	Modulace	Typ
RTX MID 3V	433,92	10	10/-106	ASK	obousměrný
RTX MID 3V	433,92	10	10/-106	ASK	obousměrný
RX-4MM5/F	433,92	0.1-256	-/-60	FSK	přijímač
TX-SAW-MID-5V	433,92	10	10/-	OOK	vysílač
TX-SAW-MID-3V	433,92	10	10/-	OOK	vysílač
TX-FM MID	433,92	5	10/-	FSK	vysílač
TX-FM 868 MID	868,30	60 kHz	10/-	FSK	vysílač
RX-MID 3V	433,92	600 kHz	-/-113	ASK	přijímač



Obr. 2.3 Ukázka RF modulu firmy Aurel (TX-SAW-MID-3V) [8].

2.5.2 Hope Microelectronics

Tab. 2.3 Přehled vybraných RF modulů firmy Hope Microelectronics

Název	Frekvence [MHz]	Přenosová rychlost [kB/s]	Výkon/citlivost [dBm]	Modulace	Typ
RFM69W	315/433/868/915	300	13/-120	FSK	obousměrný
RFM67W	315/433/868/915	600	17/-	FSK	vysílač
RFM43B	240-930	0.1-256	13/-	FSK	vysílač
RFM31B	240-960	0.1-256	-/-121	FSK	přijímač
RFM12B	433/868/915	115.2	5/-105	FSK	obousměrný
RFM02	433/868/915	115,2	8/-	FSK	vysílač
RFM01	315/433/868/915	115,2	-/-109	FSK	přijímač
RFM83	300-440	0,1 - 10	-/-110	ASK	přijímač
RF84	315/433	0.1-10	-/-95	ASK	přijímač
RF83	300-440	10	-/-110	ASK	přijímač
RFM73P	2400	2000	20/-88	GFSK	obousměrný



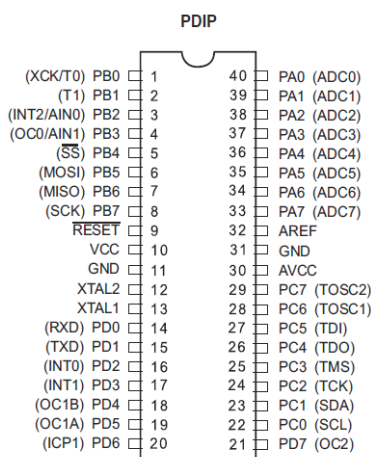
Obr. 2.4 Ukázka RF modulu firmy Hope Microelectronics (RFM12B-433S2P) [9].

3 MIKROKONTROLÉRY ATMEL AVR

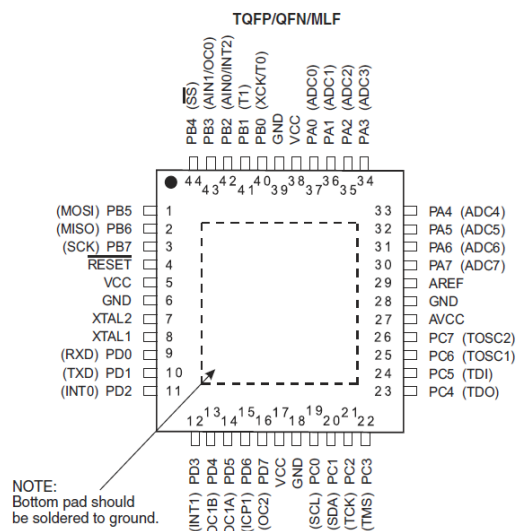
Mikrokontrolér je elektronická programovatelná polovodičová součástka konstruovaná nejčastěji v podobě integrovaných obvodů. Používá se k řízení a ovládání nejen elektronických zařízení. Funkcí se velmi podobá osobnímu počítači, rozdílem je však jeho jednoúčelovost. V dnešní době je lze nalézt prakticky ve všech typech elektroniky. Využívají se v zařízeních od automatických praček, žehliček, mobilních telefonů, přenosných osobních přehrávačů (MP3), přes různé měřicí přístroje, lékařské zařízení, implantáty až po ovládání periférií v automobilu, letadle a třeba i raketoplánu. V navrhovaném zařízení se předpokládá osazení mikrokontroléru firmy Atmel ATmega16 nebo ATmega8. Jejich hlavní rozdíl je ve velikosti paměti typu FLASH a v drobně odlišných vestavěných perifériích. V následujícím textu budou popsány jejich vlastnosti, které budou v navrhovaném zařízení využity.

3.1 Typy pouzdra a označení vývodů

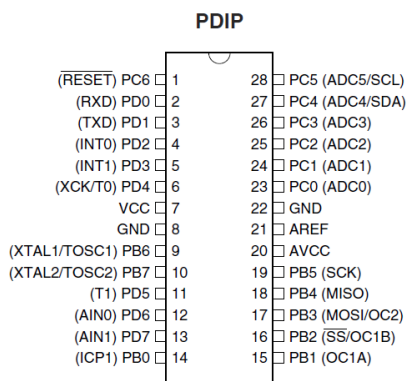
Atmega16 je dostupná ve dvou provedeních pouzder. Jedná se o pouzdro DIP40, jejíž označení vývodů je patrné z Obr. 3.1 a pouzdro TQFP44 s označením vývodů na Obr. 3.2. Atmega8 je dostupná ve verzi pouzder DIL28, TQFP32 a MLF32. Označení prvních dvou zmíněných je na Obr. 3.3 a Obr. 3.4. Hlavní vývody ATmega16 i ATmega8 jsou čtyři vstupně/výstupní porty značené A, B, C a D. Každý z těchto portů má 8 jednotlivých pinů. Další neméně důležitými piny jsou určené pro přivedení napájení. Piny označené XTAL1 a XTAL2 slouží pro připojení externího oscilátoru. Pin RESET slouží pro přivedení externího zdroje resetu. Na pin AREF se připojuje referenční zdroj pro analogový komparátor a na pin AVCC napájecí napětí pro A/D převodník.



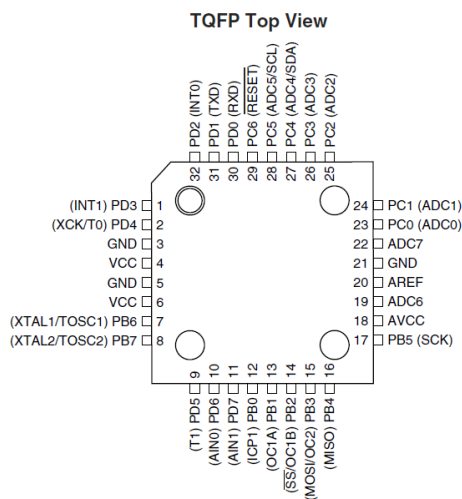
Obr. 3.1 ATmega16 pouzdro DIP40 [11].



Obr. 3.2 ATmega16 pouzdro TQFP44 [11].



Obr. 3.3 ATmega8 pouzdro DIL28 [12].



Obr. 3.4 ATmega8 pouzdro TQFP32 [12].

3.2 Základní vlastnosti [13][12]

- instrukční soubor obsahuje 131 instrukcí (ATmega16), 130 instrukcí (ATmega8)
- 32 registrů délky 8 bitů
- čtyři 8bitové vstupně/výstupní porty
- hodinový kmitočet 0 až 16 MHz, maximální výpočetní výkon 16 MIPS
- kapacita paměti typu FLASH 16 KB (ATmega16), 8 KB (ATmega8)
- kapacita paměti typu RAM 1 KB
- kapacita paměti typu EEPROM 512 B
- dva 8 bitové čítače/časovače
- jeden 16 bitový čítač/časovač
- čtyři PWM kanály
- analogový komparátor
- 10 bitový A/D převodník
- Jednotky USART, SPI, TWI (podpora I²C)
- Jednotky WDT, Power-on reset
- Zabudovaný RC oscilátor

3.3 Přerušení

Přerušení je základní funkcí mikrokontrolérů. Přerušení používají zabudované periferie např. čítač/časovač, A/D převodník, analogový komparátor, ale také externí zdroje přerušení přivedené na určitý pin mikrokontroléru. Jedná se o proces, při jehož vyvolání se přeruší běh programu a začne se provádět jiná část programu zvaná obsluha přerušení. Po jejím dokončení je běh programu vrácen zpět do místa, ve kterém došlo k přerušení. V tabulkách Tab. 4.1 a Tab. 4.3 jsou uvedeny vektory přerušení, které se používají při psaní softwaru pro mikrokontrolér v jazyce C.

Tab. 3.1 Vektory přerušení ATmega16 [11]

Číslo přerušení	Adresa	Vektor přerušení	Definice přerušení
1	\$0000		pin RESET
2	\$0002	INT0_vect	Vstup vnějšího přerušení č. 0
3	\$0004	INT1_vect	Vstup vnějšího přerušení č. 1
4	\$0006	TIMER2_COMP_vect	Čítač/ časovač 2 – shoda komparace
5	\$0008	TIMER2_OVF_vect	Čítač/ časovač 2 – přetečení
6	\$000A	TIMER1_CAPT_vect	Čítač/ časovač 1 - zachycení
7	\$000C	TIMER1_COMPA_vect	Čítač/ časovač 1 - shoda s komparátorem A
8	\$000E	TIMER1_COMPB_vect	Čítač/ časovač 1 - shoda s komparátorem B
9	\$0010	TIMER1_OVF_vect	Čítač/ časovač 1 – přetečení
10	\$0012	TIMER0_OVF_vect	Čítač/ časovač 0 – přetečení
11	\$0014	SPI_STC_vect	Dokončení sériového přenosu
12	\$0016	USART_RXC_vect	USART – kompletní příjem dat
13	\$0018	USART_UDRE_vect	USART – prázdný datový registr
14	\$001A	USART_TXC_vect	USART – kompletní vyslání dat

15	\$001C	ADC_vect	A/D převodník – dokončení A/D převodu
16	\$001E	EE_RDY_vect	EEPROM – komunikace připravena
17	\$0020	ANA_COMP_vect	Změna výstupu analogového komparátoru
18	\$0022	TWI_vect	Událost na I2C sběrnici
19	\$0024	INT2_vect	Vstup vnějšího přerušení č. 2
20	\$0026	TIMER0_COMP_vect	Čítač/ časovač 0 – shoda komparace
21	\$0028	SPM_RDY_vect	Uložení do programové paměti připraveno

Tab. 3.2 Vektory přerušení ATmega8 [12]

Číslo přerušení	Adresa	Vektor přerušení	Definice přerušení
1	\$0000		pin RESET
2	\$0001	INT0_vect	Vstup vnějšího přerušení č. 0
3	\$0002	INT1_vect	Vstup vnějšího přerušení č. 1
4	\$0003	TIMER2_COMP_vect	Čítač/ časovač 2 – shoda komparace
5	\$0004	TIMER2_OVF_vect	Čítač/ časovač 2 – přetečení
6	\$0005	TIMER1_CAPT_vect	Čítač/ časovač 1 - zachycení
7	\$0006	TIMER1_COMPA_vect	Čítač/ časovač 1 - shoda s komparátorem A
8	\$0007	TIMER1_COMPB_vect	Čítač/ časovač 1 - shoda s komparátorem B
9	\$0008	TIMER1_OVF_vect	Čítač/ časovač 1 – přetečení
10	\$0009	TIMER0_OVF_vect	Čítač/ časovač 0 – přetečení
11	\$000A	SPI_STC_vect	Dokončení sériového přenosu
12	\$000B	USART_RXC_vect	USART – kompletní příjem dat
13	\$000C	USART_UDRE_vect	USART – prázdný datový registr
14	\$000D	USART_TXC_vect	USART – kompletní vyslání dat
15	\$000E	ADC_vect	A/D převodník – dokončení A/D převodu
16	\$000F	EE_RDY_vect	EEPROM – komunikace připravena
17	\$0010	ANA_COMP_vect	Změna výstupu analogového komparátoru
18	\$0011	TWI_vect	Událost na I2C sběrnici
19	\$0012	SPM_RDY_vect	Uložení do programové paměti připraveno

3.4 A/D převodník

Protože digitální technika, mezi kterou patří i mikrokontroléry, pracuje pouze s diskrétními úrovněmi hodnot napětí na rozdíl od analogové techniky, která využívá nekonečné množství úrovní hodnot, je nutno pro převod analogového signálu na digitální použít A/D převodník. A/D převodník se používá pro zpracování analogových signálů mikrokontrolérem např. při měření určité fyzikální veličiny předem převedené na napětí.

3.4.1 Základní parametry A/D převodníku [11][12]

- 10 bitové rozlišení
- integrální nelinearita 0,5 LSB
- absolutní chyba ± 2 LSB
- doba převodu 13 až 260 μ s
- rychlost převodu 15 kSPS při maximálním rozlišení
- 8 (u ATmega8 6) multiplexovaných vstupních kanálů
- Přerušování po dokončení převodu
- zabudovaná reference 2,56 V
- potlačovač šumu v režimu Idle

3.4.2 Výsledek A/D převodu

Po dokončení A/D převodu se výsledná hodnota uloží do páru registrů ADCH a ADCL, protože převodník má 10 bitů a samotné registry 8 bitů. Hodnota lze vypočítat podle vztahu

$$\text{ADCH:ADCL} = \frac{1024 \cdot U_{vst}}{U_{ref}}, \quad (3.1)$$

Kde ADCH:ADCL je registrový pár, ve kterém je výsledek převodu uložen, U_{vst} je vstupní napětí a U_{ref} je referenční napětí. Pro programování v jazyce C se využívá pro označení registrového páru název ADCW.

3.5 Časovače/čítače

ATmega16 i ATmega8 mají jako zabudované periferie dva 8 bitové a jeden 16 bitový čítač/časovač. Čítač/časovač se používá k odměřování a generování přesných časových úseků, které jsou odvozeny od přiváděného hodinového signálu. Lze pomocí nich generovat také řadu PWM signálů. Protože nebudou v navrhovaném zařízení využity, nebude tu proveden jejich popis.

U všech čítačů/časovačů lze nastavit tzv. předděličku, která dělí hodinový kmitočet, aby bylo dosaženo konkrétní rychlosti čítání. Mezi základní funkce patří normální režim a CTC (Clear Timer on Compare Match). U nejjednoduššího normálního režimu se obsah určitého registru každým impulsem hodinového signálu inkrementuje. Až obsah dosáhne svého maxima, tak dojde k přetečení, registr se vynuluje a inkrementuje se od začátku. Pro případ přetečení lze nastavit generování přerušování. Frekvence takto generovaných impulsů lze vypočítat podle vztahu

$$f_{OVF} = \frac{f_{clk}}{N \cdot 2^n} \text{ [Hz, Hz, -, -]}, \quad (3.2)$$

kde f_{OVF} je frekvence generování přerušování, f_{clk} je frekvence hodinového signálu, N je hodnota nastavené předděličky a n určuje velikost registru (8 bitový nebo 16 bitový).

Hodnotu předděličky lze nastavit jen na určité konkrétní hodnoty. To vede k nepřesnému nastavení generovaného kmitočtu. Řešením je použití funkce CTC. U tohoto režimu je v určitém registru nastavená hodnota. Při inkrementaci hlavního registru se porovnává inkrementovaná hodnota s touto hodnotou. Pro stav, kdy dojde ke shodě hodnot v obou registrech, lze nastavit generování přerušování a nulování hlavního registru. Lze tak zvětšit rozlišení čítače. Výsledná frekvence lze určit vztahem

$$f_{oc} = \frac{f_{clk}}{N \cdot OCR0} \text{ [Hz, Hz, -, -]}, \quad (3.3)$$

kde f_{oc} je frekvence generování přerušení, f_{clk} je frekvence hodinového signálu, N je hodnota nastavené předděličky a $OCR0$ je hodnota nastavená v registru sloužícího k porovnávání.

3.6 SPI sběrnice

Sběrnice SPI slouží k vysokorychlostnímu přenosu dat mezi mikrokontrolérem a jiným zařízením vybaveným SPI sběrnici. V navrhovaném zařízení bude použita ke komunikaci s RF modulem a k naprogramování mikrokontrolérů.

3.6.1 Vlastnosti sběrnice SPI u mikrokontroléru

- plný duplex (schopnost současně přijímat i vysílat)
- třívodičový synchronní přenos dat
- může pracovat jako master nebo slave
- 7 programovatelných rychlostí, maximální rychlost 8 Mb/s
- lze volit pořadí bitů
- příznaky konce a kolize přenosu
- schopnost procitnutí z úsporného režimu Idle po příjmu dat v režimu slave

4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

4.1 Požadavky kladené na zařízení

Základní požadavky kladené na navrhované zařízení vycházely zejména ze zadání semestrálního projektu a ze základní představy vedoucího práce. Tyto požadavky byly zpracovány a doplněny o určité prakticky využitelné prvky, které umožňovaly reálnou konstrukci zařízení z dostupných součástí a následné použití v běžném provozu. Mezi tyto požadavky patří:

- měřené médium voda a podobné neagresivní, netoxické, nevýbušné a jinak bezpečné kapaliny
- rozsah senzoru pro měření výšky hladiny 0-150 cm
- zobrazení změřené výšky hladiny na displeji řídicí jednotky
- bezdrátový přenos naměřeného údaje do ovládací jednotky
- zobrazení změřené výšky hladiny na displeji ovládací jednotky
- možnost nastavení výšky hladiny pro aktivování výstupu pro řízený spotřebič
- možnost nastavení rozsahu výšky hladiny, ve kterém se bude pohybovat aktivovaný výstup
- možnost nastavení akce (aktivace nebo deaktivace) výstupu pro řízený spotřebič při dosažení nastavené hodnoty výšky hladiny pro aktivování výstupu
- dosah bezdrátové komunikace pro použití v zástavbě do 20 m
- celková nenáročnost na množství spotřebované energie při provozu

4.2 Výběr řešení

4.2.1 Výběr senzoru

Při výběru typu senzoru, jejichž teoretický rozbor je v kapitole 1.2, bylo přihlédnuto na podmínky, kterým bude vystaven při běžném použití. Jak již bylo uvedeno v požadavcích kladených na zařízení (4.1), je jasné, že pokud bude daný typ senzoru obsahovat část, která bude přicházet do styku s měřenou kapalinou, musí být navrhovaný senzor dostatečně odolný proti účinkům vody, tedy dostatečný stupeň krytí IP. Požadovaný rozsah měření 0 – 150 cm dává předpoklad pro měření spojitě. Dále byly požadavky na senzor voleny tak, aby byla snadná jeho konstrukce při zachování spolehlivosti funkce, nízké pořizovací náklady a jednoduchost převodu naměřeného údaje na napětí.

Posouzením těchto požadavků kladených na senzor přicházelo v úvahu několik typů senzorů. Mezi nimi byly nejvhodnější plovákové (1.2.2) a elektrické typy hladinoměru (1.2.5). Konkrétněji vícepolohové plovákové hladinoměry (Obr. 1.4) a odporové spínačové hladinoměry (Obr. 1.6) z plovákových hladinoměru a vodivostní

spínačové hladinoměry (Obr. 1.16) z elektrických hladinoměrů. Řešení senzoru na principu vícepolohových plovákových hladinoměrů vyžaduje nutnost použití více diskretních plováků a obtížnější konstrukci vodící tyče, kde by bylo nutné řešit vymezení malého rozsahu pohybu jednotlivých plováků použitím mechanických dorazů. Tento typ senzorů se také poměrně málo blíží ke spojitému měření díky velkým vzdálenostem mezi měřenými body daných konstrukčními důvody. Při použití vodivostních vícepolohových senzorů se očekává velká pravděpodobnost zanášení funkčních elektrod snímačů nejrůznějšími oxidy, i když bude použit střídavý proud k zabránění vzniku elektrolýzy, a tím se zhorší jejich spolehlivost. Třetím uvažovaným typem jsou odporové spínačové hladinoměry. U tohoto řešení je největší nevýhodou asi složitější umístění jazýčkových spínačů společně s rezistory a jejich vzájemného propojení do vnitřní části vodící tyče senzoru.

Pro snadnější orientaci jsou prioritní výhody a nevýhody jednotlivých uvažovaných hladinoměrů uvedeny v tabulce (Tab. 4.1).

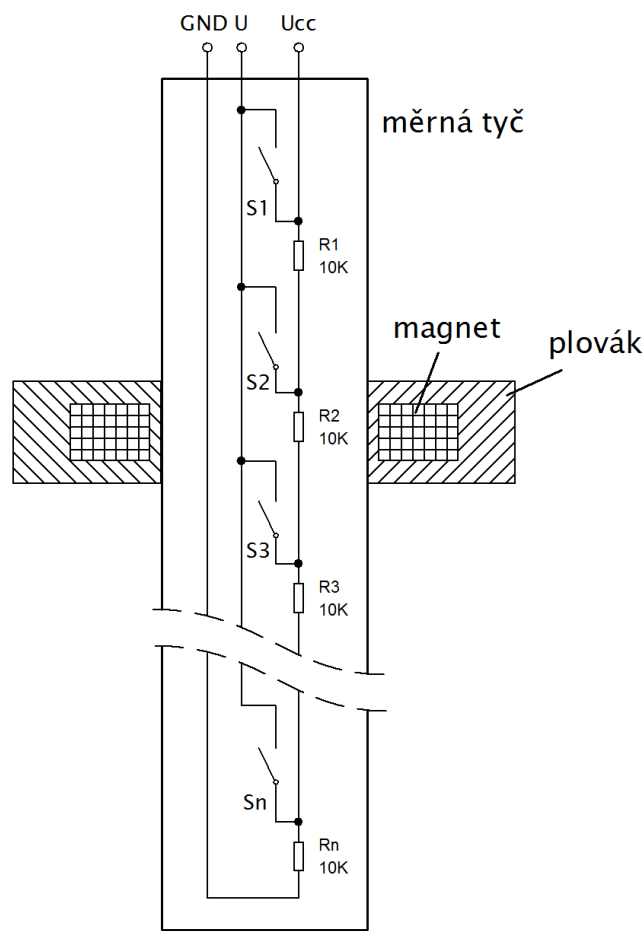
Tab. 4.1 Přehled hlavních výhod a nevýhod jednotlivých typů uvažovaných senzorů hladinoměrů

Typ senzoru	Výhody	Nevýhody
Vícepolohové plovákové	Jednodušší vyhodnocení výstupního signálu	Obtížnější konstrukce vodící tyče
Odporové spínačové	Velká dosažitelnost spojitosti měřeného signálu	Složitost vnitřního uspořádání rezistorů společně s jazýčkovými kontakty
Vodivostní spínačové	Jednoduchá konstrukce	Možnost zanášení kontaktů elektrod

Na základě uvedených hlavních výhod a nevýhod jednotlivých typů uvažovaných senzorů byl vybrán typ odporové spínače.

4.2.2 Návrh senzoru

Senzor pro měření výšky kapaliny typu odporové spínače lze zhotovit pomocí plastové vodovodní trubky. Ta tvoří hlavní nosnou část. Volbou její délky je určen rozsah měřené výšky. Podél této trubky se volně pohybuje plovák s integrovaným magnetem. Uvnitř je zapojena, jak je vidět z Obr. 4.1, skupina rezistorů R a jazýčkových kontaktů S. Výsledné zapojení senzoru funguje jako proměnný rezistor (potenciometr), tedy jako odporový dělič napětí. Při pohybu plováku po trubce magnetické pole integrovaného magnetu spíná vždy příslušný jazýčkový kontakt, který elektricky připojí snímané napětí k určitému počtu rezistorů, kde dochází k určitému úbytku napětí, které je následně vyvedeno na výstup senzoru. Počtem použitých dvojic rezistorů a jazýčkových kontaktů lze určit měřicí krok, neboli rozlišení měření senzoru. Při malém rozlišení, kdy dochází ke stavům, kdy není sepnut žádný jazýčkový kontakt, je nutno v řídicí jednotce vyřešit pamatování posledního naměřeného údaje. Mezi svorky Ucc a GND je připojeno napájecí napětí senzoru 5 V. Ze svorky U lze odebírat napětí, jehož velikost je přímo úměrná výšce hladiny.



Obr. 4.1 Vnitřní zapojení senzoru

4.2.3 Výběr RF modulu

Při výběru vhodného RF modulu pro bezdrátový přenos dat se vycházelo ze základních požadavků na navrhované zařízení. Z principu ovládání je nutné zajistit bezdrátovou komunikaci směrem z řídicí jednotky do ovládací jednotky, ale také zpětně z ovládací jednotky do řídicí jednotky. Tento požadavek je předpokladem pro použití obousměrného RF modulu.

Dále je potřeba určit kmitočet, na kterém bude bezdrátový přenos probíhat. Samozřejmostí je dodržet kmitočet ležící v bezlicenčním pásmu ISM. Dostupné moduly pracují nejčastěji s kmitočty 433,92 MHz a 868 MHz. Pásmo s kmitočtem 433,92 MHz je více obsazené, proto zde může docházet k častějšímu rušení přenášených dat. Pásmo s kmitočtem 868 MHz není tak obsazené a navíc je při tomto kmitočtu zajištěn větší dosah. Nevýhodou je menší odolnost proti překážkám. Není proto příliš vhodné použití těchto modulů v zástavbě. Z tohoto důvodu bude použit RF modul pracující s kmitočtem 433,92 MHz.

Další volené parametry již nejsou tak podstatné pro funkčnost. Vzhledem k výše uvedeným požadavkům a také požadavku nízké ceny navrhovaného zařízení byl zvolený RF modul RFM12B-433D od firmy Hope Microelectronics.

4.2.4 Modul RFM12B-433D

Jedná se o RF modul, který je zároveň přijímač i vysílač (transceiver). Pracuje na kmitočtu z bezlicenčního pásma 433,92 MHz. Používá modulaci typu FSK. Vyrábí se ve fyzickém provedení SMD a DIP (Obr. 4.2). V navrhovaném zařízení je použita verze DIP z důvodů snadnějšího připojování při odlaďování zařízení. Je nutno pamatovat na nestandardní rozteč 2 mm (standardní je 2,54 mm) mezi vývody připojovacího konektoru.



Obr. 4.2 RF modul RFM12B-433D firmy Hope Microelectronics [9].

Popis vývodů modulu verze DIP je v Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Označení vývodů modulu RFM12B [7].

Označení	Funkce
nINT/VDI	Interrupt input (aktive low) / Valid data indicator
VDD	Positive power supply
SDI	SPI data input
SCK	SPI clock input
nSEL	Chip select (aktive low)
SDO	Serial data output with bus hold
nIRQ	Interrupts request output (aktive low)
FSK/DATA/nFFS	Transmit FSK data input / Received data output (FIFO not used)/ FIFO select
DCLK/CFIL/FFIT	Clock output (no FIFO) / external filter capacitor(analog mode)/ FIFO interrupts(aktive high)when FIFO level set to 1, FIFO empty interruption can be achieved
CLK	Clock output for external microcontroller
nRES	Reset output (aktive low)
GND	Power ground

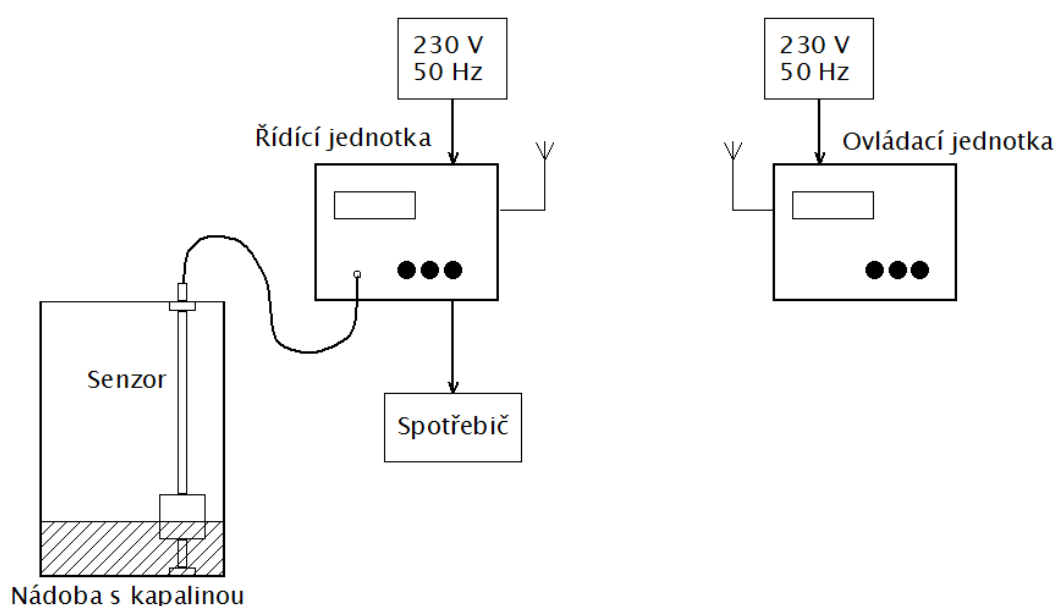
4.3 Blokové schéma

4.3.1 Kompletní řešení

Návrh kompletního zapojení je na Obr. 4.3. V nádobě s měřenou kapalinou je umístěn senzor. Na základě vybraného typu senzoru (odporový spínačový) je zřejmé, že v závislosti na výšce hladiny a následném pohybu plováku se mění skokově (k

přiblížení ke spojitosti je nutné použít více jazýčkových kontaktů v senzoru) výstupní napětí senzoru. Výstup senzoru je připojen pomocí kabelu k řídící jednotce, kde je následně toto napětí změřeno. Řídící jednotka zobrazuje na displeji aktuální stav výšky hladiny ve formě číselného údaje i ve formě bargrafu. Řídící jednotka v pravidelných časových intervalech vysílá rádiový signál s naměřenými daty.

Druhou částí je ovládací jednotka, která tento signál přijímá. Podle dat z přijatého signálu zobrazí na displeji hodnotu výšky hladiny ve formě číselného údaje i bargrafu. Pomocí tlačítek lze na ní nastavit úroveň výšky hladiny, při které se má aktivovat výstup pro spotřebič, rozsah v jakém zůstane aktivovaný výstup stále aktivovaný a typ akce (zapnutí nebo vypnutí) provedené při dosažení nastavené výšky hladiny (použitelné např. při obsluze čerpadla pro dočerpávání nebo vyčerpávání nádrže). Po dokončení nastavení ovládací jednotka nastavené data odešle zpět do řídící jednotky, která ovládá řízený spotřebič.

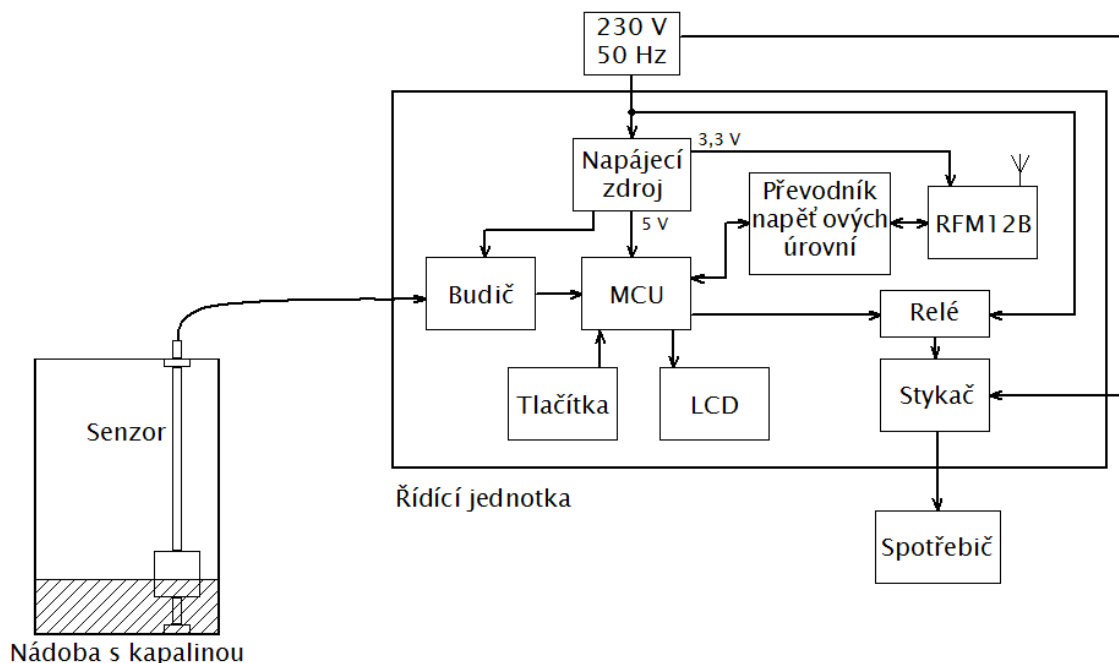


Obr. 4.3 Blokové schéma kompletního řešení

4.3.2 Řídící jednotka

Blokové schéma řídící jednotky je na Obr. 4.4. Pro konstrukci jednotky se předpokládá použití mikrokontroléru firmy Atmel ATmega16 [11] nebo ATmega8 [12], proto je zde využíváno jejich integrovaných periférií. Jak již bylo uvedeno v předchozí podkapitole, pro zjištění výšky hladiny pomocí senzoru je potřeba změřit jeho výstupní napětí, které je přivedeno ke vstupu řídící jednotky. V řídící jednotce je výstup senzoru přiveden na budič. Budič slouží k přivedení napájecího napětí na senzor. Jeho výstupní napětí je dále přivedeno na AD převodník zabudovaný v mikrokontroléru. Mikrokontrolér s uživatelem komunikuje skrz LCD a tlačítek. Bezdrátový přenos dat je zajištěn hotovým obousměrným RF modulem RFM12B od firmy Hope Microelectronics. Tento modul komunikuje s mikrokontrolérem pomocí jeho zabudovaného sériového rozhraní SPI. Z důvodu, že mikrokontrolér pracuje s odlišnými hodnotami logických úrovní než modul RFM12B, je třeba připojit modul přes redukci, která sníží napětí z mikrokontroléru na potřebnou úroveň. Napájení celé řídící jednotky je řešeno pomocí zabudovaného napájecího zdroje. Napájecí zdroj má na svém výstupu dvě odlišná

napětí, protože každý blok vyžaduje jiné napájecí napětí. Napájecí napětí budiče i MCU je 5 V a napájecí napětí RF modulu 3,3 V. Výstup řídicí jednotky je řešen pomocí stykače. Spínací napětí je na něj přiváděno ze zdroje síťového napětí, které je spínáno pomocí elektromagnetického relé ovládaného výstupem z MCU.



Obr. 4.4 Blokové schéma řídicí jednotky

4.3.3 Popis některých částí řídicí jednotky

Principem budiče je přivedení napájecího napětí na vnitřní odpor senzoru. V důsledku úbytku napětí na jednotlivých rezistorech se z něj odebírá napětí na vstup AD převodníku zabudovaného v použitém mikrokontroléru. Při změně výšky plováku senzoru kopírujícího výšku hladiny se mění počet připojených rezistorů senzoru, tím se mění velikost úbytku napětí a AD převodník převede jinou hodnotu.

Důvodem použití převodníku napětíových úrovní mezi mikrokontrolérem a RF modulu je rozdílná napětíová úroveň logických hodnot RF modulu a mikrokontroléru. Napájecí napětí mikrokontroléru je 5 V a RF modulu 3,3 V. Přehled napětí úrovní mikrokontrolérů ATmega16 [11], ATmega8 [12] a RF modulu RFM12B-433D je uveden v Tab. 4.3 [11][12][7].

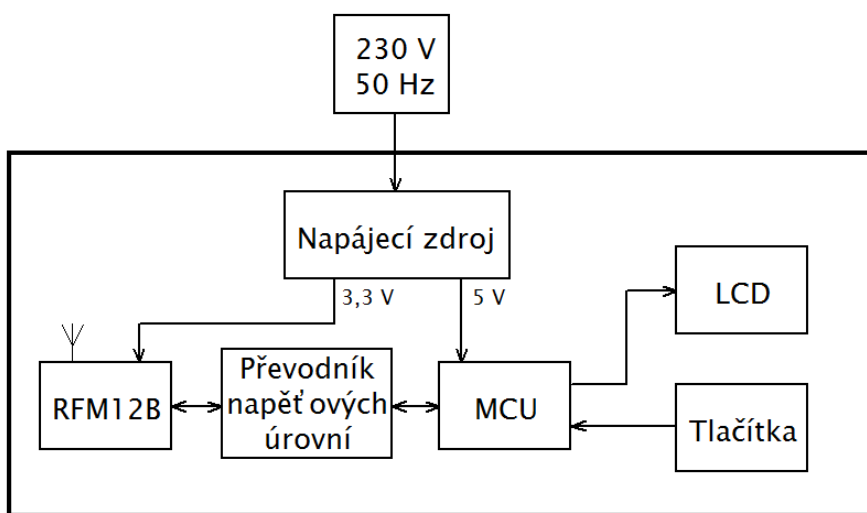
Tab. 4.3 Napětíové úrovně RF modulů a mikrokontrolérů

	U_{cc} [V]	log 0 [V]	log 1 [V]
ATmega16	2,7 až 5,5	-0,5 až 0,2	0,6 až ($U_{cc} + 0,5$)
ATmega8	2,7 až 5,5	-0,5 až 0,2	0,6 až ($U_{cc} + 0,5$)
RFM12-433D	2,2 až 3,8	-0,5 až ($0,3 \times U_{cc}$)	($0,7 \times U_{cc}$) až ($U_{cc} + 0,5$)

Řešení tohoto převodníku je možné realizovat např. připojením srážecího rezistoru na výstup MCU. Lze také použít jednoduchý stabilizátor se zenerovou diodou.

4.3.4 Ovládací jednotka

Blokové schéma ovládací jednotky je na Obr. 4.5. Stejně jako v řídící jednotce, tak i zde se předpokládá použití mikrokontroléru od firmy Atmel ATmega16 [11] nebo ATmega8 [12]. Pro bezdrátovou komunikaci je zde použit obousměrný RF modul RFM12B od firmy Hope Microelectronics. Tento modul komunikuje s mikrokontrolérem přes jeho zabudované sériové rozhraní SPI. Mezi RF modulem a MCU musí být zapojen převodník napětových úrovní z důvodu, který byl vysvětlen v předchozí kapitole. Mikrokontrolér komunikuje s obsluhou skrz LCD a tlačítka. Napájení řídící jednotky je řešeno pomocí zabudovaného napájecího zdroje. Napájecí zdroj má na svém výstupu 5 V pro napájení mikrokontroléru a 3,3 V pro napájení RF modulu RFM12B.



Ovládací jednotka

Obr. 4.5 Blokové schéma ovládací jednotky

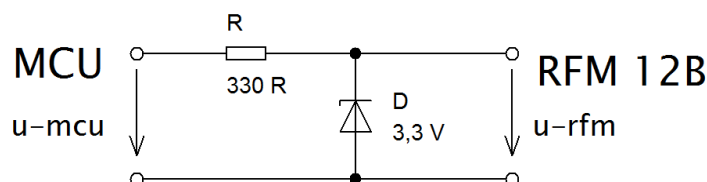
5 REALIZACE ZAŘÍZENÍ

5.1 Návrh obvodového zapojení

Návrh všech obvodových zapojení vychází z navržených blokových schémat. Zařízení jsou navržena s použitím SMD součástek, což vede ke zmenšení finální fyzické podoby zařízení.

5.1.1 Řídící jednotka

Hlavní částí řídicí jednotky je mikrokontrolér ATmega8 [12] od firmy Atmel. Pomocí softwaru tento mikrokontrolér ovládá ostatní části zařízení. Pro komunikaci s uživatelem je zde použit LCD znakový displej MC1602E-SYL/H [14] se dvěma řádky po šestnácti znacích. U tohoto displeje lze zvolit, zda se má displej ovládat pomocí 8 bitové datové sběrnice nebo pomocí 4 bitové sběrnice. Pro ušetření pinů mikrokontroléru bylo zvoleno 4 bitové ovládání. Displej je zapojen mezi port C a port D. Pomocí tranzistoru T1 je spínáno podsvětlení displeje. Trimr P1 je zapojen podle dokumentace [14], který slouží nastavení kontrastu displeje. Pro převod analogové formy signálu z výstupu senzoru pro měření výšky hladiny se z výhodou používá 10 bitový AD převodník integrovaný přímo v mikrokontroléru. Výstup pro ovládání spínaného spotřebiče je realizován spínáním tranzistoru T2 který sepne elektromagnetické relé spínající spínací síťové napětí 230 V / 50 Hz pro třífázový stykač. Ke stykači je již možno připojit ovládaný spotřebič. Ovládání řídicí jednotky uživatelem se provádí pomocí mikropínačů. Příslušné piny jsou rezistory přivedeny na napájecí napětí (log1). V případě stisku tlačítka je daný pin zkratován k zemi a na vstupu mikrokontroléru je tak log 0. Bezdrátová komunikace je zprostředkována hotovými RF moduly RFM12B [7] od firmy Hope Microelectronics. Pro vzájemnou komunikaci je použit sériový kanál SPI. Z důvodů rozdílných napěťových logických úrovní mezi mikrokontrolérem a RF modulem musí být mezi nimi zařazen převodník napěťové úrovně (Obr. 5.1). Ten je realizován stabilizátorem se zenerovými diodami 3,3 V. Při připojení log 1 (5 V) z MCU na vstup převodníku bude na jeho výstupu napětí 3,3 V (log 1 RF modulu). Zpětně při připojení log 1 z RF modulu na výstup bude na jeho vstupu 3,3 V pro MCU. Toto napětí je u MCU stále dostatečné pro vyhodnocení tohoto napětí jako log 1. Pro naprogramování mikrokontroléru softwarem je použit SPI kanál, jehož piny jsou vyvedeny na kolíkovou lištu (JP1).



Obr. 5.1 Schéma převodníku napěťové úrovně

Pro napájení celé řídicí jednotky ze síťového napětí 230 V / 50 Hz je v zařízení napájecí zdroj. Protože jsou v zařízení části, které potřebují rozdílnou hodnotu napájecího napětí a to 5 V pro MCU a 3,3 V pro RF modul, má napájecí zdroj tyto dvě

výstupní napětí. Napájecí zdroj je lineární stabilizovaný zdroj. Jeho součástí je transformátor 230 V / 6 V 2VA. V primární i sekundární větvi transformátoru jsou proudové pojistky. Na sekundární straně transformátoru je usměrňovací můstek. Za ním následuje filtrační kondenzátor 1000 uF. V tomto bodě se napájecí napětí rozděluje do dvou větví. V obou větvích je napěťový stabilizátor. V jedné LF33CDT pro 3,3 V a v druhé LF50CDT pro 5 V na výstupu.

5.1.2 Ovládací jednotka

Obvodové zapojení ovládací jednotky je téměř shodné s obvodovým zapojením řídicí jednotky. Rozdíl je pouze v tom, že tu není vstup pro senzor a výstup pro spínání spotřebiče.

5.1.3 Tlačítka

Jedná se o oddělenou DPS sloužící k vyvedení tlačítek a LED diod z hlavní DPS a její připevnění k víku krabice. Jsou na ní tři mikrospínače, dvě LED diody a kolíková lišta.

5.2 Oživení

Ožívání řídicí i ovládací jednotky je totožné, proto je postup psán všeobecně. Před prvním připojením napájecího napětí je dobré ohmmetrem zkontrolovat, zda není mezi jednotlivými vývody mikrokontroléru zkrat, při jehož malých rozměrech se to může lehce stát. Dále je dobré ohmmetrem prověřit, zda není zkrat v napájecí větvi. Části, které jdou odpojit, jako je RF modul nebo LCD displej je vhodné odpojit. Po konečné vizuální kontrole se může připojit k obvodu napájecí napětí. Pokud je vše v pořádku, mělo by se dát naměřit napájecí napětí na napájecích vývodech mikrokontroléru, RF modulu i displeje. Postupně před opětovným připojením napájecího napětí se mohou postupně připojovat ostatní části (připojování částí musí být prováděno při vypnutém napájecím napětí). Dále následuje naprogramování mikrokontroléru softwarem. V první fázi je třeba si uvědomit, že programování mikrokontroléru pomocí SPI kanálu je prováděno přes piny, kde je také připojen RF modul. To znamená, že při programování musí být RF modul odpojen (vysunut z konektoru), jinak hrozí jeho zničení. Pro první naprogramování je vhodné připravit si program, pro ověření funkčnosti jednotlivých periférií zařízení, jako např. funkčnost tlačítek, blikání LED, funkčnost displeje. Pokud vše funguje jak má, může se naprogramovat připravený program. Po naprogramování se musí některé hodnoty, jako jsou nastavené meze regulace výšky hladiny nastavit do povolených mezí, protože tyto hodnoty jsou uchovány v paměti EEPROM a po naprogramování mají hodnotu 255. Nakonec se připojí RF modul a ověří se správná funkčnost zařízení.

5.3 Konstrukce zařízení

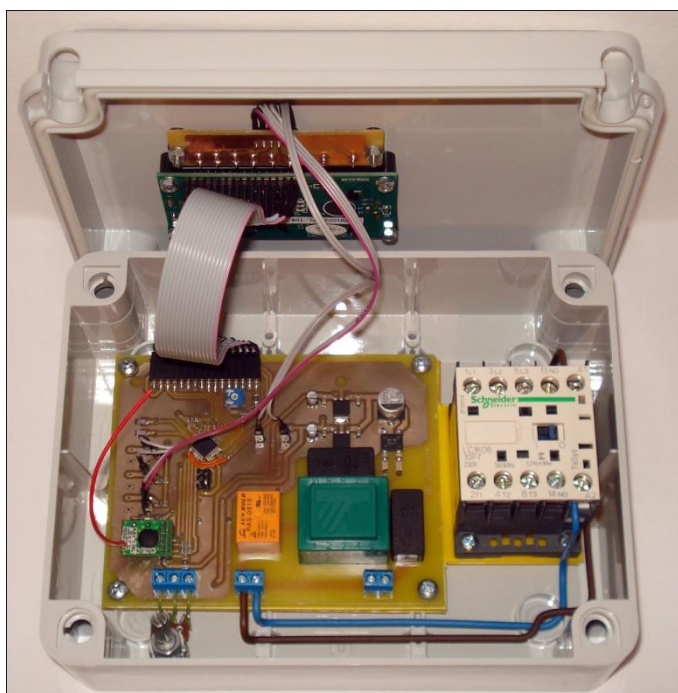
5.3.1 Konstrukce řídicí jednotky

Řídicí jednotka je umístěna v krabici GEWISS GW 44207. Je to krabice s krytím IP56, což vyhovuje našemu použití ve vlhkém prostředí. Pro lépe vyhovující rozmístění uchycovacích otvorů krabice je vyříznuta plastová destička, která je položena na dno krabice a připevněna šroubky do originálních uchycovacích otvorů. Do této plastové

destičky je již možno DPS uchytit libovolně s vypodložením plastovými distančními sloupky pod šroubky. Stejně tak je k destičce přišroubován stykač. Ve víku krabičky jsou vyříznuty patřičné otvory a je k nim přišroubován LCD displej a DPS s tlačítky a LED diodami. Z vnější strany víka jsou šroubky se zapouštěnou hlavou. LCD displej a tlačítka jsou s hlavní DPS propojena plochými kabely. Je navržen potisk předního panelu krabičky. Potisk je vytištěn na běžný papír, laminovaný a oboustrannou lepicí páskou přilepen ke krabičce. Vzhled finálního vzhledu řídicí jednotky lze vidět na Obr. 5.2 a na Obr. 5.3.



Obr. 5.2 Vzhled konstrukčního řešení krabičky řídicí jednotky při vnějším pohledu



Obr. 5.3 Vzhled konstrukčního řešení krabičky řídicí jednotky při vnitřním pohledu

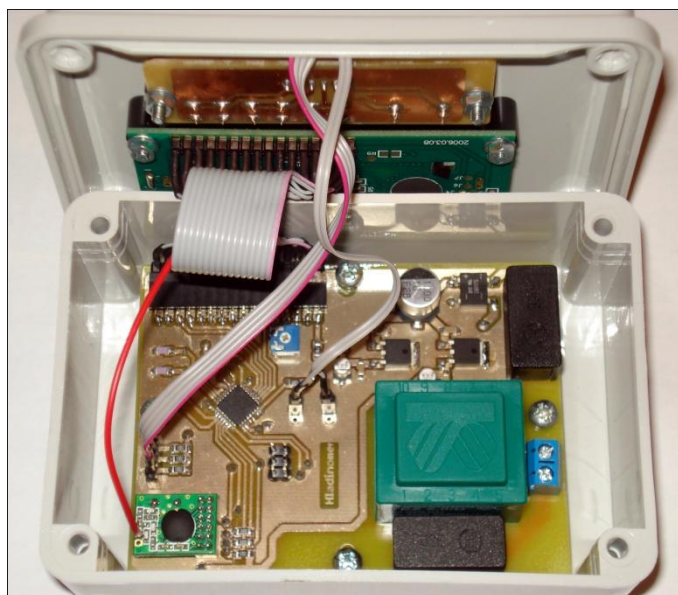
5.3.2 Konstrukce ovládací jednotky

Ovládací jednotka je umístěna v krabičce GEWISS GW 44205. Krabička je vybrána pro svou možnost přichycení krabičky ke zdi. Zde originální uchycovací otvory svým

umístěním vyhovují pro uchycení DPS ovládací jednotky, tak jsou využity. Ostatní části jsou stejné, jako u konstrukce řídicí jednotky. Vzhled finálního vzhledu ovládací jednotky lze vidět na



Obr. 5.4 Vzhled konstrukčního řešení krabičky ovládací jednotky při vnějším pohledu



Obr. 5.5 Vzhled konstrukčního řešení krabičky ovládací jednotky při vnitřním pohledu

5.4 Konstrukce senzoru

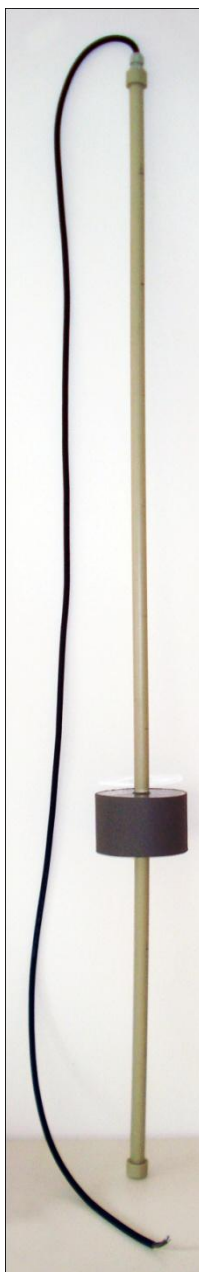
5.4.1 Vodící tyč

Senzor je navržen jako tyč, uvnitř které je určitým způsobem (podle Obr. 4.1) zapojena sada rezistorů a jazýčkových kontaktů vykonávající společně s permanentním magnetem integrovaným uvnitř plováku vlastní princip snímání výšky hladiny. Vodící tyč slouží k uchycení plováku tak, že plováku je umožněno pohybovat se jen v jednom vertikálním směru a to podle výšky hladiny měřené kapaliny. Ke konstrukci takové vodící tyče plně vyhovují parametry PPR vodovodní trubky. Její cena není příliš vysoká, je dostatečně pevná, chemicky odolná a není elektricky vodivá, takže není

ovlivněna magnetická vazba mezi magnetem a jazýčkovými kontakty. Volbou délky tyče se určí velikost měřeného rozsahu. Pro účely prototypu senzoru byla zvolena její délka 150 cm. PPR vodovodní trubka je dobře dostupná v průměrech od 20 mm. Tento průměr postačuje pro dané použití. Pro zakončení tyče a zajištění její vodotěsnosti slouží PPR záslepky pro vodovodní trubky. Tyto záslepky zároveň slouží i jako koncové dorazy pro plovák. Na horním konci tyče je v záslepce umístěna šroubovací průchodka, skrz kterou prochází měřicí kabel. Použitý kabel má pryžovou izolaci, která je odolná pro použití ve vlhkém prostředí. Označení žil v kabelu u senzoru je v Tab. 4.

Tab. 4 Zapojení vodičů senzoru

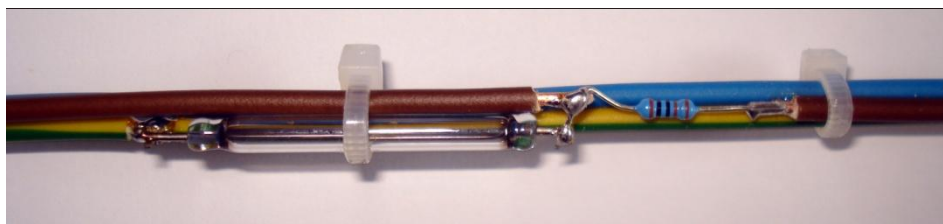
barva izolace vodiče		
modrá	žlutozelená	hnědá
GND - 0 V	výstupní napětí	5 V



Obr. 5.6 Zhotovený kompletní senzor



Obr. 5.7 Detail na vývod kabelu ze senzoru



Obr. 5.8 Detail na jednu dvojici jazýčkového kontaktu s rezistorem

5.4.2 Plovák

Jako základním materiálem plováku zajišťujícím jeho žadanou nižší hustotu, než měřená kapalina, v našem případě voda, je polystyren. Jeho výhoda je také v tom, že se dá s určitým nářadím poměrně snadno obrábět. Z polystyrenu tak lze vytvořit plovák tvaru válce a lze do něj snadno zabudovat permanentní magnet. Velikost plováku byla spočítána tak, aby jeho výsledná hustota byla nižší, než hustota vody. Použitý magnet je použit z vysloužilého elektrodynamického reproduktoru. Těleso tvaru válce vyřezaného z polystyrenu je rozřezáno na tři vrstvy, kde ve druhé vrstvě (prostřední) je vyřezán otvor pro magnet. Následně jsou tyto tři vrstvy společně s magnetem uvnitř slepeny. Pro hladký kontakt plováku s vodící tyčí prochází středem plováku trubička vytvořená z PET láhve. Pro zajištění odolnosti proti vodě je celý plovák zalitý zalévacím silikonem.



Obr. 5.9 Detail na plovák

6 OVĚŘENÍ SPRÁVNÉ ČINNOSTI

6.1 Ověření správné činnosti zařízení

Nejprve byla provedena část oživení (5.2). Nyní se ověří, zda zhotovené zařízení funguje, tzn. plní svou funkci, na kterou bylo navrženo. Po připojení napájecího napětí řídicí jednotka změří měřenou výšku hladiny a zobrazí ji na displeji ve formě číselného údaje v [%] a ve formě bargrafu (viz Obr. 6.1).



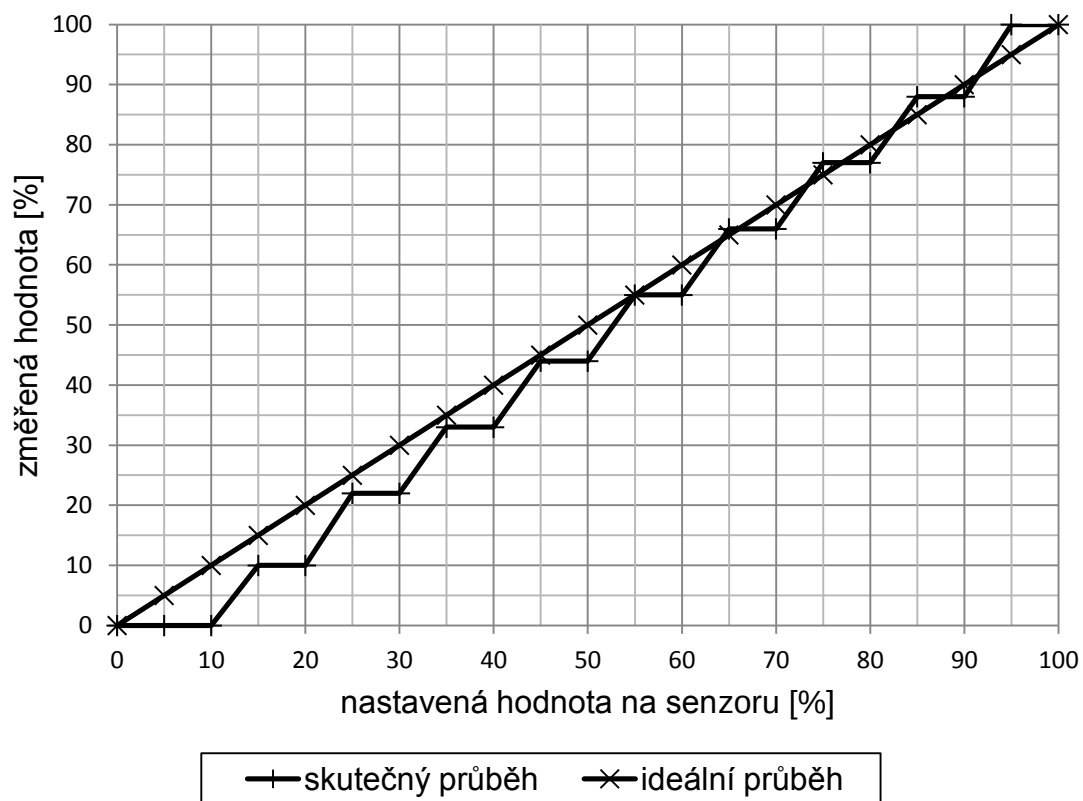
Obr. 6.1 Displej řídicí jednotky, změřená hodnota

Pomocí tlačítek funguje procházení menu. Lze nastavit meze, ve kterých se má pohybovat regulovaná výška hladiny. Dále lze také nastavit, jestli jde o čerpání ven z nádrže nebo do ní. Podle nastavených parametrů řídicí jednotka spíná nebo vypíná výstupní stykač podle aktuální změřené hodnoty výšky hladiny. Na ovládací jednotce po připojení napájecího napětí lze stejným způsobem procházet menu a nastavovat v něm určité hodnoty. V obou jednotkách se nastavené hodnoty ukládají do paměti EEPROM, takže po odpojení napájecího napětí a jeho opětovném připojení zůstanou nastavené hodnoty zachovány.

Bohužel při ověřování správné činnosti nefungovala bezdrátová komunikace mezi jednotkami. Podařilo se pouze vyslat z řídicí jednotky nějakou hodnotu a v ovládací jednotce detekovat příchozí data. Nepodařilo se je však přečíst.

6.2 Ověření činnosti senzoru a změření jeho přesnosti

Každý senzor má určitou nepřesnost. Pro zhotovený senzor byla změřena jeho nepřesnost. Plovák se posunoval po vodící tyči, která je rozdělená popisky na 20 částí (po 5-ti %). Při dosažení každé značky plovákem se odečetla naměřená hodnota na řídicí jednotce. Na Obr. 6.2 je v grafu vyznačena nepřesnost senzoru a pro porovnání je tam také vyznačen ideální průběh. Nepřesnost senzoru je dána počtem použitých jazýčkových kontaktů. Čím větší jejich počet, tím větší přesnost.



Obr. 6.2 Závislost změřené hodnoty hladiny na nastavené hodnotě na senzoru

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace zařízení pro bezdrátové měření a regulaci výšky hladiny kapaliny. Součástí návrhu je výběr vhodného typu senzoru. Byl vybrán typ odporový spínačový, který výšku hladiny převádí na napětí. Toto napětí lze pak jednoduše zpracovat. Tento senzor je připojen do řídicí jednotky, která vyhodnocuje naměřenou hodnotu pomocí A/D převodníku zabudovaného v použitém mikrokontroléru. V pravidelných časových intervalech je spouštěn AD převod. Jeho výsledek je převeden na výšku hladiny a je zobrazen na displeji ve formě číselného údaje i bargrafu. Zároveň je naměřená hodnota bezdrátově odesílána pomocí RF modulu. Byl vybrán modul RFM12B od firmy Hope Microelectronics. Protože je tento modul obousměrný, je také použitý v ovládací jednotce, která přijímá naměřená data. Data jsou v ní stejným způsobem jako v řídicí jednotce zobrazena na displeji. Ovládací jednotka umožňuje nastavení rozsahu změřené výšky, ve kterém je aktivovaný výstup pro spínané zařízení. Dále lze nastavit typ akce provedené při dosažení horní meze určeného rozsahu. Jde o nastavení, jestli má dojít k zapnutí nebo vypnutí řízeného zařízení. Tato funkce je využitelná v případě použití pro vyčerpání nebo dočerpání kapaliny. Hodnoty nastavení jsou následně bezdrátově odeslány zpět do řídicí jednotky, která při porovnání naměřené hodnoty s nastavenou aktivuje nebo deaktivuje výstup pro řízené zařízení.

V první části této práce je proveden teoretický rozbor dané problematiky. Jsou zde rozebrány různé druhy dnes používaných senzorů pro měření výšky hladiny kapaliny. Následně jsou zde popsány dostupné možnosti bezdrátového přenosu s uvedením některých dostupných RF modulů. Dále jsou popsány základní vlastnosti mikrokontrolérů firmy Atmel. Tato část je omezena na popis částí, které budou využity v navrhovaném zařízení.

V druhé části jsou na základě poznatků z teoretického rozboru vybrány vhodné typy řešení senzoru a RF modulu. U senzoru je proveden jeho návrh a přizpůsobení pro použití v navrhovaném zařízení. Následuje návrh kompletního řešení v podobě blokových schémat.

Ve třetí části bakalářské práce byl proveden návrh obvodového zapojení s výběrem vhodné mikroprocesorové platformy. Funkce zálohování nastavených hodnot pro případ výpadku proudu je realizována pomocí ukládání hodnot do paměti EEPROM. Byl napsán software pro mikrokontroléry řídicí i ovládací jednotky. Navržené zařízení bylo zrealizované. Při ověřování správné činnosti fungovalo správně měření výšky hladiny se zobrazením změřené hodnoty na displeji, procházení v menu, nastavení požadovaných mezí, nastavení typu akce při dosažení horní meze a jejich záloha v paměti EEPROM pro případ výpadku proudu. Řídicí jednotka podle nastavených hodnot spínala nebo vypínala výstupní stykač. Bohužel se nepodařilo zprovoznit bezdrátový přenos mezi oběma jednotkami. Podařilo se pouze při vyslání dat z řídicí jednotky indikace příjmu dat v ovládací jednotce. Nepodařilo se je však přechytit.

LITERATURA

- [1] S. ĎADO, L. BEJČEK, A. PLATIL Měření průtoku a výšky hladiny. Praha: BEN, 2005, 448 s. ISBN 80-7300-156-X
- [2] Český telekomunikační úřad. 105. *Plán přidělení kmitočtových pásem* [online]. 2012 – [cit. 3. prosince 2012]. Dostupné na www: http://www.ctu.cz/1/download/plan-prideleni-kmitoctovych-pasem_1114099610.pdf
- [3] AUTOMA, *Bezdrátové komunikace v automatizační praxi I: historie a současnost* [online]. 2012 – [cit. 3. Prosince 2012]. Dostupné na www: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28818
- [4] Peterka, J. Z historie sdělovací techniky. *Computerworld* [online]. 1994 – [cit. 5. Prosince 2012]. Dostupné na www: <http://www.earchiv.cz/a94/a404c501.php3>
- [5] BĚLOHLÁVEK, J. *Návrh typu modulace pro prostředí s rušením*. (Diplomová práce) Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. 55 s.
- [6] HRBÁČEK, J. *Komunikace mikrokontroléru s okolím – 2. Díl*, Praha: BEN, 2002. ISBN 80-86056-73-2
- [7] Hope Microelectronics co., Ltd. *RFM12B: Datasheet* [online]. 2012 – [cit. 11. Prosince 2012]. Dostupné na www: <http://www.hoperf.com/upload/rf/rfm12b.pdf>
- [8] *TME Czech Republic s.r.o.*, [online]. 2012 [cit. 10. prosince 2012]. Aurel TX-SAW-MID-3V. Dostupné na www: <http://www.tme.eu/en/details/tx-saw-mid-3v/aurel-rf-communication-modules/aurel/#>
- [9] *TME Czech Republic s.r.o.*, [online]. 2012 [cit. 10. prosince 2012]. Hope Microelectronics RFM12B-433S2P. Dostupné na www: <http://www.tme.eu/cz/details/rfm12b-433s2p/komunikacni-moduly-rf/hope-microelectronics/>
- [10] *TME Czech Republic s.r.o.*, [online]. 2012 [cit. 10. Prosince 2012]. Hope Microelectronics RFM12B-433D. Dostupné na www: <http://www.tme.eu/cz/details/rfm12b-433d/komunikacni-moduly-rf/hope-microelectronics/#>
- [11] Atmel Corporation. *ATmega16: Datasheet* [online]. 2012 – [cit. 1. prosince 2012]. Dostupné na www: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>
- [12] Atmel Corporation. *ATmega8: Datasheet* [online]. 2012 – [cit. 1. prosince 2012]. Dostupné na www: <http://www.atmel.com/Images/doc2486.pdf>
- [13] MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR ATmega16 - 4. Díl*, 1. vydání, Praha: BEN, 2006. 320 s. ISBN 80-7300-174-8
- [14] *GM Electronic*, [online]. 2013 [cit. 31. Května 2013]. MC1602E-SYL/H. Dostupné z WWW: < <http://www.gme.cz/dokumentace/513/513-109/dsh.513-109.1.pdf> >.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

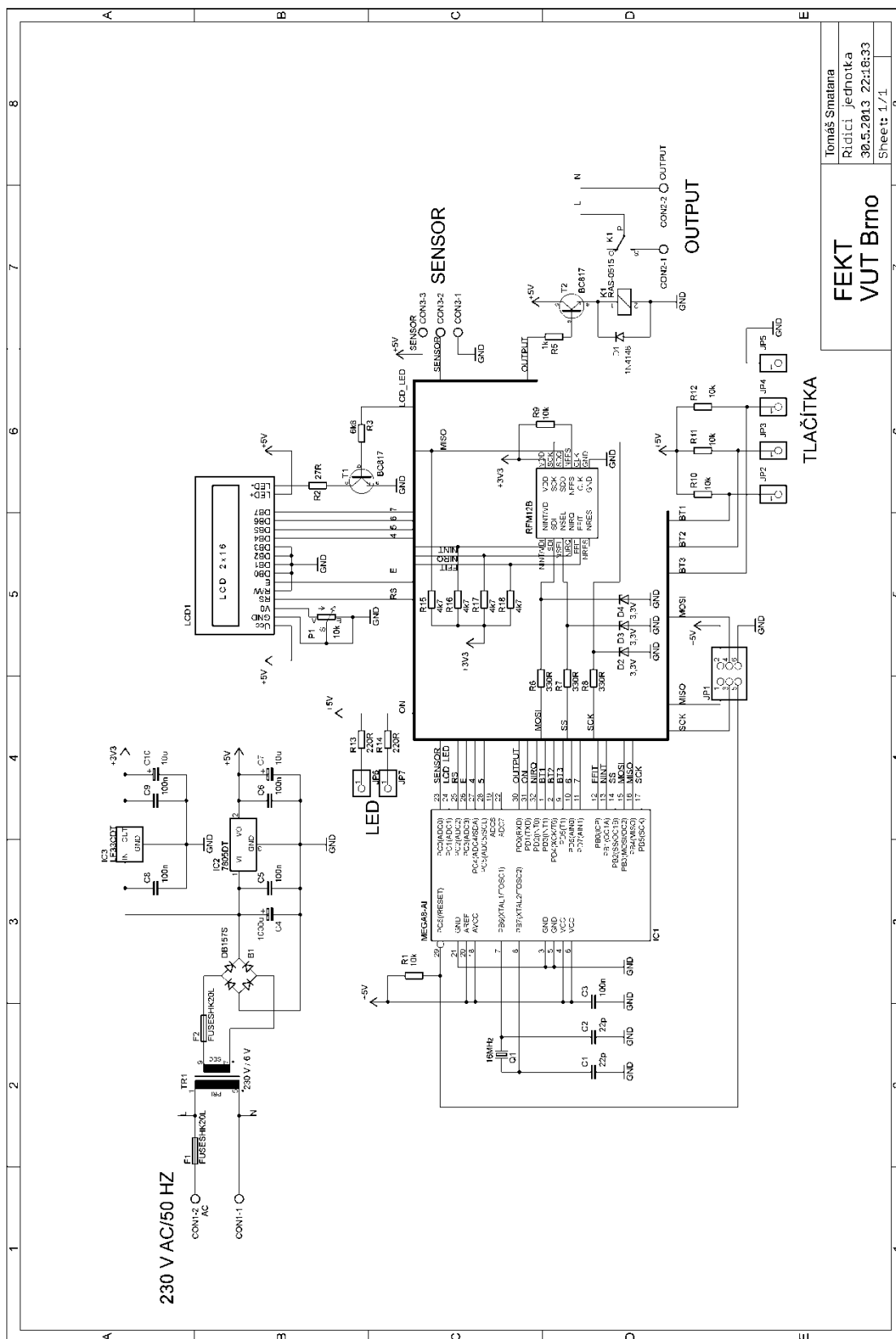
ITU	Internatinoal Telcommunication Union
ČTU	Český telekomunikační úřad
ISM	Industrial, Scientific and Medical
SPI	Serial peripheral interface
RF	Radion frequency
FM	Frequency modulation
AM	Amplitude modulation
FSK	Frequency Shift Keying
ASK	Amplitude Shift Keying
MCU	Machine Control Unit
CTC	Clear Timer on Compare Match
DPS	deska plošného spoje
LED	light emitting diode
IPP	Ingress protection

SEZNAM PŘÍLOH

A	NÁVRH ZAŘÍZENÍ	45
A.1	Obvodové zapojení řídicí jednotky	45
A.2	Obvodové zapojení ovládací jednotky	46
A.3	Obvodové zapojení tlačítek	47
A.4	Deska plošného spoje řídicí jednotky – top (strana součástek)	48
A.5	Deska plošného spoje řídicí jednotky – bottom (strana spojů)	49
A.6	Deska plošného spoje ovládací jednotky – top (strana součástek)	50
A.7	Deska plošného spoje ovládací jednotky – bottom (strana spojů)	50
A.8	Deska plošného spoje tlačítek – bottom (strana spojů)	51
A.9	Osazovací plán řídicí jednotky – top (strana součástek)	51
A.10	Osazovací plán řídicí jednotky – bottom (strana spojů)	52
A.11	Osazovací plán ovládací jednotky – top (strana součástek)	52
A.12	Osazovací plán ovládací jednotky – bottom (strana spojů)	53
A.13	Osazovací plán tlačítek – top (strana součástek)	53
B	SEZNAM SOUČÁSTEK	54
B.1	Řídicí jednotka	54
B.2	Ovládací jednotka	56
B.3	Tlačítka	57
B.4	Senzor	57
C	NÁVRH POTISKU KRABÍČEK	58
C.1	Řídicí jednotka	58
C.2	Ovládací jednotka	58

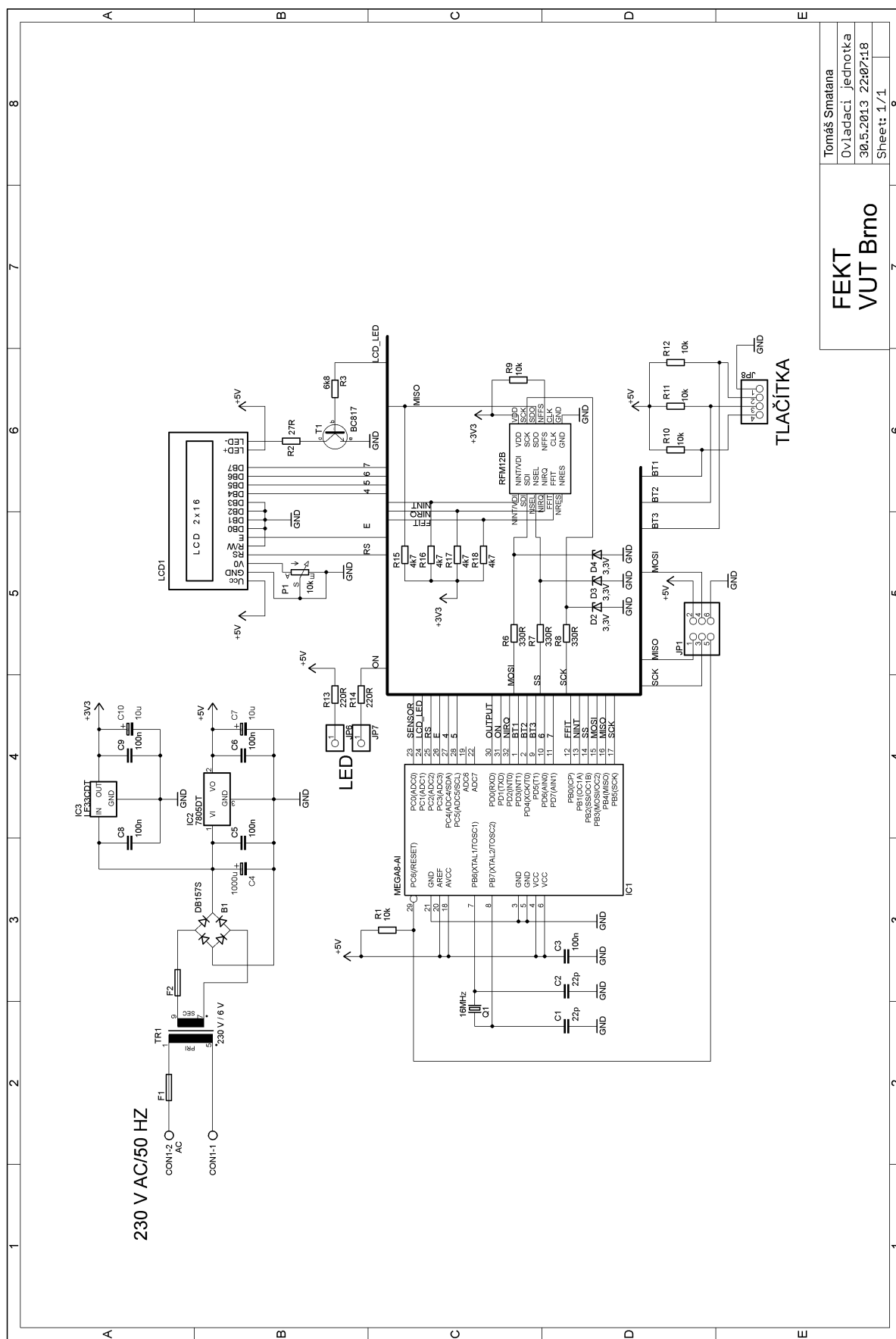
A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Obvodové zapojení řídicí jednotky



FEKT VUT Brno	Tomáš Smatana Řídicí jednotka 30.5.2013 22:16:33 Sheet: 1/1
------------------	--

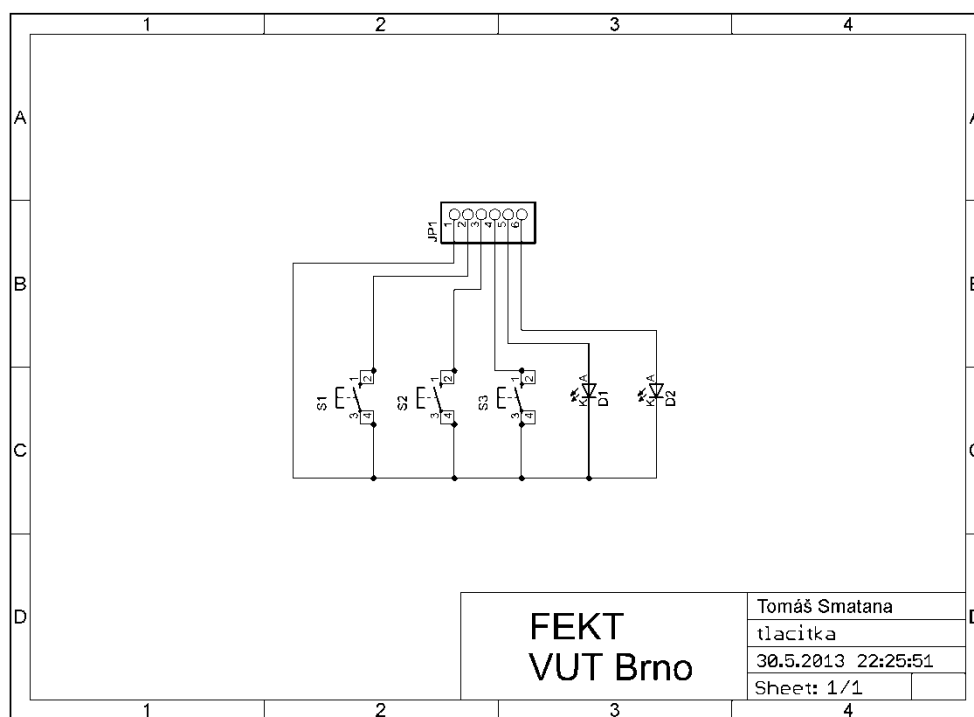
A.2 Obvodové zapojení ovládací jednotky



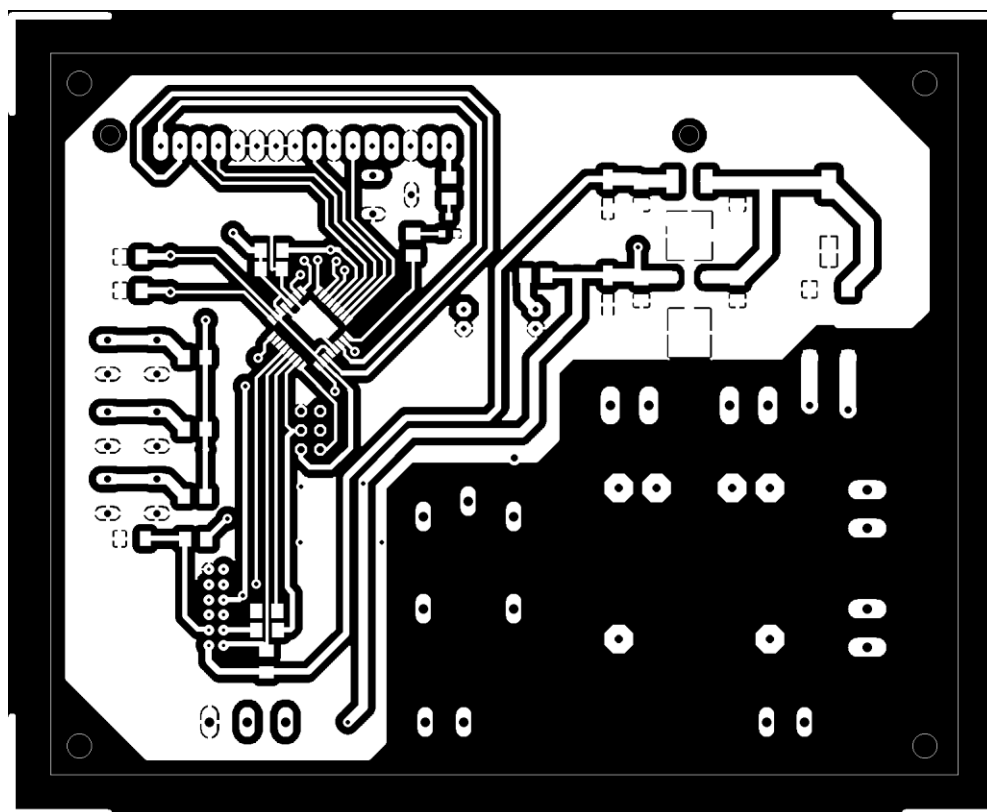
Tomáš Smatana
Ovládací jednotka
30.5.2013 22:07:18
Sheet: 1/1

FEKT
VUT Brno

A.3 Obvodové zapojení tlačítek

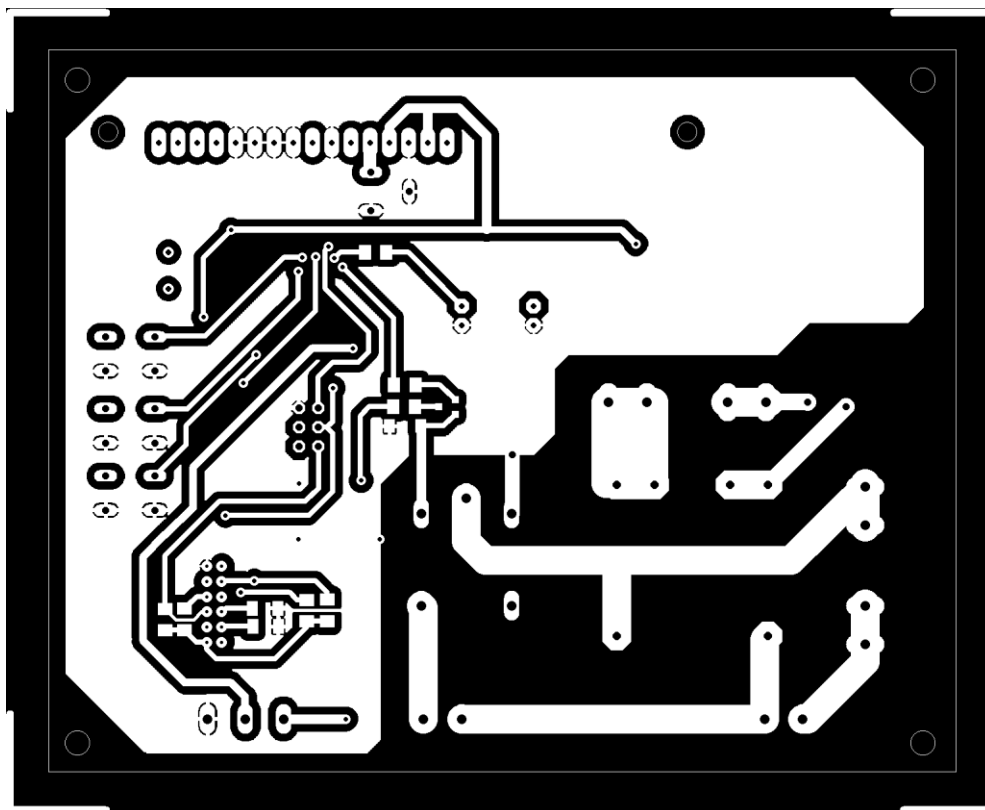


A.4 Deska plošného spoje řídicí jednotky – top (strana součástek)



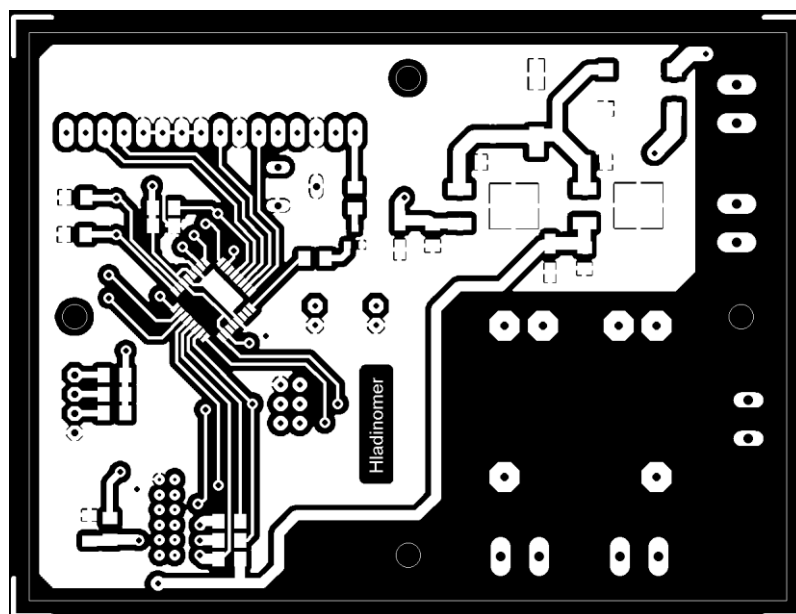
Rozměr desky 120 x 95 [mm], měřítko M1:1

A.5 Deska plošného spoje řídicí jednotky – bottom (strana spojů)



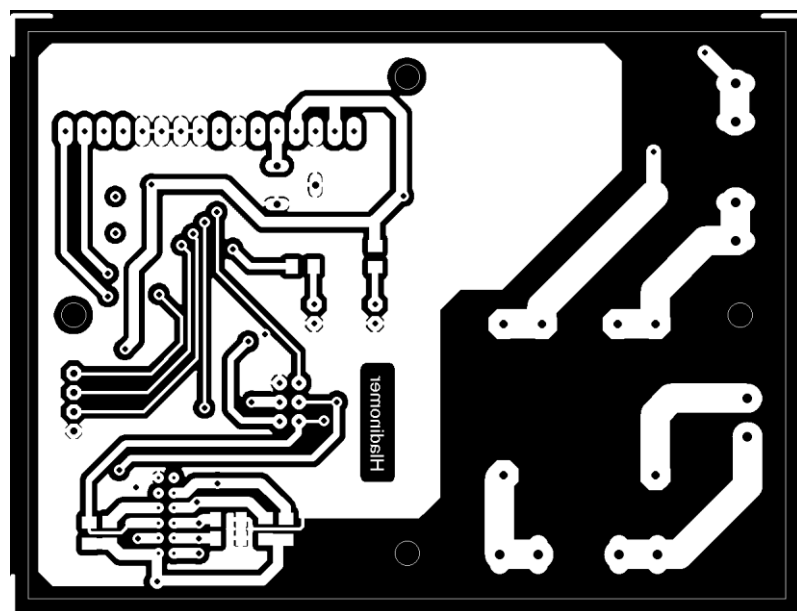
Rozměr desky 120 x 95 [mm], měřítko M1:1

A.6 Deska plošného spoje ovládací jednotky – top (strana součástek)



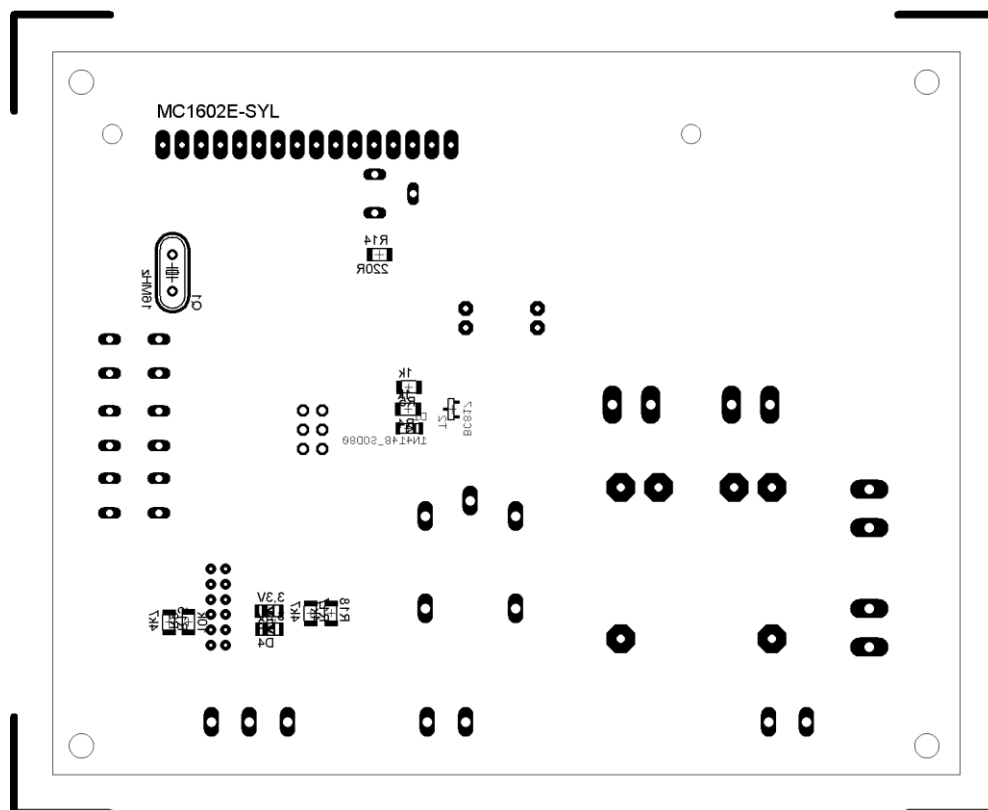
Rozměr desky 95 x 75 [mm], měřítko M1:1

A.7 Deska plošného spoje ovládací jednotky – bottom (strana spojů)

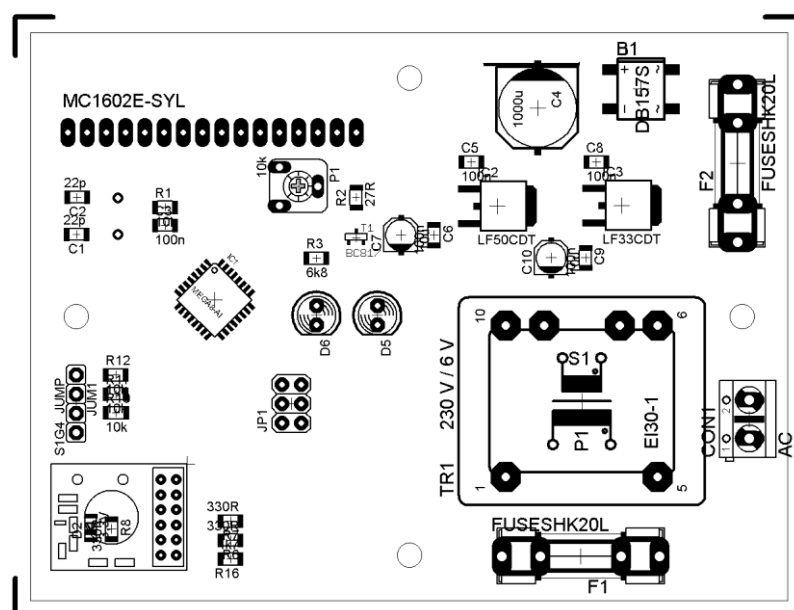


Rozměr desky 95 x 75 [mm], měřítko M1:1

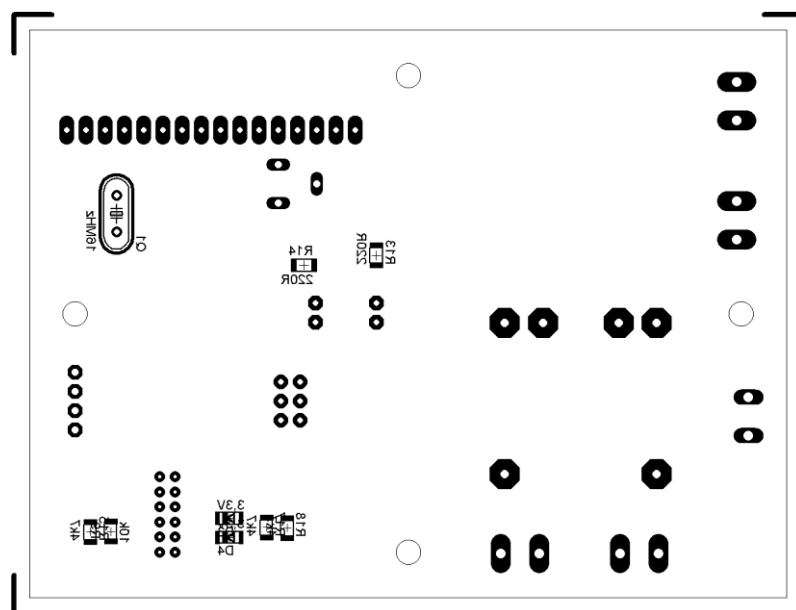
A.10 Osazovací plán řídící jednotky – bottom (strana spojů)



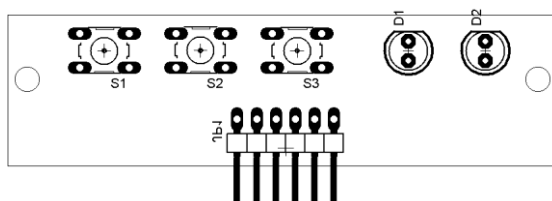
A.11 Osazovací plán ovládací jednotky – top (strana součástí)



A.12 Osazovací plán ovládací jednotky – bottom (strana spojů)



A.13 Osazovací plán tlačítek – top (strana součástek)



B SEZNAM SOUČÁSTEK

B.1 Řídící jednotka

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	10k	R1206	rezistor
R2	27R	R1206	rezistor
R3	6k8	R1206	rezistor
R5	1k	R1206	rezistor
R6	330R	R1206	rezistor
R7	330R	R1206	rezistor
R8	330R	R1206	rezistor
R9	10k	R1206	rezistor
R10	10k	R1206	rezistor
R11	10k	R1206	rezistor
R12	10k	R1206	rezistor
R13	220R	R1206	rezistor
R14	220R	R1206	rezistor
R15	4k7	R1206	rezistor
R16	4k7	R1206	rezistor
R17	4k7	R1206	rezistor
R18	4k7	R1206	rezistor
P1	10k	C1206	odporový trimr
C1	22p	C1206	kondenzátor keramický
C2	22p	C1206	kondenzátor keramický
C3	100n	C1206	kondenzátor keramický
C4	1000u	C1206	kondenzátor elektrolytický
C5	100n	C1206	kondenzátor keramický
C6	100n	C1206	kondenzátor keramický
C7	10u	C1206	kondenzátor elektrolytický
C8	100n	C1206	kondenzátor keramický
C9	100n	C1206	kondenzátor keramický
C10	10u	C1206	kondenzátor elektrolytický
D1	1N4148	SOD80	dioda
D2	3,3 V	SOD80	zenerova dioda
D3	3,3 V	SOD80	zenerova dioda
D4	3,3 V	SOD80	zenerova dioda
B1	DB101S / 1A / 50V	DB-1S	usměrňovací můstek

Q1	16 MHz	HC49US	krystal
Q1		HC49	izolační podložka pod krystal
T1	BC817	SOT23	tranzistor
T2	BC817	SOT23	tranzistor
IC1	ATmega8	TQFP - 32	mikrokontrolér
IC2	LF50CDT	DPAK	napěťový stabilizátor 5 V
IC3	LF33CDT	DPAK	napěťový stabilizátor 3,3 V
LCD1	MC1602E-SYL		LCD displej
RFM12B	RFM12B 433D		modul pro bezdrátový přenos
TR1	230 V / 6 V / 2 VA		transformátor
F1	63 mA	5 x 20 mm	proudová pojistka
F2	400 mA	5 x 20 mm	proudová pojistka
K1	RELRS0515		relé
CON1	ARK500/2EX	2 póly	svorkovnice
CON2	ARK500/2EX	2 póly	svorkovnice
CON3	ARK500/3EX	3 póly	svorkovnice
JP1		2 x 3 póly	dutinková lišta
JP2		1 pól	dutinková lišta
JP3		1 pól	dutinková lišta
JP4		1 pól	dutinková lišta
JP5		1 pól	dutinková lišta
JP6		1 pól	dutinková lišta
JP7		1 pól	dutinková lišta
LC1K0610P7	6 A / 230 V	3 póly	stykač
GEWISS	140 x 190 mm	GW 44 207	krabice

B.2 Ovládací jednotka

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	10k	R1206	rezistor
R2	27R	R1206	rezistor
R3	6k8	R1206	rezistor
R6	330R	R1206	rezistor
R7	330R	R1206	rezistor
R8	330R	R1206	rezistor
R9	10k	R1206	rezistor
R10	10k	R1206	rezistor
R11	10k	R1206	rezistor
R12	10k	R1206	rezistor
R13	220R	R1206	rezistor
R14	220R	R1206	rezistor
R15	4k7	R1206	rezistor
R16	4k7	R1206	rezistor
R17	4k7	R1206	rezistor
R18	4k7	R1206	rezistor
P1	10k	C1206	odporový trimr
C1	22p	C1206	kondenzátor keramický
C2	22p	C1206	kondenzátor keramický
C3	100n	C1206	kondenzátor keramický
C4	1000u	C1206	kondenzátor elektrolytický
C5	100n	C1206	kondenzátor keramický
C6	100n	C1206	kondenzátor keramický
C7	10u	C1206	kondenzátor elektrolytický
C8	100n	C1206	kondenzátor keramický
C9	100n	C1206	kondenzátor keramický
C10	10u	C1206	kondenzátor elektrolytický
D2	3,3 V	SOD80	zenerova dioda
D3	3,3 V	SOD80	zenerova dioda
D4	3,3 V	SOD80	zenerova dioda
B1	DB101S / 1A / 50V	DB-1S	usměrňovací můstek
Q1	16 MHz	HC49US	krystal
Q1		HC49	izolační podložka pod krystal
T1	BC817	SOT23	tranzistor
IC1	ATmega8	TQFP - 32	mikrokontrolér
IC2	LF50CDT	DPAK	napěťový stabilizátor 5 V

IC3	LF33CDT	DPAK	napěťový stabilizátor 3,3 V
LCD1	MC1602E-SYL		LCD displej
RFM12B	RFM12B 433D		modul pro bezdrátový přenos
TR1	230 V / 6 V / 2 VA		transformátor
F1	63 mA	5 x 20 mm	proudová pojistka
F2	400 mA	5 x 20 mm	proudová pojistka
CON1	ARK500/2EX	2 póly	svorkovnice
CON2	ARK500/2EX	2 póly	svorkovnice
JP1		2 x 3 póly	dutinková lišta
JP2		1 pól	dutinková lišta
JP3		1 pól	dutinková lišta
JP8		4 póly	dutinková lišta
GEWISS	80 x 120 mm	GW 44 205	krabička

B.3 Tlačítka

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
S1		TC-0109	mikrospínač
S2		TC-0109	mikrospínač
S3		TC-0109	mikrospínač
D1	L-53GD	LED 5 mm	LED zelená
D2	L-53LID	LED 5 mm	LED červená
JP1		1 x 6	kolíková lišta

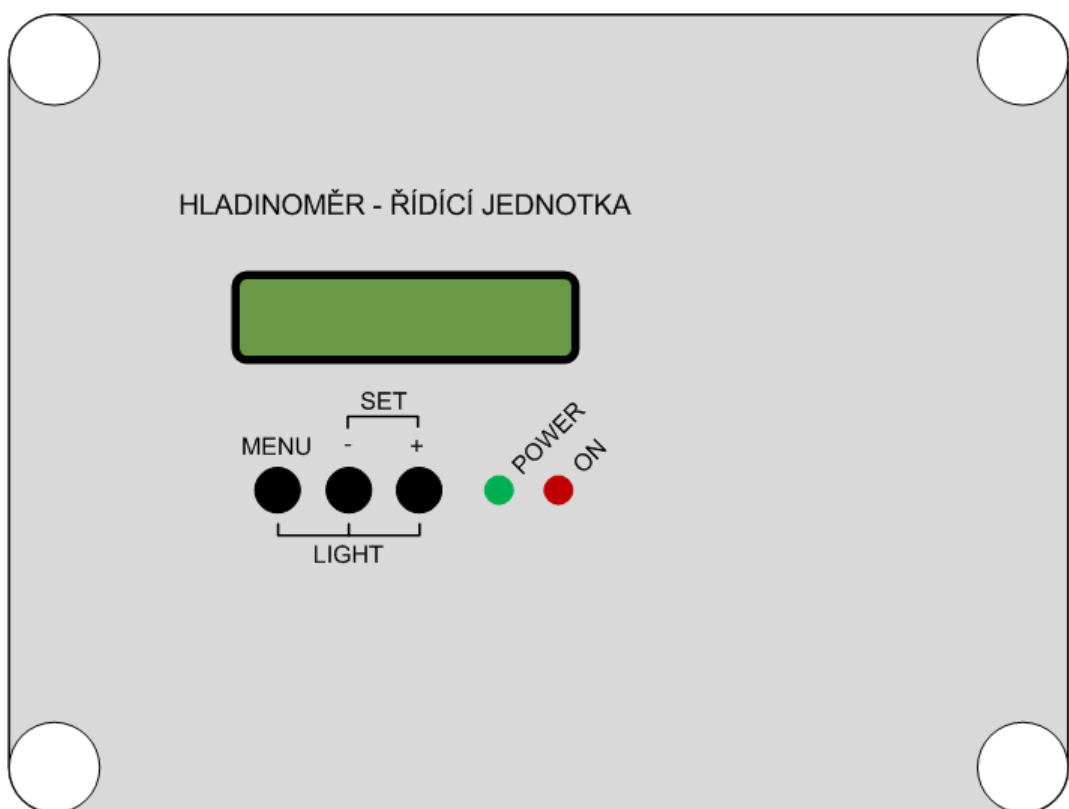
B.4 Senzor

Označení	Hodnota	Popis
R1 – R10	1 k	rezistor metalizovaný
SW0 – SW10		jazyčkový kontakt
	1,5 m x 20 mm	PPR trubka
	20 mm	záslepka
	20 mm	záslepka
PG 9	9 mm	šroubovací průchodka

	3 x 1,5 mm ²	kabel, lanko, pryžová izolace
		feritový magnet

C NÁVRH POTISKU KRABIČEK

C.1 Řídící jednotka



C.2 Ovládací jednotka

