

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Praha, 2014

Jan Burget

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

Senzor stavu vodní hladiny
připojený k bezdrátové síti Wifi

květen 2014

Bakalant: Jan Burget

Vedoucí práce: doc. Ing. Leoš Boháč, Ph.D.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **B U R G E T Jan**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Aplikovaná elektronika

Název tématu: **Senzor stavu vodní hladiny připojený k bezdrátové síti Wifi**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a realizujte bezdrátový senzor stavu vodní hladiny ve vodní nádrži. Senzor bude napájen z baterie a musí maximálně šetřit spotřebu. Překročení maximální hladiny a vybití napájecí baterie bude signalizováno zasláním řídicí zprávy na server, popř. zasláním krátké email zprávy na mobilní telefon.

Seznam odborné literatury:

[1] Fred Eady: Implementing 802.11 with Microcontrollers: Wireless Networking for Embedded Systems Designers, 2005. Newnes, (c)2005. ISBN 9780750678650.

Vedoucí: **Ing. Leoš Boháč, Ph.D.**

Platnost zadání: 31. 8. 2015

L.S.

Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 6. 2. 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti propůjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 23. 5. 2014



Podpis bakalanta

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Leošovi Boháčovi, Ph.D. za konzultace a připomínky k mé práci. Také děkuji všem, kteří mě po dobu celého studia a při tvorbě této práce podporovali.

Anotace:

Bakalářská práce se zabývá bezkontaktním měřením stavu vodní hladiny, zpracováním a následným odesláním změřených dat k uživateli. Senzor je připojen k Wi-Fi síti, přes kterou jsou data odesílána. Pro zobrazení zprávy o stavu vodní hladiny si uživatel volí mezi následujícími možnostmi: hodnota na webové stránce, emailová zpráva a krátká SMS zpráva na mobilní telefon. Hlavní řídicí jednotkou celého senzoru je mikrokontrolér STM32F050. Pro měření hladiny je využit modul s ultrazvukovým senzorem US-020. Data se z řídicí jednotky k uživateli odesílají pomocí Wi-Fi modulu Nano WiReach™. Celý senzor maximálně šetří zdroj energie.

Klíčová slova:

Ultrazvuk, senzor vodní hladiny, Wi-Fi, STM32, bezdrátový, bezkontaktní

Summary:

The Bachelor work deals with contactless measurement of water level, downstream processing and sending the measured data to the user interface. The sensor is connected to a Wi-Fi network which is used to transmitted data. To view the report on the status of the water level user chooses between the following options: value on the web site, e-mail and short message SMS message to mobile phone. The main control unit of the whole sensor is microcontroller STM32F050. For level measurement is used ultrasonic sensor module US-020. Data from the control unit to the user is sent through the Wi-Fi module, Nano WiReach™. The whole sensor is designed to work with maximum energy efficiency.

Index Terms:

Ultrasonic, water level sensor, Wi-Fi, STM32, wireless, contactless

Obsah

Seznam obrázků.....	III
Seznam tabulek.....	IV
Seznam algoritmů.....	V
Seznam použitých zkratek.....	VI
1. Úvod.....	1
2. Cíl projektu.....	2
3. Teoretický rozbor.....	3
3.1. Bezdrátové technologie s nízkou spotřebou.....	3
3.2. "Ultra Low Wi-Fi" moduly.....	4
3.3. Technologie Wi-Fi.....	5
3.4. Měření hladiny.....	5
3.4.1. Mechanické.....	6
3.4.2. Hydrostatické.....	7
3.4.3. Elektrické.....	7
3.5. Ultrazvuk.....	9
3.5.1. Ultrazvukové piezoelektrické měniče.....	10
3.6. Procesory ARM Cortex M0.....	10
4. Konstrukční řešení senzoru.....	11
4.1. Mechanické řešení senzoru.....	11
4.1.1. Rozměry senzoru.....	11
4.1.2. Odolnost vůči vnějším vlivům.....	11
4.1.3. Konstrukční krabičky.....	11
4.2. Elektronika.....	12
4.2.1. Řešení spotřeby energie.....	12
4.3. Uživatelské rozhraní.....	12
5. Hardware.....	13
5.1. Elektrický návrh zařízení.....	13
5.1.1. Napájecí obvod.....	13
5.1.2. Komunikační obvod.....	14
5.1.3. Programovací obvod – SWD.....	14
5.1.4. Měřicí obvod.....	15
5.2. Prvky senzoru.....	16
5.2.1. Wifi modul Nano WiReach™.....	16
5.2.2. Mikrokontrolér STM32F050F6.....	16

5.2.3. Ultrazvukový modul US 020.....	18
5.2.4. Akumulátor Li-ION UltraFire 18650	18
6. Komunikace senzoru s uživatelem	19
6.1. Bez internetového připojení	19
6.2. S internetovým připojením	19
7. Software.....	21
7.1. Popis programu.....	21
7.2. Programovací jazyk AT.....	24
7.3. Úspora energie.....	24
7.4. Grafické uživatelské rozhraní.....	27
8. Možnosti využití v praxi.....	29
8.1. Využití v domácnostech	29
8.2. Využití v záplavových oblastech.....	29
8.2.1. Funkce varovného systému při povodních	29
8.3. Využití v průmyslu	30
8.4. Využití v celní správě	30
9. Závěr.....	31
10. Seznam použité literatury	32
A. Seznam použitých součástek	34
B. Elektrické schéma zapojení	35
C. Prototyp bezdrátového senzoru výšky hladiny.....	36

Seznam obrázků

Obr. 1 Plovákový senzor hladiny - princip.....	6
Obr. 2 Vztlkový senzor hladiny - princip	6
Obr. 3 Hydrostatický senzor hladiny - princip	7
Obr. 4 Radarový senzor hladiny - princip	8
Obr. 5 Ultrazvukový senzor hladiny - princip měření.....	9
Obr. 6 Ultrazvukový senzor hladiny - princip.....	9
Obr. 7 Elektronické schéma - napájecí část.....	14
Obr. 8 Elektronické schéma - komunikační část	14
Obr. 9 Elektronické schéma - programovací část.....	15
Obr. 10 Elektronické schéma - měřicí část.....	15
Obr. 11 Wi-Fi modul Nano WiReach™ [1]	16
Obr. 12 Ultrazvukový modul US-020 [3].....	18
Obr. 13 Akumulátor Li-ION UltraFire [2]	18
Obr. 14 Vývojový diagram programu	22
Obr. 15 Grafické uživatelské rozhraní - konfigurační okno.....	27
Obr. 16 Grafické uživatelské rozhraní - okno s aktuálními hodnotami.....	28
Obr. 17 Elektrické schéma zapojení	35
Obr. 18 Prototyp bezdrátového senzoru výšky hladiny připojeného k Wi-Fi síti.....	36

Seznam tabulek

Tab. 1 Porovnání "ultra low power" Wi-Fi modulů	5
Tab. 2 Porovnání ultrazvukových měničů	10
Tab. 3 Příklady emailových adres pro SMS zprávu	20
Tab. 4 Seznam použitých součástek	34

Seznam algoritmů

Alg. 1 Metoda pro odeslání příkazu	23
Alg. 2 Metoda pro příjem odpovědi	23

Seznam použitých zkratek

Wi-Fi – Wireless Fidelity

ARM – Advanced RISC Machine

ADC – Analog to digital comparator

RISC – Reduced Instruction Set Computing

CISC – Complex Instruction Set Computing

MAC – Media Access Control

LAN – Local Area Network

MAN – Metropolitan Area Network

RMII – Reduced Media Independent Interface

PPP – Point to Point Protocol

USART – Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter

MIMO – Multiple Input Multiple Output

SMS – Short Message Service

GSM – Global System for Mobile Communications

DPS – Deska plošných spojů

SWD – Serial Wire Debug

TTL – Transistor-transistor logic

SPI – Serial Peripheral Interface

USB – Universal Serial Bus

HTML – HyperText Markup Language

1. Úvod

V dnešní době je velkým trendem nahrazovat drátové technologie bezdrátovými, ať již z hlediska možnosti mobility, tak i z hlediska šetření místa apod. Téměř každý se denně setkává s bezdrátovými technologiemi v nejrůznější podobě, např. mobilní telefon, notebook. Také i pouhý ovladač na televizi lze zařadit do této technologie. Bezdrátové technologie jsou vyvíjeny pro maximální komfort a jednoduché používání. Jako nároky se poslední dobou stále zvyšují, což vede ke zdokonalování tzv. Smart technologií, což jsou "chytré" systémy, ve kterých je propojena elektronika s výpočetní technologií za účelem zabezpečení a finanční úspory. Technologie bývají ekologicky šetrné. Hlavním účelem je však pohodlné ovládání uživatelem, který se většinou nemusí o běh systému vůbec starat. O běh celého systému se stará řídicí jednotka, ke které jsou komponenty nejčastěji připojeny pomocí Wi-Fi, Bluetooth, nebo jiné bezdrátové technologie. Pro prvotní nastavení nebo pozdější změny v nastavení lze provést jednoduše z chytrého mobilního telefonu, tabletu nebo notebooku, kde výše uvedené technologie bývají již v základním vybavení.

Pro měření výšky hladiny je na trhu dostupná celá řada senzorů, avšak většina z nich využívá pro komunikaci kabelový spoj. Vyskytují se sice také bezdrátové senzory vodní hladiny, ale ty komunikují především prostřednictvím mobilní technologie GSM. Využitím komunikace přes Wi-Fi se otevírají nové možnosti zpracovávání údajů ze senzorů. Bezkontaktní senzor hladiny připojený k Wi-Fi síti je sám o sobě Smart technologií. Může se lehce připojit do celého systému, jehož běh závisí na aktuálním stavu hladiny.

Senzory výšky vodní hladiny rozlišujeme podle toho, zda chceme měřit stav hladiny nebo je nutné signalizovat, že hladina dosáhla určité (maximální) výšky. Potom tyto senzory slouží pouze jako indikátory maximální výšky hladiny.

2. Cíl projektu

Cílem projektu bylo navrhnout a realizovat bezdrátový senzor stavu vodní hladiny. Senzor je napájen z baterie a maximálně šetří spotřebu. Překročení maximální hladiny a vybití baterie je signalizováno zasláním řídicí zprávy na server, popř. zasláním krátké emailové zprávy nebo zasláním emailové zprávy na mobilní telefon pomocí SMS služby.

3. Teoretický rozbor

3.1. Bezdrátové technologie s nízkou spotřebou

Bezdrátový přenos dat v oblasti senzorů byl vyvinut před mnoha lety. Do popředí se ale dostává až s příchodem modulů s nízkou spotřebou, které jsou implementovány především do chytrých telefonů, inteligentních domů, měřičů, dálkových ovládaní, mobilních aplikací, atd. Dřívější technologií nebylo možné se zaměřit na mobilní systémy, neboť přenos dat v bezdrátové technologii znamenal velké množství spotřebované energie a vyžadoval speciální zařízení k uskutečnění komunikace. To se změnilo s příchodem "low power" technologie, která se vyznačuje:

- nízkou spotřebou energie
- malými rozměry
- vysokým výkonem
- nízkou pořizovací cenou

Hlavním cílem bylo vyvinout technologii, kde by zařízení vydrželo napájené ze zdroje energie po dlouhou dobu. K dobíjení baterií se začíná rozmáhat dobíjení pomocí externích zdrojů, tzv. "energy harvesting". Do bezdrátové "low power" technologie se řadí: Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, ANT+, Nike+, NFC.

Mezi technologiemi panuje pomyslná přímá úměrnost v otázce spotřeby a jejich přenosové rychlosti. NFC jakožto pasivní prvek sice nepotřebuje žádné napájení, ale přenosová rychlost dat se pohybuje v řádech jednotek Kb/s. Naopak přenosová rychlost u Wi-Fi dosahuje téměř 50 Mb/s. Od této rychlosti se také bude odvíjet náročnost technologie na napájení.

V poslední době se na trhu objevují moduly, které slučují Wi-Fi a Bluetooth technologie do jednoho čipu, které zaručují díky Wi-Fi připojení na internet a vysoké přenosové rychlosti, resp. velmi nízkou spotřebu energie díky Bluetooth [15].

• Wi-Fi

Odhaduje se, že díky rychlému nástupu technologii "low power" se počet zařízení využívající technologii Wi-Fi během následujících 15 let více než zdesetinásobí. Počet zařízení se bude pohybovat v řádech desítek miliard kusů. Přednost této technologie spočívá v jednoduchém připojení modulů k síti.

Moduly s touto technologií se uplatňují především v průmyslu, automatizaci, zdravotnictví, atd.

Více o této technologii a "low power Wi-Fi" modulech v kap. 2.2. a 2.3.

• Bluetooth

Technologie Bluetooth "low energy", označována také jako BLE, se od původní liší především ve spotřebě energie za cenu nižší přenosové rychlosti. Výrobce udává, že vydrží být napájen knoflíkovou baterií až jeden rok [3].

Využití Bluetooth je především ve zdravotnictví, mobilních aplikacích, sportu atd.

- **ZigBee**

Technologie určená pro sítě PAN, u které se nepřenáší vysoké objemy dat. Byla vytvořena na základě bezdrátových standardů s cílem nízké spotřeby, ceny, spolehlivosti a bezpečnosti. Její využití je především u inteligentních senzorů, v domácí automatizaci nebo pro dálková ovládání [15].

- **ANT+**

ANT+ je bezdrátová technologie vyvinuta pro přenos nízkých objemů dat na vzdálenosti do 10 m. Technologie se vyskytuje především v pomůckách pro sportovní účely, jako jsou krokoměry, sporttestery nebo cyklistické tachometry [14].

- **NIKE+**

Technologie Nike+ je určená pro sportovní účely, vyvinutá společnostmi Apple a Nike. Společně s mobilními aplikacemi vede k monitorování aktivity sportovce [14].

- **NFC**

Pasivní NFC technologie využívá pro přenos čtečky o frekvenci 134,2 KHz. Přenos dat probíhá do vzdálenosti 10 cm. Používá se pro čtečky karet [15].

3.2. "Ultra Low Wi-Fi" moduly

"Ultra low" Wi-Fi moduly se vyznačují především malými rozměry a velmi nízkou spotřebou, přesto dokáží vyvinout výkon, díky kterému komunikují na desítky metrů. Dosah závisí na typu antény a na prostoru, kde dochází ke komunikaci. Vyrábí se dva druhy modulů z hlediska připojení antény. První obsahuje integrovanou anténu přímo na modulu, v druhém případě se externí anténa připojuje pomocí konektoru.

Moduly jsou plně kompatibilní se standardy IEEE 802.11 b/g/n a pracují ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz. Programování modulů probíhá pomocí AT příkazů. Z hlediska připojení jsou moduly schopny se připojit do sítě se zabezpečovacími protokoly WPA/WPA2, WEP. Podpora síťových protokolů se u každého modulu liší. Modul obsahuje vlastní mikrokontrolér, který je většinou pro komunikaci vybaven komunikačními rozhraními SPI, I2C nebo UART. V úsporném módu dosahuje hodnota odběru proudu jednotek μA . Parametry odběru se nepatrně liší podle typu zařízení a výrobce (viz Tab. 1).

U dražších modulů se můžeme setkat s komplexnějšími funkcemi, jako jsou např. SerialNet mód, jednoduchá internetová stránka, apod. Díky dostatečnému vysílacímu výkonu, nízké spotřebě a malým rozměrům nalézají "ultra low power" moduly využití v nejrůznějších aplikacích včetně inteligentních systémů a vestavěných zařízení.

V tabulce je zobrazen přehled "ultra low Wi-Fi" modulu vybraných výrobců v porovnání s použitým modulem Nano WiReach™ od firmy ConnectOne.

Výrobce	ConnectOne [7]	Microchip [6]	Bluegiga [5]	ACK [4]
Název	Nano WiReach™	RN-131G	WF111	AMW004
Výkon	15 dBm	18 dBm	17 dBm	19 dBm
Spotřeba energie Rx/Tx/úsp. režim	250 mA/190 mA/ 8 mA (20 µA)	210 mA/40 mA/ 4 µA	190 mA/88 mA/ 110 µA	12,5 mA/6,9 mA/ 0,77 mA(1,85 µA)
UART	✓	✓	✓	✓
Typ antény integrovaná/externí	✗/✓(U.FL)	✓/✓(U.FL)	✓/✓(U.FL)	✓/✓(U.FL)
Podpora 802.11b/g	✓	✓	✓	✓

Tab. 1 Porovnání "ultra low power" Wi-Fi modulů

3.3. Technologie Wi-Fi

Technologie Wi-Fi [16] je bezdrátová síť, která nahrazuje ethernetové připojení. Využívá bezlicenční frekvenční pásma o šířce 2,4 a 5 GHz. Název Wi-Fi je ve skutečnosti komerční název pro označení standardů, které se používají v informatice. Standardy vydal institut IEEE a nesou označení IEEE 802.11, kde 802 značí skupinu LAN a MAN. Tyto skupiny mají své podskupiny, kde Wi-Fi patří do 802.11. Například Bluetooth pracuje podle standardu IEEE 802.15.1 nebo ethernet využívá standard IEEE 802.3

Standard IEEE 802.11 byl pro Wi-Fi pomyslným odrazovým můstkem. Z bezpečnostního hlediska tento standard byl nedostačující, a tak jsou postupně vyvíjeny takzvané dodatky k tomuto původnímu standardu, které parametry Wi-Fi výrazně zlepšily. Těchto dodatků byla vyvinuta celá řada. Základní z nich nesou označení a, b, g, n. Standardy IEEE 802.11b a IEEE 802.11g využívají pásmo 2,4 GHz. V tomto pásmu může docházet k vzájemnému ovlivňování s ostatními zařízeními pracujícími na této frekvenci, např. (Bluetooth). Standardy IEEE 802.11a a IEEE 802.11n pracují v pásmu 5 GHz, které je na rozdíl od předchozího pásma méně rušeno. Přenosová rychlost velmi, výrazně stoupla až od standardu IEEE 802.11n díky zavedení technologie MIMO. Tato technologie umožňuje vysílat a přijímat více dat ve stejnou chvíli. V dnešní době se začíná aplikovat standard IEEE 802.11ac, se kterým se dostáváme až na fyzickou rychlost okolo 1 Gbit/s.

3.4. Měření hladiny

Pro měření výšky hladiny [1] existuje několik metod měření, kde ne každá je vhodná pro dané aplikační řešení. Tyto metody se vybírají podle jednotlivých parametrů, jako jsou vlastnosti kapalin a prostředí, rozměry a tvar nádrže, ale také, zda chceme měřit hladinu spojitě nebo se pouze spokojíme s indikací hladiny v určitých bodech. Rozlišujeme, jakou má kapalina viskozitu, zda je hořlavá, lepkavá, zda koroduje nebo se jedná o čistou vodu. Zda prostředí, ve kterém je senzor umístěn pro snímání hladiny, tvoří vakuum nebo jaký tlak se v něm vyskytuje a zda se jedná o nádobu uzavřenou či otevřenou. U každého senzoru se klade důraz na přesné měření, tedy na rozsah, citlivost a teplotní odolnost. V průmyslových aplikacích tyto senzory neslouží primárně pro snímání výšky hladiny, ale pro zjištění, kolik dané kapaliny se v nádrži nachází. Objem se z výšky hladiny dopočítává.

Měření výšky hladiny se dělí podle hlavního prvku, který se pro měření využívá, do třech kategorií – mechanické, hydrostatické a elektrické.

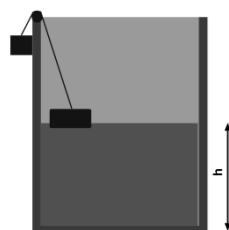
Pro bezkontaktní měření hladiny se nabízí řešení v podobě elektrických čidel v podobě ultrazvukových a radarových.

3.4.1. Mechanické

Plovákové senzory

Základním prvkem je plovák umístěný na hladině. Aby se plovák vznášel na hladině, musí být vyroben z lehkých dutých těles nebo z materiálu o malé hustotě, např.: z polystyrenu, PVC, mosazi atd. Tato tělesa jsou pak zavěšena v nádobách na laněch, řetězech nebo na vodících tyčích. Výška hladiny se určuje ze stupnice, na kterou ukazuje protizávaží k plováku vyvedené přes kladku na řetězu nebo lanu vně nádrže, nebo se poloha určuje pomocí elektrického signálu z převodníku. Přesnost měření závisí na tvaru plováku a na tom, zda je schopen celou dobu vznášet se na hladině s konstantním ponorem.

Jsou to jednoduché a spolehlivé senzory využívající se především pro měření čisté vody nebo kapaliny s nízkou viskozitou.

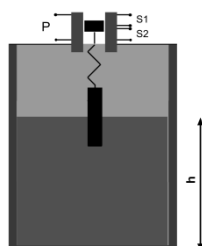


Obr. 1 Plovákový senzor hladiny - princip

Vztlakové (ponorné) senzory

Měření je založeno na principu vyrovnávání sil mezi kapalinou a tělesem do něj vnořeným. Využívá se Archimédova zákona. A kapalina musí mít konstantní hustotu a nízkou viskozitu.

Základem vztlakových senzorů je válcovité těleso zavěšené na pružině, které je vnořeno do kapaliny. Na toto těleso působí shora síla tíhová a také síla vztlaková, díky které je těleso nadlehčováno. Při změně polohy hladiny se změní vztlaková síla a nastane nová rovnováha sil. Výška hladiny se snímá pomocí diferenčního transformátoru. Změna polohy je převáděna na elektrický signál. Senzory jsou náchylné na nerovnosti na hladině. Proto se v těchto případech umísťuje do pomocné nádoby, uvnitř které je hladina klidná.

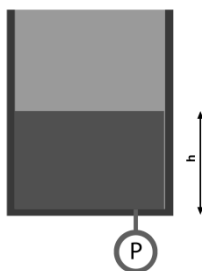


Obr. 2 Vztlakový senzor hladiny - princip

3.4.2. Hydrostatické

Hydrostatický senzor hladiny je umístěn na dně nádrže. Z hydrostatického tlaku sloupce kapaliny se vyhodnocuje výška hladiny pomocí rovnice pro hydrostatický tlak. U otevřených nádrží se snímá pomocí tlakoměru pouze hydrostatický tlak ze dna nádrže. V uzavřených nádržích se musí počítat s tlakem, který je obsažen v horní části mezi kapalinou a horním stěnou nádrže. Tento tlak se označuje jako referenční. Pro měření hladiny např. ve vrtech se využívá hydrostatický senzor s ponornou sondou, která obsahuje membránu s tenzometrickým snímačem a slouží jako přívod referenčního tlaku.

Hydrostatické senzory jsou velmi závislé na teplotě, neboť se s teplotou mění hustota kapaliny. Měření neovlivňuje povrch vodní hladiny ani žádné elektrické vlastnosti kapaliny.



Obr. 3 Hydrostatický senzor hladiny - princip

3.4.3. Elektrické

Radarové

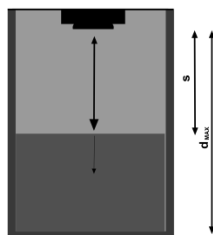
Podobný princip jako u ultrazvukového senzoru. Měří se doba šíření vlny elektromagnetického signálu. Radarové senzory měří hladinu dvěma metodami.

Časová (pulzní) metoda je založena na vysílání krátkých impulzů směrem k hladině, kde se částečně pohltí a částečně odrazí zpět k přijímači. Výška hladiny se určí pomocí výpočtu z doby, za kterou byl impulz po vyslání přijat.

Frekvenční metoda (s rozmítaným spojitým signálem) dosahuje daleko přesnějšího měření a je založena na vyslání spojitého signálu s proměnnou frekvencí nejčastěji pilového průběhu. Vyslaný signál se přeladuje mezi minimální a maximální frekvencí. Výška hladiny se vypočítá z hodnot vyslaného a přijatého signálu.

K vyslání a příjmu elektromagnetické vlny slouží zpravidla pouze jedna anténa. Ke zvýšení přesnosti měření je nutné potlačit nepříznivé vlivy, jako jsou rušivé nebo násobné odrazy. K tomu se využívá při zpracování informace vhodný software nebo automatická kalibrace senzoru. Pro měření, kde chceme potlačit maximálně rušivé vlivy, se využívají reflektometrické hladinoměry.

Radarové senzory se využívají pro přesné bezkontaktní měření hladiny. Měření není ovlivněno teplotou ani tlakem a je vhodné pro všechny druhy kapalin až na ty s nízkou permitivitou.



Obr. 4 Radarový senzor hladiny - princip

Ultrazvukové

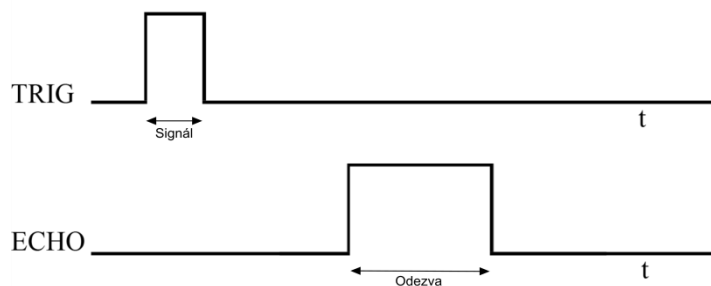
Ultrazvukový senzor je zařízení, určené pro bezkontaktní měření výšky hladiny kapaliny, který elektrický signál přemění na ultrazvukové vlny a zpět. Vyhodnocuje se časová odezva těchto vln.

Pro spojitě měření hladiny se měří doba, za kterou se vyslaná ultrazvuková vlna odrazí od hladiny a vrátí se zpět k přijímači. Měníč vyšle několik pulzů, které se šíří prostorem, ve kterém je známa hodnota šíření zvuku. Po nárazu na hladinu se část vlnění vstřebá a část odrazí. Vlna se vrátí zpět k senzoru. Ve vyhodnocovacím obvodu se přijaté pulzy zesílí a vyhodnotí se jejich doba odezvy, které se říká echo. Z velikosti doby echa se zjistí vzdálenost hladiny. Senzor se skládá z generátoru, měniče, zesilovače a vyhodnocující elektroniky. Měníče jsou nejčastěji používané piezoelektrické nebo piezokeramické. Sensory se vyrábí s jedním nebo dvěma měniči. V případě, že je na senzoru umístěn pouze jeden měnič, má na starosti vysílání i příjem vlny. Ve verzi se dvěma měniči má za úkol vlnu jeden vysílat a druhý přijímat.

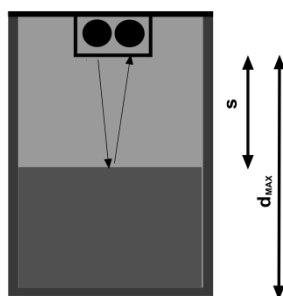
Rozsah měření závisí na prostředí, kterým se ultrazvuk šíří. Ultrazvukem nelze měřit ve vakuu, v prostředích s nízkým tlakem nebo naopak vysokým tlakem. Prostředí přímo ovlivňuje rozsah měření. Maximální vzdálenost měření je určena množstvím minimální energie dopadající na přijímač.

Přesný údaj neovlivňuje pouze prostředí, ale také tvar vnitřku nádrže, různé nečistoty, svary, potrubí, přepážky apod. Pro zvýšení přesnosti měření se zavádí korekční nebo referenční prvek a metoda mapování nádrže. Tyto prvky mají za úkol výsledný údaj upravit podle teploty, resp. podle doby průchodu vlny referenčním vedením. Metoda mapování nádrže je založena na přijatých vlnách z prázdné nádoby, tyto vlny se poté softwarově odečítají od změřeného signálu odraženého od hladiny.

Ultrazvukem není možné měřit v prašných prostorách, při výskytu pěny nebo vlnění na hladině. Vlnění se odstraní použitím trubky, do které se umístí senzor.



Obr. 5 Ultrazvukový senzor hladiny - princip měření



Obr. 6 Ultrazvukový senzor hladiny - princip

3.5. Ultrazvuk

Ultrazvuk [17] je akustické vlnění s frekvencí pro člověka neslyšitelnou. Tato frekvence je stanovena od 20 KHz. Rychlost šíření ultrazvukových vln je stejná jako v případě vln slyšitelného pásma. Tyto vlny se pohybují pomocí částic, které jsou obsaženy v plynech a v pevných materiálech. Tyto částice si mezi sebou vyměňují energii a umožňují tak průchod vln. Proto je pro šíření zvuku vhodnější prostředí pevných látek. Tyto látky mají zpravidla pevnou krystalickou mřížku a tudíž se v nich vlna šíří rychleji než ve vzduchu. Dobrým vodivým prostředím jsou také kapaliny. Prostředí, ve kterém ultrazvukové vlny nemají tendenci se šířit, je vakuum. Ve vakuu se nevyskytují žádné částice, a tudíž se nemá energie jak šířit. Rychlost šíření ultrazvukových vln [20] je závislá na teplotě prostředí, v němž se pohybuje. Vypočítá se pomocí následujícího vztahu (1).

$$v = (331,82 + 0,61t) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (1)$$

Kde t je teplota ve $^{\circ}\text{C}$.

Ultrazvuk byl dříve používán převážně pro vojenské účely. Používal se ke komunikaci v ponorkách. V dnešní době má ultrazvuk široké uplatnění. Využívá se pro vyhledávání vad materiálu, k čištění tvarově složitých věcí, jako jsou např. ložiska, šperky nebo chirurgické a dentální nástroje. Ultrazvukem se také obrábějí materiály. Velké využití má v medicíně, ale také v elektronice, kde se využívá ultrazvukového odrazu k detekci překážek a určení jejich vzdáleností.

3.5.1. Ultrazvukové piezoelektrické měniče

Měniče se vyrábí ve třech variantách:

- Vysílač
- Přijímač
- Vysílač a přijímač

Dosah měření závisí na vysílací frekvenci. Pro měření delších vzdáleností jsou určeny měniče s frekvencí 40 KHz, pro krátké vzdálenosti měniče s frekvencí v řádu stovek KHz. Od hodnoty frekvence se odvíjí cena měniče. Měniče se ve vyzářovacím úhlu a v provedení. Vyrábí se plastové nebo kovové. Kovové jsou voděodolné.

Výrobce	-	Multicomp	Multicomp	Multicomp	Multicomp
Označení	US-020 ¹	MCUSD16-P40B12RO	MCUSD14-A40S09RS	MCUSD19-A200B11RS	MCUSD11-A400B11RS
Vysílač/přijímač	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓	✓/✓
Dosah [cm]	2-700	60-1600	-	10-200	5-30
Vyzářovací úhel [°]	15	50	110	11	7
Voděodolný	✗	✗	✓	✓ (IP65)	✓ (IP65)
Frekvence [KHz]	40	40	40	200	400
Cena ² od	40 Kč	60 Kč	100 Kč	600 Kč	860 Kč

Tab. 2 Porovnání ultrazvukových měničů

3.6. Procesory ARM Cortex M0

ARM [18] jsou 32-bitové mikroprocesory využívající RISC architekturu. Tato architektura jednodušší strukturu než architektura CISC. Díky tomu dosahují procesory s architekturou RISC vyšších rychlostí. K provádění instrukcí využívají méně tranzistorů. Mikroprocesory ARM se vyznačují:

- nízké pořizovací náklady
- nezahřívají se
- nízká spotřeba energie

Díky těmto vlastnostem jsou implementovány v téměř každém chytrém telefonu - smartphonu, tabletu, či jiném přenosném zařízení. Nejrozšířenější řadou je řada Cortex.

U mikroprocesorů s jádrem Cortex M0 [2] je implementována Von Neumannova architektura. Tato architektura zpracovává vždy jen jeden program, což je velice pomalé, proto je pro vyšší toky dat nahrazena architekturou Harvardskou, která je implementována od třídy Cortex M3.

¹ Jedná se o již zhotovený ultrazvukový modul.

² Ceny jsou pouze orientační podle [19].

4. Konstrukční řešení senzoru

Senzor díky svým vlastnostem nabízí možnosti pro široké spektrum využití. Tyto vlastnosti dělíme na elektrické a mechanické. Mezi mechanické vlastnosti patří:

- Rozměry senzoru
- Odolnost vůči vnějším vlivům
- Výběr konstrukční krabičky

U elektrických vlastností se jedná především o:

- rozsah měření výšky hladiny
- dosah signálu Wi-Fi
- spotřeba energie, její zdroj a způsob dobítí.

4.1. Mechanické řešení senzoru

4.1.1. Rozměry senzoru

Mnou vyvinuté zařízení se skládá ze tří částí:

- ultrazvukový modul,
- zdroj energie
- DPS a řídicí jednotkou a Wi-Fi modulem

V současném stavu prototypu je největší částí tohoto systému DPS. Destička bude mít v konečné verzi menší rozměry. Pro měření výšky hladiny kapaliny ultrazvukovým senzorem je využit ultrazvukový modul, jehož rozměry jsou pevně dány. Tento modul poté bude mít s baterií ze všech částí systému největší rozměry, a proto bude celková velikost systému přizpůsobena těmto dvěma prvkům.

4.1.2. Odolnost vůči vnějším vlivům

U elektroniky je velkým problémem vlhkost v pracovním prostředí, obzvláště u senzorů pro měření hladiny kapaliny nebo u systémů pracujících ve venkovním prostředí. Základním opatřením jak ochránit systém od vnějších vlivů, je použití vhodného obalu nebo konstrukční krabičky a tu vhodně utěsnit. Dalším důležitým opatřením je použití plošného spoje s ochrannou vrstvou, která zabrání korozi spojů. Koroze může způsobit i nefunkčnost systému. V případě ultrazvukového senzoru je vhodné využít voděodolných měničů. Měniče, ať již voděodolné, nebo obyčejné jsou vyvedeny skrz krabičku v gumových průchodkách, které krabičku těsní. Na trhu je k dostání velké množství krabiček. Upřednostnil bych plastové před kovovými. Kovové, jsou sice odolnější vůči vnějším vlivům, vyžadují však Wi-Fi moduly s externí anténou.

4.1.3. Konstrukční krabičky

U tohoto senzoru je použita dvoudílná krabička s úchyty TEROZ T 511 A (48x75x124 mm).

Pro využití senzoru v náročnějších podmínkách je nutné zvolit krabičku s vyšší kvalitou ochrany proti vnějším vlivům. Kvalitu určuje údaj, tzv. stupeň krytí. Jedná se o čtyřmístný kód IPX, kde za hodnotu X se dosazuje dvojciferné číslo. První číslice udává ochranu před

nebezpečným dotykem a před vniknutím cizího předmětu. Druhá číslice značí stupeň krytí před vniknutím vody. Maximální ochranu poskytuje krabička se stupněm krytí IP68.

4.2. Elektronika

U senzoru jsou využity dva moduly. Pro měření vzdálenosti hladiny se jedná o ultrazvukový modul US-020 o rozměrech 45 x 20 x 1,6 mm, u kterého výrobce udává rozsah měření od 2 cm do 700 cm. Modul lze sice jednoduše nahradit kvalitnějším, ten však bude několikanásobně dražším. Modul pracuje s napětím 5 V.

Bezdrátový přenos dat se provádí pomocí Wi-Fi modulu Nano WiReach™. Jedná se o miniaturní modul o rozměrech 34 x 18 x 5,5 mm, který obsahuje exténní anténu. Napájecí napětí modulu je 3,3 V. Modul je zapůjčen z katedry telekomunikační techniky.

U zdroje napětí je kladen důraz především na maximální výdrž, rozměry a také cenu. Akumulátory jsou dobíjecí. Do výběru lze také zařadit modelářské akumulátory, které jsou kapacitně podobné jako monočlánkové akumulátory, ale cenově je několikanásobně převyšují. Z hlediska rozměrů jsou ideální knoflíkové akumulátory. Jejich nevýhodou je nízká kapacita a poměrně vysoká cena. Napájení je řešeno dvěma Lithium-iontovými akumulátory (Li-ION) UltraFire TR18650. Každý o jmenovitém napětí napětí 3,7 V, při kapacitě 3200 mAh. Tyto akumulátory jsou lehce vyjímatelné a mohou se tak dobít v příslušné nabíječce nebo vyměnit za jiné.

4.2.1. Řešení spotřeby energie

Spotřeba energie je řešena především použitím prvků s nízkou spotřebou. V tomto systému je použit mikrokontrolér STM32F050F6. Mikrokontroléry ARM se vyznačují nízkou spotřebou energie. Maximální úspory dosáhneme v pohotovostním "standby" režimu mikrokontroléru, případně v pracovním režimu mikrokontroléru programovým vypnutím nepotřebných vstupních a výstupních portů.

Dále je použit Wi-Fi modul s názvem Nano WiReach od firmy ConnectOne, který má v porovnání s konkurenčními produkty vyšší spotřebu, porovnání viz Tab. 1. Při použití vhodnější a především novější varianty na trhu, Wi-Fi modulu AMW004 od firmy ACK, se docílí k výraznému snížení celkové spotřeby energie.

4.3. Uživatelské rozhraní

Senzor obsahuje dvě indikační LED diody. Jedna slouží pro ověření připojeného napájení, druhá je určena signalizaci v průběhu programu. Dále jsou na DPS obsažena dvě obnovovací tlačítka, která slouží pro uvedení Wi-Fi modulu a mikrokontroléru do výchozího programového stavu.

Pro komunikaci s uživatelem standardní WEB rozhraní, viz kap. 7.4.

5. Hardware

Bezdrátový senzor stavu vodní hladiny je modul, který se skládá z jedné, již osazené destičky plošných spojů (dále jen DPS) a komponentů. Celý senzor je napájen ze dvou Li-ION baterií. Vše je umístěno v jedné krabičce.

5.1. Elektrický návrh zařízení

Hlavní část modulu tvoří DPS, na níž je umístěna hlavní řídicí jednotka – mikrokontrolér. Dále obsahuje Wi-Fi modul, sloužící k bezdrátovému přenosu dat do Wi-Fi sítě, konektory pro připojení komponent, LED diody, resetovací tlačítka a pasivní součástky jako jsou rezistory a kondenzátory.

Celý modul je napájen spínaným zdrojem, který je umístěn na samostatné DPS.

Kompletní seznam všech elektronických součástek je uveden v tabulce (Tab. 4). Úplné elektrické schéma DPS je zobrazeno na Obr. 17. Zatím se jedná pouze o prototyp a DPS se spínaným zdrojem napětí byla vytvořena z důvodu přehřívání se některých součástek z původního zapojení se stabilizátorem napětí na 3,3 V. U konečné podoby výrobku se tyto dvě DPS sloučí do jedné, což výrazně zmenší rozměry celého senzoru.

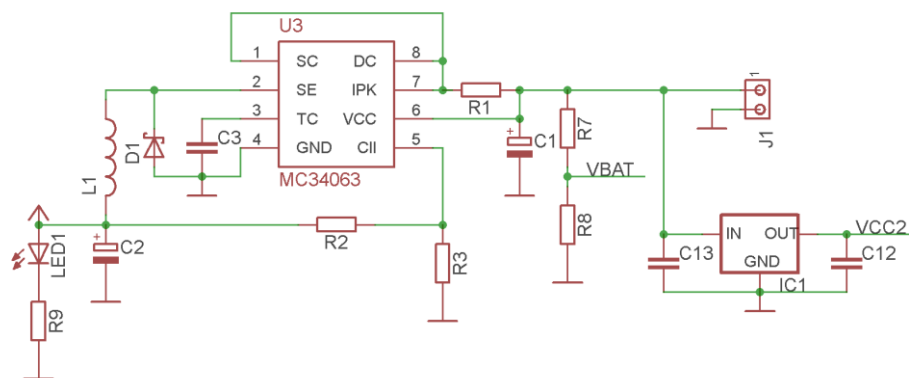
Pro tento modul je využita řídicí jednotka STM32F050F6P6 od firmy STMicroelectronics. Obsahuje jádro ARM Cortex M0 a spadá do řady F050. Na DPS je využit mikrokontrolér ve dvaceti - pinovém pouzdrě TSOOP-20. Další nepřehlédnutou součástí je Wi-fi modul, který je k DPS připojen přes 30 pinový konektor Molex 53748 - 0308.

5.1.1. Napájecí obvod

Celý senzor je napájen akumulátory typu 18650 o celkovém napětí 2 x 3,7 V. Akumulátory jsou připojeny k DPS přes konektor J1. Tímto napětím je napájen spínaný zdroj napětí, který převede velikost napětí na hodnotu 2,9 V (v obvodě VCC). Tato hodnota je přizpůsobena programátoru ST-LINK, který k programování a ladění mikrokontrolérů využívá napětí této hodnoty. Napětím VCC jsou napájeny všechny prvky na hlavní DPS. Výjimku v napájení tvoří ultrazvukový modul. Jelikož využívá pěti voltovou logiku, je napájen separátně z obvodu, který tvoří stabilizátor napětí pro 5 V.

LED dioda, připojená přímo na napětí VCC signalizuje, zda je napájení připojeno.

Pro monitorování stavu kapacity baterií je napětí baterií přivedeno přes napěťový dělič (1:3 vstupního napětí) na pin mikrokontroléru PA1. Toto přivedené napětí je přečteno 12 – bitovým AD převodníkem a hodnota je následně pomocí mikrokontroléru vyhodnocena. Při překročení minimální hodnoty je uživatel informován jednou z možností, kterou si vybral v konfiguračním nastavení.



Obr. 7 Elektronické schéma - napájecí část

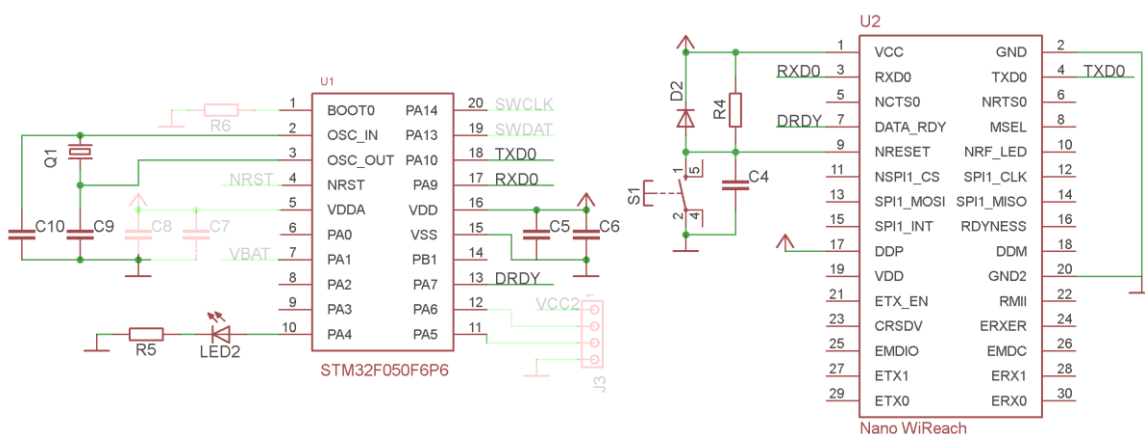
5.1.2. Komunikační obvod

Komunikace mezi řídicí jednotkou a WiFi modulem probíhá pomocí asynchronního komunikačního rozhraní UART. Vysílací port WiFi modulu je připojen k mikrokontroléru na pin PA10, kde jsou data přijímána. Příjemací pin přijímá data z portu PA9. Inicializace WiFi modulu probíhá pomocí AT příkazů, na které Wifi modul zasílá zprávy s odpovědí, nejčastěji řetězce I/OK nebo I/ONLINE.

Důležitou součástí Wifi modulu je také port DATA_RDY. Výchozí hodnota tohoto portu je logická 0. Při změně hodnot v konfiguračním okně, se tento port nastaví do logické 1 a v té zůstane do doby, než načte mikrokontrolér nové hodnoty nastavení. Poté se nastaví opět do logické 0.

Pro bezchybný přenos přes komunikační rozhraní UART je připojen externí krystal, který je nutné opatřit kondenzátory proti rušení.

LED dioda LED2 slouží pro indikaci v určitých částech přenosu, jako je např. rozsvícení při nastavení Wifi modulu do konfiguračního menu.



Obr. 8 Elektronické schéma - komunikační část

5.1.3. Programovací obvod – SWD

K nahrání programu do mikrokontroléru se využívá sériového ladícího rozhraní SWD. Tato metoda se využívá především u mikrokontrolérů, které jsou vyráběny s nízkým počtem pinů. Jedná se o programování, kdy jsou k mikrokontroléru připojeny pouze dva

5.2. Prvky senzoru

5.2.1. Wifi modul Nano WiReach™

- Jádru s 32-bitová architekturou RISC, pracující na frekvenci 48 MHz
- Pracovní napětí 3,3V
- Maximální vlhkost prostředí 90%
- Pracovní klimatické podmínky: teplota -20°C až 75°C, vlhkost až 90% (nekondenzační)
- Spotřeba energie pro vysílání až 250mA pro 16dBm, typická hodnota 235mA pro 12dBm
- Spotřeba energie pro příjem 190mA
- Spotřeba energie při úsporném módu 8mA
- Rozhraní pro připojení: TTL Seriál, SPI, USB
- Parametry připojení
- Podporovaný standard IEEE 802.11 b/g
- Evropa – 13 kanálů, 2,412-2,472GHz
- USA – 11 kanálů, 2,412-2,462GHz

Režimy komunikace Wifi modulu

- Lan to WiFi Bridge – se využívá přemostění sítě LAN přes WiFi, kde se využívá přímého propojení fyzických vrstev nebo přímého RMIÍ připojení na známou MAC adresu.
- PPP modem emulation – tento mód využívá Point to Point Protocol, který slouží pro přímé propojení dvou uzlů, v našem případě dvou modulů. Díky tomuto módu mohou spolu komunikovat dvě zařízení od různých výrobců.
- Full Internet Controller mode – umožňuje mikroprocesoru přes WiFi modul jednoduše provádět komplexní internetové operace jako je odeslání emailu, pomocí protokolu FTP přenášet data, či zabezpečený přenos přes protokol SSL, atd.
- SerialNet™ Serial to WiFi Bridge – tento mód budeme využívat v našem případě, jedná se o mód, který umožňuje přenos sériové linky přes WiFi. Využívá se k tomu 3 Mb/s rychlá UART.



Obr. 11 Wi-Fi modul Nano WiReach™ [1]

5.2.2. Mikrokontrolér STM32F050F6

Mikrokontrolér STM32F050F6P6 od firmy STMicroelectronics pracuje na 32-bitové architektuře. Jádru procesoru je z řady Cortex M0 o frekvenci až 48MHz se 4 KB paměti SRAM. Do vnitřní Flash paměti je možné uložit program a data o velikosti až 32 Kb. Napájení mikrokontroléru je uzpůsobeno pro velikost stejnosměrného napětí od 2 V do 3,6 V. Využitím úsporných módů lze dosáhnout vyšší úspory energie, což je výhodné zejména

při aplikacích, kde je mikrokontrolér napájen pouze z baterií. Při výpadku hlavního zdroje napájení, je možné připojit záložní zdroj napájení pro uchování RTC a záložních registrů.

STM32F0F6P6 se vyrábí ve 20 pinovém pouzdře TSSOP20

Nezbytnou funkcí mikrokontrolérů jsou ADC a DAC převodníky. Tyto převodníky jsou zpravidla nastaveny jako doplňková funkce pinu a musí se softwarově nastavit jako primární. Jsou to zařízení převádějící fyzikální veličinu na digitální. Převáděná veličina musí být analogový spojitý signál. V případě mikrokontroléru STM32F050F6P6, je možné využít až 16 kanálů pro převod a je možné si vybrat ze dvou režimů, a to 8-bitový, nebo 12-bitový. Pro přesnější měření se volí 12-bitový, avšak pokud se nebude klást velký důraz na přesnost a budeme změřenou veličinu dále posílat přes USART, který je také 8-bitový, je vhodnější využít osmibitový režim. Pro správný převod můžeme převádět veličinu s napětíovým rozsahem 0 V až 3,6 V. Podle velikosti analogového napětí na pinu, se určuje jeho digitální hodnota pomocí vzorce (2).

$$2^N * \frac{V_{in} - V_{ref-}}{V_{ref+} - V_{ref-}} \quad (2)$$

kde N ... hodnota N-bitového režimu

V_{in} ... vstupní napětí na pinu převodníku

V_{ref} ... referenční napětí převodníku, udávající rozsah měření

Ke komunikaci je možné následující komunikační rozhraní SPI a I²C nebo USART.

USART je univerzální synchronní asynchronní přijímač vysílač, sloužící pro sériovou komunikaci. Již z názvu je zřejmé, že obsahuje dva režimy, synchronní a asynchronní.

Synchronní režim je označován jako polo-duplexní. Tento přenos probíhá obdobně jako u vysílaček. Vysílat může pouze jedna strana, a druhá v ten moment pouze přijímá. U synchronního přenosu je nutné nastavit, zda daný mikrokontrolér bude ve stavu Master nebo Slave. To ovšem odpadá u asynchronního přenosu, který je označován za plně duplexní. To znamená, že v daný okamžik mohou vysílat a přijímat obě strany zároveň.

Na některé piny připadá více funkcí. Tyto funkce lze zvolit správným softwarovým nastavením příslušných registrů.

5.2.3. Ultrazvukový modul US 020

- Napájecí napětí 5 V
- Detekční vzdálenost 2 - 700 cm
- Rozměry 45 x 20 x 15 mm
- Pracovní proud v klidu 2 mA
- Pracovní klimatické podmínky: teplota 0 - 70 °C
- Vyzařovací úhel <math>< 15^\circ</math>
- Přesnost detekce 0,3 cm + 1 %



Obr. 12 Ultrazvukový modul US-020 [3]

5.2.4. Akumulátor Li-ION UltraFire 18650

- Typ 18650
- Li-ion akumulátor
- Kapacita 3200 mAh
- Napětí 3,7 V
- Rozměry 65x18 mm
- Životnost 500 cyklů



Obr. 13 Akumulátor Li-ION UltraFire [2]

6. Komunikace senzoru s uživatelem

K výběru způsobu komunikace senzoru s uživatelem je nejprve nutné se připojit k přístupovému bodu senzoru a otevřít v internetovém prohlížeči IP adresu modulu 172.20.50.1. Na této webové stránce se zobrazí konfigurační okno (Obr. 15) se způsobem komunikace. Zde si uživatel zvolí jakým způsobem chce zasílat naměřená data. Tento výběr je ovlivněn polohou celého senzoru. Pokud se senzor nachází v dosahu požadované sítě bude pracovat v režimu s internetovým připojením (online). Při poloze senzoru mimo dosah sítě bude pracovat bez internetového připojení (offline).

6.1. Bez internetového připojení

U první možnosti komunikace není vyžádáno žádné internetové připojení, ani není potřebný směrovač. Wi-Fi modul se v tomto případě chová jako server a vytvoří přístupový bod, ke kterému se uživatel pomocí notebooku, telefonu, nebo tabletu připojí. Pro informaci o stavu hladiny se uživatel připojí pomocí internetového prohlížeče na adresu modulu 172.20.50.1/actual.htm, kde se před ním objeví okno s informacemi o síle signálu, stavu hladiny a stavu kapacity zdroje. Mezi výhody bych radil především nezávislost modulu na internetovém připojení. To nám dává neomezené možnosti umístění senzoru. Pro získání dat je možné se jednoduše připojit pomocí mobilních technologií, avšak je nutné být v dosahu tohoto senzoru.

6.2. S internetovým připojením

Druhá možnost je velmi blízká předchozí možnosti. Liší se pouze v tom, že modul se tentokrát chová jako klient a je tedy připojen k síti. V tomto případě se uživatel připojuje k IP adrese modulu, která je modulu přidělen v rámci sítě. Tuto IP adresu obdrží uživatel po dokončení konfigurace pomocí emailové zprávy, příp. SMS zprávy. Velkou výhodou tohoto typu komunikace je, že uživatel může hodnotu hladiny zkontrolovat kdykoliv, aniž by se musel manuálně připojovat k modulu. Pro zobrazení varovné informace v době, kdy se uživatel nenachází v dosahu sítě, je možné využít následujících dvou možností varovného systému.

- Emailová zpráva

Pro výběr "Varování: emailová zpráva" je uživateli, v případě dosažení maximální výšky hladiny nebo minimální kapacity baterie, zaslána emailová zpráva na adresu, kterou předem definoval v konfiguračním menu.

- SMS zpráva

Pro výběr "Varování: SMS zpráva", je uživateli, v případě dosažení maximální výšky hladiny nebo minimální kapacity baterie, zaslána SMS zpráva na jeho mobilní telefon. Tento typ varovné zprávy vyžaduje, aby si uživatel nejprve nastavil u svého mobilního operátora službu umožňující zaslání emailové zprávy formou SMS. Také je možné tuto službu využít přes internetového poskytovatele SMS brány, příkladem takového poskytovatele je sms.sluzba.cz. Tvar emailové adresy, na kterou se zpráva posílá, je u každého poskytovatele odlišný, více Tab. 3.

Poskytovatel	Tvar emailové adresy pro SMS zprávu
T-mobile	yyyxxxxxx@sms.t-mobile.cz
O ₂	+420yyyyxxxxxx@sms.cz.o2.com
Vodafone	uzivatelskejmeno@vodafonemail.cz
Sms.sluzba.cz	+420yyyyxxxxxx@msgate.sluzba.cz

Tab. 3 Příklady emailových adres pro SMS zprávu

Kde, yyyxxxxxx v tabulce představuje telefonní číslo uživatele.

7. Software

Celý senzor je ovládán pomocí uživatelského rozhraní. Webové rozhraní je vytvořeno v programovacím jazyce HTML s prvky JavaSkriptu a kaskádových stylů. Do tohoto uživatelského rozhraní se připojí pomocí IP adresy WiFi modulu. Modul v tomto případě pracuje jako webový server, do kterého je nahrána webová aplikace. WiFi modul komunikuje s mikrokontrolérem, který vyhodnocuje a aktualizuje hodnoty z webové aplikace. Tato komunikace probíhá pomocí programovacího jazyka AT. Program pro mikrokontrolér je vytvořen ve vývojovém prostředí Atollic TrueSTUDIO v jazyce C.

7.1. Popis programu

Po připojení zdroje energie proběhne nastavení mikrokontroléru (čítač/časovač, ADC převodník, vstupy a výstupy, USART). Pro správný běh programu je nejprve nutné vypnout echo Wifi modulu a zapnout povolení pro přerušení od komunikačního rozhraní USART.

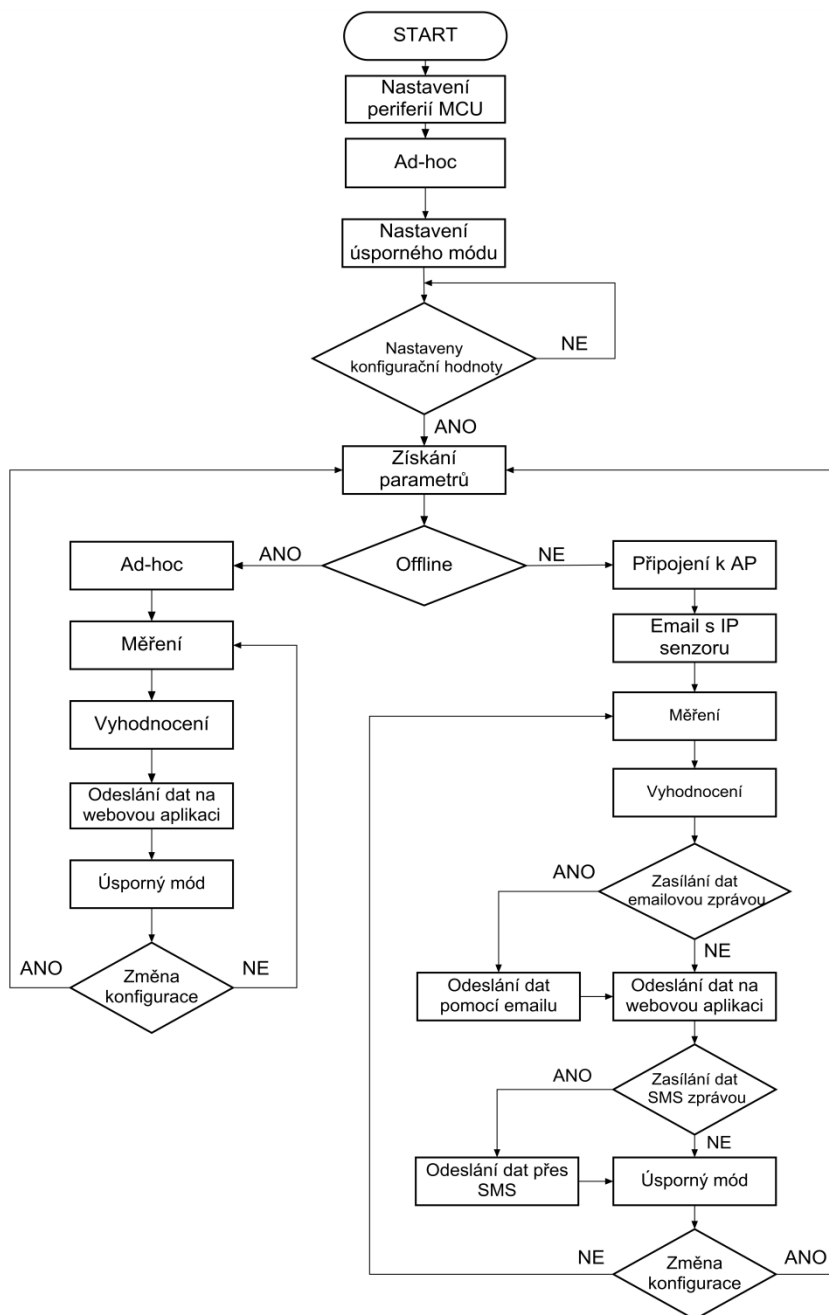
Nejprve se pomocí příkazů uvede Wifi modul do nastavení Ad-hoc sítě. Tímto nastavením Wifi modul vytvoří přístupový bod, ke kterému se uživatel připojí. Pro přístup uživatele k webové aplikaci je nutné nejprve aktivovat vestavěný webový server a vypnout ověřovací heslo. Nyní je uživateli umožněno připojit se k adrese 172.20.50.1 využitím libovolného webového prohlížeče. V tuto chvíli se rozsvítí indikační LED dioda, zapne se režim šetření energie, viz kap. 7.3. Program poté čeká na zadání dat uživatelem v konfiguračním okně. Potvrzením tohoto nastavení se nastaví port DATA_RDY Wifi modulu do logické 1 a mikrokontrolér tato data přijme. Následně data vyhodnotí a dále pokračuje podle nastavení uživatele.

Uživatel si vybírá mezi režimem offline, tedy v Ad-hoc síti a online. Oba tyto režimy mají společnou část, ve které se liší pouze v případě odesílání upozorňovací emailové zprávy a SMS zprávy. Pro tuto volbu je nutné být v režimu online. V této části programu je nejprve změřena výška vodní hladiny a kapacita baterie. Hodnoty jsou odeslány na webové stránky. Dále jsou hodnoty porovnávány, zda nedošlo k překročení stanovených limitů. V případě, že dojde k překročení některého z limitů je odeslána také varovná zpráva o této situaci. V režimu online se jedná také o již zmíněnou funkci odeslání varování pomocí emailové zprávy. Poté je opět nastaven úsporný režim, který trvá po celou dobu čekání na další periodu měření. Před další periodou měření se znovu ověřuje, zda nedošlo ke změně konfiguračního nastavení.

V režimu online je nutné se nejprve připojit k přístupovému bodu sítě. Název, heslo a typ zabezpečení této sítě je definován uživatelem. Po připojení k síti je nutné zjistit IP adresu Wifi modulu, která je přidělena směrovačem. Tato adresa je následně uživateli odeslána na jeho emailovou adresu. Pomocí této IP adresy je možné se připojit na webovou aplikaci, na kterou jsou odesílána průběžně data. Adresa této stránky je ve tvaru IP/actual.

Stručný popis programu je zobrazen na vývojovém diagramu (Obr. 14).

- Vývojový diagram



Obr. 14 Vývojový diagram programu

Odesílání a příjem řetězců

Pro odesílání příkazů do Wifi modulu pomocí USART je vytvořena metoda SendCommand, která přijímá ukazatel na řetězec znaků k odeslání. Tato metoda nejprve zapne pro komunikaci USART a poté odešle řetězec znaků pomocí metody USART_putstring. Aby řetězec Wifi modul přijal, musí být zakončen kontrolním znakem "\r". Po odeslání znaků se přejde do metody IOKMessage, kde nejprve probíhá čekání na odpověď, která přijde díky přerušení od USART. Následně dojde k vyhodnocení této odpovědi.

```
void SendCommand(char *cmd) {
    delay_ms(200);
    USART_Cmd(USART1, ENABLE);
    USART_putstring(cmd);
    IOKMessage();
}
```

Alg. 1 Metoda pro odeslání příkazu

Příjem zprávy probíhá pomocí přerušení USART. Postupně jsou zapisovány přijaté znaky do proměnné atAnswer. Pokud jsou přijaty kontrolní znaky "\n" a "\r", celé přerušení končí a vypne se USART.

```
if (USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_RXNE) != RESET) {
    data = USART_ReceiveData(USART1);

    if (data == '\n') {
        atAnswer[i] = 0;
        messageReceived = 1;
        i = 0;
        USART_Cmd(USART1, DISABLE);
    } else if (data != '\r') {
        atAnswer[i++] = data;
        atAnswerTEST[pom++] = data;
    }
}
```

Alg. 2 Metoda pro příjem odpovědi

7.2. Programovací jazyk AT

Programovací jazyk AT probíhá pomocí tzv. AT příkazů. Základ příkazu tvoří předpona AT+i. Tento příkaz sám o sobě znamená pouze otázku, zda je Wifi modul připojen k řídicí jednotce a zda je připraven k přijímání dalších příkazů, a proto se k tomuto příkazu dopisují parametry, které nám rozšíří programovací možnosti. Pro funkci modulu jsou parametry pevně dány, avšak pro webovou aplikaci je také možné je vytvářet. Vlastní příkaz se skládá z předpony AT+i, kterou následuje parametr vymyšlený uživatelem.

Obecná forma AT příkazu vypadá následovně: AT+i<cc><parametr><CR>,

Kde <cc> představuje dvou až čtyř písmenovou kódovou zkratku parametru nebo název parametru

 obsahuje oddělovací znaménka, např.: '=', '~', '?'

<parametr> obsahuje hodnotu parametru

<CR> je ukončovací znak

Předem definované příkazy jsou vytvořeny výrobcem a jsou obsaženy v programátorském manuálu [8]. Krom těchto příkazů je možné si vytvořit své vlastní. Tyto příkazy mohou vypadat následovně. Např. příkaz pro odeslání výšky hladiny 3 m: "AT+ihladina=3\r", kde "\r" je ukončovací znak. Tento znak je nesmírně důležitý pro správnou komunikaci, bez něj se data neodešlou.

Po odeslání příkazu ve výše uvedeném tvaru, vrací Wifi modul zprávu o jeho přijetí. Nejčastěji se v této zprávě objevují řetězce "I/OK" nebo "I/ONLINE". Existují ale některé příkazy, jejichž odpovědí je řetězec s informací, např. odpovědí příkazu k nastavení webového serveru je informace s IP adresou Wifi modulu ve tvaru "I/(175.20.50.1)". Odpověď nemusí být vždy kladnou záležitostí. Při běhu programu může také nastat stav, kdy při komunikaci nastane chyba. Chybová odpověď poté přijde ve tvaru "I/ERROR(nnn)", kde nnn značí číslo chyby. Vyskytující se chyby jsou různého původu. Většinu z nich lze ošetřit pomocí vhodného programu. Seznam chyb a jejich příčin je uveden v programovacím manuálu [8].

7.3. Úspora energie

Úspora energie a prodloužení tak celé doby, kdy může senzor bez dobítí fungovat, je založena na dvou věcech. Důležitý je samozřejmě výběr použitých aktivních součástek, které musí spadat do skupiny tzv. "low power", tedy součástky s minimálním odběrem proudu. Nezanedbatelné úspory energie se také dosáhne vhodným programem. Většina těchto nízko energetických součástek má možnost programového nastavení napájení, v podobě "sleep" a "standby" módů.

- Wifi modul

O úsporu energie u Wi-Fi modulu se starají dva režimy (CO2128/CO2144 a Marvell 8686) [9], které pracují současně. První se aktivuje příkazem AT+iPSE=n, kde n je celé číslo od 1 do 255, a představuje časovou prodlevu v sekundách, po které následuje přechod do úsporného "save" módu, ve kterém jsou vypnuty všechny periférie. Návrat do normálního módu nastane při aktivitě od mikrokontroléru.

Režim Marvell 8686 se aktivuje příkazem $AT+iWLPS=n$, kde n je celé číslo od 1 do 5 a určuje periodu, po kterou je Wifi v úsporném režimu vypnuto.

Dalším příkazem, který šetří energii je $AT+iWPSI=n$, kde n je celé číslo od 1 do 3600 a určuje časovou periodu v sekundách, kdy Wifi prohledává přístupové body v okolí.

- Mikrokontrolér

Jelikož je použit mikrokontrolér s minimálním počtem pinů a periférií, nedosahuje se v tomto případě takové úspory energie jako u Wifi modulu, který spotřebovává velkou energii při vysílání. Nejvyšší úspory energie se dosahuje v režimu "standby". Z tohoto režimu je mikrokontrolér probuzen pomocí RTC.

Viz

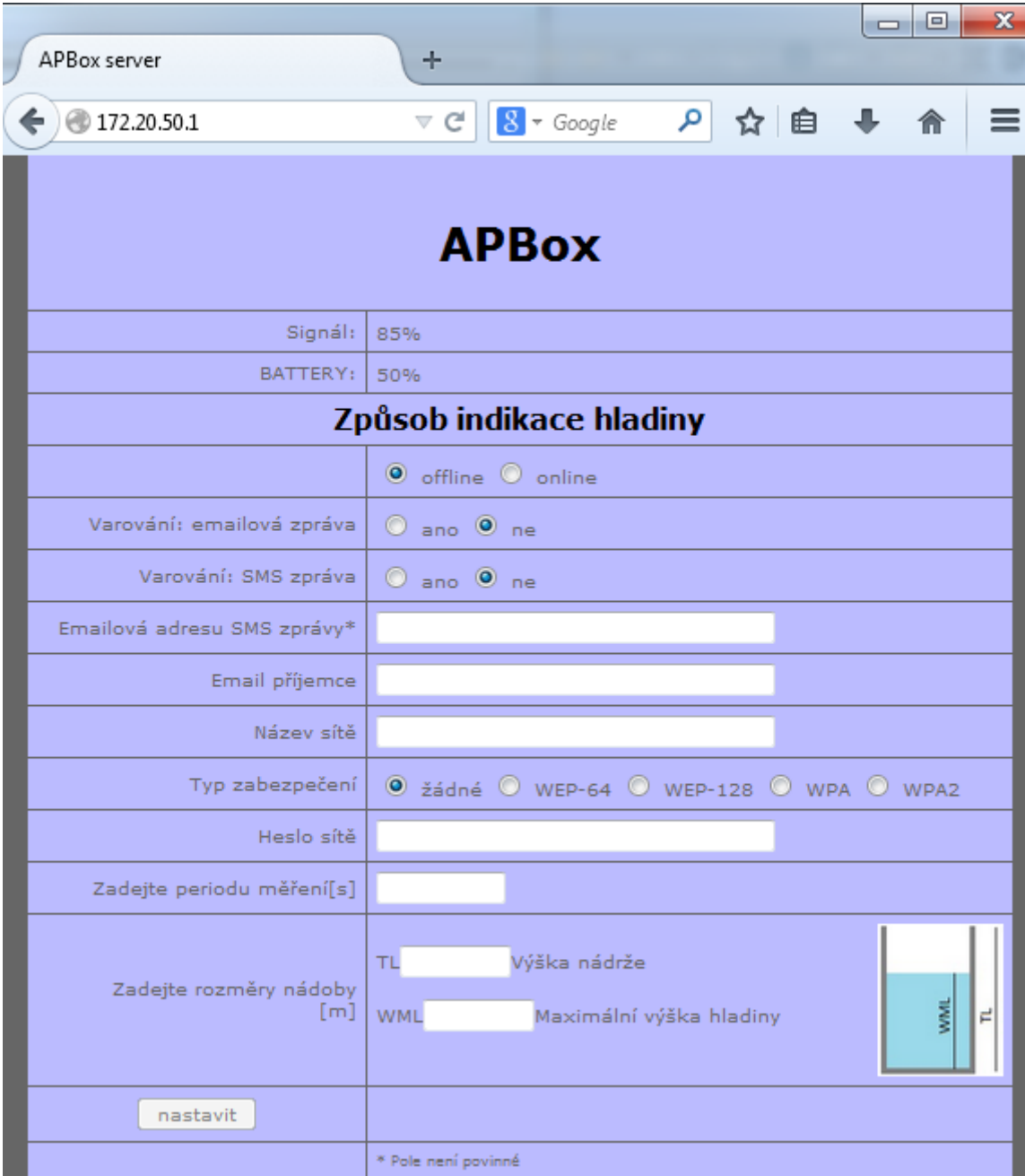
kapitola

9.

7.4. Grafické uživatelské rozhraní

Grafické uživatelské rozhraní se skládá ze dvou jednoduchých webových stránek (konfigurační stránka a stránka s aktuálními hodnotami). K těmto stránkám přistupuje uživatel pomocí IP adresy senzoru podle toho, ve které síti se právě senzor nachází. Webové stránky jsou vytvořeny [13] pomocí programovacího jazyku HTML, ve kterém jsou obsaženy prvky kaskádových stylů a JavaScriptu.

Konfigurační stránka je jednoduchý formulář, který obsahuje informační údaje o kvalitě signálu a aktuální stav baterií, přepínací tlačítka, textová pole a potvrzovací tlačítko.



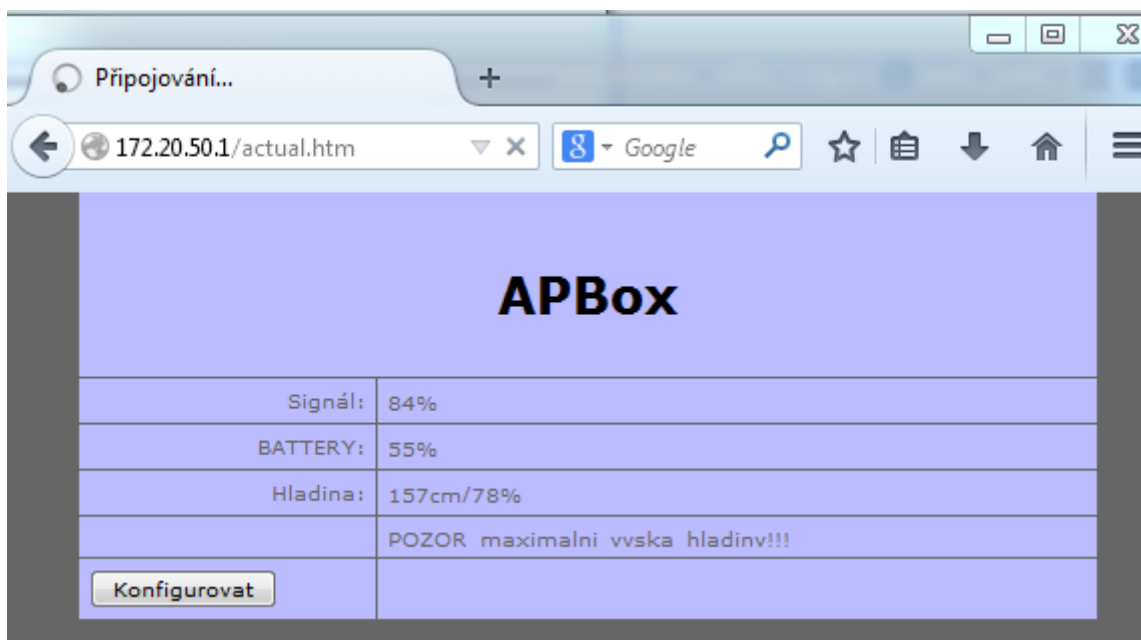
The screenshot shows a web browser window with the title 'APBox server' and the address bar containing '172.20.50.1'. The main content area has a light blue background and is titled 'APBox'. It displays the following information and settings:

Signál:	85%
BATTERY:	50%
Způsob indikace hladiny	
	<input checked="" type="radio"/> offline <input type="radio"/> online
Varování: emailová zpráva	<input type="radio"/> ano <input checked="" type="radio"/> ne
Varování: SMS zpráva	<input type="radio"/> ano <input checked="" type="radio"/> ne
Emailová adresa SMS zprávy*	<input type="text"/>
Email příjemce	<input type="text"/>
Název sítě	<input type="text"/>
Typ zabezpečení	<input checked="" type="radio"/> žádné <input type="radio"/> WEP-64 <input type="radio"/> WEP-128 <input type="radio"/> WPA <input type="radio"/> WPA2
Heslo sítě	<input type="text"/>
Zadejte periodu měření[s]	<input type="text"/>
Zadejte rozměry nádoby [m]	TL <input type="text"/> Výška nádrže WML <input type="text"/> Maximální výška hladiny
<input type="button" value="nastavit"/>	
* Pole není povinné	

The interface also includes a small diagram of a tank with labels 'WML' and 'TL' and a 'nastavit' button.

Obr. 15 Grafické uživatelské rozhraní - konfigurační okno

Na stránce s aktuálními hodnotami jsou pouze obsaženy údaje o síle signálu, aktuálním stavu vodní hladiny a kapacity baterie. Dále se zde objeví upozorňovací hlášky v případě dosažení maximální výšky hladiny nebo vybití zdroje energie. Stránka obsahuje také tlačítko pro návrat do konfiguračního menu.



Obr. 16 Grafické uživatelské rozhraní - okno s aktuálními hodnotami

Tyto stránky jsou pro kompatibilitu s Wi-Fi modulem zabaleny do jednoho souboru pomocí software iChipConfig dodávaného od výrobce modulu.

8. Možnosti využití v praxi

Využití tohoto senzoru není pouze pro měření vodní hladiny v nádržích, ale také je možné najít uplatnění v následujících případech.

8.1. Využití v domácnostech

Jednoduché využití senzoru vodní hladiny se nabízí pro domy, kde vedení signálu pomocí kabelu znamená zásah do zdiva, zateplení, izolace, fasády, elektroinstalace, případně jiných rozvodů. V tomto případě by zásah převýšil několikanásobně cenu pořízení bezkontaktního senzoru hladiny, nehledě na časové hledisko opravy. Uplatnění této technologie uvítají obyvatelé, kteří bydlí v lokalitách s problémy spodní vody, v lokalitách, kde se dešťová voda z okolí dostává přes zahrady k blízkosti domu nebo v oblastech, kde se často vyskytují povodně.

8.2. Využití v záplavových oblastech

Díky globálnímu oteplování a změně klimatických podmínek jsme v posledních letech zaznamenali zvýšený výskyt povodní. V záplavových oblastech leží desítky až stovky obcí v České republice. Některé ohrožuje velká voda pravidelně každý rok. Senzorem hladiny sice nelze povodním zabránit, ale při upozornění včas na zvyšující se hladinu, lze předejít horším následkům.

Celý systém je založen na hlavním směrovači, který je v kompetenci starosty, primátora nebo vedení obce. Senzory jsou rozmístěny po celé obci, především v nejrizikovějších částech a v domech se sklepením. Informace o stavu hladiny řeky, či případně již zatopených oblastí, dostává starosta formou krátké email zprávy na mobilní telefon. Dále také dostává informace o zatopených sklepech, které následně předává hasičům, či příslušným orgánům.

Jedná se tedy o systém, kde starosta, jako hlavní představitel obce, má dokonalý přehled o hladinách jednotlivých oblastí, případně o počtu zatopených sklepů a v jakém rozsahu se tyto záplavy pohybují. Jako velký přínos by mohl systém přinést při přívalových povodních, kdy se po krátkém a vytrvalém dešti nestihne voda vsáknout do země. Těmto záplavám se také říká bleskové a velkou roli zde hrají minuty.

8.2.1. Funkce varovného systému při povodních

Z důvodu ušetření energie se hladina neměří po celou dobu, ale pouze v periodických intervalech, tato doba je v řádech minut a může se lišit podle konkrétní aplikace senzoru. Ultrazvukové čidlo změří hladinu, zapíše hodnotu do paměti mikrokontroléru a následně oba přejdou do režimu šetření energie. Po uplynutí periodického časového intervalu se provede měření znovu. Od této doby se změřená hodnota porovnává s předchozí. Pokud senzor zaznamená zvýšení hladiny oproti předešlému měření, provede se tzv. kontrolní měření. Tento krok spočívá v opakovaném změření hladiny. Kontrola je důležitá, protože se na hladině mohou objevit chvilkové změny trvající několik sekund. Při potvrzení zvyšující se hladiny odešle modul informaci, která se následně podle situace vyhodnotí. WiFi modul je po celou dobu, kdy nevysílá, v úsporném módu.

Pro měření hladiny vodního toku jsou senzory rozmístěny podél toku. Měření probíhá stejným způsobem. Kontrolní měření se ale v tomto případě neprovádí. Jako kontrolní

hodnota slouží výška hladiny změřená následujícím čidlem po směru toku a porovnává se s předchozí.

Pokud senzor nezaznamená za celý den žádnou výraznější změnu, ukládá si hodnoty měření do své paměti a následně po uplynutí jednoho dne odešle hodnoty měření najednou do hlavní jednotky. V případě, že se nejedná o dlouhodobý sběr dat, ale systém slouží pouze jako varovný, data se po uplynutí dne vymažou bez odeslání.

V případě, že se jedná o rapidní zvýšení hladiny a kontrolní měření tuto hodnotu potvrdí, nebo se hladina zvýší vícekrát po sobě, kontaktuje se okamžitě příslušný orgán.

8.3. Využití v průmyslu

V průmyslu se ultrazvukové čidlo využívá tam, kde není možné měřit čidly optickými, tzn. v prašném prostředí. Nádrže s nejrůznější kapalinou se objevují ve všech průmyslových odvětvích.

8.4. Využití v celní správě

Po našich silnicích se pohybuje velké množství nákladních automobilů, značnou část tvoří cisterny převážející kapaliny. Při celních kontrolách, kde je potřeba zjistit o jakou kapalinu se skutečně jedná a jaké množství je v cisterně skutečně obsaženo, se musí častokrát zaměstnanci celního úřadu složitě dostávat na vršek cisterny a odtud zkontrolovat obsah. Nabízí se řešení, kdy je do vrchní části umístěn senzor hladiny, opatřen WiFi modulem. Celní úředník se pomocí jednoduché aplikace připojí s mobilním zařízením k modulu a dostává zprávu o stavu hladiny. Při menší modifikaci senzoru, by bylo možné na displeji zobrazit i kompletní informace o kapalině.

9. Závěr

Cílem této práce bylo vyvinout prototyp bezdrátového senzoru výšky hladiny schopný odesílat naměřená data přes Wi-Fi síť.

Před návrhem tohoto inteligentního senzoru bylo nutné důkladně se seznámit s technologií Wi-Fi, ARM Cortex a problematikou měření hladiny. Dalším krokem bylo nastudování sady AT+i příkazů pro ovládání Wi-Fi modulu. Tyto poznatky byly poté využity při návrhu zařízení.

Navrhnutý a zkonstruovaný prototyp je pak jednoduše nastavitelný pomocí webové stránky, na které jsou také zobrazovány údaje o výšce vodní hladiny nebo kapacitě zdroje energie. Úspěšně byla také zrealizována řada funkcí, včetně zasílání informační SMS nebo emailové zprávy v případě překročení limitů výšky hladiny nebo kapacity zdroje.

Výsledný prototyp se mi podařilo dokončit i přes celou řadu problémů problémy. Největší problém byl s napájením senzoru. Původní stabilizátor musel být z důvodu přehřívání nahrazen spínaným zdrojem. Pro využití programátoru ST-LINK jsem musel napětí snížit na hodnotu 2,9 V.

Další vývoj bych směřoval k programovému mapování prázdné nádrže, což by vedlo k přesnějším měření. Rezervy jsou v oblasti využitých součástek. Wi-Fi modul Nano WiReach™ bych nahradil mnohem úspornějším AMW004 a mikrokontrolér řady STM32Fx bych nahradil úspornější řadou STM32Lx. Toto nahrazení by mělo za výsledek mnohem delší výdrž akumulátorů. Také se zde nabízí vytvoření senzorové sítě, a to buď ze senzorů stejného typu, nebo kombinací čidel z různých odvětví.

Mezi hlavní přednosti senzoru patří možnost připojení k již existujícím Wi-Fi sítím, ať už se jedná o veřejnou městskou síť, kterou jsou některá města pokryta nebo síť v domácnostech. Předně lze tento senzor využít pro měření výšky hladiny, avšak uplatnění může najít v dalších aplikacích, které vychází z principu měření vzdáleností.

10. Seznam použité literatury

- [1] KAMP, Wim van de. *The theory and practice of level measurement*. Naarden: Endress+Hauser, 2008.
- [2] YIU, Joseph. *The definitive guide to the ARM CORTEX-M0*. Oxford: Elsevier ; © 2011, xix, 529 s. Technology/electronic/microcontrollers. ISBN 978-0-12-385477-3.
- [3] What is Bluetooth Technology. [online]. © 2014 Bluetooth SIG, Inc. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.bluetooth.com/Pages/what-is-bluetooth-technology.aspx>
- [4] ACKme, Inc., *AMW004 Module Product Brief*. [PDF]. © 2014 ACKme, Inc. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.ack.me/products/AMW004_Wallaby#resources
- [5] Bluegiga Technologies, *WF111 Data Sheet*. [PDF]. © 2013 Bluegiga Technologies [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <https://www.bluegiga.com/en-US/products/wifi-modules/wf111-wifi-module/documentation/>
- [6] Microchip Technology Inc., *RN131 Data Sheet*. [PDF]. © 2014 Microchip Technology Inc. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=RN131>
- [7] ConnectOne Ltd., *Nano Wireach™ Data Sheet 1.31*. [PDF]. © 2009 ConnectOne Ltd. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.spezial.cz/connectone/bezdratove-seriove-rs232-wifi-moduly-iwifi-mini-secure-socket-iwifi-connectone.html>
- [8] ConnectOne Ltd., *AT+i™ Programmer's Manual 8.41*. [PDF]. © 2013 ConnectOne Ltd. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.spezial.cz/connectone/bezdratove-seriove-rs232-wifi-moduly-iwifi-mini-secure-socket-iwifi-connectone.html>
- [9] ConnectOne Ltd., *iChip WiFi Configuration 2.0*. [PDF]. © 2011 ConnectOne Ltd. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.spezial.cz/connectone/bezdratove-seriove-rs232-wifi-moduly-iwifi-mini-secure-socket-iwifi-connectone.html>
- [10] ConnectOne Ltd., *Demo Card 14*. [PDF]. © 2009 ConnectOne Ltd. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.spezial.cz/connectone/bezdratove-seriove-rs232-wifi-moduly-iwifi-mini-secure-socket-iwifi-connectone.html>
- [11] STMicroelectronics. *STM32F050x6 Data Sheet* [PDF]. © 2012 STMicroelectronics [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1574/LN1447/PF254169?referrer=70032480#>
- [12] STMicroelectronics. *STM32F050x6 Programming manual* [PDF]. © 2012 STMicroelectronics [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1574/LN1447/PF254169?referrer=70032480#>
- [13] Díl 1.: Vytvoření web serveru ve WiFi modulech Mini/Secure Socket a WiFi/LAN modulech řady Nano. *Spezial Electronic* [online]. Spezial Electronic [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.spezial.cz/apps/vytvoreni-web-serveru-ve-wi-fi-modulu-mini-socket-iwifi.html>
- [14] SMITH, Phil. Comparing Low-Power Wireless Technologies. In: *Digi-Key Corporation* [online]. Digi-Key Corporation [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.digikey.com/en-US/articles/techzone/2011/aug/comparing-low-power-wireless-technologies>

- [15] Texas Instruments Incorporated, *Wireless Connectivity Guide*. [PDF]. © 2014 Texas Instruments Incorporated [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/sg/slab056c/slab056c.pdf>
- [16] Wi-Fi. In: *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. Wikimedia Foundation, 2003. Stránka naposledy edit. 16. 5. 2014 v 11:43. [cit. 2014-05-18]. Anglická verze. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
- [17] Ultrazvuk. In: *POPULAR, Populárně naučný portál* [online]. ČVUT. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://popular.fbmi.cvut.cz/biomedicina/Stranky/Ultrazvuk-2---Trocha-historie-a-fyziky.aspx>
- [18] ARM architecture. In: *Wikipedie: otevřená encyklopedie* [online]. Wikimedia Foundation, 2003. Stránka naposledy edit. 12. 5. 2014 v 14:17. [cit. 2014-05-18]. Anglická verze. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/ARM_architecture
- [19] *Piezoelectric Ultrasonic Sensors* [online]. Premier Farnell UK Limited [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: http://cz.farnell.com/ultrasonic_piezoelectric
- [20] Encyklopedie fyziky *Rychlost zvuku* [online]. 2008 Jaroslav Reichl, Martin Všetička. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/189-rychlost-zvuku#>

Obrázky

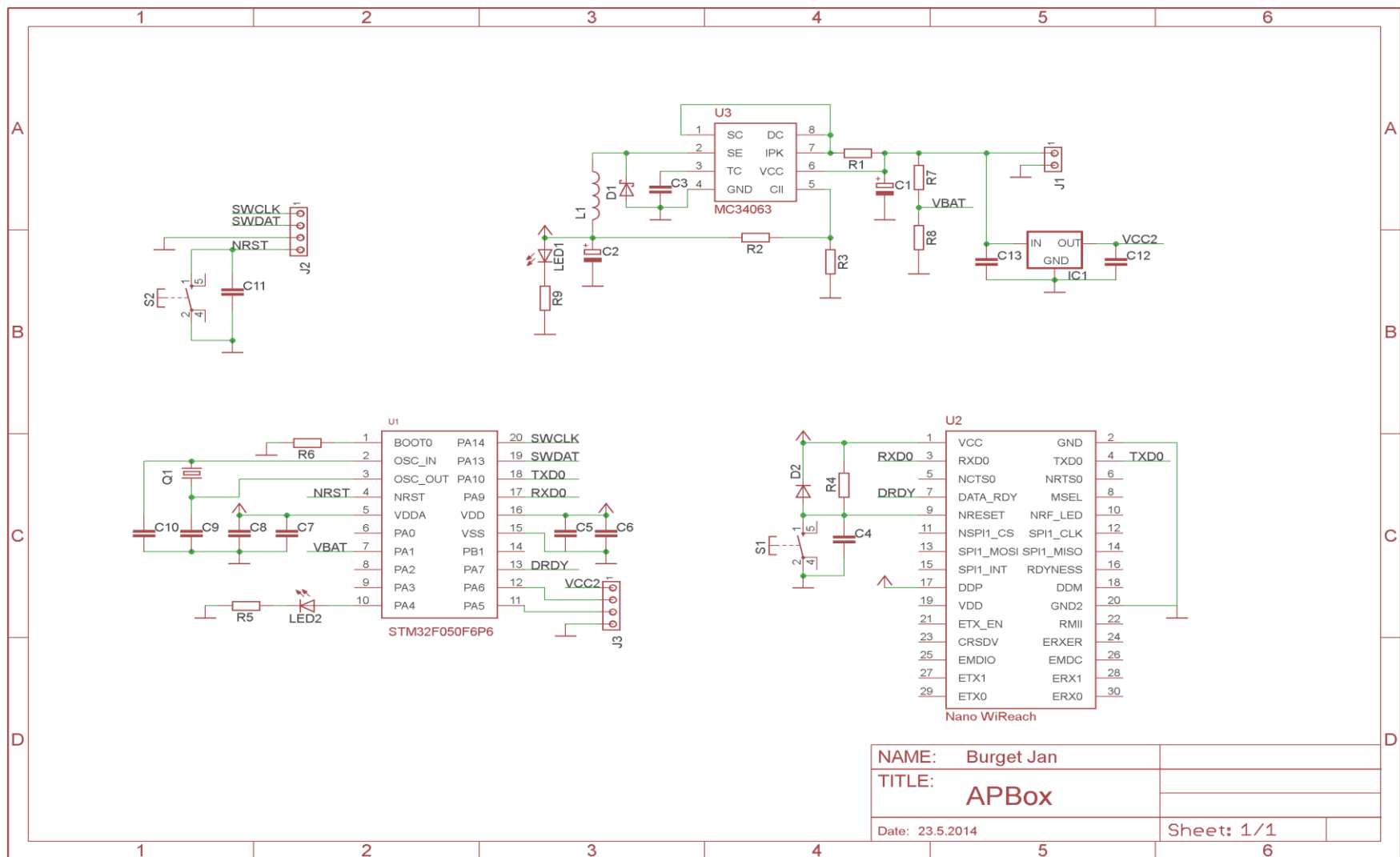
- [1] Fast_nanowireach_full. In: *Pandatron.cz* [online]. © 2000 - 2013 Pandatron.cz [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?564&miniaturni_wifi_modul_nano_wireach
- [2] Ultrafire 18650 3200mAh 3.7V Rechargeable Li-ion Batter. In: *IOffer.com* [online]. © 2014 iOffer [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <https://www.ioffer.com/i/ultrafire-18650-3200mah-3-7v-rechargeable-li-ion-batter-547230137>
- [3] Ultrasonic Sensor Distance Measuring Module for Arduino. In: *Dx.com* [online]. © 2006~2014 DX.com [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: <http://www.dx.com/p/ultrasonic-sensor-distance-measuring-module-for-arduino-148659>

A. Seznam použitých součástek

Označení	Počet	Hodnota	Popis
U1	1	STM32F050F6P6	Mikroprocesor
U2	1	Nano WiReach™	Wifi modul
U3	1	MC34063A	Spínaný regulátor napětí
IC1	1	5 V	Stabilizátor
Q1	1	8 MHz	Externí oscilátor
LED1, LED2	2	Červená	LED dioda
D1	1	1N5819	Schottkyho dioda
D2	1	1N4148	Dioda
R1	1	0,82 Ω	Rezistor
R2	1	4,7 k Ω	Rezistor
R3	1	5 k Ω	Potenciometr víceotáčkový
R4	1	100 k Ω	Rezistor
R5, R9	2	1 k Ω	Rezistor
R6, R8	2	10 k Ω	Rezistor
R7	1	20 k Ω	Rezistor
C1	1	100 μ F/10 V	Elektrolitycký kondenzátor
C2	1	3300 μ F/25 V	Elektrolitycký kondenzátor
C3	1	1 nF	Keramický kondenzátor
C4	1	470 nF	Keramický kondenzátor
C5, C7, C12, C13	4	100 nF	Keramický kondenzátor
C6, C8, C11	3	1 μ F	Keramický kondenzátor
C9, C10	2	22 pF	Keramický kondenzátor
L1	1	150 nH	Cívka
S1, S2	2	-	Tlačítko do DPS
J1	1	2 kontakty	Konektor do DPS
J2, J3	2	4 kontakty	Konektor do DPS

Tab. 4 Seznam použitých součástek

B. Elektrické schéma zapojení



Obr. 17 Elektrické schéma zapojení

C. Prototyp bezdrátového senzoru výšky hladiny



Obr. 18 Prototyp bezdrátového senzoru výšky hladiny připojeného k síti Wi-Fi.