



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

BEZDRÁTOVÝ KOMUNIKÁTOR PRO LODNÍ SPORT

WIRELESS COMMUNICATOR FOR BOAT SPORT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucia Kubovičová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Levek, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Studentka: Lucia Kubovičová

ID: 211231

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Bezdrátový komunikátor pro lodní sport

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte zařízení pro bezdrátový přenos audio signálu. Zařízení bude určeno pro distribuci povelů kormidelníka či trenéra v lodním sportu. Nejprve proveďte podrobnou rešerši dostupných technologií přenosu audio signálu a popište jejich možnosti. Dále popište ostatní potřebné technologie jako například problematiku bateriového napájení, zpracování audio signálu, atd. Následně vyberte nejvhodnější technologii, zařízení navrhněte a realizujte. Závěrem bakalářské práce popište ověření provozu zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 2.6.2022

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Levek, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Práca sa zaoberá technológiami, ktoré súvisia s bezdrôtovým prenosom signálu, technológiou Bluetooth a návrhom zariadenia, ktoré slúži na distribúciu povelov kormidelníka na veslárskej lodi. Zariadenie pozostáva z dvoch častí, ktoré medzi sebou komunikujú pomocou technológie Bluetooth. Obe časti zariadenia teda disponujú Bluetooth modulom, ktorý pracuje u oboch častí v odlišnom režime. Riadenie procesu párovania zariadení zabezpečuje mikrokontrolér. Na komunikáciu s okolím využíva zariadenie tlačidlá a na signalizáciu LED diódy.

Klíčov^á slova

bezdrôtový prenos, audio, rádiové spektrum, komunikátor, Bluetooth

Abstract

The work deals with technologies related to wireless signal transmission, Bluetooth technology and the design of a device that is used to distribute helmsman's commands on a rowing boat. The device consists of two parts that communicate with each other using Bluetooth technology. Thus, both parts of the device have a Bluetooth module that works in both modes in both modes. The control of the device pairing process is provided by a microcontroller. There are buttons used for external communication and LEDs for signalization.

Keywords

wireless transmission, audio, radio spectrum, communication device, Bluetooth

Bibliografické citácie

KUBOVIČOVÁ, Lucia. *Bezdrátový komunikátor pro lodní sport*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142782>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Vladimír Levek.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Lucia Kubovičová</i>
VUT ID studenta:	<i>211231</i>
Typ práce:	<i>Bakalářska práce</i>
Akademický rok:	<i>2021/22</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Bezdrátový komunikátor pro lodní sport</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 2. června 2022

podpis autora

Poděkování

Ďakujem vedúcemu semestrálnej práce Ing. Vladimírovi Levekovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej semestrálnej práce.

V Brně dne: 2. června 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
ÚVOD	10
1. BEZDRÔTOVÝ PRENOS AUDIO SIGNÁLU	11
1.1 PRENOS INFORMÁCIÍ POMOCOU RÁDIOVÝCH VLN	11
1.2 ANALÓGOVÝ A DIGITÁLNY PRENOS	12
1.3 REGULÁCIA BEZDRÔTOVÉHO PRENOSU	12
1.3.1 Regulácia prenosu v Českej republike	13
1.3.2 Bezlicenčné pásmo	14
1.4 TECHNOLOGIE PRE BEZDRÔTOVÝ PRENOS NA KRÁTKU VZDIALENOSŤ	14
1.4.1 Wi-fi	14
1.4.2 Ultra-wideband	15
1.4.3 ZigBee	15
1.5 SPRACOVANIE A PRENOS AUDIO SIGNÁLU	16
1.5.1 Digitalizácia signálu	16
1.5.2 Modulácia	18
1.5.3 Metóda frekvenčného skákania	19
1.6 PROBLEMATIKA NAPÁJANIA	20
2. BLUETOOTH	22
2.1 FREKVENČNÉ SKÁKANIE A BLUETOOTH	22
2.2 KOMUNIKÁCIA MEDZI BLUETOOTH ZARIADENIAMÍ	23
2.3 PROCES PÁROVANIA ZARIADENÍ	23
2.4 BEZPEČNOSŤ KOMUNIKÁCIE POMOCOU BLUETOOTH	24
2.5 BLUETOOTH MODUL	24
2.6 KOMUNIKÁCIA POMOCOU TTL	25
3. NÁVRH HARDVÉRU	26
3.1 VÝBER VHODNEJ TECHNOLOGIE	26
3.2 TRANCEIVER	27
3.3 RECEIVER	28
3.4 MIKROKONTROLÉR	29
3.5 RIADIACA A ZOBRAZOVACIA ČASŤ	30
3.6 ZAPOJENIE AUDIO VSTUPU A VÝSTUPU	31
4. NÁVRH SOFTVÉRU	34
4.1 KOMUNIKÁCIA BLUETOOTH MODULU S MIKROKONTROLÉROM	34
4.2 MÉRANIE STAVU BATÉRIE	36
4.3 SOFTVÉR ČASTI TRANCEIVER	37
4.4 SOFTVÉR ČASTI RECEIVER	39
5. REALIZÁCIA A TESTOVANIE ZARIADENIA	42
6. ZÁVER	44
LITERATURA	45

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK 49

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Rozdelenie spektra elektromagnetického žiarenia [1]	11
1.2	Efekt "aliasingu" [17]	17
1.3	Proces digitalizácie signálu [18]	17
1.4	Proces konverzie analógového signálu na digitálny a spätnej konverzie digitálneho signálu na analógový [19]	17
3.5	Metóda frekvenčného skákania [37]	20
4.1	Bloková schéma komunikátoru	27
4.1	Bloková schéma vysielacej časti komunikátora	28
4.1	Bloková schéma prijímacej časti komunikátora	29

ÚVOD

Táto práca sa zaoberá možnosťami bezdrôtového prenosu signálu využitím rádiového spektra elektromagnetického žiarenia a jeho aplikáciou pri návrhu komunikačného zariadenia používaného na distribúciu povelov kormidelníka na veslárskej lodi.

Pri veslovaní môže posádka pozostávať z minimálne jedného alebo maximálne až ôsmych členov. V prípade ôsmich členov sa na lodi nachádza kormidelník, ktorý svojimi povelmi synchronizuje veslovanie členov posádky. Keďže sa kormidelník a koncový člen nachádzajú v relatívne veľkej vzdialenosti od seba, je kormidelník nútený celú dobu veslovania kričať, a tak som bola požiadaná členom veslárskeho klubu o návrh a realizáciu bezdrôtového zariadenia, ktoré by distribuovalo tieto povely z jedného konca lode na druhý. Môže sa zdať, že takýchto zariadení je na trhu mnoho. Keďže sa však jedná o lodný šport, čo znamená, že nie je vhodné pre takúto komunikáciu používať mobilné zariadenie, ponuka sa zníži na ojedinelé zariadenia, ktorých cena môže dosahovať aj niekoľko tisíc českých korún.

Cieľom práce je oboznámenie sa s dostupnými technológiami bezdrôtového prenosu na krátku vzdialenosť, s potrebnými technológiami spracovania audio signálu, výberom vhodnej technológie a samotným návrhom hardvérovej aj programovej časti zariadenia.

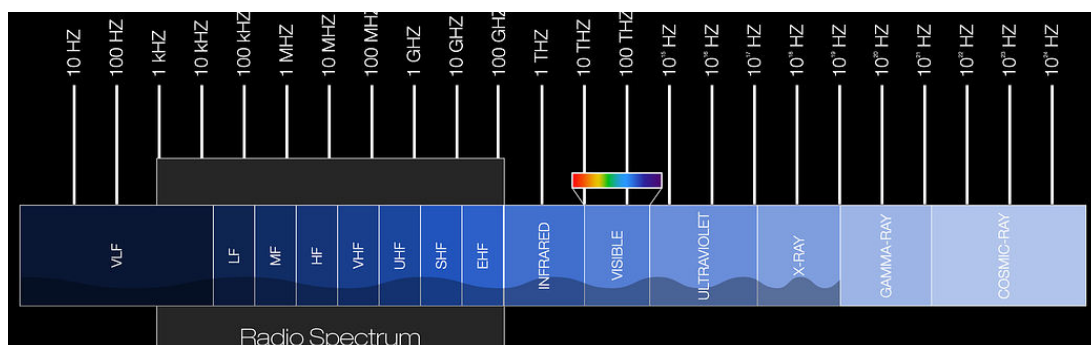
Práca je členená do piatich častí. V prvej kapitole sú priblížené technológie súvisiace s bezdrôtovým prenosom signálu. Nasleduje kapitola, v ktorej je podrobne rozobratá technológia Bluetooth a tiež zvolený Bluetooth modul. Podrobný popis funkcií zariadenia a návrh hardvéru oboch častí zariadenia je popísaný v kapitole číslo 3. Návrh softvéru je popísaný v kapitole číslo 4 a kapitola 5 obsahuje spôsob realizácie a výsledky testovania zariadenia.

1. BEZDRÔTOVÝ PRENOS AUDIO SIGNÁLU

V tejto kapitole sú prezentované možnosti využitia rádiového spektra pre bezdrôtový prenos signálu a jeho legislatívnym obmedzeniam. Následne sú opísané technológie umožňujúce bezdrôtový prenos na krátku vzdialenosť a ich možnosti použitia. Na konci sú vysvetlené technológie spojené so spracovaním signálu a otázka batériového napájania.

1.1 Prenos informácií pomocou rádiových vln

VHF pásmo, z angličtiny very high frequency, je definované ako časť elektromagnetického spektra medzi frekvenciami 30 až 300 MHz. Z obrázku č. 1.1 je zrejmé, že pásmo VHF spadá do spektra rádiových vln. Toto pásmo je veľmi vhodné a používané pre rozhlasové vysielanie a digitálnu televíziu, mobilné rádiové systémy či námornú komunikáciu, pretože nie je rušené náhodným elektromagnetickým šumom nižších frekvencií. Je tiež používané pre dátovú komunikáciu sprostredkovanú na veľké vzdialenosti.



Obrázok 1.1 Rozdelenie spektra elektromagnetického žiarenia [1]

Český telekomunikačný úrad vyhradzuje niekoľko frekvenčných pásiem pre bezdrôtový prenos zvuku na krátku vzdialenosť vo VHF pásme. Maximálny povolený vyžarovaný výkon závisí od konkrétneho frekvenčného pásma, a je to buď do 10mW, alebo v pásme od 174MHz do 216 MHz je povolených 50 mW, za podmienok, že zariadenie nesmie spôsobovať rušenie staníc v rozhlasovej službe a taktiež nesmú požadovať ochranu proti rušeniu. Dostatočne veľký povolený výkon a väčšia vlnová dĺžka znamenajú, že pásmo je vhodné na prenos na väčšie vzdialenosti.

Výhodou prenosu v tomto pásme je, že sa v porovnaní s pásmami vyšších frekvencií signál lepšie šíri cez steny alebo iné prekážky, ale zároveň sa toto pásmo neodporúča v seriózných aplikáciách kvôli novej prítomnosti rádiového šumu. Napriek tomu je veľmi obľúbené kvôli nízkym nákladom na vybavenie. Na druhej strane je zas potrebná väčšia anténa, čo komplikuje prenosnosť daného zariadenia[2][3][4] [5]

UHF pásmo pozostáva z elektromagnetických vln, ktoré sú kratšie ako VHF, a to

konkrétne vlnám s vlnovou dĺžkou od 0,1m po 1m, čo odpovedá frekvenciám od 300 MHz po 3 GHz. V dôsledku toho je potrebná menšia anténa a taktiež sa znižuje rádiový dosah. Vo všeobecnosti sú UHF antény krátke a široké. Výpadky a interferencie s inými signálmi sú pravdepodobnejšie, je však povolené obsadenie širšieho frekvenčného pásma. UHF pásmo je vhodné pre aplikácie s priamou viditeľnosťou a vysokou presnosťou je ale dostatočujúci aj na prechod cez steny, čo umožňuje prenos v interiéri. Náklady na prevádzku UHF zariadení prevažujú nad prevádzkou VHF zariadení. Pásmo je veľmi využívané pre bezdrôtový prenos, a to napríklad v satelitnej komunikácii, GPS, Wi-Fi, Bluetooth, u vysielaciek, mobilných telefónov, či digitálnej televízií. [4][6]

Taktiež je možný prenos v čoraz obľúbenejších GHz pásmach. S rastúcou frekvenciou ale klesá dosah rádiového signálu, keďže sa signál horšie šíri priestorom. Je tiež viacej rušený rôznymi prekážkami a je tak potrebný vyšší vysielač výkon. [2]

1.2 Analógový a digitálny prenos

Hlavný rozdiel v analógovom a digitálnom prenose je to, že aj keď je v oboch prípadoch prenášaný modulovaný analógový signál, u analógového prenosu reprezentuje prenášaný signál analógový modulačný signál a u digitálneho prenosu prenášaný signál reprezentuje informácie v podobe núl a jednotiek. Digitálna komunikácia poskytuje veľa výhod v porovnaní s analógovou. Hlavnou nevýhodou analógovej komunikácie je fakt, že šum ovplyvňuje analógový signál viac a to z dôvodu, že analógový signál nadobúda veľké množstvo hodnôt. To spôsobuje väčšie skreslenie signálu. Ak sa šum zmieša s digitálne prenášaným signálom a ovplyvní nám niektorý z bodov amplitúdy, stále sme schopní vyčítať diskretnú hodnotu signálu. [9] Na zosilnenie signálu sa u digitálneho prenosu používajú tzv. „opakovače“, ktoré generujú nové digitálne impulzy bez skreslenia, zatiaľ čo u analógovej komunikácii sa používajú zosilňovače, ktoré signál zosilnia aj s jeho skreslením.

Výhodou analógového prenosu môže byť poskytnutie presnejšej reprezentácie fyzikálnych javov, ako je zvuk, svetlo, teplota, poloha alebo tlak. Analógové signály sú veľmi vhodné na prenos zvuku alebo videa. Analógové komunikačné systémy sú tiež menej citlivé z hľadiska elektrickej tolerancie. [27] Komponenty potrebné pre digitálnu komunikáciu sú flexibilnejšie, menšie a kompaktné a zároveň spotrebujú menej energie, no na druhej strane môžu byť o niečo drahšie. U analógového prenosu je kvôli náchylnosti k rušeniu potrebný aj väčší vysielač výkon.[9]

1.3 Regulácia bezdrôtového prenosu

Kvôli rastúcej potrebe využívania rádiového frekvenčného pásma vznikla potreba jeho využitie regulovať. Organizácia k tomu určená je napríklad Medzinárodná telekomunikačná únia ITU, ktorej úlohou je celosvetová koordinácia využívania rádiových frekvencií. [11]

1.3.1 Regulácia prenosu v Českej republike

Na území Českej republiky je to tiež Český telekomunikačný úrad (ČTU), ktorý kontroluje dodržiavanie zákonných pravidiel. Je potrebné dávať pozor na to, že zariadenia s bezdrôtovým prenosom využívajúce frekvencie povolené v iných krajinách nemusia byť povolené na využívanie napríklad v Českej republike, čo by malo byť uvedené na obale výrobku, prípadne v jeho špecifikáciách. [12]

V tab. č. 2.1 je možné vidieť zoznam vhodných kmitočtových pásiem určených Českým telekomunikačným úradom pre bezdrôtový prenos zvuku s krátkym dosahom, ich obmedzenia týkajúce sa technických parametrov, a príslušné normy, ktoré ich zastrešujú. Niektoré pásma musia spĺňať aj ďalšie podmienky, ktoré sú vysvetlené v odstavci 3 a 4 dokumente o všeobecných oprávneniach č. VO-R/10/12.2019-9 [13].

Tabuľka 1.1 Vhodné frekvenčné pásma pre bezdrôtový prenos zvuku podľa ČTU [13]

Ozn.	Frekvenčné pásmo	Vyžarovaný výkon	Zabraná šírka pásma	Ďalšie podmienky	Norma (ČSN ETSI EN)
a	27,415–27,915 MHz	10 mW e.r.p.	50 kHz		300 422, 300 357
b1	36,4–36,65 MHz	10 mW e.r.p.	50 kHz		
b3	38,0–38,5 MHz	10 mW e.r.p.	200 kHz		
c	87,5–108 MHz	50 nW e.r.p.	200 kHz		
f	174–216 MHz	50 mW e.r.p.		viz odst. 3	
g	470–694 MHz	50 mW e.r.p.		viz odst. 3	
i	786–789 MHz	12 mW e.r.p.			
j1	823–826 MHz	20 mW e.i.r.p.; pro mikrofony nošené na těle 50 mW e.i.r.p.		viz odst. 4	
j2	826–832 MHz	100 mW e.i.r.p.		viz odst. 4	
k	863–865 MHz	10 mW e.r.p.			
l	1785–1804,8 MHz	20 mW e.i.r.p.; pro mikrofony nošené na těle 50 mW e.i.r.p.		viz odst. 4	

Pásmo 1,9 GHz patrí rovnako ako 2,4 GHz do bezlicenčného pásma, čo znamená, že nebude ovplyvnené legislatívnymi zmenami, a to je dobrá investícia do budúcnosti. Je to pásmo určené pre zariadenia bezdrôtovej telekomunikácie štandardu DECT [14], je teda určené pre digitálnu bezdrôtovú komunikáciu. Pásmo je veľmi málo obsadené, zariadenia však musia pracovať rovnakým spôsobom ako v 2,4 GHz pásme, čiže neustále vyhľadávať vhodný prenosový kanál. [2]

Ďalšou možnosťou je využitie napríklad kmitočtov určených pre nešpecifikované zariadenia krátkeho dosahu, pričom konkrétne podmienky ich využitia sa tiež nachádzajú v dokumente [13] vydanom ČTU.

1.3.2 Bezlicenčné pásmo

Pri návrhu elektrického zariadenia, ktoré bude využívať bezdrôtový prenos na rádiových kmitočtoch, musíme myslieť na povinnosť požiadať kompetentnú organizáciu o spoplatnenú licenciu, v Českej republike teda Český telekomunikačný úrad. Ďalšou možnosťou je bezlicenčné pásmo ISM, historicky určené pre priemysel, vedecké účely a zdravotníctvo. Využívanie týchto pásiem je povolené bez nutnosti požiadať o licenciu a nie je teda spoplatnené, taktiež však pre nich platia pravidlá regulácie stanované ČTU a tiež pre nich platia všeobecné oprávnenia pre zariadenia s krátkym dosahom [13]. Nevýhodou bezlicenčného pásma je, že neposkytuje žiadnu garanciu voči rušeniu, aplikácia, ktoré neslúžia na prenos informácií však musia rušenie maximálne obmedziť.

Tabuľka 1.2 ISM pásma podľa ITU pre krajiny regiónu 1 [15]

Frekvenčné pásmo	Nosná frekvencia
6,765-6,795 MHz	6,780 MHz
13,553-13,567 MHz	13,560 MHz
26,957-27,283 MHz	27,120 MHz
40,66-40,70 MHz	40,68 MHz
433,05-434,79 MHz	433,92 MHz
2400-2500 MHz	2450 MHz
5725-5875 MHz	5800 MHz
24-24,25 GHz	24,125 GHz
61-61,5 GHz	61,25 GHz
122-123 GHz	122,5 GHz
244-246 GHz	245 GHz

Kmitočtové pásma vyhradené ITU pre ISM aplikácie platné pre krajiny Európy, Afriky, krajiny Blízkeho východu a tiež krajiny bývalého Sovietskeho zväzu sú zobrazené v tab. č. 2.2.

1.4 Technológie pre bezdrôtový prenos na krátku vzdialenosť

1.4.1 Wi-fi

Wi-Fi je rodina bezdrôtových sieťových protokolov založená na štandardoch rodiny IEEE 802.11. Technológia umožňuje pripojenie elektronických zariadení k lokálnej sieti pomocou rádiových vln. Vlnové pásma Wi-fi majú relatívne vysokú absorpciu, čo znamená, že mnoho bežných prekážok môže znížiť dosah rádiových vln. Tiež to však

pomáha obmedziť rušenie v sieťami preplnených prostrediach. Medzi základné komponenty wi-fi siete patrí prístupový bod, člen siete a štruktúrna stanica. Prístupový bod (alebo hotspot) má v interiéri často dosah približne 20 metrov, no použitím mnohých prekrývajúcich sa prístupových bodov je možné dosiahnuť pokrytie až niekoľko štvorcových kilometrov. Postupom času sa rýchlosť a spektrálna účinnosť Wi-Fi zvýšila a niektoré verzie Wi-Fi, ktoré bežia na vhodnom hardvéri, môžu dosahovať rýchlosti aj nad 1 Gbit/s. Pre komunikáciu prostredníctvom Wi-fi je možné použiť pásmo 900 MHz, 2,4 GHz, 5 GHz, 5,9 GHz a 60 GHz. [28] [29]

1.4.2 Ultra-wideband

Ultra-wideband technológia, alebo UWB, je bezdrôtový komunikačný protokol s krátkym dosahom, ako napríklad Wi-Fi alebo Bluetooth, ktorý využíva rádiové vlny v podobe krátkych impulzov na frekvenciách od 3,1 do 10,5 GHz v bezlicenčných pásmach. Termín UWB sa používa z dôvodu využívania veľkej šírky frekvenčného pásma, až 500MHz. [30] To umožňuje technológií dosiahnuť prenosovú rýchlosť až niekoľko gigabitov za sekundu. Signál tiež dokáže prejsť cez steny a má dosah niekoľko desiatok metrov. Výhodou UWB technológie je lepšia lokalizovateľnosť a bezpečnosť. Keďže pracuje s krátkymi impulzmi, dokáže odhadnúť čas a smer postupu signálu s oveľa väčšou presnosťou. [31]

V porovnaní s bezdrôtovými technológiami ako Bluetooth alebo Wi-fi, technológia UWB poskytuje väčšiu presnosť, možnosť určovania polohy a rádiový frekvenčný zabezpečenie. Výhodou je tiež fakt, že pracuje mimo preťažených pásiem zoskupujúcich sa okolo 2,4 GHz. Technológia má pridanú fyzickú vrstvu špecifikovanú v IEEE 802.15.4z, ktorá umožňuje použitie bezpečnostných techník ako kryptografia alebo generovanie náhodných čísel, ktoré odrádzajú útočníkov od prístupu ku komunikácii UWB. [32]

1.4.3 ZigBee

Zigbee je bezdrôtová technológia s nízkou spotrebou energie a nízkou prenosovou rýchlosťou, ktorá sa používa na vytváranie sietí typu PAN. Je založená na IEEE 802.15.4 pre sadu vysokoúrovňových komunikačných protokolov. Technológia využíva na prenos nelicencované ISM pásmo 2,4 až 2,4835 GHz (celosvetovo), 902 až 928 MHz (Amerika a Austrália) a 868 až 868,6 MHz (Európa), pričom v pásmach 868 a 915 MHz využíva moduláciu BPSK a v pásme 2,4 GHz OQPSK. Rýchlosť prenosu dát pri priamej viditeľnosti je 250 kbit/s na kanál v pásme 2,4 GHz a 20 kbit/s v pásme 868 MHz. Pre vnútorné aplikácie je prenosová vzdialenosť pre 2,4 GHz pásmo 10–20 m. Tento rozsah ale závisí od konštrukčných materiálov, počtu stien v dráhe a výkonu. Výstupný výkon rádii je vo všeobecnosti 0–20 dBm (1–100 mW). [33]

1.5 Spracovanie a prenos audio signálu

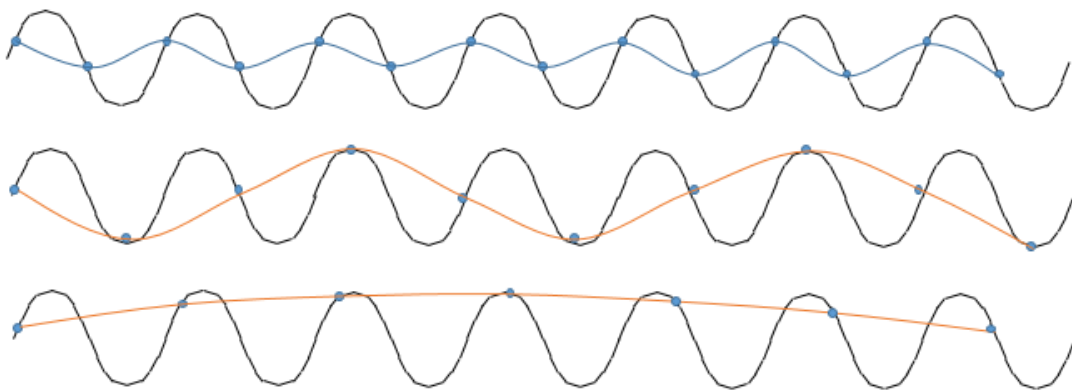
Na začiatku musia byť dáta ako hlas alebo zvuk konvertované na elektrický signál pomocou prevodníku, napr. mikrofónu, a následne sú poslané cez komunikačný kanál. V praxi sa neprenáša signál v podobe, v akej je vytvorený prevodníkom, ale prenáša sa signál modulovaný, a to hneď z niekoľkých dôvodov, ako napríklad, že signál je počas prenosu rušený šumom a so zvyšujúcou sa vzdialenosťou veľmi rýchlo slabne. To môže spôsobiť príliš malý odskok signálu od šumu, a teda aj značné skreslenie signálu. Výhodou modulácie je aj obmedzenie na prenos iba v určitom frekvenčnom pásme, čo je vhodné kvôli legislatívnym obmedzeniam, a taktiež môže byť spojené aj s potrebou menšej antény vďaka prenosu vo vyšších frekvenciách. [9]

Šírka tohto frekvenčného pásma teda určuje rozsah frekvencií, v ktorých je vysielaný daný signál a u digitálneho prenosu úzko súvisí aj s prenosovou rýchlosťou. Keďže každý signál si možno predstaviť ako súčet harmonických zložiek, ktorých frekvencie sú celistvým násobkom základnej frekvencie, je zjavné, že šírka frekvenčného pásma súvisí aj s kvalitou preneseného a následne zrekonštruovaného signálu.

1.5.1 Digitalizácia signálu

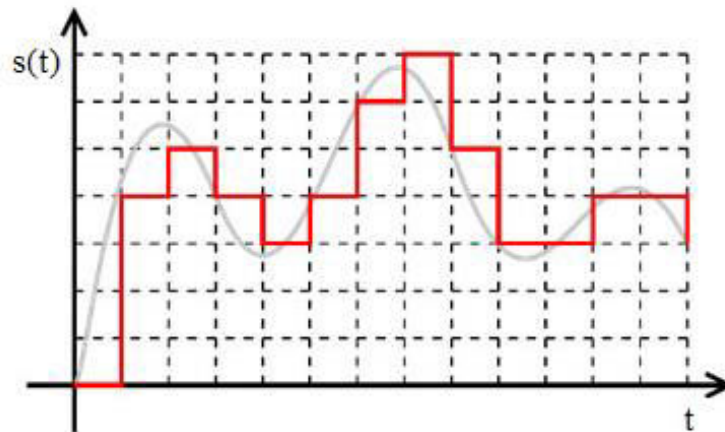
Prenos analógového signálu na digitálnu formu zabezpečuje analógovo-digitálny (A/D)prevodník, a možno ho rozdeliť do troch základných operácií, a to vzorkovanie, kvantovanie a kódovanie.

Navzorkovať signál znamená v určitých pravidelných intervaloch zaznamenať okamžitú hodnotu analógového signálu, pričom frekvencia týchto záznamov sa nazýva vzorkovacia frekvencia a musí spĺňať tzv. "Nyquistovo kritérium". To znamená, že táto frekvencia musí byť aspoň dva-krát vyššia ako najvyššia frekvencia vzorkovaného signálu, aby nevznikol jav s názvom "aliasing", ako môžeme vidieť na obrázku č. 3.2. Počuteľný zvuk sa nachádza v rozmedzí 16 – 20 000 Hz, čo znamená, že minimálna vzorkovacia frekvencia musí byť 40 kHz, v praxi sa ale používa aj s rezervou 44,1kHz.



Obrázok 1.2 Efekt "aliasingu" [17]

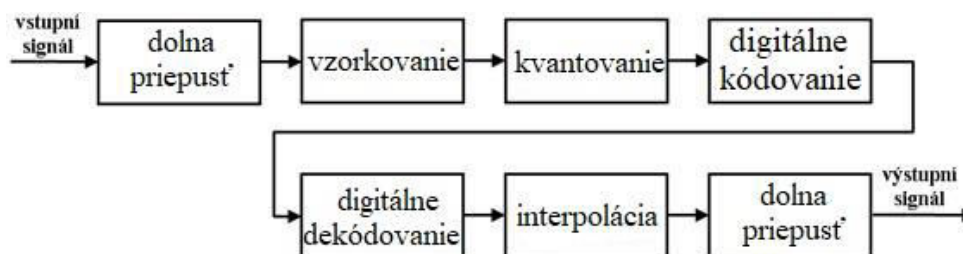
Takto navzorkovaný signál obsahuje stále veľké množstvo rôznych hodnôt daného analógového signálu, ktoré by bolo stále takmer nemožné ďalej spracovávať. Tak ako je pri vzorkovaní rozdelená časová os, je pri kvantovaní rozdelená y-ová os úrovne signálu iba na určité diskrétné hodnoty vyjadrené binárnym číslom. Pri každom „odčítaní vzorky“ analógového signálu je teda daná okamžitá hodnota úrovne signálu zaokrúhľená na túto najbližšiu diskrétnu hodnotu.



Obrázok 1.3 Proces digitalizácie signálu [18]

Výsledkom je konečný počet vzoriek s konečným počtom ich hodnôt vyjadrených v binárnom kóde. Pre ďalšie spracovanie signálu je napríklad vhodné, ak sa príliš často nestriedajú jednotky a nuly, preto je tento jednoduchý binárny kód ešte prekódovaný tak, aby ostal zachovaný jeho zmysel, ale zároveň bol jednoduchší pre spracovanie.

Na obrázku č. 3.4 je znázornený celý proces digitalizácie signálu a spätnej konverzie digitálneho signálu na analógový.



Obrázok 1.4 Proces konverzie analógového signálu na digitálny a spätnej konverzie digitálneho signálu na analógový [19]

Schéma obsahuje filtre dolnej priepusti, ktoré slúžia na dodržanie Nyquistovej podmienky a tiež na filtrovanie nežiadúcich zložiek po spätnej konverzií digitálneho signálu na analógový. [20][19]

1.5.2 Modulácia

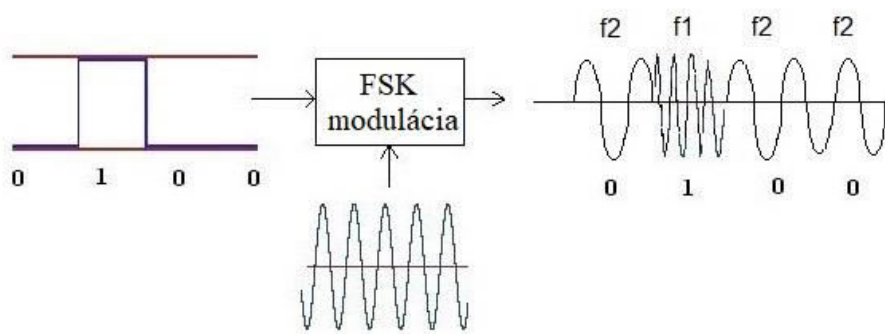
Modulácia je proces, pri ktorom sa násobí nízkofrekvenčný modulačný signál obsahujúci informáciu s vysokofrekvenčným nosným signálom. Je to proces vkladania informácií do vhodného (rádiového) signálu použitého na prenos. Následne sa tento signál prenáša cez komunikačný kanál. V druhej časti sústavy sa nachádza demodulátor, ktorý prijatý signál rekonštruuje, a tak z neho získava pôvodnú informáciu.[9]

Ak je pri modulácii ovplyvňovaný parameter nosného signálu, jedná sa o moduláciu v prenesenom pásme. Týmto parametrom môže byť amplitúda nosnej (AM – amplitude modulation), frekvencia (FM – frequency modulation) alebo fáza (PM – phase modulation). Taktiež existujú rôzne modifikácie týchto modulácií, napríklad vďaka nízkej energetickej účinnosti amplitúdovej modulácie vznikla DSB modulácia s potlačenou nosnou alebo SSB modulácia s postranným pásmom. QAM (Quadrature AM) modulácia umožňuje prenášať dva modulačné signály zároveň na dvoch nosných signáloch rovnakej frekvencie, ktoré sú však posunuté o 90° .

Digitálna modulácia sa definuje ako kľúčovanie a je označovaná skratkou SK (Shift Keying). Rozdiel medzi digitálnou a analógovou moduláciou je v tom, že u analógovej modulácie je nízkofrekvenčným modulačným signálom spojitý analógový signál a u digitálnej modulácie je ním číslicový signál. Zásadný rozdiel je aj to, že u digitálnej modulácie je možné preniesť signál bezstratovo.

Technológia Bluetooth využíva tri druhy kľúčovania. Pôvodne bol Bluetooth navrhnutý pre tzv. Gaussovskú moduláciu s frekvenčným kľúčovaním, neskôr boli s požiadavkou vyšších prenosových rýchlostí zavedené ďalšie 2 formy kľúčovania s fázovým posunom.

Gaussovskú moduláciu s frekvenčným kľúčovaním, anglicky GFSK - Gaussian Frequency Shift Keying, je odvodená od dvojstavového frekvenčného kľúčovania FSK – Frequency Shift Keying, kedy je binárnym stavom priradená odlišná nosná frekvencia. Gaussovská modulácia je ešte doplnená Gaussovským filtrom, ktorým prechádza digitálny signál pred vstupom do modulátoru, čím sa z digitálneho signálu stane analógový signál podobný Gaussovej krivke a tým sa obmedzí šírka pásma potrebná na prenos signálu. Aby bola splnená dátová rýchlosť 1Mbps, binárna jednotka reprezentuje kladnú frekvenčnú odchýlku a binárna nula reprezentuje zápornú frekvenčnú odchýlku.



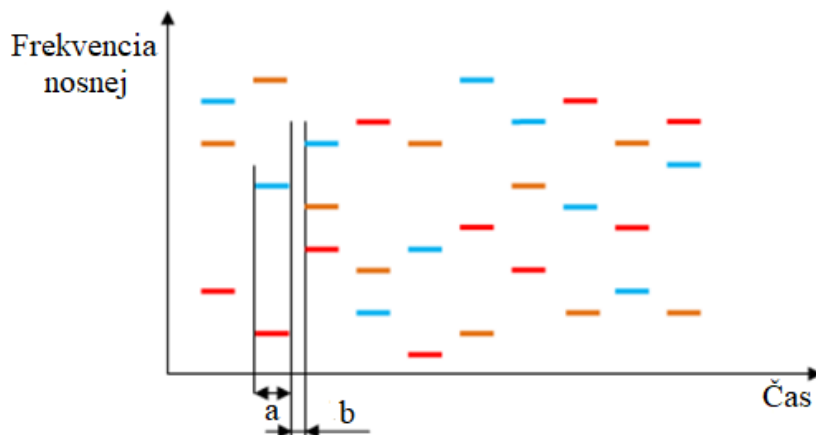
Obrázok 1.5 Princíp frekvenčného kľúčovania [34]

Kvôli zvýšeniu dátovej rýchlosti, čo sa v súvislosti s Bluetooth technológiou označuje ako Enhanced Data Rate (EDR), Bluetooth využíva $\pi/4$ diferenciálne kvadratúrne kľúčovanie fázovým posunom ($\pi/4$ -DQPSK) a tiež 8-násobné kľúčovanie fázovým posunom (8DPSK). Ide o typy digitálnej modulácie, kde sú dáta prenášané pomocou modulácie fázy. Použitím týchto modulácií sa zvýšila dátová rýchlosť až na 3 Mbps. [35][36] [21]

1.5.3 Metóda frekvenčného skákania

Prenos metódou FHSS je charakteristický opakovaným prepínaním nosnej frekvencie počas prenosu. Táto metóda je užitočná v boji proti odpočúvaniu, zabraňuje nepretržitému rušeniu telekomunikačných frekvencií a môže taktiež minimalizovať účinky neúmyselného rušenia. Taktiež umožňuje viacerým párom vysielačov a prijímačov pracovať v rovnakej šírke pásma zároveň.

U tejto metódy vysielač preskakuje medzi dostupnými úzkopásmovými frekvenciami v rámci špecifikovaného širokého kanála v pseudonáhodnom poradí, pričom na každej z nich prenesie iba krátky zhluk dát a hneď sa naladí na ďalšiu. Tento princíp je znázornený na obrázku číslo 3.5, pričom a vyjadruje dobu prenosu informácie a b vyjadruje čas potrebný na preladenie na inú frekvenciu.



Obrázok 1.5 Metóda frekvenčného skákania [37]

V súčasnosti existuje aj niekoľko variácií, a to napríklad rozprestreté spektrum priamej sekvencie, čiže DSSS, kde sa prenášaný signál šíri cez celý široký kanál naraz namiesto v diskretných zhlukoch oddelených skokmi, alebo tzv. chirp modulácia, ktorá jednoducho skenuje všetky dostupné frekvencie postupne. [23]

1.6 Problematika napájania

Pri návrhu elektrického zariadenia je potrebné nájsť kompromis medzi okamžitou odozvou zariadenia na externý podnet, výpočtovým výkonom zariadenia a jeho spotrebou.

Z hľadiska návrhu elektrického zariadenia a výberu vhodného zdroja je vhodné zohľadniť aspekty ako:

- Veľkosť dodávaného napätia či prúdu
- Životnosť batérie
- Prevádzkové podmienky
- Perióda činnosti bez nutnosti výmeny či dobitia
- Typ puzdra

Zariadenia s batériovým napájaním väčšinou pracujú v tzv. pasívnom režime kvôli nízkej spotrebe. To znamená, že zariadenie je primárne v móde nečinnosti a v prípade potreby je uvedené do aktívneho režimu. Prechod do aktívneho režimu môže byť zabezpečený napríklad zmenou logickej úrovne na digitálnom vstupe či prekročením napäťovej úrovne komparátoru, prípadne tiež prímom určitých dát, to si však už vyžaduje vyšší prúdový odber v režime nečinnosti.

Pri používaní štandardných nabíjačiek, pri opätovnom dobíjaní akumulátorov alebo aj pri návrhu vstavaných nabíjajúcich zdrojov je potrebné dodržiavať pracovné

podmienky určené výrobcom, pričom ich nedodržanie znižuje životnosť akumulátoru, počet vybíjacích cyklov a tiež kapacitu zdroja.

Užívateľ zariadenia by mal byť oboznámený s tým, ako dlho ešte batéria v zariadení vydrží a kedy je potrebné ju vymeniť, prípadne dobiť. S meraním batérie súvisia dva základné problémy. Vybíjaním batérie a odčerpávaním náboja síce napätie na batérii mierne klesá, tento pokles však nie je lineárny a ak ho meriame v režime bez záťaže, je tento pokles takmer nulový. Ak vezmeme do úvahy, že vnútorný odpor batérie sa s odčerpávaním náboja zvyšuje, problémom je, že ak ním tečie malé množstvo prúdu, môže dochádzať k nesprávnej interpretácii merania. Tieto problémy je možné vyriešiť napríklad použitím mikrokontroléra, ktorý umožňuje merať vlastné napájanie za podmienky, že je k nemu batéria pripojená priamo, teda bez stabilizátora. Takýto modul musí disponovať napäťovou referenciou, odporovým deličom medzi svorkami napájania a taktiež činnou záťažou emulujúcou reálny pokles napätia batérie. Príkladom je LED dióda, ktorej krátkodobé prebliknutie nespôsobí procesnú chybu. [25]

2. BLUETOOTH

Technológia Bluetooth bola vytvorená telekomunikačným predajcom Ericsson v roku 1994 a pôvodne bola plánovaná ako bezdrôtová alternatíva k dátovým káblom RS-232. Bluetooth je bezdrôtová technológia vhodná pre prenos jednoduchých dát medzi dvoma alebo viacerými zariadeniami (maximálne však 8) na krátku vzdialenosť. Je vhodná pre aplikácie vyžadujúce malú šírku pásma, napríklad prenos zvuku či malých súborov medzi prenosnými počítačmi, klávesnicou či myšou.

Existujú dve rôzne verzie Bluetooth, a to Bluetooth Classic a Bluetooth Low Energy. Bluetooth Low Energy je verzia navrhnutá pre aplikácie s veľmi nízkou spotrebou energie. Bluetooth sa zameriava na čo najnižšiu spotrebu energie zariadenia napríklad aj tým, že sa automaticky prepne do režimu s nízkou spotrebou, akonáhle sa objem prenosu dát zníži alebo preruší. Dosah zariadení býva desiatky metrov pričom zvýšením výkonu sa dá dosiahnuť až stovky metrov pri priamej viditeľnosti. V interiéri alebo vplyvom prekážok tento dosah klesá. Obecne sa Bluetooth zariadenia rozdeľujú podľa vysielacieho výkonu, a teda aj dosahu zariadenia, do troch skupín, ktoré možno vidieť v tabuľke č. 2.1. [8] [38]

Tabuľka 2.1 Výkonové triedy technológie bluetooth [39]

Výkonová trieda	Maximálny výstupný výkon [mW]	Maximálny výstupný výkon [dBm]	Dosah [m]
1	20	100	100
2	4	2,5	10
3	0	1	0,01

2.1 Frekvenčné skákanie a Bluetooth

Bluetooth pracuje v ISM pásme 2,4 GHz, ktoré využívajú aj iné bezdrôtové systémy a je preto nutné zaistiť, aby sa systémy vzájomne nerušili. Bluetooth využíva nízke vysielacie výkony v kombinácii s metódou frekvenčného skákania (Frequency Hopping) v rozprestretom spektre (FHSS) s frekvenciou 1600 skokov za sekundu. Doba obsadenosti konkrétneho kanála je teda veľmi krátka. Nosná frekvencia sa mení na základe schémy a je určená adresou a synchronizačným signálom riadiaceho zariadenia. Vlastné dáta sa prenášajú v paketoch v krátkych časových intervaloch a majú presne definovaný formát.

Jednou z techník frekvenčného skákania, ktoré využíva Bluetooth na nájdenie čistej prenosovej cesty, sa nazýva adaptívne frekvenčné skákanie AFH. Ide o techniku, kde primárne zariadenie monitoruje prenosové kanály v rámci celého prenášaného pásma

a rozdeľuje ich na spoľahlivé a nespoľahlivé, napríklad aj v spojení s rušením alebo zaneprázdnením. Táto mapa kanálov je zdieľaná s prepojeným zariadením a tak majú obe informáciu o tom, ktoré kanály použiť a ktorým sa vyhnúť.

Bluetooth Classic využíva 79 kanálov so šírkou kanála 1MHz a dosahuje rýchlosť prenosu dát 3Mb/s. Bluetooth Low Energy využíva 40 kanálov, šírka pásma 1 kanála je 2MHz a rýchlosť prenosu dát dosahuje 2Mb/s. [8] [24]

2.2 Komunikácia medzi Bluetooth zariadeniami

Komunikácia medzi zariadeniami prebieha v istom druhu personálnej lokálnej sieti, ktorá sa nazýva piconet, pričom maximálny počet Bluetooth zariadení práve pripojených do siete je 8. Tieto siete ďalej používajú model tzv. master/slave na ovládanie toho, kedy a kde môžu zariadenia odosielať údaje. Model spočíva v tom, že v sieti sa nachádza jedno hlavné zariadenie, tzv. master, ku ktorému sú pripojené ostatné zariadenia, tzv. slave zariadenia. Hlavné zariadenie koordinuje komunikáciu v celej sieti a môže komunikovať s ktorýmkoľvek zariadením v sieti. Ostatné zariadenia nemôžu komunikovať medzi sebou, môžu komunikovať iba s hlavným zariadením. V sieti sa teda musia nachádzať dva typy Bluetooth zariadení, master aj slave, pričom typ zariadenia určuje firmvér Bluetooth modulu, ktorý dané zariadenie využíva.

Každé Bluetooth zariadenie má jedinečnú 48-bitovú adresu zvyčajne prezentovanú vo forme 12-miestnej hexadecimálnej hodnoty. Horná polovica adresy, tzv. horných 24 bitov, je jedinečný identifikátor organizácie, ktorý identifikuje výrobcu. Nižších 24 bitov je jedinečná časť adresy. Zariadenia môžu mať tiež užívateľsky prívetivé názvy, ktoré sú zvyčajne prezentované používateľovi namiesto adresy, aby pomohli identifikovať, o ktoré zariadenie ide. Tieto názvy môžu mať maximálne 248 bitov a môžu byť pre viacero zariadení rovnaké. [39]

Bluetooth taktiež využíva tzv. Bluetooth profily potrebné na vykonávanie konkrétnej funkcie. Profily Bluetooth sú dodatočné protokoly, ktoré stavajú na základnom štandarde Bluetooth a definujú, aký druh údajov modul Bluetooth prenáša. Zatiaľ čo špecifikácie Bluetooth technológie definujú ako technológia funguje, profily definujú, ako sa používa. Napríklad na pripojenie slúchadiel k inému zariadeniu sa používa iný špecifický profil (alebo pravidlá), ako napríklad na prenos súborov z jedného zariadenia do druhého. Aby boli dve zariadenia kompatibilné, musia podporovať rovnaké Bluetooth profily. [40][41]

2.3 Proces párovania zariadení

Pripojenie dvoch Bluetooth zariadení, tzv. párovanie zariadení, je možné rozdeliť do troch stavov. Prvý stav je tzv. „dopyt“, kedy o sebe obe zariadenia ešte nevedia vôbec nič. Vtedy jedno z nich, spravidla master, spustí vyhľadávanie a pokúsi sa objaviť to druhé. Každé zariadenie v dostatočnej vzdialenosti od tohto zariadenia potom odpovie

na tento dopyt svojou adresou, prípadne názvom a ďalšími informáciami. Ďalším stavom je tzv. „paging“, čo je proces vytvárania spojenia medzi dvoma zariadeniami. Pred spustením tohto procesu musí každé zariadenie poznať adresu toho druhého. Po dokončení tohto procesu prejdú zariadenia do stavu pripojenia a sú pripravené na prenos dát. V tomto stave môžu zariadenia pracovať v aktívnom režime alebo v troch rôznych spánkových režimoch zabezpečujúcich nižšiu spotrebu energie zariadenia.

Párovanie môže tiež vyžadovať proces overenia, pri ktorom musí používateľ overiť spojenie medzi zariadeniami. Niekedy ide iba o jednoduchú operáciu kliknutia na tlačidlo, môže ísť však aj o zadanie až 16-miestneho alfanumerického reťazca. Keď sa zariadenia spárujú, zdieľajú svoje adresy, mená a profily a ukladajú ich do pamäte. Zdieľajú tiež spoločný tajný kľúč, ktorý im umožňuje spojiť sa, kedykoľvek budú v budúcnosti spolu. V tomto prípade sa zariadenia pripoja vždy, keď sú v dostatočnej blízkosti a to bez opakovania procesu párovania. [39]

2.4 Bezpečnosť komunikácie pomocou Bluetooth

Technológia Bluetooth zahŕňa množstvo opatrení, ktoré dokážu uspokojiť aj tie najprísnejšie bezpečnostné požiadavky. Pri nadväzovaní komunikácie medzi zariadeniami pomocou Bluetooth prechádzajú používatelia procesom párovania, ktoré vybaví každé zariadenie špeciálnymi bezpečnostnými kľúčmi a spôsobí, že si budú navzájom dôverovať. Tieto bezpečnostné kľúče umožňujú technológii Bluetooth chrániť údaje a používateľov mnohými spôsobmi. Jedným zo spôsobov je šifrovanie prenášaných dát, ďalším zo spôsobov je maskovanie adresy zariadenia a jej zmena každých pár minút. To chráni používateľov pred rizikom sledovania pomocou údajov prenášaných ich osobnými elektronickými zariadeniami. [42]

2.5 Bluetooth modul

Pre našu aplikáciu bude použitý bluetooth modul BK3266SR. Keďže sa výsledné komunikačné zariadenie nebude párovať s mobilným telefónom, ani so žiadnym podobným zariadením, je potrebné, aby pozostávalo z prijímača (Receiver), a taktiež z vysielača (Transceiver), ktoré sa môžu medzi sebou párovať v konfigurácii master-slave. Hlavný kritériom pri výbere bluetooth modulu bola teda schopnosť modulu pracovať ako „master“, a taktiež ako „slave“. Ďalším kritériom bola podpora audio profilu vhodného na prenos zvukových súborov a obsah periférií vhodných k pripojeniu výstupného audio signálu, vstupného audio signálu, či priamo mikrofónu. Dôležité vlastnosti modulu sú zhrnuté v tabuľke č. 2.2. Veľkou výhodou Bluetooth modulu je zabudovaný A/D a D/A prevodník, GFSK modulátor a demodulátor, možnosť komunikácie s okolím pomocou zbernice UART a jednoduchých príkazov a podpora Bluetooth V5.0 a EDR. [26]

Tabuľka 2.2 Vlastnosti Bluetooth modulu BK3266SR [26]

Napájacie napätie	3,3 až 4,2 V
Spotreba	≤ 20 mA
Spotreba v pohotovostnom režime	< 500 μA
Bluetooth protokoly	HFPV 1.7, A2DPV 1.2, AVRCPV 1.5, AVCTPV 1.2, AVDTPV 1.2
Výkonová trieda	Trieda 2, 4 dbm
Dosah	> 10 m
Externé komunikačné rozhranie	TTL
Citlivosť modulu	-81 dBm <0,1% BER

2.6 Komunikácia pomocou TTL

Modul obsahuje technológiu TTL, ktorá poskytuje možnosť ovplyvniť proces párovania, testovať funkčnosť modulu, prepínať medzi „master“ a „slave“ nastavením, meniť názov zariadenia a pod. Komunikácia modulu s okolím prostredníctvom TTL logiky pozostáva z príkazov nachádzajúcich sa v príslušnej dokumentácii [46], ktoré sú normalizované pre konkrétny bluetooth modul a sú vyjadrené pomocou hexadecimálnych znakov. Štruktúru príkazu spolu s konkrétnym príkazom, ktorý slúži k nastaveniu modulu do režimu „master“, je možno vidieť v tabuľke č. 2.3.

Tabuľka 2.3 Príkaz nastavenia Bluetooth modulu BK3266SR do režimu „master“

Rámec			Dĺžka	CMD	Data0+..DataN	CRC	Rámec		
0x52	0x42	0x23	0x04	0x01	0x01	0x06	0x23	0x42	0x52

Každý príkaz je ohraničený rámcom na začiatku aj na konci, ktorý pozostáva z troch hexadecimálnych čísel 52, 42 a 23. Telo príkazu tvoria štyri parametre. Prvým je dĺžka, ktoré odpovedá počtu znakov v tele príkazu. Ten sa môže pohybovať od 4 znakov, kedy všetky štyri parametre pozostávajú z jedného znaku, až po 20 znakov. Keďže parametre dĺžka, CMD a CRC pozostávajú vždy iba z jedného znaku, dĺžka príkazu závisí od parametru Data, ktorý môže nadobúdať maximálne 17 znakov a to v prípade zmeny mena zariadenia. Meno zariadenia môže podľa dokumentácie k modulu [26] pozostávať maximálne zo 16-tich znakov. Parametre CMD a Data bližšie špecifikujú funkciu konkrétneho príkazu. Parameter CRC je použitý ako kontrola správneho odosielania dát a je počítaný podľa vzťahu

$$\text{CRC} = (\text{Dĺžka} + \text{CMD} + \text{Data}) \& 0xFF. \quad (2.1)$$

3. NÁVRH HARDVÉRU

Táto časť je zameraná na vyhodnotenie teoretických poznatkov a výber vhodnej technológie pre danú aplikáciu. Najdôležitejšou časťou je ale popis funkčnosti celého zariadenia a následne podrobnejší popis funkčnosti jednotlivých častí zariadenia. Taktiež je opísaný podrobnejší návrh hardvéra oboch častí zariadenia.

3.1 Výber vhodnej technológie

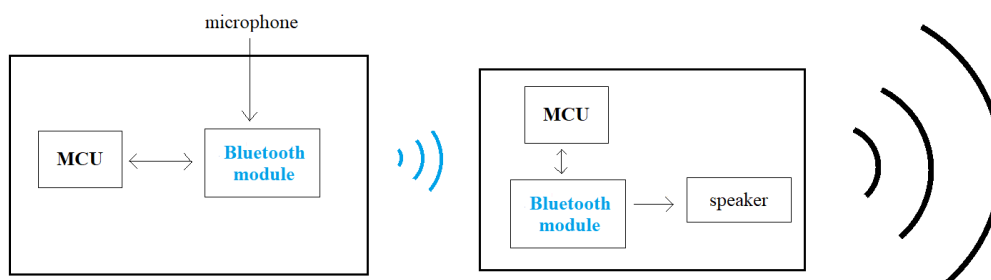
Pri výbere vhodnej technológie bol v prvom rade zohľadnený výber vhodného prenosového pásma. Porovnaním dostupných možností je pre túto aplikáciu jednoznačne výhodné použitie ISM pásma, ktoré nie je spoplatnené a zároveň sa nie je nutné báť prípadných budúcich obmedzení v spojení s legislatívnymi zmenami. Pri výbere vhodnej konkrétnej nosnej frekvencie je potom zrejmé, že frekvencie VHF sú vhodnejšie na prenos na veľké vzdialenosti, majú veľký dosah, čo môže byť v tejto aplikácii problémom spojeným s rušením pásma. Taktiež si vyžadujú neprakticky veľkú anténu. Pri použití veľmi vysokých gigahertzových frekvencií by zas prenos nemusel mať dostačujúci dosah, alebo by bol potrebný veľmi vysoký výkon.

Ďalším aspektom je forma prenosu. Porovnaním analógového a digitálneho prenosu môžeme vidieť, že výhody digitálneho prenosu sú významné, a to hlavne z hľadiska rušenia, chybovosti či kompaktnosti zariadenia. I keď v niektorých aplikáciách môže byť analógový prenos výhodnejší z hľadiska ceny najmä pri obsadzovaní licenčného pásma, v našej aplikácii rozhodne prevažujú výhody digitálneho prenosu.

Pre danú aplikáciu bola vybraná technológia Bluetooth a to najmä z dôvodu, že je to veľmi rozšírená flexibilná technológia špeciálne určená na prenos s krátkym dosahom. Vďaka tomu, že je táto technológia rozšírená a dostupná, existuje veľké množstvo rôznych modulov vhodných pre rôzne aplikácie, vďaka čomu sa vie maximálne zjednodušiť návrh zariadenia. Taktiež umožňuje prepojenie až 8 zariadení, je cenovo dostupná a je navrhnutá pre aplikácie s nízkou spotrebou energie, tzn. že je vhodná pre batéριοvo napájané zariadenia.

Keďže bude zariadenie fungovať na veslárskych lodiach, je dosah tejto technológie dostačujúci. Keďže sa či už pri tréningoch alebo pri pretekoch môžu nachádzať zároveň viacero komunikačných zariadení, je veľmi výhodné, že má táto technológia už vyriešené prípadné vzájomné rušenie.

Výhodou použitia tejto technológie je tiež nadobudnutie multifunkčnosti zariadenia. Keďže bude pozostávať ako z vysielача tak aj z prijímača, vďaka použitiu štandardu Bluetooth bude možné komponenty párovať nie len medzi sebou, ale aj s inými zariadeniami a používať ich aj pri iných aplikáciách.



Obrázok 3.1 Bloková schéma komunikátoru

Zariadenie slúži na prenos hlasových povelov kormidelníka, prípadne trénera, členom veslárskej lode. Pozostáva z dvoch častí, a to vysielača a prijímača. Keďže je použitá technológia Bluetooth a to konkrétne výkonová trieda 2, podľa špecifikácie by malo zariadenie fungovať v dosahu minimálne 10 metrov, čo je pre túto aplikáciu dostačujúce. Párovanie zariadení je zabezpečené pomocou tlačidla „connect“ a súčiastky DIP SWITCH, ktorá špecifikuje názov prijímača. Vysielač sa spáruje iba so zariadením s názvom „BTcomXXXX“, pričom X vyjadruje číslo 1 alebo 0, čo je nastavené pomocou DIP SWITCHu na prijímacej časti zariadenia. Ak má zariadenie typu prijímač iný názov, vysielač sa od takéhoto zariadenia odpojí.

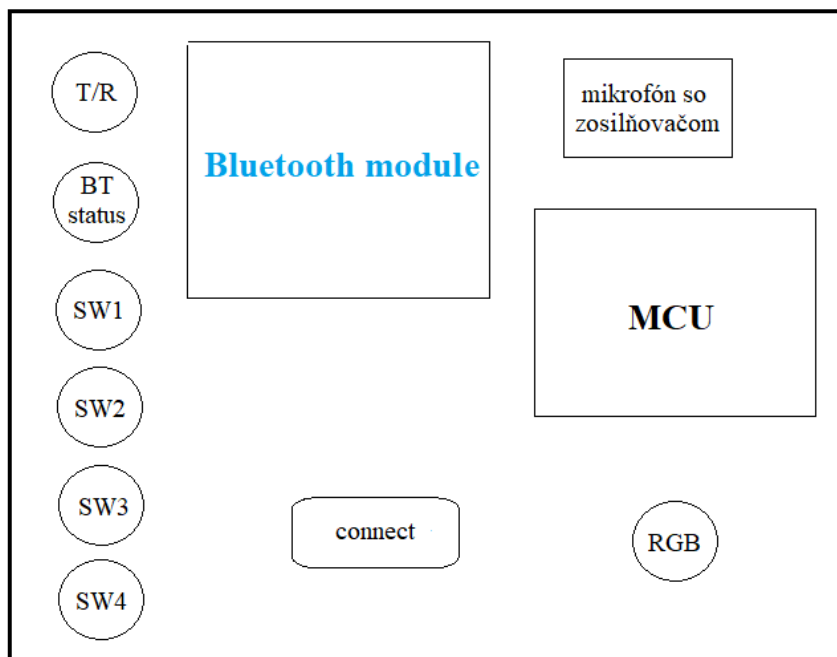
Vysielacia časť je určená pre kormidelníka, prípadne trénera, a je k nej pripojený mikrofón so zesilňovačom ako vstup audio signálu. Prijímacia časť, nachádzajúca sa v zadnej časti lodi, obsahuje reproduktor so zesilňovačom ako výstup audio signálu. Obe časti zariadenia sa do stavu párovania dostanú pomocou tlačidla „connect“. Zvýšiť alebo znížiť hlasitosť je možné pomocou tlačidiel „VOL+“ a „VOL-“, nachádzajúcich sa na prijímacej časti zariadenia.

Zariadenie je napájané sadou troch dobíjateľných batérií s hodnotou napätia 1,2 V. Napájacie napätie je v tomto prípade teda 3,6 V, aj keď maximálne napájacie napätie oboch častí zariadenia je 4,2 V. Minimálne napájacie napätie, pri ktorom oba moduly pracujú správne, je 3,3 V. Obe časti zariadenia obsahujú RGB LED diódu, ktorá signalizuje stav napájacieho napätia. V prípade, že napájacie napätie klesne pod 3,4 V, farba diódy sa zmení zo zelenej na červenú farbu.

3.2 Tranceiver

Časť zariadenia s názvom Tranceiver pozostáva z bluetooth modulu v režime „master“ a mikrokontroléra, ktorý slúži na komunikáciu s modulom a je programovateľný pomocou konektoru ICSP. Pomocou 3-pinového konektoru je k vstupným pinom bluetooth modulu pripojený modul mikrofónu so zesilňovačom. Po zapnutí napájania vysielač čaká na stlačenie tlačidla „connect“, ktoré uvedie zariadenie do režimu párovania. Po jeho stlačení nájde bluetooth modul 6 najbližších zariadení a ukončí hľadanie. Následne začne mikrokontrolér porovnávať jednotlivé mená nájdených

zariadení, ak sa názov zariadenia nezačína znakmi „BTcom“, modul sa od neho odpojí. Zariadenie sa tak pripojí k najbližšiemu zariadeniu, ktorého meno sa začína daným výrazom. Následne mikrokontrolér zistí štvorčíslicie, ktoré sa nachádza za týmto výrazom, a zobrazí ho na LED diódach nachádzajúcich sa na module. Ak je zariadenie spárované, opätovným stlačením tlačidla „connect“ sa zariadenie zase odpojí.

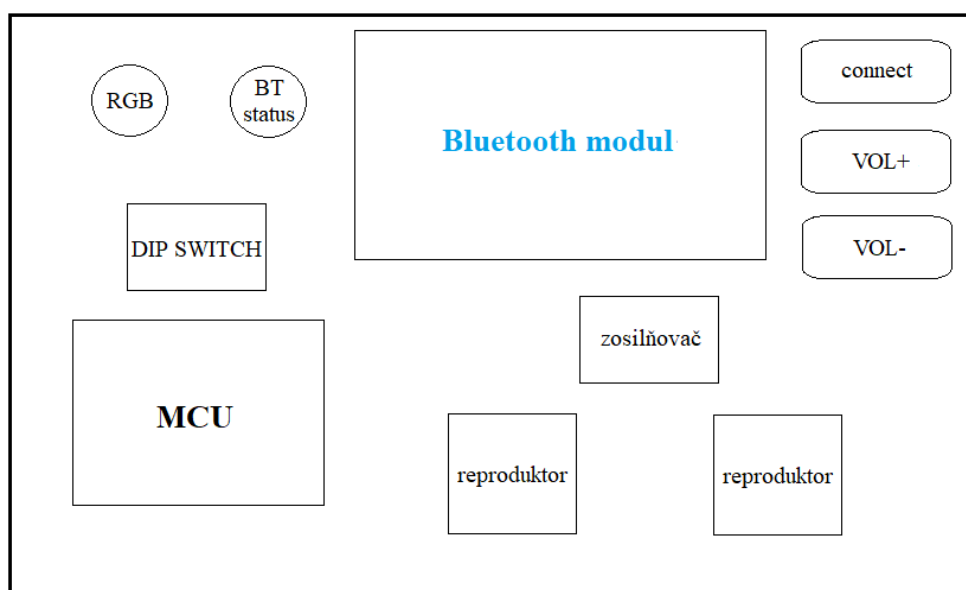


Obrázok 3.1 Bloková schéma vysielacej časti komunikátora

Na zariadení sa nachádzajú 4 modré LED diódy, ktoré špecifikujú názov zariadenia a 2 žlté-zelené LED diódy. Jedna z nich signalizuje, v akom režime sa Bluetooth modul nachádza, konkrétne „master“ alebo „slave“, čiže „tranceiver“ alebo „receiver“. Druhá signalizuje stav zariadenia. Ak dióda svieti, zariadenie je spárované. Ak zhasne, zariadenie sa odpojilo. Ak sa zariadenie práve nepáruje, A/D prevodník každé 4 sekundy meria veľkosť napätia batérie pričom jej stav je zobrazený pomocou RGB LED diódy.

3.3 Receiver

Časť zariadenia s názvom Receiver pozostáva taktiež z bluetooth modulu a mikrokontroléru, pri zapnutí napájania je však bluetooth modul uvedený z režimu „master“ do režimu „slave“. Na zariadení sa nachádzajú tri tlačidlá. Prvé z nich je „connect“ a slúži k pripájaniu a odpájaniu zariadenia k iným bluetooth zariadeniam. Tlačidlá „VOL+“ a „VOL-“ slúžia na reguláciu hlasitosti a prepínač typu DIP SWITCH na zmenu názvu vysvetlenú v kapitole 3.1.



Obrázok 3.1 Bloková schéma prijímacej časti komunikátora

Tak ako časť zariadenia Tranceiver, aj na tomto module sa nachádzajú LED diódy signalizujúce režim bluetooth modulu, spárovanie sa so zariadením a stav batérie. Zosilňovač slúži na zosilnenie audio signálu prijatého Bluetooth modulom na dostatočne silný signál pre vysielanie pomocou reproduktorov.

3.4 Mikrokontrolér

Mikrokontrolér zabezpečuje v oboch častiach zariadenia hlavne komunikáciu s bluetooth modulom pri párovaní zariadení, k čomu potrebuje rozhranie UART. Je tiež potrebné, aby mikrokontrolér obsahoval ADC prevodník a vnútorné referenčné napätie, pomocou ktorých bude detekovať stav napájacieho napätia. Keďže komunikácia s vonkajším prostredím je zabezpečená hlavne prostredníctvom mikrokontroléra, je potrebné aby obsahoval potrebné množstvo pinov. Keďže sa jedná o batéριοvo napájané zariadenie, je vhodné vybrať mikrokontrolér s čo najnižšou spotrebou.

Je zrejmé, že na mikrokontrolér sú kladené minimálne nároky, preto bol s ohľadom na čo najnižšiu cenu zariadenia zvolený dostupný 8-bitový mikrokontrolér PIC16F12544 od spoločnosti Microchip, ktorý obsahuje všetky potrebné periférie a má dostatočný počet pinov. Jeho základné vlastnosti sú zobrazené v tabuľke č. 3.1.

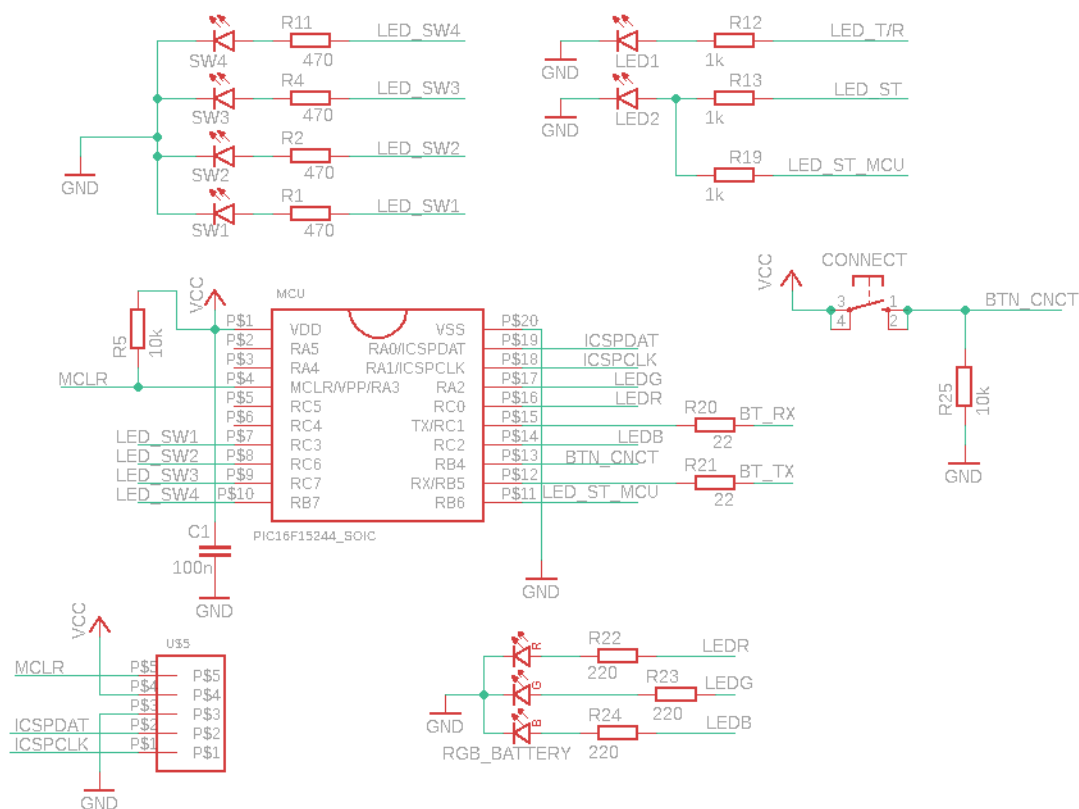
Tabuľka 2.2 Vlastnosti Bluetooth modulu BK3266SR

Napájacie napätie	1,8 - 5,5V
ADC prevodník	10-bit, pracuje v „Sleep mode“
Spotreba	48 μ A (32 kHz, 3V)
Spotreba v "Sleep mode"	< 900 nA (zapnutý Watchdog, 3V)

Počet pinov	20
Komunikačné moduly	EUSART, MSSP
Fixne referenčné napätie	1.024V, 2.048V alebo 4.096V
Programovacia pamäť	7 KB
SRAM	512 b

3.5 Riadiaca a zobrazovacia časť

Na obrázku 3.4 sa nachádza schéma zapojenia mikrokontroléra, tlačidla a LED diód vysielačnej časti Tranceiver. Tlačidlo je zapojené ako pull-down, preto je k obmedzeniu prúdu k tlačidlu pripojený odpor R25. Zatiaľ čo diódy, špecifikujúce názov zariadenia a RGB dióda, signalizujúca stav batérie, sú pripojené k mikrokontroléru, diódy signalizujúce režim bluetooth modulu a stav pripojenia sú ovládané bluetooth modulom.



Obrázok 3.4 Zapojenie mikrokontroléru, vstupov a výstupov časti Tranceiver

Každá LED dióda je zapojená spolu s predradným rezistorom, ktorého hodnota je daná vzťahom

$$R_{LED} = \frac{U_{DD} - U_{LED}}{I_{LED}} \quad (3.1)$$

Keďže rozdielne diódy majú rozdielnú ampér-voltovú charakteristiku, predradný rezistor pre modrú diódu [43] je ďalej dopočítaný podľa vzťahu

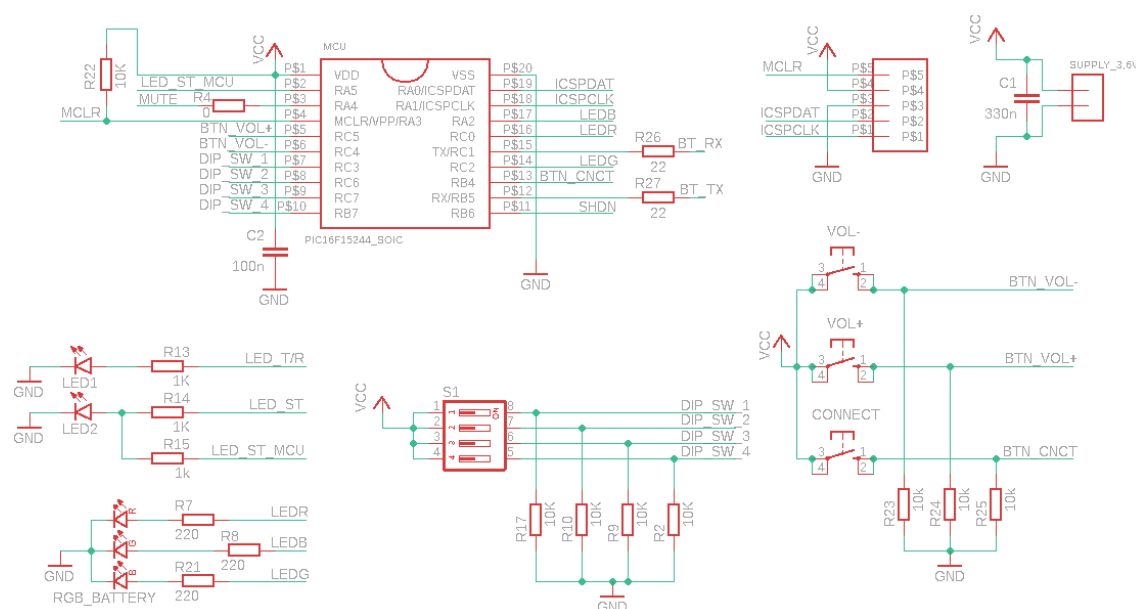
$$R_M = \frac{3,6 - 2,7}{2 * 10^{-3}} = 450 \Omega \approx 470 \Omega \quad (3.2)$$

a pre žltozelenú diódu [44] je dopočítaný podľa vzťahu

$$R_{\check{z}} = \frac{3,6-1,7}{2*10^{-3}} = 950 \Omega \approx 1 k\Omega. \quad (3.3)$$

Použitá RGB dióda má podľa ampér-voltovej charakteristiky [45] rovnaký úbytok napätia pre všetky tri diódy vo vnútri a to 2,6 V pri prúde 5mA. Predradný rezistor k tejto dióde je dopočítaný podľa vzťahu

$$R_{RGB} = \frac{3,6 - 2,6}{5 * 10^{-3}} = 200 \Omega \approx 220 \Omega. \quad (3.4)$$

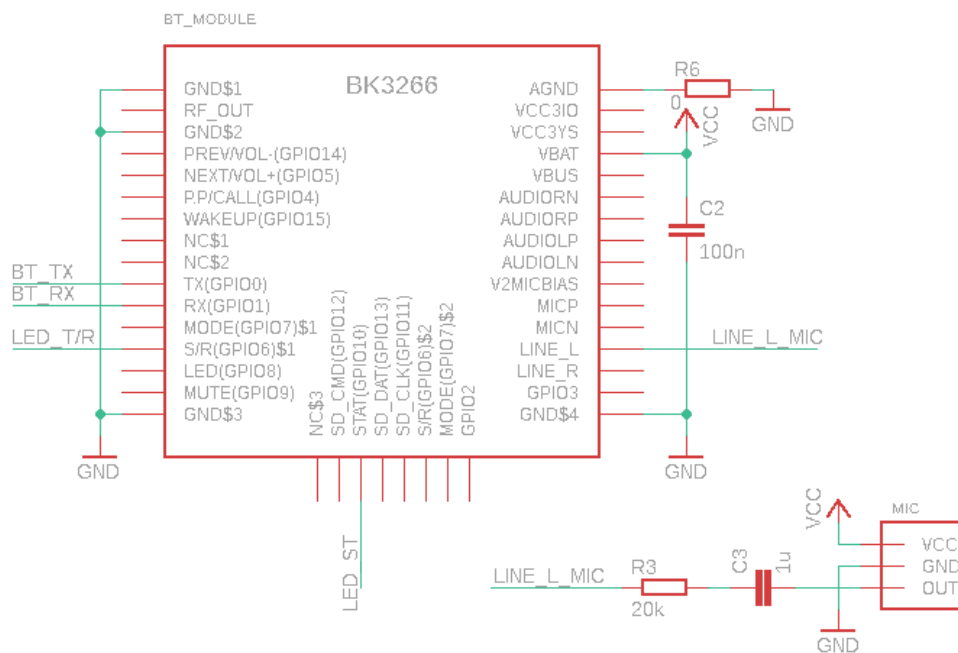


Obrázok 3.4 Zapojenie konektoru pre pripojenie mikrofónu do časti Tranceiver

3.6 Zapojenie audio vstupu a výstupu

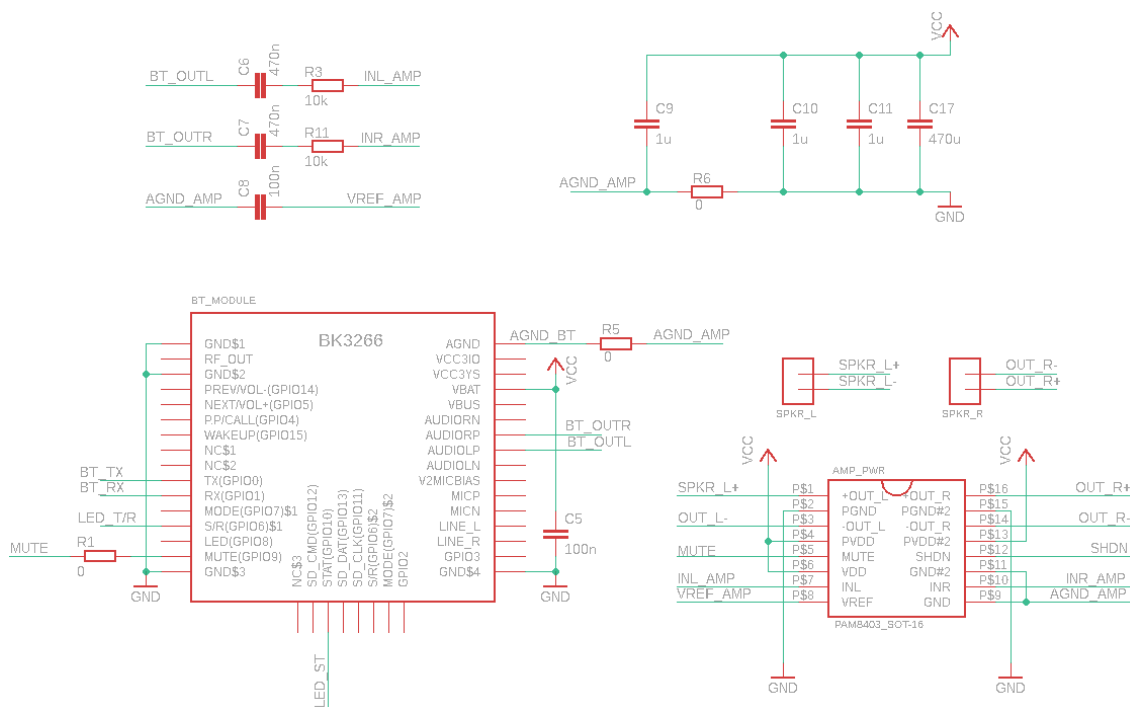
Zariadenie je navrhnuté tak, že reproduktory sú pripojené časti Receiver a mikrofón je pripojený k časti Tranceiver. Firmware bluetooth modulu nedovoľuje v móde „master“ pracovať s pinmi umožňujúcimi pripojiť k modulu priamo mikrofón, preto je mikrofón pripojený k pinom určeným pre vstupný linkový signál. Keďže výstup z mikrofónu nie je dostatočne silný, bol vybraný mikrofón s predzosilňovačom, konkrétne modul GY 4466 s mikrofónom a zosilňovačom MAX4466, ktorý je pripojený k zariadeniu pomocou 3-pinového konektoru ako je vidno na obrázku č. 4.4. Modul používa

elektretový kondenzátorový mikrofón a umožňuje nastaviť zosilnenie pomocou trimra. Zosilnenie je tak nastavené na strednú hodnotu približne 1V, aby bola sila signálu kompatibilná s linkovým signálom. Modul s mikrofónom je pripojený k ľavému vstupnému audio kanálu. Audio signál je vedený z mikrofónu do bluetooth modulu cez RC filter podľa doporučeného zapojenia výrobcu. [schema]



Obrázok 3.4 Zapojenie konektoru pre pripojenie mikrofónu do časti Tranceiver

Časť zariadenia s názvom Receiver spracováva výstupný audio signál. Na zosilnenie výstupného signálu je zvolený výkonový stereo zosilňovač PAM8403 s výkonom 3W a maximálnym zosilnením 24 dB, pripojený k výstupným pinom bluetooth modulu. K zosilňovaču sú pomocou dvoch 2-pinových konektorov pripojené reproduktory s príkonom 3W, impedanciou 4 Ω a citivosťou 100dB/W. Zapojenie výstupu audio signálu je zobrazené na obrázku č. 4.5. Výhodou zosilňovača je, že umožňuje priame pripojenie reproduktorov bez nutnosti prídania dolnopriepustných filtrov a má tiež zabudovanú ochranu proti skratu. [datasheet]



Obrázok 3.4 Zapojenie výstupného audio signálu do časti Receiver

Zosilňovač disponuje pinom s funkciou „shutdown“, ktorá vypne zosilňovač bez nutnosti odpojenia celého zariadenia od napájania, a pinom s funkciou „mute“, ktorá ho stíši. Obe tieto piny sú pripojené k mikrokontroléru a sú aktívne pri nastavení hradla do logickej 0. Zosilňovač je zapojený podľa doporučeného zapojenia výrobcu. Kondenzátory C6 a C7 slúžia ako väzobné kondenzátory a spolu s odpormi R3 a R11 tvoria RC filter. Rezistor R6 slúži na oddelenie analógovej a napájacej zeme.

4. NÁVRH SOFTVÉRU

Pre návrh softvéru bolo použité vývojové prostredie MPLAB X IDE verzia 5.40 od spoločnosti Microchip a program je vytvorený v jazyku C. Na preklad programu do strojového kódu bol použitý prekladač XC8 verzia 2.30 a na naprogramovanie mikroprocesora bol použitý programátor MPLAB Snap.

4.1 Komunikácia bluetooth modulu s mikrokontrolérom

Komunikácia mikrokontroléru s bluetooth modulom prebieha prostredníctvom príkazov, ktorých štruktúra je popísaná v kapitole č. 2.6. V tabuľke č. 4.1 je zhrnutý zoznam všetkých príkazov použitých pri vývoji softvéru zariadenia. Príkazy sú posielané pomocou zbernice UART s prenosovou rýchlosťou 9600 bitov za sekundu po ôsmich bitoch bez parity. Po ôsmom bite nasleduje stop bit. Znaky sú v hexadecimálnom formáte.

Tabuľka 4.1 Príkazy pre komunikáciu mikrokontroléra s bluetooth modulom použité pri vývoji softvéru zariadení

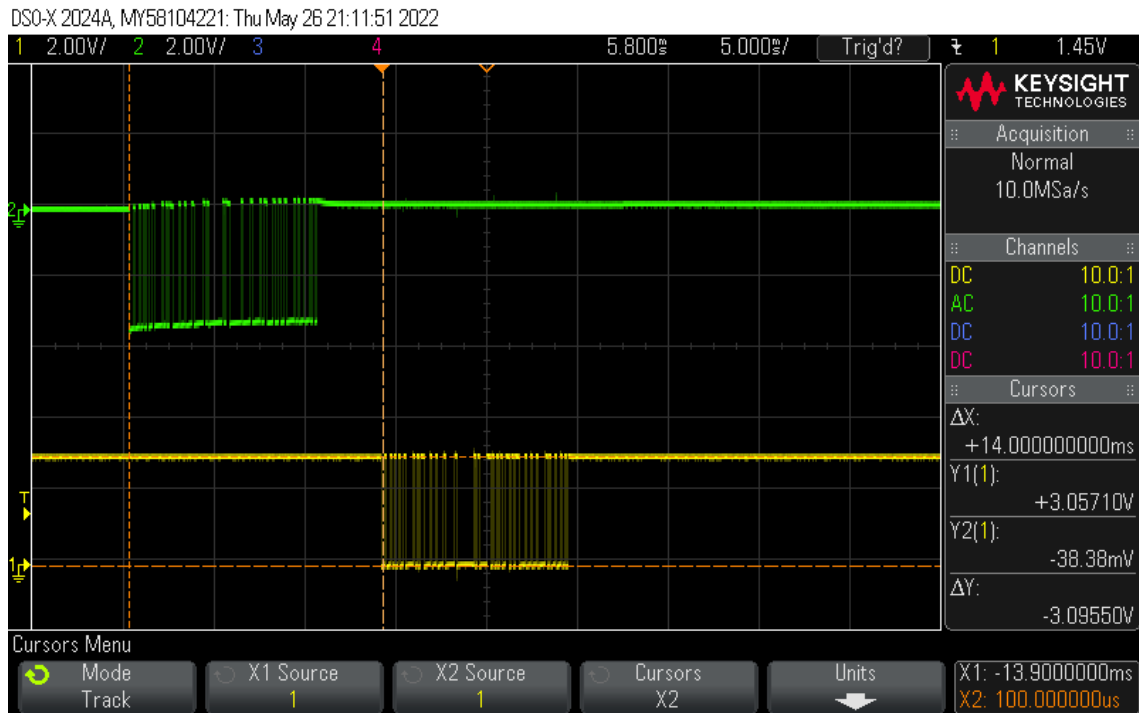
CMD	Data0+..DataN	Funkcia
1	1	EnterPairingMode
01	25	EnterReceiveMode
01	03	Disconnect
01	29 42 54 63 6F 6D 30 30 30 30	Premenovanie zariadenia na BTcom0000
01	1D	Reset
01	08	VOL+
01	09	VOL-
01	15	otazka ci acl je linked

Keďže dokumentácia k bluetooth modulom neposkytovala dostatočne podrobné informácie, bola potreba ich zistiť testovaním. K tomu boli použité 2 vývojové moduly pozostávajúce z bluetooth modulu BK3266SR s TTL logikou a program Hercules SETUP Utility od spoločnosti HW-group. Moduli boli k počítaču pripojené pomocou TTL/USB prevodníku. Takto bola zisťovaná odozva modulu na jednotlivé príkazy. V tabuľke č. 4.2 je príklad zisťovania odpovede po poslaní príkazu *EnterPairingMode*, následne po odoslaní príkazu *EnterReceiveMode*, v prípade, že sa zariadenie nachádza v inom móde a následne znovu odoslanie príkazu *EnterReceiveMode*, keď sa zariadenie v danom móde už nachádzalo.

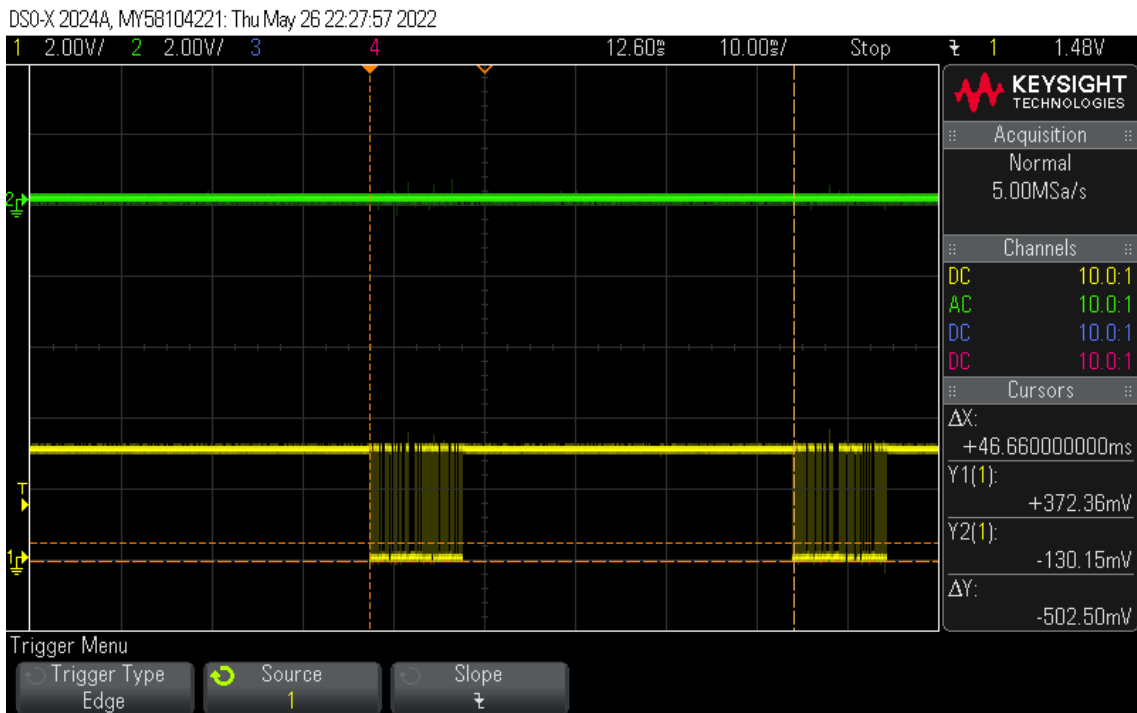
Tabuľka 4.2 Testovanie odpovede bluetooth modulu na jednotlivé príkazy

CMD	DATA	CRC	Funkcia
Po zapnutí je zariadenie v režime „master“			
01	01	06	EnterPairingMode
00	61	65	answer Ok
01	25	2A	EnterReceiveMode
00	61	65	answer OK
01	64	69	boot up - spustil sa
01	76	7B	Režim „slave“
01	25	2A	EnterReceiveMode
01	76	7B	Režim „slave“
Modul bliká => modul je v režime párovania			

Taktiež bol pomocou osciloskopu meraný čas od začiatku vysielania príkazu zbernicou po začiatok prijímania odpovede z bluetooth modulu, čo je možné vidieť na obrázku č. 4.1 a interval príchodu odpovede formou viacerých príkazov, čo je zobrazené na obrázku č. 4.2.



Obrázok 4.1 Meranie doby medzi odoslaním a príjmom príkazu



Obrázok 4.2 Meranie času medzi dvoma prichádzajúcimi príkazmi za sebou

4.2 Meranie stavu batérie

Napájacie napätie oboch častí zariadenia ohraňuje bluetooth modul, ktorý má napájacie napätie 3,3 – 4,2 V. Jedna plne nabitá 1,2V batéria NiMH má podľa dokumentácie [33] približne 1,4V a funguje, až kým nedosiahne 1V. Keďže sú použité 3 takéto batérie, maximálne napájacie napätie dosahuje 4,2 V, čo spĺňa hranicu maxima, ktorá je daná Bluetooth modulom. Minimálne napájacie napätie je dané taktiež bluetooth modulom a to konkrétne 3,3 V. Táto podmienka je taktiež splnená. Napájacie napätie je teda v rozmedzí 3,3 – 4,2 V, na základe čoho je zvolená signalizácia pomocou RGB diódy. Ak napätie klesne pod 3,4 V, svetlo sa zmení zo zelenej na červenú farbu.

Na meranie stavu batérie je použitý A/D prevodník, vnútorná napäťová referencia a časovač mikrokontroléra PIC16F15244. Keďže aplikácia nevyžaduje presný časovač, je použitý časovač číslo 1, ktorý je pri zapnutí zariadenia inicializovaný a spustený. Od tohto momentu vyvolá časovač prerušenie každé dve sekundy a nastaví príznak, ktorý v hlavnom programe povolí spustenie merania A/D prevodníka. Ako kladná napäťová referencia A/D prevodníku je zvolené napájacie napätie a ako vstup je zvolená vnútorná napäťová referencia s hodnotou 1,024 V. Keďže ide o 10-bitový A/D prevodník, napájacie napätie je následne vypočítané podľa vzťahu

$$V_{bat_{mv}} = \frac{\left[\left(\frac{15 * 2^{10}}{ADCrslt} \right) * FVR_{mv} \right]}{15} = \frac{\left[\left(\frac{15 * 2^{10}}{ADCrslt} \right) * 1024 \right]}{15}, \quad (4.1)$$

kde $ADCrslt$ predstavuje výsledok nameraný A/D prevodníkom a FVR_{mv} je zvolená hodnota vnútornej napät'ovej referencie v milivoltoch.

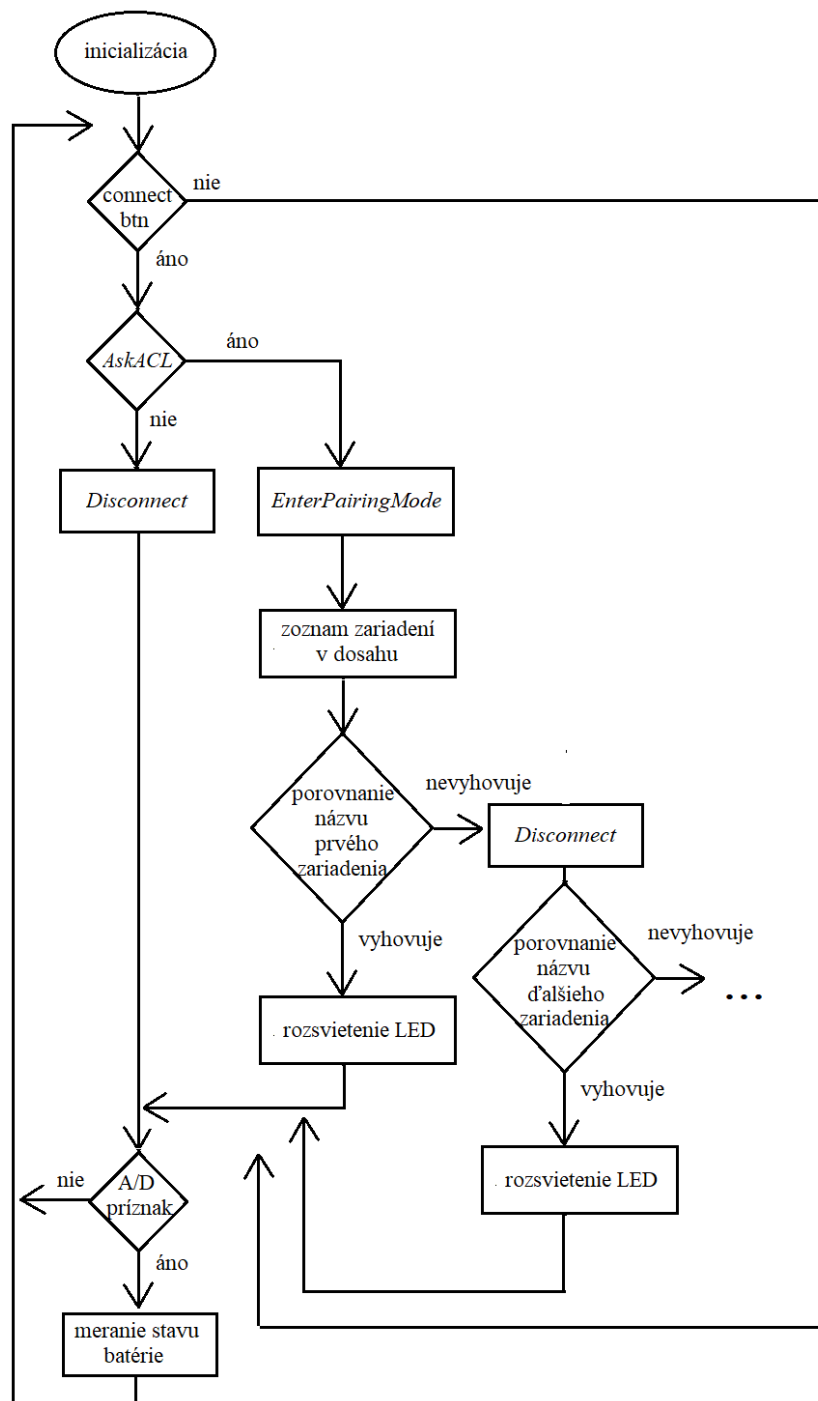
Z dôvodu obsadenia čo najmensej veľkosti pamäte a použitia premennej typu *int* s veľkosťou 2 bytov, namiesto premennej typu *float* s veľkosťou 4 bytov, je výsledok merania počítaný v milivoltoch a tiež je najprv násobený a následne delený číslom 15. Maximálna chyba merania hladiny napätia sa tak zníži 15krát z 0,99 V na približne 66 mV. Maximálna chyba spôsobená orezaním čísla desatinou čiarkou je vypočítaná podľa vzťahu

$$V_{bat_{chyba}} = \frac{0,99 * 1024}{15} = 66 \text{ mV} \quad (4.2)$$

Hodnota 15 je zvolená z dôvodu, že maximálne napájacie napätie je 4,2 V, čo pri 10bitovom A/D prevodníku a napät'ovej referencií 1,024 V odpovedá hodnote meranej A/D prevodníkom 249. Maximálna hodnota, ktorú nadobudne premenná je tak 62 464 a maximálna hodnota, ktorú môže nadobudnúť premenná typu *unsigned int* je 65 535. Je to tak ideálny kompromis medzi chybou merania a využitím pamäte registrov.

4.3 Softvér časti Tranceiver

Po pripojení zariadenia k napájaciemu napätiu prebehne inicializácia vstupných a výstupných pinov mikrokontroléra, premapovanie UART pinov TX a RX a samotná inicializácia UART modulu. Následne je inicializovaný TIMER0 ako pomocný časovač pri komunikácii pomocou UART. Ďalej je nastavená vnútorná napät'ová referencia, A/D prevodník a TIMER1. Na konci je povolené prerušenie pre UART a tiež pre časovač TIMER1, ktorý spúšťa meranie stavu batérie. Na obrázku č. 4.2 je zobrazený priebeh hlavného programu.



Obrázok 4.4 Pribeh hlavnej časti programu časti Tranceiver

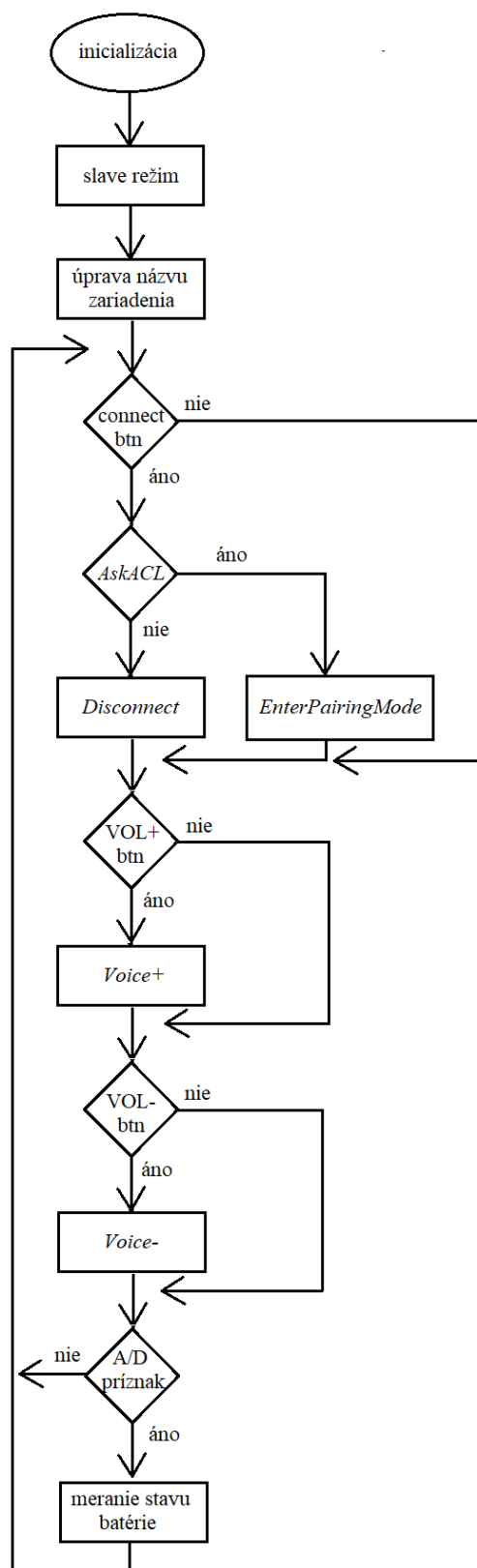
Po vykonaní inicializácie mikrokontroléru je bluetooth modul uvedený do pôvodných továrenských nastavení pomocou príkazu *Reset* a *ClearPairingList*. Nasleduje nekonečná slučka, v ktorej je testovaný príznak na stlačenie tlačidla. Ak je tlačidlo „connect“ stlačené, vykoná sa softvérové riešenie zákmitov a mikrokontrolér pošle bluetooth modulu otázku, či je zariadenie spárované alebo nie. K tomu je použitý

príkaz *AskACL*. Ak bluetooth modul odpovie, že je spárovaný s iným zariadením, mikrokontrolér odpovie príkazom *Disconnect* a zariadenia odpojí. Ak zariadenie nie je spárované s iným zariadením, začne vyhľadávanie dostupných zariadení a párovanie spôsobom, aký je popísaný v kapitole číslo 3.1.

Ak sa práve nedeje proces párovania, testuje sa tiež príznak povolujúci spustenie merania A/D prevodníku, po ktorom nasleduje výpočet stavu batérie a jeho zobrazenie pomocou RGB LED diódy.

4.4 Softvér časti Receiver

Po zapnutí napájania prebehne inicializácia zariadenia rovnakým spôsobom, aký je popísaný v kapitole 4.3. Priebeh hlavného programu je zobrazený na obrázku č. 4.2.



Obrázok 4.4 Pribeh hlavnej časti programu modulu Receiver

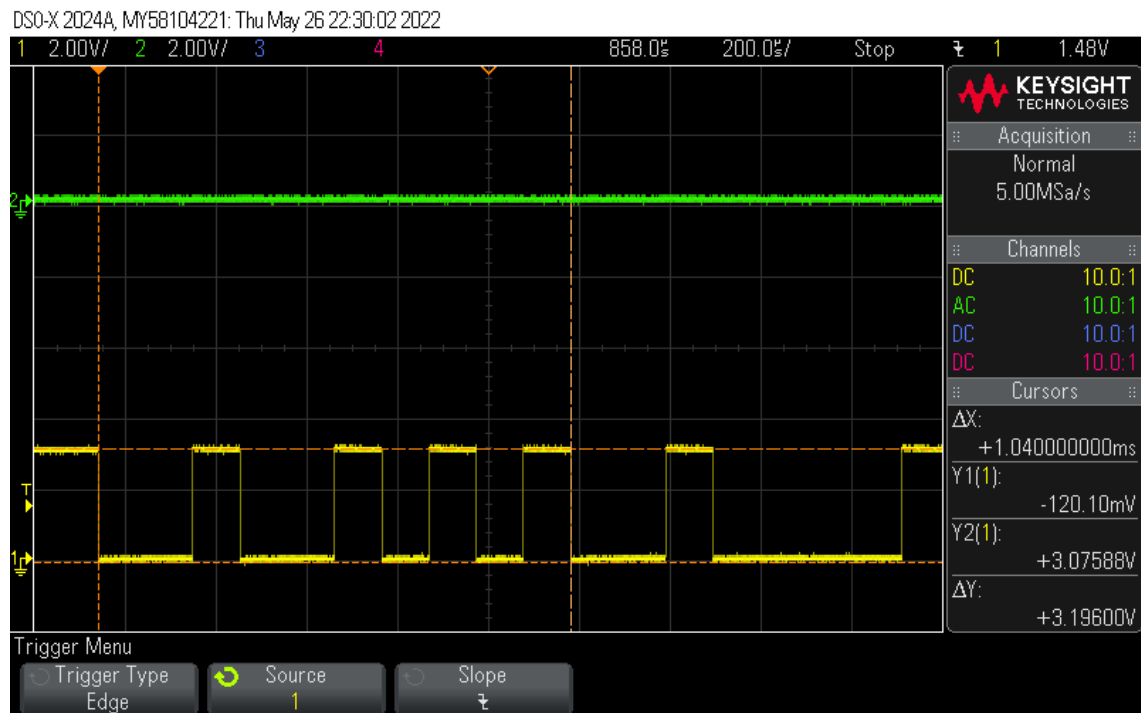
Po inicializácií mikrokontroléra a bluetooth modulu je modul prepnutý to režimu „slave“ pomocou príkazu *EnterReceiveMode*. Následne je zistený stav prepínača DIP SWITCH a zmenené meno zariadenia. Po tejto zmene sa program dostáva do nekonečnej slučky, v ktorej je najprv testovaný stav tlačidla „connect“. Ak je tlačidlo stlačené, nasleduje otázka na stav pripojenia zariadenia pomocou príkazu *AskACL*. V prípade, že bolo zariadenie pripojené, odpojí sa. Ak bolo zariadenie nepripojené, mikrokontrolér pošle bluetooth modulu príkaz uvedenia modulu do režimu párovania sa. V tomto prípade je Receiver pripravený sa párovať. K úspešnému párovaniu je teda potrebné jeho vyhľadanie zariadením typu „master“ .

V prípade, že nie je stlačené tlačidlo „connect“, je testované stlačenie tlačidla pre zmenu hlasitosti zariadenia. V prípade stlačenie príslušného tlačidla je hlasitosť menená pomocou príkazu *Voice+*, príp. *Voice-*. Ak práve nie je riešené stlačenie niektorého z tlačidiel, rovnako ako u časti Tranceiver prebieha sledovanie stavu batérie pomocou A/D prevodníka, vnútornej napät'ovej referencie a časovača TIMER1.

5. REALIZÁCIA A TESTOVANIE ZARIADENIA

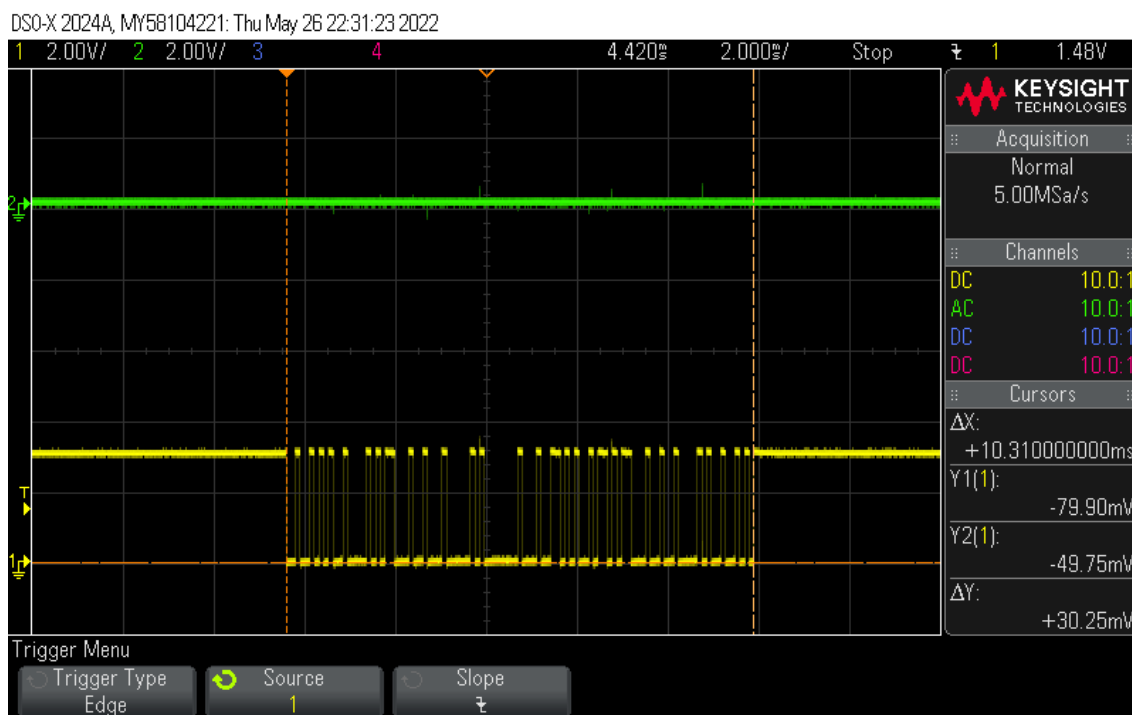
Zariadenie pozostáva z dvoch častí a pre každú časť bola vyrobená samostatná doska plošných spojov. Dosky boli navrhnuté v programe EAGLE vo verzii 9.6.2 od spoločnosti AUTODESK a vyrobené spoločnosťou Gatema Holding s.r.o. Všetky rezistory a kondenzátory sú veľkosti 0603. Materiál dosiek je FR4 a jeho hrúbka je 1,5mm. Hrúbka medi je 18 μm a povrchová úprava bezolovnatý HAL. Rozmer DPS vysielačnej časti je 40,8 mm x 42,4 mm a rozmer DPS prijímacej časti je 51,2 mm x 42 mm.

Správnosť komunikácie medzi Bluetooth modulom a mikroprocesorom bola otestovaná pomocou osciloskopu. Výsledok je možné vidieť na obrázku číslo 5.1 a 5.2. Na obrázku 5.1 je zmeraný čas posielania jedného bytu spolu so start a stop bitom, ktorý odpovedá hodnote 1,04 ms, čo súhlasí s teoretickou prenosovou rýchlosťou 9600 baud, nachádzajúcou sa v dokumentácii k Bluetooth modulu.



Obrázok 5.1 Čas posielania jedného bytu prostredníctvom rozhrania UART

Na obrázku číslo 5.2 je odmeraný čas posielania celého príkazu s veľkosťou 10 bitov, ktorý odpovedá 10,31ms. Meraný čas je teda o 0,09 ms menej ako teoretická hodnota.



Obrázok 5.2 Čas posielania príkazu *EnterReceiveMode* prostredníctvom rozhrania UART

Dosah zariadenia bol testovaný vonku v obytnej časti mesta medzi budovami pri priamej viditeľnosti oboch zariadení. Zariadenia boli napájané sadou plne nabitých batérií NiMH, každou s hodnotou 1,2V a jednotlivé časti zariadenia boli od seba vzdialené 10 metrov. Výsledok testu je, že zariadenia sú za týchto špecifikovaných podmienok schopné sa spárovať a fungovať.

6. ZÁVER

Cieľom práce bolo navrhnuť a zrealizovať zariadenie pre bezdrôtový prenos zvuku.

Na začiatku sa práca zameriava na možnosti prenosu signálu pomocou rádiových vln a jeho reguláciou spojenou so stále sa zvyšujúcim využívaním týchto frekvenčných pásiem na prenos informácií. Ďalej sú predstavené technológie umožňujúce tento prenos na krátke vzdialenosti, z ktorých je vybraná technológia Bluetooth ako vhodná technológia pre návrh komunikátora pre lodné športy. Technológia Bluetooth je v práci opísaná podrobne, hlavne spôsob jej implementácie a spôsob komunikácie Bluetooth zariadení medzi sebou. Taktiež je opísaný zvolený Bluetooth modul s názvom BK3266SR, jeho vlastností a spôsob komunikácie s okolím. Pri návrhu zariadenia sú najprv opísané funkcie celého zariadenia a následne podrobnejšie fungovanie jednotlivých častí zariadenia. Pre riadenie vstupných a výstupných periférií zariadenia a zároveň ovplyvňovanie procesu párovania bol zvolený mikrokontrolér PIC16F15244, ktorý má nízku spotrebu vhodnú pre batéριοvo napájané zariadenie, a taktiež disponuje zbernicou UART, vhodnou pre komunikáciu Bluetooth modulu s mikrokontrolérom. Taktiež je využitá vnútorná napäťová referencia mikrokontroléra, a to na meranie stavu batérie. Navrhnutý softvér oboch častí zariadenia je vysvetlený v kapitole číslo 4. Na konci je zrealizované zariadenie otestované, čím je potvrdená funkčnosť zariadenia pri priamej viditeľnosti, vo vzdialenosti jednotlivých častí zariadenia 10 metrov od seba.

Návrh zariadenia výrazne skomplikoval nedostatok informácií týkajúcich sa Bluetooth modulu. Keďže bol z hľadiska nízkych nákladov vybraný modul od čínskej spoločnosti Central Asia Electronics, bolo veľmi náročné dostať sa ku všetkým potrebným informáciám fungovania modulu. Z tohto dôvodu bolo nutné testovať komunikáciu s modulom pomocou vývojových modulov a sériového portu programu Hercules SETUP utility, čo výrazne skomplikovalo samotný návrh zariadenia. Zariadenie sa ale podarilo navrhnuť aj zrealizovať, a na záver aj otestovať jeho funkčnosť.

Zariadenie je navrhnuté ako testovací prototyp. V ďalšom pokračovaní riešenia tejto problematiky je vhodné sa zamerať na ďalšie testovanie tohto zariadenia, ako napríklad meranie spotreby jednotlivých častí zariadenia v jednotlivých režimoch a prípadný výpočet doby fungovania zariadenia na vode. Ďalej je vhodné vykonať podrobný test merania dosahu zariadenia v podmienkach podobných podmienkam pri veslovaní a prípadný efekt možných prekážok na silu signálu. Po dostatočnom otestovaní funkčnosti zariadenia je potreba navrhnuť výsledný dizajn zariadenia spolu s vodotesným puzdrom, umožňujúcim používanie zariadenia na vode.

LITERATURA

- [1] MANNING, Catherine. What are radio waves?. *NASA Web* [online]. National Aeronautics and Space Administration NASA Official: Brian Dunbar, 2018, 2021 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/what_are_radio_waves
- [2] Jaké frekvence lze spolehlivě používat v Česku pro bezdrátové mikrofony a odposlechy?. *vseprozvuk.cz* [online]. Frýdek-Místek: Tomáš Skok, 2016, 2020 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://vseprozvuk.cz/jake-frekvence-lze-spolehlive-pouzivat-v-cesku-pro-bezdratove-mikrofony-a-odposlechy>
- [3] Pásmo 174 – 223 MHz. *Český telekomunikační úřad* [online]. ČTÚ, 2021 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://spektrum.ctu.cz/kmitocty/174-223-mhz?filter%5BfrequencyFrom%5D=30&filter%5BfrequencyFromUnit%5D=MHz&filter%5BfrequencyTo%5D=300&filter%5BfrequencyToUnit%5D=MHz&filter%5BapplicationIds%5D%5B0%5D=139>
- [4] The Differences Between UHF And VHF Radio Frequencies. *highland wireless* [online]. Highland Wireless: In-Building DAS Solutions, 2015 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.highlandwireless.com/the-differences-between-uhf-and-vhf-radio-frequencies/>
- [5] VHF. *Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica, Inc., 1998, 2017 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/VHF>
- [6] UHF. *Britannica* [online]. Encyclopædia Britannica, Inc., 1998, 2013 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/UHF>
- [7] *Český telekomunikační úřad* [online]. ČTÚ, 2018 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/>
- [8] MIKÉSKA, Ing. Zdeněk. Zásady návrhu bateriově napájených zařízení. *Elektrorevue*. [online]. Brno: International Society for Science and Engineering, o.s., 2004. ISSN 1213-1539 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04003/index.html#Kapitola%202>
- [9] Difference Between Analog and Digital Communication. *Electronics Coach* [online]. Electronics Coach [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://electronicscoach.com/difference-between-analog-and-digital-communication.html>
- [10] HELD, G. *Understanding data communications*. Boston: Addison-Wesley, 2002. ISBN 978-0-672-32216-7.
- [11] About International Telecommunication Union (ITU). *International Telecommunication Union* [online]. ITU, 2021 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx>
- [12] Využívání vymezených rádiových kmitočtů. *Český telekomunikační úřad* [online]. ČTÚ, 2020 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/vyuzivani-vymezenych-radiovyh-kmitoctu>

- [13] Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/12.2019-9. *Český telekomunikační úřad* [online]. ČTÚ, 2019 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vseobecne-opravneni-c.vo-r/10/12.2019-9/obrazky/vo-r10-122019-9.pdf>
- [14] Všeobecné oprávnění č. VO-R/8/08.2005-23. *Český telekomunikační úřad* [online]. ČTÚ, 2005, 2016 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: https://www.ctu.cz/1/download/Opatreni%20obecne%20povahy/VO_R_08_08_2005_23.pdf
- [15] What is meant by ISM applications and how are the related frequencies used?. *International Telecommunication Union* [online]. ITU, 2008 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.itu.int/net/ITU-R/terrestrial/faq/index.html>
- [16] PETERKA, Jiří. Báječný svět počítačových sítí, část V. - Základy datových komunikací. *Archiv článků a přednášek Jiřího Peterky* [online]. © Jiří Peterka, 2005 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/b05/b0700001.php3>
- [17] Aliasing, Anti-aliasing – What is that anyway?. *Dataforth*[®] [online]. Dataforth Corporation. [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.dataforth.com/fr-FR/anti-aliasing.aspx>
- [18] BÍLEK Petr. Digitalizace, kodeky aneb jak to vše funguje. *oTechnice.cz* [online]. 2017 [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://otechnice.cz/digitalizace-kodeky-aneb-jak-to-vse-funguje/>
- [19] REICHL Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Digitalizace analogového signálu. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2011 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1355-digitalizace-analogoveho-signalu>
- [20] MACHOVÁ, Jana RNDr. Digitalizácia zvuku. *Gýmnázium Palva Horova Michalovce* [online]. Michalovce, 2004 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <http://server.gphmi.sk/machova/zvuk/digitalizacia.html>
- [21] ŠEBESTA, Jiří. *Komunikační systémy s adaptivními modulacemi a kódováním*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2012. ISBN 978-80214-4499-7.
- [22] F.H.S.S. Technology? LRP Explains!. *Radio control car racer* [online]. 2009 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <http://www.rcracer.com/2009/11/fhss-technology-lrp-explains/>
- [23] HANNA, Katie Terrell. frequency-hopping spread spectrum (FHSS). *TechTarget Search Networking* [online]. TechTarget, 2021 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/frequency-hopping-spread-spectrum>
- [24] MARCEL, Jason. How Bluetooth Technology Uses Adaptive Frequency Hopping to Overcome Packet Interference. *Bluetooth*[®] [online]. Bluetooth SIG, Inc., 2020 [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/blog/how-bluetooth-technology-uses-adaptive-frequency-hopping-to-overcome-packet-interference/>

- [25] LEVEK, Vladimír a Pavel ŠTEFFAN. Zásady návrhu bateriově napájených zařízení. *Elektrorevue*. Brno: International Society for Science and Engineering, o.s., Říjen 2018, svaz. 20, č. 5. ISSN 1213-1539
- [26] BK3266SR manual[online]. Central Asia Electronics [cit. 2021_12_17]. Dostupné z: https://github.com/tomaskovacik/kicad-library/blob/master/library/datasheet/F-6988_BK3266/Bluetooth.transmitter.and.receiver.integrated.audio.module.BK3266SR.manual.V1.0_HYT.zh-CN.en.pdf
- [27] MPS engineers. Analog Signals vs. Digital Signals. *Monolithic Power Systems, Inc.* [online]. [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://www.monolithicpower.com/en/analog-vs-digital-signal>
- [28] YANG Yu, LIPING Zheng a Zhu JIANJIE. Technology of short-distance wireless communication and its application based on equipment support. *AIP Publishing* [online]. 2018 [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5033799>
- [29] ADHYOKSH Jyoti. Short-range wireless communication technology and its variants. *IoT4beginners* [online]. 2020 [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://iot4beginners.com/short-range-wireless-communication-technology-and-its-variants/>
- [30] Ultra-Wideband (UWB) Here's everything you need to know. *blesk®* [online]. [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://blesk.com/uwb.html>
- [31] Redakce. UWB je bezdrátová technologie budoucnosti. *alza.cz* [online]. 2022 [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/uwb>
- [32] STONE Mark. What is ultra-wideband, and how does it work? *SAMSUNG* [online]. 2021 [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://insights.samsung.com/2021/08/25/what-is-ultra-wideband-and-how-does-it-work-3/>
- [33] Product Specification of 1.2V 2200 mAh NiMH rechargeable battery. *AA Portable Power Corp* [online]. [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: https://www.batteryspace.com/prod-specs/NiMH_AA2200.pdf
- [34] Home of RF and Wireless Vendors and Resources. *RF Wireless World* [online]. [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/GFSK-vs-FSK.html>
- [35] Dhananjayan. BLUETOOTH TECHNOLOGY. *Embien Technologies India Pvt Ltd* [online]. 2016 [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://www.embien.com/blog/bluetooth-technology/>
- [36] ORGOŇ Miloš doc. Ing. PhD. 2. ZÁKLADY PŘENOSU TELEKOMUNIKAČNÝCH SIGNÁLŮV. *ÚMIKT* [online]. [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <http://www.ktl.elf.stuba.sk/~orgon/kap2.pdf>
- [37] JELÍNEK, M. *Systémy s technikou frekvenčního skákání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2008. 65 s., 15 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim

- Pust. [online]. [cit. 2022_06_02]. Dostupné z:
https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=7664
- [38] ABI Reserch. Bluetooth Technology Overview. *Bluetooth*[®] [online]. Bluetooth SIG, Inc., 2020 [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>
- [39] JIMBLOM. Bluetooth Basics. *SparkFun Electronics* ® [online] [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics/how-bluetooth-works>
- [40] [39]
- [41] BUCKELL Fabio. What Are Bluetooth Profiles and What Are They For?. *maketecheasier* © [online] Uqnic Network Pte Ltd., 2018 [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://www.maketecheasier.com/what-are-bluetooth-profiles/>
- [42] FRANKLIN Curt a Chris POLLETTE. How Bluetooth Works. *HowStuffWorks* [online] 2021 [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://electronics.howstuffworks.com/bluetooth.htm>
- [43] DATA SHEET DEVICE NUMBER : ORH-B36G [online] SHENZHEN ORIENT TECHNOLOGY CO. ,LTD. [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/user/related_files/orient-orh-b36g-1.pdf
- [44] DATA SHEET DEVICE NUMBER : ORH-YG36A [online] SHENZHEN ORIENT OPTO-ELECTRONICS CO. ,LTD. [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/user/related_files/orient-orh-yg36a.pdf
- [45] GM electronics, spol, s.r.o. technický list. VIGAN®. *SPECIFICATIONS FOR APPROVAL* [online] [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: <https://www.gmelectronic.com/data/attachments/dsh.960-404.1.pdf>
- [46] BK3266SR transmit and receive serial port protocol V1.0.0. [online]. Central Asia Electronics [cit. 2022_06_02]. Dostupné z: https://github.com/tomaskovacik/kicad-library/blob/master/library/datasheet/F-6988_BK3266/BK3266SR%20transmit%20and%20receive%20serial%20port%20protocol%20V1.0.0.zh-CN.en.xls

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
ITU	International Telecommunication Union
ISM	industrial, scientific and medical
DSSS	Direct-sequence spread spectrum
AFH	adaptive frequency hopping
VHF	Very High frequency
UHF	Ultra High Frequency
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
ČTU	Český telekomunikační úrad
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
SK	Shift Keying
DSB	Double-sideband
SSB	Singl-sideband
QAM	Quadrature amplitude modulation
A/D	analogovo-digitálny
D/A	digitálno-analógový
LED	Light emitting diode