



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra telekomunikační techniky**

## **Bluetooth sluchátko**

bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Studijní obor: Síťové a informační technologie

Vedoucí práce: **Ing. Pavel Bezpalec Ph.D.**

**Martin Novotný**

**Praha 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 půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 23.5.2014

.....

podpis bakalanta

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra telekomunikační techniky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Novotný Martin**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Obor: Síťové a informační technologie

Název tématu: **Bezdrátové telefonní sluchátko**

Pokyny pro vypracování:


Navrhněte a následně realizujte bezdrátové telefonní sluchátko komunikující s telefonem prostřednictvím technologie Bluetooth (BT).

Seznam odborné literatury:

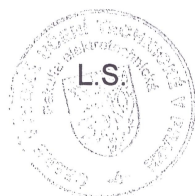
- [1] Muller, N.J.: Bluetooth Demystified. McGraw-Hill Professional, 2000. ISBN 0071363235.
- [2] Gratton D. A.: Bluetooth Profiles: The Definitive Guide. Prentice Hall, 2003. ISBN 0130092215.

Vedoucí: Ing. Pavel Bezpalec, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015



prof. Ing. Boris Šimák, CSc.  
vedoucí katedry



V Praze dne 9. 12. 2013



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan



## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval Ing. Pavlu Bezpalcí PhD. za aktivní přístup a podporu při řešení tohoto projektu.

zadání

**Anotace:** Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a vytvořením prototypu Bluetooth sluchátka ve formě klasického telefonního mikrotelefonu. Pro tyto účely je využito Bluetooth stereo audio modulu XS3868, audio zesilovače, akumulátoru a dalších podpůrných součástí.

**Klíčová slova:** Bluetooth, XS3868, LM386, audio zesilovač, Bluetooth stack, Bluetooth profil, Li-pol, Li-ion, BTM-110, HFP/HSP, A2DP, AVRCP, elektretový mikrofon

**Summary:** This bachelor's project deals with design and creation prototype of Bluetooth earphone styled as classical telephone microtelephone. Bluetooth stereo audio module, audio amplifier, accumulator and other supporting parts are used for this device.

**Index terms:** Bluetooth, XS3868, LM386, audio amplifier, Bluetooth stack, Bluetooth profile, Li-pol, Li-ion, BTM-110, HFP/HSP, A2DP, AVRCP, electret microphone

# Obsah

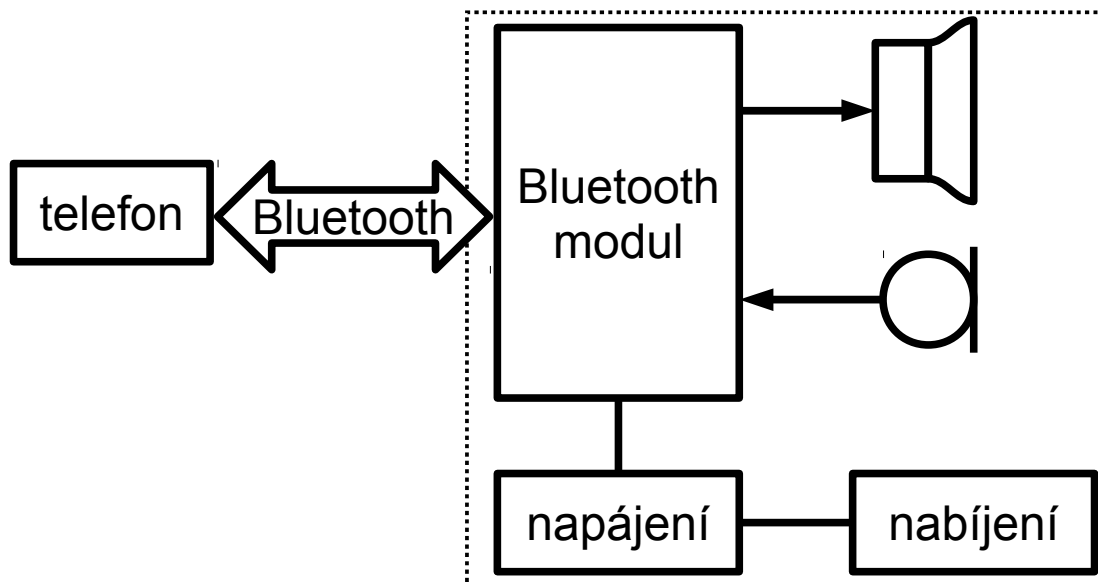
1 Úvod.....	5
2 Bluetooth moduly.....	6
2.1 BTM-110.....	6
2.2 XS3868.....	7
2.3 Shrnutí.....	9
3 Bluetooth.....	10
3.1 Bluetooth stack.....	10
3.1.1 Baseband.....	10
3.1.2 LMP (Link Manager Protocol).....	11
3.1.3 L2CAP (Logical Link Control and Adaptation).....	13
3.1.4 SDP (Service Discovery Protocol).....	14
3.1.5 RFCOMM (Radio Frequency COMMunication).....	14
3.2 Bluetooth profily.....	15
3.2.1 SPP (Serial Port Profile).....	15
3.2.2 HSP (HeadSet Profile).....	15
3.2.3 HFP (HandsFree Profile).....	16
3.2.4 Kodek CVSD (Continuously variable slope delta).....	17
3.2.5 A2DP (Advanced Audio Distribution Profile).....	18
3.2.6 AVRCP (Audio/Video Remote Control Profile).....	19
4 Napájení a nabíjení.....	20
4.1 Li-ion akumulátor.....	20
4.2 Li-pol akumulátor.....	20
4.3 Nabíjení Li-ion/Li-pol akumulátoru.....	20
5 Audio část.....	22
5.1 Výstupní část.....	22
5.1.1 LM-386.....	22
5.1.2 Návrh blokovacích kapacity.....	23
5.2 Vstupní část.....	25
5.2.1 Kondenzátorový mikrofon.....	25
5.2.2 Elektretový mikrofon.....	26
6 Návrh konečného řešení.....	27
6.1 Výpočet předředného odporu LED.....	27



6.2 Návrh napájecí a nabíjecí části.....	29
6.3 Mikrofon.....	29
7 Experimentální ověření.....	30
8 Konstrukční řešení.....	32
9 Závěr.....	34

# 1 Úvod

Projekt Bluetooth sluchátka si klade za cíl návrh a realizaci bezdrátového „handsfree“ ve formě klasického mikrotelefonu. Principiální schéma je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obrázek 1: Obecné schéma

Výsledný výrobek je vyznačen přerušovanou čarou. Jak vidno, je nutné vyřešit několik dílčích podúkolů.

Bluetooth modul tvoří jádro celé aplikace – je bezdrátově spojen s telefonním přístrojem a má za úkol sestavit a udržet toto spojení. Datový tok je multiplexován na vlastní řízení spojení a užitečná data (audio signál, stisky tlačítek, ...). Tento blok má také za úkol audio signál zpracovat (kódovat/dekódovat), převést na analogovou informaci (rozhraní modul-reproduktor), případně analogový signál převést na digitální informaci (rozhraní modul-mikrofon).

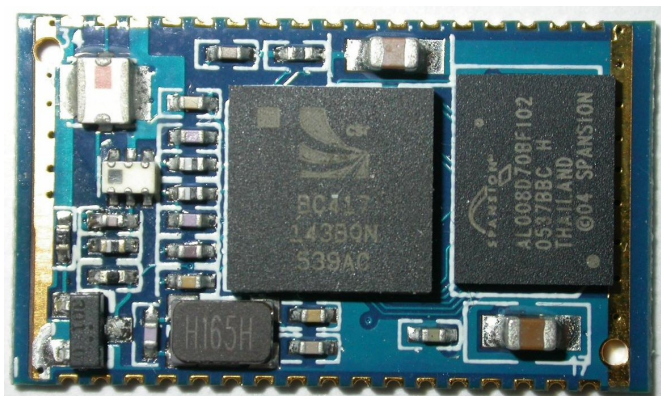
Bloky mikrofonu a reproduktoru jsou elektroakustické měniče, jež mají za úkol reprodukci a sběr analogových dat od uživatele.

Z povahy úkolu je nutné používat přenosný napájecí zdroj – akumulátor. Je nutné zvolit vhodný typ akumulátoru s vhodnou kapacitou. Dále je nutno vyřešit nabíjení tohoto akumulátoru.

## 2 Bluetooth moduly

Bluetooth modul, jak již bylo řečeno, je základní stavebním kamenem. V této kapitole budou popsány dva různé Bluetooth moduly, budou také popsána jejich principiální zapojení a úkoly, které bude nutné dále vyřešit.

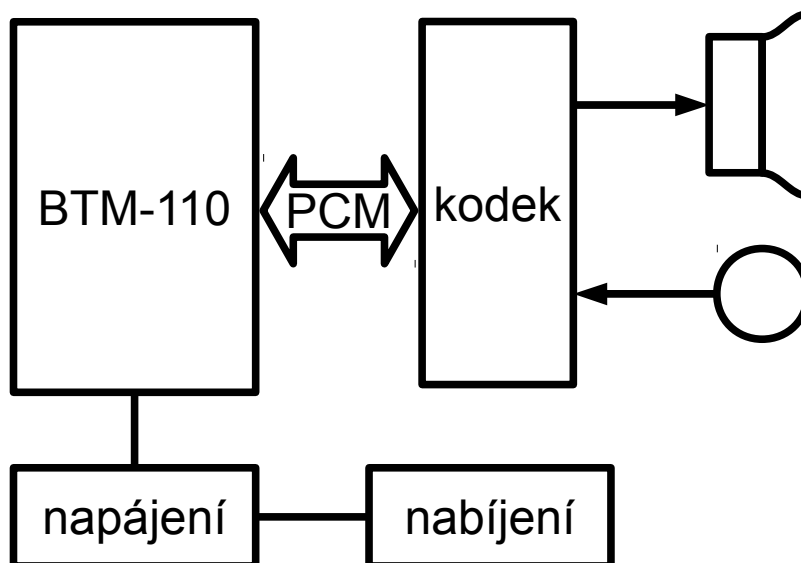
### 2.1 BTM-110



Obrázek 2: BTM-110 [1]

Tento modul v základním nastavení podporuje SPP (*Serial Port Profile*). Je možné přehrát jeho základní firmworem, který podporuje HSP/HFP (*HeadSet Profile/HandsFree Profile*). Tímto aktem je zprovozněna digitální PCM sběrnice, ke které je možno připojit odpovídající kodek. [1]

Kodekem se zde rozumí specializovaný obvod, který přijímá/vysílá data na PCM sběrnici, dále provádí jejich kódování/dekódování a zajišťuje také D/A a A/D převod, obvykle také integruje operační zesilovače pro zesílení signálů.



Obrázek 3: Principiální schéma za použití BTM-110

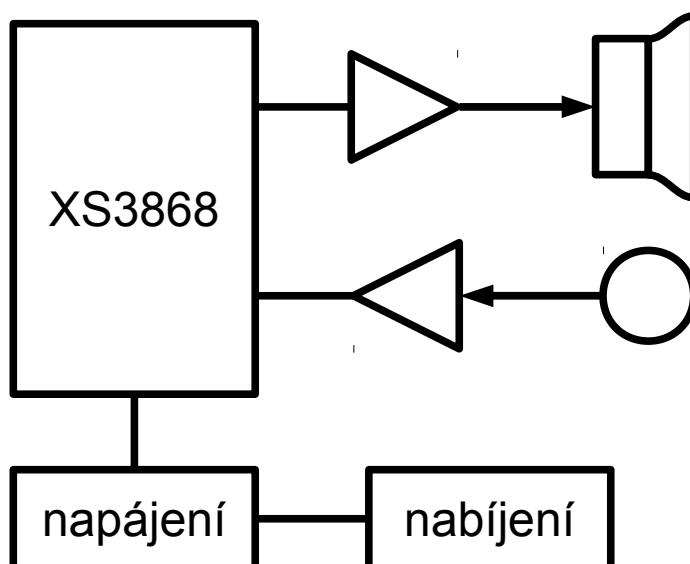
## 2.2 XS3868



Obrázek 4: XS3868 v2 [2]

Tento modul v základním nastavení podporuje A2DP (*Advanced Audio Distribution Profile*), AVRCP (*Audio/Video Remote Control Profile*) a HSP/HFP (*HeadSet Profile/HandsFree Profile*). Disponuje několika interfaci – UART a především tři analogové (stereo reproduktory a mono mikrofon).[2]

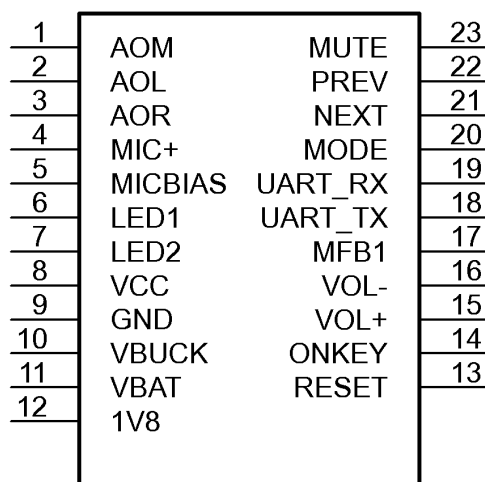
Oproti předcházejícímu modulu tedy není nutné zabývat se dekódováním/kódováním audio signálu. Je ovšem nutné tyto signály patřičně zesílit a impedančně přizpůsobit.



Obrázek 5: Principiální schéma za použití XS3868

Jádro tohoto modulu tvoří obvod OVC3860. Tento obvod implementuje stereo audio procesor i Bluetooth rozhraní, přičemž se jedná o low-costový výrobek. Je tedy velmi vhodný pro aplikace typu bezdrátové handsfree či stereo reproduktory.

Modul je dále přizpůsoben napájení z Li-ion akumulátoru (4,2 V), čímž v konečném řešení odpadá potřeba stabilizace napětí z baterie.



Obrázek 6: Schematická značka XS8368

Na obrázku výše je možné vidět schematické znázornění modulu XS3868. V následující tabulce je uveden popis jednotlivých pinů:

pin	význam	pin	význam
AOM	Analogová zem (0,9 V oproti GND)	MUTE	Indikační pin „ticha“
AOL	Levý kanál (analog)	PREV	Tlačítko PREV
AOR	Pravý kanál (analog)	NEXT	Tlačítko NEXT
MIC+	Mikrofonní vstup	MODE	
MICBIAS	Napájecí pin mikrofonu	UART_RX	Přijímací část UART interfacu
LED1	Indikační LED1	UART_TX	Vysílací část UART interfacu
LED2	Indikační LED2	MFB1	
VCC		VOL-	Tlačítko snížení hlasitosti
GND	Digitální zem	VOL+	Tlačítko zvýšení hlasitosti
VBUCK		ONKEY	Tlačítko ONKEY/PLAY/PAUSE
VBAT	Napájení modulu (vnitřní stabilizace)	RESET	Tlačítko RESET
1V8	Napájení jádra procesoru		

Tabulka 1: Význam pinů modulu XS3868

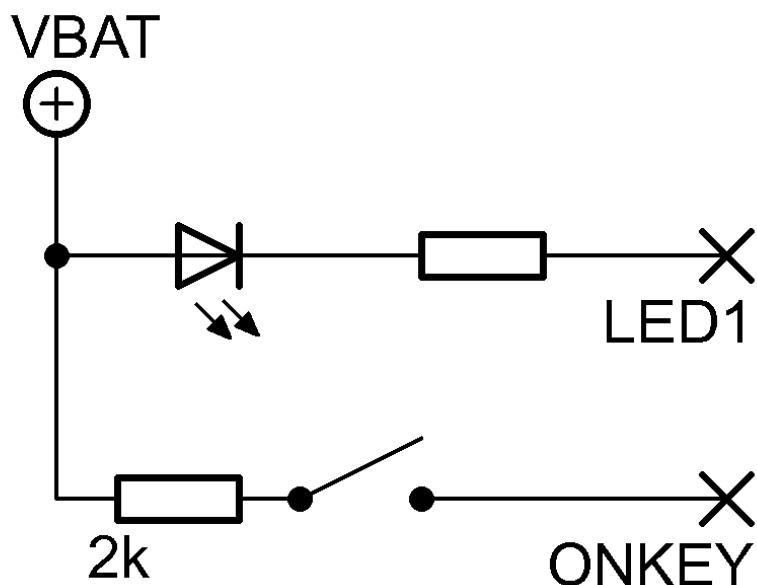
Analogový výstup má svou vlastní zem, která nemůže být spojena se zemí digitální, jelikož je napětově zdvižena na 0,9 V – jednotlivé kanály vysílají signál o maximální amplitudě 0,9 V, pak se napětí mezi analogovou zemí a kanálem pohybuje v rozmezí 0 – 1,8V. Tímto interfacem je možné napájet 32 Ω reproduktor (max. výstupní výkon 40 mW). [3]

Indikační piny LED diod jsou v zapojení otevřený kolektor. Jsou tedy v případě potřeby rozsvícení diody uzeměny – viz. následující obrázek. LED1 a LED2 střídavě blikají, pokud není připojeno žádné zařízení, pokud je nějaké zařízení připojeno, jednou za 3 s krátce blikne LED1.

K napájení celého modulu je vhodné využít piny GND a VBAT. Toto napětí je dále stabilizováno vnitřním stabilizátorem modulu na 1,8 V (pin 1V8).

Indikační pin MUTE indikuje, zda je analogový výstup aktivní. V případě neaktivity může být tímto pinem odpojen zesilovací obvod a snížit tím spotřebu.

Tlačítka NEXT, PREV a ONKEY/PLAY/PAUSE jsou využita při podpoře AVRCP (*Audio/Video Remote Control Profile*) a umožňují posouvání v playlistu, případě pozastavení přehrávání skladby. Tlačítka VOL+ a VOL- slouží k nastavení hlasitosti (podporuje AVRCP, HSP/HFP). Pokud je modul připojen jako HSP/HFP zařízení, tlačítko ONKEY slouží pro přijímání hovorů (krátký stisk) nebo pro odmítnutí hovoru (dlouhý stisk). Ukázkové zapojení tlačítek je znázorněno na následujícím obrázku.[3]



Obrázek 7: Ukázkové zapojení tlačítka a diody k XS3868

## 2.3 Shrnutí

Výše uvedené je možné shrnout do následující tabulky:

vlastnost	BTM-110	XS3868
<b>cena</b>	vyšší	nižší
<b>přibývající podúkoly</b>	reinstalace firmware, použití kodekového obvodu	měření parametrů modulu, zesílení signálu
<b>klady</b>	lepší dokumentace, podpora	jednoduchost použití, levné
<b>zápory</b>	zvýšení ceny o cenu kodekového obvodu a jeho horší dostupnost	špatná dokumentace

Tabulka 2: Shrnutí Bluetooth modulů

Vzhledem k výše uvedenému byl vybrán modul XS3868 pro svou jednoduchost a cenu.

### 3 Bluetooth

Jedná se o otevřený standart pro bezdrátovou komunikaci propojující dvě a více zařízení (režim PAN sítě). Umožňuje vytvořit asymetrické i symetrické spojení (z hlediska rychlostí downlink/uplink). Zařízení je možné rozdělit do tří skupin - tříd (Class). Třídy se od sebe liší maximální vysílacím výkonem, což je limituje především z hlediska dosahu ve volném prostoru:

třída	$P_{max}$ [dBm]	dosah ve volném prostoru [m]
Class 1	20	100
Class 2	4	10
Class 3	0	1

Tabulka 3: Přehled tříd Bluetooth

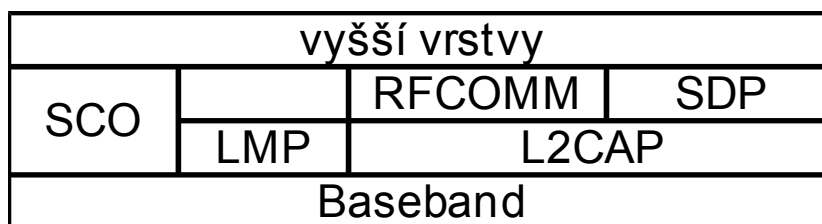
Nové verze Bluetooth jsou stále vyvíjeny. Liší se především přenosovou rychlostí, dále pak také spotřebou elektrické energie a dosahem. Je zřejmé, že pokud je vyvinuta nová verze Bluetooth, musí svou předchůdkyni předstít ve všech těchto parametrech. Srovnání jednotlivých verzí přináší následující tabulka:

verze	přenosová rychlost [Mbit/s]
1.2	1
2.0 + EDR	3
3.0 + HS	24
4.0	24

Tabulka 4: Přehled verzí Bluetooth

#### 3.1 Bluetooth stack

V této kapitole bude popsán zjednodušený Bluetooth stack (protokolová sada). Pro velkou obsáhlost budou popsány pouze protokoly, jež jsou potřeba pro přenos zvukového signálu a sestavení spojení.



Tabulka 5: Zjednodušený Bluetooth stack

##### 3.1.1 Baseband

Celý systém technologie Bluetooth pracuje v pásmu 2400 MHz, kde je s rozestupem 1 MHz obsaženo 79 kanálů. Pro  $i$ -tý kanál tedy platí:

$$f_i = 2402 + i \text{ MHz pro } i = 1, 2, \dots, 78 \text{ .}$$

Každý kanál není přiřazen pevně jednomu zařízení, nicméně je použito frekvenčního skákání, což také snižuje vliv úzkopásmového rušení. Skákání se provádí podle předem definovaných pravidel (pseudonáhodné posloupnosti), která jsou nastavena tak, aby nedocházelo k interferenci dvou užitečných signálů (v případě mnohonásobného přístupu). Používá se tedy techniky rozproštění spektra pomocí frekvenčního skákání. Frekvence skoků je 1600 Hz.

Na přidělenou nosnou se moduluje užitečný signál pomocí modulace GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) – Gaussovské frekvenční klíčování.

Obousměrný přenos se provádí pomocí časového dělení multiplexu – TDM, kdy jedna ze stran spoje vysílá v sudé časové prodlevě a druhá v liché. Časová prodleva činí 625 μs a vysílání může začínat pouze na jejím počátku.[4]

### 3.1.2 LMP (Link Manager Protocol)

Tento protokol se stará především o navázání spojení, šifrování a správu napájení. Po veškeré inicializaci se předává řízení protokolu L2CAP, resp. se tento protokol stane transparentní.[4] Typický průběh komunikace protokolu je následující:

> Connect Request

Odeslání žádosti o připojení.

< Accept Connection Request

Přijetí žádosti o připojení.

> Command Status (Accept Connection Request)

Potvrzení příkazu přijetí připojení.

< Connect Complete

> Read Remote Supported Features

Žádost o výpis vlastností.

< Command Status (Read Remote Supported Features)

Potvrzení žádosti o výpis vlastností.

< Read Remote Supported Features (\*)

Seznam vlastností.

> Read Remote Extended Features

Žádost o výpis rozšiřujících vlastností.

< Command Status (Read Remote Extended Features)

< Read Remote Extended Features (0x03 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00 0x00)

> Remote Name Request (bdaddr D4:6E:5C:D4:3D:AE)

Žádost o jméno.

< Command Status (Remote Name Request)

Potvrzení žádosti o jméno.

< Remote Name Req Complete (bdaddr D4:6E:5C:D4:3D:AE name



```
'HUAWEI G700-U20')
```

```
Jméno zařízení.
```

```
. . . . .
```

```
< Number of Completed Packets
```

```
V průběhu přenosu se vysílá pouze informace o paketech.
```

```
. . . . .
```

```
< Disconn Complete
```

#### LMP\_Features

```
.... ...1 = 3-slot packets: True (1)
.... ..1. = 5-slot packets: True (1)
.... .1.. = encryption: True (1)
.... 1... = slot offset: True (1)
...1 .... = timing accuracy: True (1)
..1. .... = master/slave switch: True (1)
.0.. .... = hold mode: False (0)
1... .... = sniff mode: True (1)
.... ...0 = park mode: False (0)
.... ..1. = RSSI: True (1)
.... .1.. = channel quality driven data rate: True (1)
.... 1... = SCO link: True (1)
...1 .... = HV2 packets: True (1)
..1. .... = HV3 packets: True (1)
.0.. .... = u-law log: False (0)
0... .... = A-law log: False (0)
.... ...1 = CVSD: True (1)
```

*Obrázek 8: (\*) Výpis podporovaných funkcí (zkráceno)*

Dalším velmi důležitým příkladem je navázání synchronního spojení mezi s příslušnými parametry neboli vytvoření linky SCO. Tato má konstantní přenosovou rychlost, je duplexní a tedy i vhodná pro obousměrný přenos dat.

```
> Setup Synchronous Connection (**)
```

```
< Status Command (Setup Synchronous Connection )
```

```
< Synchronous connection complete
```

#### Bluetooth HCI Command - Setup Synchronous Connection

```
▶ Command Opcode: Setup Synchronous Connection (0x0428)
  Parameter Total Length: 17
  Connection Handle: 0x000c
  Tx Bandwidth (bytes/s): 8000
  Rx Bandwidth (bytes/s): 8000
  Max. Latency (ms): 65535
  .... ..00 .... .. = Input Coding: Linear (0)
  .... .. 01.. .... = Input Data Format: 2's complement (1)
  .... .. ..1. .... = Input Sample Size: 16 bit (only for Linear PCM) (1)
  .... .. ...0 00.. = Linear PCM Bit Pos: 0
  .... .. .. .. ..00 = Air Coding Format: CVSD (0)
  Retransmission Effort: Don't Care (255)
```

Obrázek 9: (\*\*) Část paketu pro nastavení synchronní linky

Jak vidno na přechozím obrázku, vytvoří se synchronní symetrické spojení s rychlostí 8 kB/s respektive 64 kbit/s. Toto spojení přímo vybízí k přenosu hlasu.

### 3.1.3 L2CAP (Logical Link Control and Adaptation)

Protokol L2CAP navazuje asynchronní spojení a multiplexuje data do vyšších vrstev, jež jsou odděleny pomocí CID. Je také navázáno signalizační spojení protokolu s vlastním CID, tato data nejsou multiplexována, nýbrž jsou zpracovávána přímo tímto protokolem.[4]

Na základě požadavků je tímto protokolem vytvořen příslušný kanál odpovídající příslušnému protokolu, případně je zrušen.

#### Bluetooth L2CAP Protocol

```
Length: 8
CID: L2CAP Signaling Channel (0x0001)
▼ Command: Connection Request
  Command Code: Connection Request (0x02)
  Command Identifier: 0x02
  Command Length: 4
  PSM: SDP (0x0001)
  Source CID: Dynamically Allocated Channel (0x0040)
```

Obrázek 10: Inicializace kanálu pro SDP

Jak vidno na obrázku výše – signalizačním kanálem přijde zpráva – požadavek na vytvoření spojení pro protokol SDP (pole PMS) a příjemce je také informován, že na své straně vyhradil tomuto spojení CID 0x0040.

### Bluetooth L2CAP Protocol

```
Length: 12
CID: L2CAP Signaling Channel (0x0001)
▼ Command: Connection Response
  Command Code: Connection Response (0x03)
  Command Identifier: 0x02
  Command Length: 8
  Destination CID: Dynamically Allocated Channel (0x0045)
  Source CID: Dynamically Allocated Channel (0x0040)
  Result: Successful (0x0000)
  Status: No further information available (0x0000)
```

Obrázek 11: Potvrzení úspěšné inicializace

Na předchozím obrázku je možné vidět potvrzení – opět signalizačním kanálem (CID 0x0001) přijde zpráva typu Connect Response s výsledkem Successful. Dále jsou zde vyplněna pole zdrojového a cílového CID pro protokol SDP. Od tohoto okamžiku budou pakety s CID 0x0040 (resp. 0x0045) správně multiplexovány protokolu SDP.

Obdobným způsobem se inicializuje kanál pro protokol RFCOMM.[4]

#### 3.1.4 SDP (Service Discovery Protocol)

Tento protokol si klade za cíl zjistit služby protější strany, neboli jaké služby (profily) jsou podporovány. Každá služba je identifikována unikátním ID. Zjišťování služeb protistrany je velmi důležité – určuje další postup komunikace.[4]

#### 3.1.5 RFCOMM (Radio Frequency COMMunication)

Jedná se o základní transportní protokol technologie Bluetooth. Umožňuje sestavit vícekanálové spojení s odděleným tokem. Dále tvoří základ profilu SPP a je využíván i v audio profilech pro signalizaci.[4]

## 3.2 Bluetooth profily

Profil obecně definuje protokoly potřebné ke své plné funkčnosti. Je přidružen konkrétní aplikaci – například aplikace bezdrátové náhlavní soupravy, přenosu dat, emulující sériový port aj..

### 3.2.1 SPP (Serial Port Profile)

Profil emulující sériový port. Tvoří jednak základ pro profily ostatní, nicméně jej lze využít také jako klasický sériový port, čímž se tento profil stává velmi univerzálním (použití například pro dálkové ovladače,...). Jádrem celého profilu je protokol RFCOMM, ale samozřejmě jsou zapotřebí všechny ostatní protokoly ve zjednodušeném Bluetooth stacku krom linky SCO (viz. kapitola Bluetooth stack).[4]

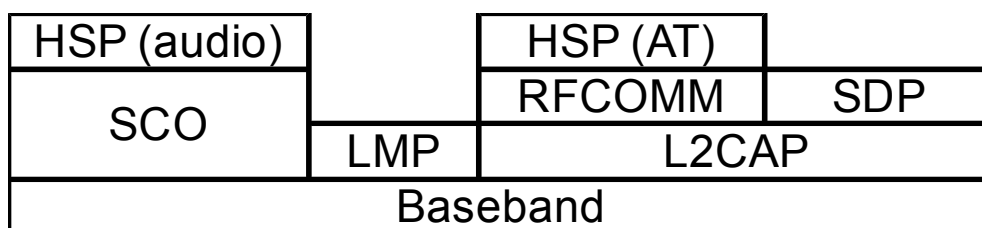
### 3.2.2 HSP (HeadSet Profile)

Tento profil je používán především pro přenos telefonního hovoru do bezdrátového headsetu (náhlavní souprava s tlačítkem pro přijetí).

Z pohledu HSP jsou zapotřebí dva kanály a to:

- signalizační (komunikace pomocí AT příkazů)
- hovorový (přenos hovorových vzorků)

Celý Bluetooth potřebný pro profil HSP je tedy následující:



Tabulka 6: Bluetooth sta pro HSP

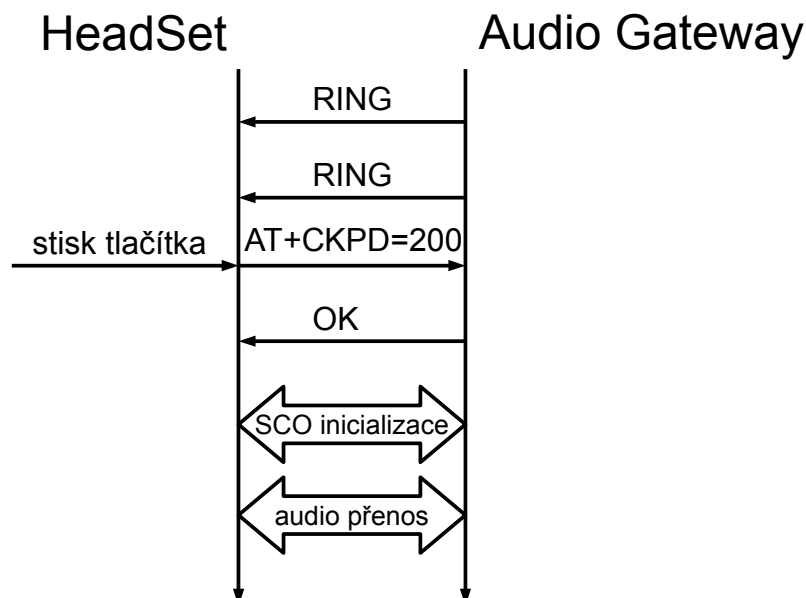
Typická inicializace spojení je pak následující:

1. inicializace spojení pomocí LMP protokolu (bez inicializace SCO)
2. inicializace L2CAP a protokolu SDP – opačná strana se dozví, že má tu čest se zařízením podporujícím HSP
3. inicializace RFCOMM a vyhrazení kanálu pro AT příkazy

Následující obrázek ukazuje průběh sestavení spojení při příchozím hovoru. Jde o soubor AT příkazů, z nichž „RING“ indikuje příchozí hovor (HeadSet obvykle zahraje signál přímo do ucha). Přehled AT příkazů používaných v HSP je v následující tabulce:

význam	příkaz	poznámka
indikace příchozího hovoru	RING	
stisk tlačítka na HeadSetu	AT+CKPD=200	
nastavení zisku mikrofonu	AT+VGM= $x$	$x$ je číslo v rozmezí 0 – 15
nastavení zisku sluchátka	AT+VGS= $x$	$x$ je číslo v rozmezí 0 – 15

Tabulka 7: Základní AT příkazy



Obrázek 12: Signalizace při sestavení spojení (HSP)

Přenos v kanálu SCO je kódován kodekem CVSD (*Continuously variable slope delta*). [4]

### 3.2.3 HFP (HandsFree Profile)

Tento profil je velmi podobný profilu HSP. Je však rozšiřující – umožňuje více služeb a to především:

- přijetí, odmítnutí a ukončení hovoru
- získávat informace o telefonu
- identifikace volajícího (CLI)
- přenos DTMF kódů
- vytočení volajícího s pomocí paměti HandsFree
- volba kodeku

Ve své podstatě se jedná o rozšíření souboru AT příkazů, jež zajišťují výše uvedené služby. Zkrácený výpis AT příkazů používaných v HFP je v následující tabulce:

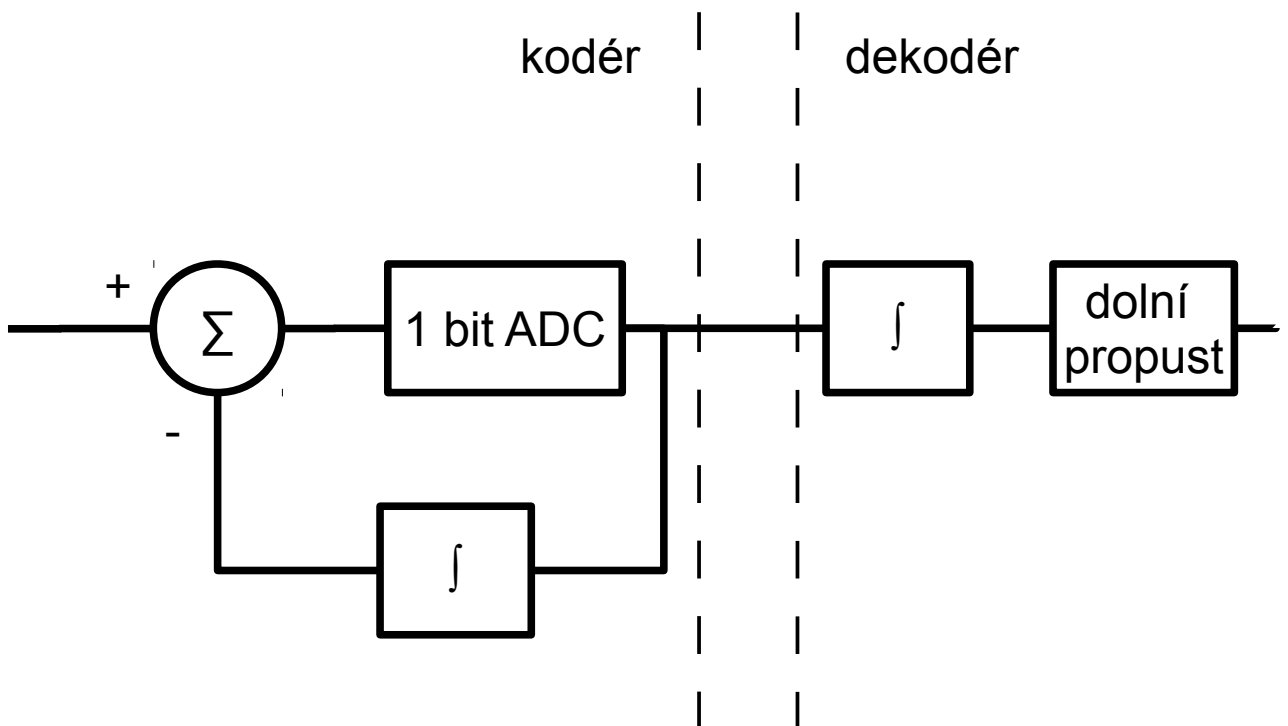
význam	příkaz	poznámka
vytočení posledního volaného	AT+BLDN	
selektce kodeku	AT+BCS= <i>u</i>	<i>u</i> je ID kodeku
dostupné kodeky	AT+BAC	následuje výpis seznamu ID kodeků

Tabulka 8: Rozšířené AT příkazy

Základní a vždy dostupný kodek je CVSD, obvykle je dále nabízen širokopásmový kodek mSBC. [8]

### 3.2.4 Kodek CVSD (*Continuously variable slope delta*)

Schéma kodeku (kodéru i dekodéru je znázorněno na následujícím obrázku:



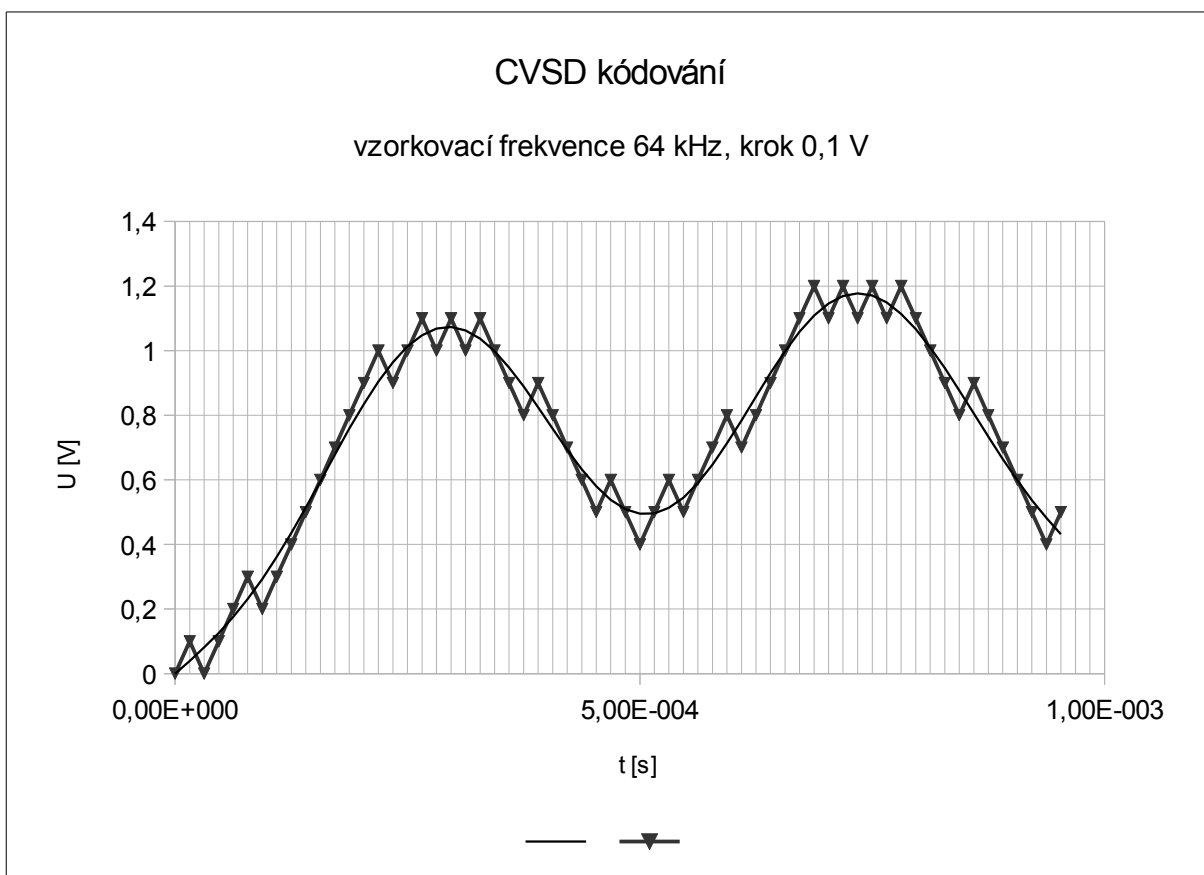
Obrázek 13: Kodek CVSD

Ze sumačního členu vystupuje signál, který je buď kladný nebo záporný podle toho, zda je aktuální úroveň signálu vyšší nebo nižší než hodnota vystupující z integrátoru. Je-li kladná, znamená to, že na výstupu integrátoru je napětí nižší než je úroveň signálu – ADC na výstupu vyrobí log. 1, která ale také vstupuje do integrátoru a napětí na něm se zvýší, nyní se opět porovná napětí na integrátoru a úroveň signálu a napětí na integrátoru se buď zvýší nebo sníží.

Ve své podstatě se pomocí logických jedniček a nul snaží integrátor dosáhnout stejného napětí jako je úroveň signálu a tato posloupnost nese informaci o přijímaném signálu.

Na dalším obrázku je vidět napětí na ideálním integrátoru a průběh signálu. Průběh na integrátoru integruje konstantní hodnoty a je ideální – výsledkem je čára, která nemění absolutní hodnotu sklonu, ale znaménko je určeno pomocí jednobitového ADC. Tam, kde je sklon kladný se vyše se log. 1, tam kde je záporný, vyše se log. 0.

Na výstupu integrátoru je také vidět, že se k signálu přidaly vyšší harmonické složky, například u konstantní hodnoty integrátor osciluje. Proto je nutné při dekódování za integrátor zařadit dolní propust.



Obrázek 14: Graf CVSD kódování

### 3.2.5 A2DP (Advanced Audio Distribution Profile)

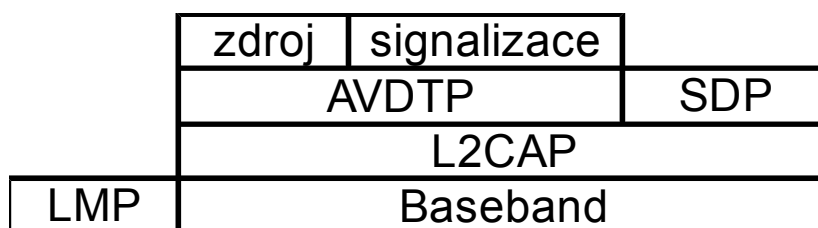
Profil určený k pokročilé distribuci audio signálu. V tomto případě není audio přenášeno po separátním kanálu v po synchronní lince, nýbrž rovnou zapouzdřeno do protokolu AVDTP, který vytváří další kanály podle kanálového módu, jež může být:

- mono
- dual channel
- stereo
- joint stereo

Jedna ze stran (zdroj) bývá označována jako *source*, druhá ze stran jako *sink*. Profil také umožňuje výběr kodeků, dostupné jsou například následující:

- SBC
- MPEG-1,2
- MPEG-2,4 AAC
- kodeky rodiny ATRAC

Každý z výše uvedených kodeků má vlastní hlavičku. Bluetooth stack využitý pro přenos je uvedený v následující tabulce.



Tabulka 9: Bluetooth stack pro A2DP

Nad protokolem L2CAP je protokol AVDTP, který nejprve vytvoří signalizační kanál, v němž se předávají signalizační informace, jimiž se domluví patřičné spojení (například výše uvedený kanálový mód, kodeky, vzorkovací frekvence,...). Poté jsou podle těchto parametrů vytvářeny další kanál pro vlastní přenos audia. [4]

### 3.2.6 AVRCP (Audio/Video Remote Control Profile)

Profil byl vyvinut za účelem vzdáleného ovládání audio a video zařízení. V roli ovladače zde může vystupovat například osobní počítač, mobilní telefon nebo Bluetooth ovladač, opačná strana – cílové zařízení může být například televize, audio přehrávač, zesilovač aj..[4]

Mezi podporované funkcionality například patří (pro nejnovější verzi 1.5):

- základní příkazy (play/stop/next,...)
- prohlížení metadat
- informace o přehrávači (indikace stavu – playing, paused,...)
- podpora procházení složek



## 4 Napájení a nabíjení

Vzhledem k faktu, že se jedná o přenosné zařízení, je nutné jej napájet z akumulátoru. Pro opakované použití je nutné tento akumulátor dobíjet. Tato kapitola popisuje dva moderní typy akumulátorů a princip jejich nabíjení.

### 4.1 Li-ion akumulátor

Jedná se o dnes hojně využívaný nabíjecí akumulátor. Název vznikl zkrácením skutečného názvu – lithium-iontový akumulátor. Skládá se z uhlíkové anody, elektrolytu z lithiové soli a katodu tvoří oxid kovu. Konečné nabíjecí napětí je dáno typem anody:

- 4,2 V pro mikrokrystalickou formu uhlíku
- 4,1 V pro grafitovou anodu

Oproti technologicky starším akumulátorům (NiMh, NiCd) se vyznačuje větší hustotou energie, menším samovybíjením a menším paměťovým efektem. [6]

### 4.2 Li-pol akumulátor

Tento typ akumulátorů vychází z Li-ion akumulátorů a poskytuje ještě o něco lepší vlastnosti (hustota energie, samovybíjení,...). Katodu v tomto případě tvoří oxid lithia a karbonu, anodu sloučeniny grafitu a elektrolyt je v tomto případě pevný vodivý polymer. Konečný nabíjecí napětí je shodné s Li-ion akumulátorem (4,2 V pro častěji používané akumulátory s anodou z mikrokrystalické formy uhlíku).

### 4.3 Nabíjení Li-ion/Li-pol akumulátoru

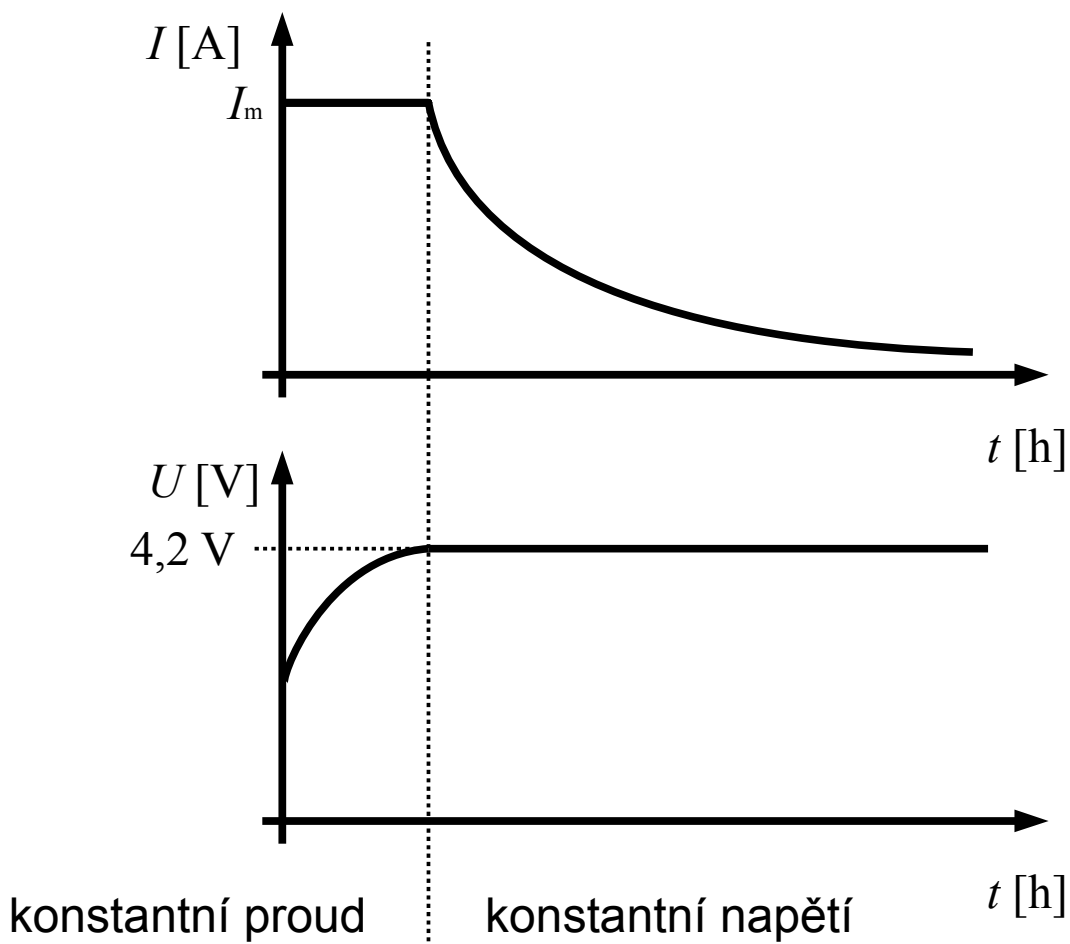
Nabíjení akumulátoru je závislé na jeho kapacitě a na konečném nabíjecím napětí. Akumulátor se nabíjí ve dvou fázích – nejprve konstantním proudem a poté konstantním napětím. Maximální nabíjecí proud je dán:

$$I_{\max} = a \cdot C [A, 1/h, Ah] \quad ,$$

kde  $a$  je konstanta v rozmezí přibližně 0,5 až 3. Tato konstanta závisí na hodnotě vnitřního odporu baterie.

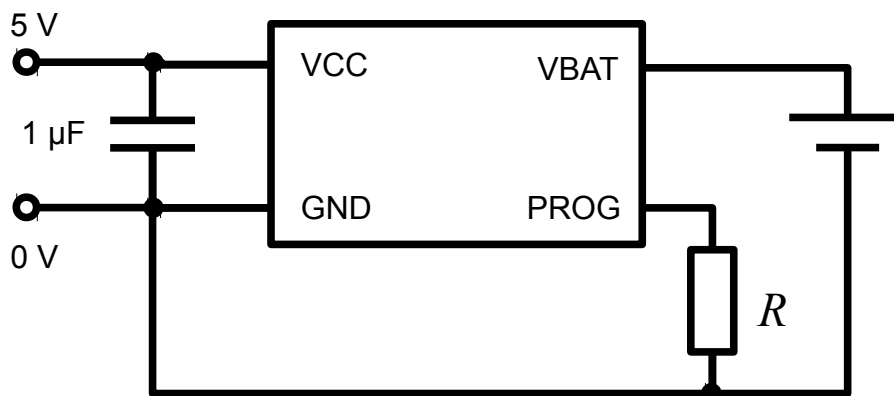
První fáze nabíjení (konstantním proudem o maximální velikosti  $I_{\max}$ ) trvá, dokud není dosaženo konečného nabíjecího napětí (4,2 V nebo 4,1 V). Poté se napětí nemění a je nabíjeno konstantním napětím, které se rovná konečnému nabíjecímu napětí (4,2 V nebo 4,1 V).

Výhodou tohoto řešení je především fakt, že není nutné se obávat přebíjení akumulátoru. Tato skutečnost je dána tím, že nabíjení konstantním napětím je druhá fáze, pokud je tedy dostatečně přesná reference napětí, nehrozí přepětí na akumulátoru. Další výhodou je také dosažení vysokého stupně nabití za krátký čas (pokud je akumulátor vybit), jelikož při nabíjení konstantním proudem se nabíjí nejvyšším proudem (= nejvyšší rychlost nabíjení). [6]



Obrázek 15: Nabíjení Li-pol/Li-ion akumulátoru

Pro účely nabíjení Li-ion a Li-pol akumulátorů existují specializované obvody. Pro tyto účely byl vybrán obvod *LTC4054ES5-4,2*. Nabíjí na konečné napájecí napětí 4,2 V a nabíjecí proud je regulovatelný. Jeho použití viz. následující schéma.



Obrázek 16: Základní zapojení nabíjecího obvodu

Rezistor  $R$  řídí nabíjecí proud v první části nabíjení. Jeho hodnotu volíme dle následujícího vzorce (pro maximální nabíjecí proud):

$$R = \frac{1000 \text{ V}}{I_{\max}} \quad [5].$$

## 5 Audio část

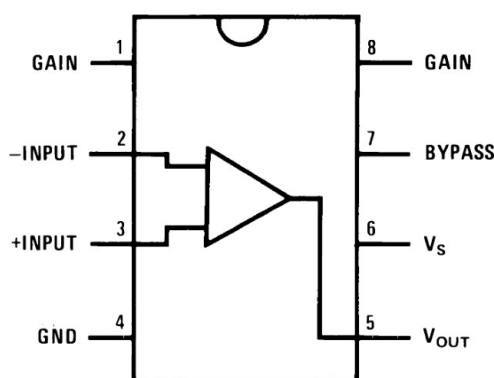
V této kapitole bude popsán návrh zapojení vstupní části (mikrofon) a části výstupní (zesilovač a reproduktor), dále budou uvedeny výpočty hodnot jednotlivých součástek, případně příslušná data z katalogových listů.

### 5.1 Výstupní část

Do výstupní části vstupuje analogový stereofonní signál z Bluetooth modulu a výstupem jest reproduktor. Vzhledem k výkonovým parametrům audio výstupu Bluetooth modulu je nutné do mezilehlé části zařadit výkonový zesilovač.

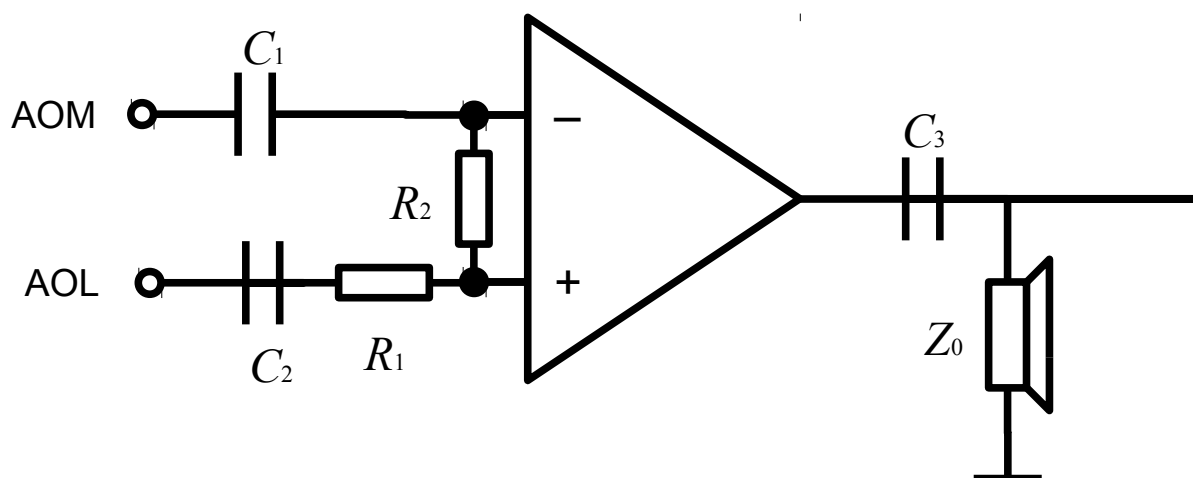
Vzhledem k povaze úkolu je zapotřebí pouze monofonní zvukový signál. Převod stereofonní > monofonní signál lze například provést součtem levého a pravého kanálu nebo využít pouze kanál pouze jeden z kanálů. V tomto případě byl využit pouze pravý kanál.

#### 5.1.1 LM-386



Obrázek 17: LM-386 [9]

Pro tyto potřeby je využit výkonový operační zesilovač především pro jednoduchost návrhu. Jedná se o zesilovač nesoucí označení LM386, jež zesiluje jeden kanál zvuku (maximální výstupní výkon 300 mW). Tento zesilovač má pevně nastavený zisk, dále je vybaven vstupy pro korekci zisku, případně frekvenční korekci (piny *GAIN*). [9]



Obrázek 18: Monofonní výkonový audio zesilovač

Jak již bylo řečeno, do zesilovače vstupuje signál z Bluetooth modulu. Analogová zem modulu je na obrázku označena jako *AOM*, zatímco pravý kanál má označení *AOR*. Oba tyto signály jsou stejnosměrně odděleny přes kondenzátory  $C_1$  a  $C_2$ . [3]

Vzhledem k faktu, že se jedná o zesilovač s pevně nastaveným ziskem, je třeba upravit vstupní úroveň signálu. Toto se děje pomocí odporů  $R_1$  a  $R_2$ , jež tvoří napěťový dělič na vstupu obvodu. [9] Dělicí poměr je v tomto případě zvolen na 1:10, respektive napětí na vstupu zesilovače bude jedenáctina oproti vstupu na dělič.

<b>Napájecí napětí</b>	4 – 12 V
<b>Vstupní impedance</b>	50 k $\Omega$
<b>Napěťový zisk při 10 <math>\mu</math>F mezi GAIN piny</b>	26 dB 46 dB
<b>Šířka pásma</b>	300 kHz

Tabulka 10: Základní parametry obvodu LM-386

### 5.1.2 Návrh blokovacích kapacity

Signál na výstupu zesilovače je nutné přivést na reproduktor, jak je již zobrazeno na obr. 13, děje se tak přes kondenzátor. Tento kondenzátor opět slouží k oddělení stejnosměrné složky, ačkoli na vstupu nepředpokládáme stejnosměrnou složku, na výstupu již být může – vstupní napěťová nesymetrie zesilovače je zesílena a přivedena na výstup.

Z hlediska děliče na výstupu je nutné, aby (v absolutních hodnotách):

$$X_C \ll Z_0, \text{ kde } X_C = \frac{1}{2\pi f C_3} .$$

Vzhledem k faktu, že reaktance kapacitoru je frekvenčně závislá, je nutné určit frekvenční rozsah, v tomto případě se přizpůsobíme pásmu telefonního hovoru 300 až 3400 Hz. Dále je zřejmé, že reaktance kapacitoru je nepřímo úměrná frekvenci, čili stěžejní je dolní mezní kmitočet  $f_d$ :

$$\frac{1}{2\pi f_d C_3} \ll Z_0 \Rightarrow C_3 \gg \frac{1}{2\pi f_d Z_0} \quad (1.1).$$

Kapacita blokovacího kondenzátoru musí být podstatně větší než uvedená konstanta. Pro  $Z_0 = 8 \Omega$ ,  $f_d = 300 \text{ Hz}$  a předpokladu, že podstatně větší znamená alespoň desetinásobek:

$$C_3 \geq 10 \frac{1}{2\pi f_d Z_0} \Rightarrow C_3 \geq \frac{10}{2\pi \cdot 300 \cdot 8} \text{ F} \Rightarrow C_3 \geq 66,34 \mu\text{F} ,$$

při volbě  $C_3 = 220 \mu\text{F}$  je tedy tato podmínka dostatečně splněna.

Volbu kapacity blokovacího kondenzátoru  $C_1$  je možné odvodit obdobným způsobem, avšak vstupní impedance zesilovače je patřičně větší (50 k $\Omega$ ), což se v konečném důsledku projeví tím, že velikost kapacity bude snížena oproti předcházejícímu případu:

$$C_1 \geq 10 \frac{1}{2\pi f_d R_{in}} \Rightarrow C_1 \geq \frac{10}{2\pi \cdot 300 \cdot 50000} \text{ F} \Rightarrow C_1 \geq 106 \text{ nF} .$$

Volbu kapacity blokovacího kondenzátoru  $C_2$  je možné odvodit obdobným způsobem, avšak vstupní impedance je nyní rovna součtu odporů děliče  $R_1$  a  $R_2$ , čili pro  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ :

$$C_2 \geq 10 \frac{1}{2\pi f_d (R_1 + R_2)} \Rightarrow C_2 \geq \frac{10}{2\pi \cdot 300 \cdot 11000} \text{ F} \Rightarrow C_2 \geq 482,5 \text{ nF} \quad .$$

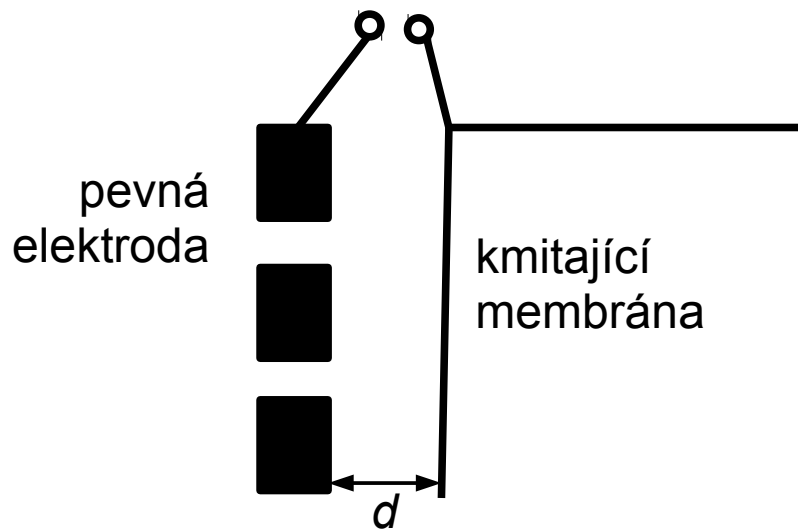
V konečném řešení je voleno  $C_1 = C_2 = 500 \text{ nF}$ , což splňuje obě podmínky.

## 5.2 Vstupní část

Vstupní část je tvořena mikrofonem a jeho podpůrnými obvody, které se v závislosti na použitém mikrofonu liší. Následující kapitola se nejdříve věnuje teoreticky mikrofonu kondenzátorovému, poté elektretovému, jež z něj principiálně vychází, a praktické realizaci zapojení s elektretovým mikrofonem.

### 5.2.1 Kondenzátorový mikrofon

Tento mikrofon mění svou kapacitu v závislosti na akustickém tlaku. Následující obrázek ukazuje schéma jednoduchého kondenzátorového mikrofonu:



Obrázek 19: Kondenzátorový mikrofon

Kapacita deskového kondenzátoru je dána vztahem:

$$C = \epsilon \frac{S}{d} ,$$

kde  $\epsilon$  je permitivita a  $S$  je styčná plocha mezi deskami. Změna vzdálenost  $d$  tedy mění kapacitu nepřímo úměrně a tato vzdálenost se mění v závislosti na změně akustického tlaku. Dále platí, že:

$$Q = CU , \text{ neboli, že } U = \frac{Q}{C} .$$

Je tedy zřejmé, že je nutné aby byl v příslušném kondenzátoru uchovávan konstantní náboj  $Q$ . Za tohoto předpokladu a sloučením dvou předešlých výrazů platí:

$$U = \frac{Q}{C} = d \cdot \frac{Q}{\epsilon S} = d \cdot konst ,$$

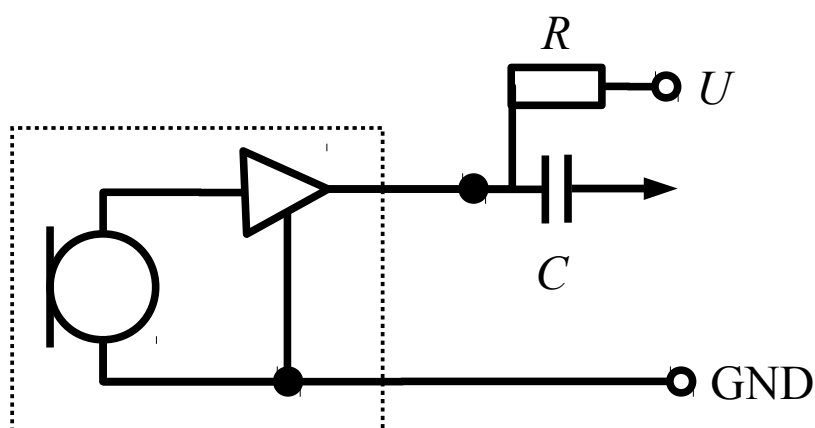
neboli napětí je přímo úměrné vzdálenosti. Konstantní náboj je v obvykle udržován měkkým stejnosměrným zdrojem vysokého napětí a signál odváděn přes kondenzátor pro filtraci stejnosměrné složky.

## 5.2.2 Elektretový mikrofon

Jedná se o mikrofon pracující na bázi kondenzátorového mikrofonu, avšak k udržení konstantního náboje je využito materiálu zvaného elektret naneseném na pevné elektrodě. Tento materiál je permanentně elektricky nabit, odpadá tedy nutnost napájení.

Nicméně naprostá většina elektretových mikrofonů je vybavena FET zesilovačem, zabudovaným v pouzdře mikrofonu. Důvod k použití tohoto zesilovače přímo v pouzdře je celkem prostý – nízká úroveň signálu vycházející z mikrofonu by byla pohlcena šumem, jež se indukují do přívodních vodičů. Pro zvýšení odstupu signál/šum je tedy signál zesílen a poté až přiveden na přívodní vodiče.

Existují dvě varianty napájení elektretového mikrofonu. První varianta přidává zvláštní vodič pro napájení zesilovače, druhá používá pouze dva vodiče a jeden je používán jak pro napájení, tak pro příjem signálu. Tuto variantu zobrazuje následující obrázek:



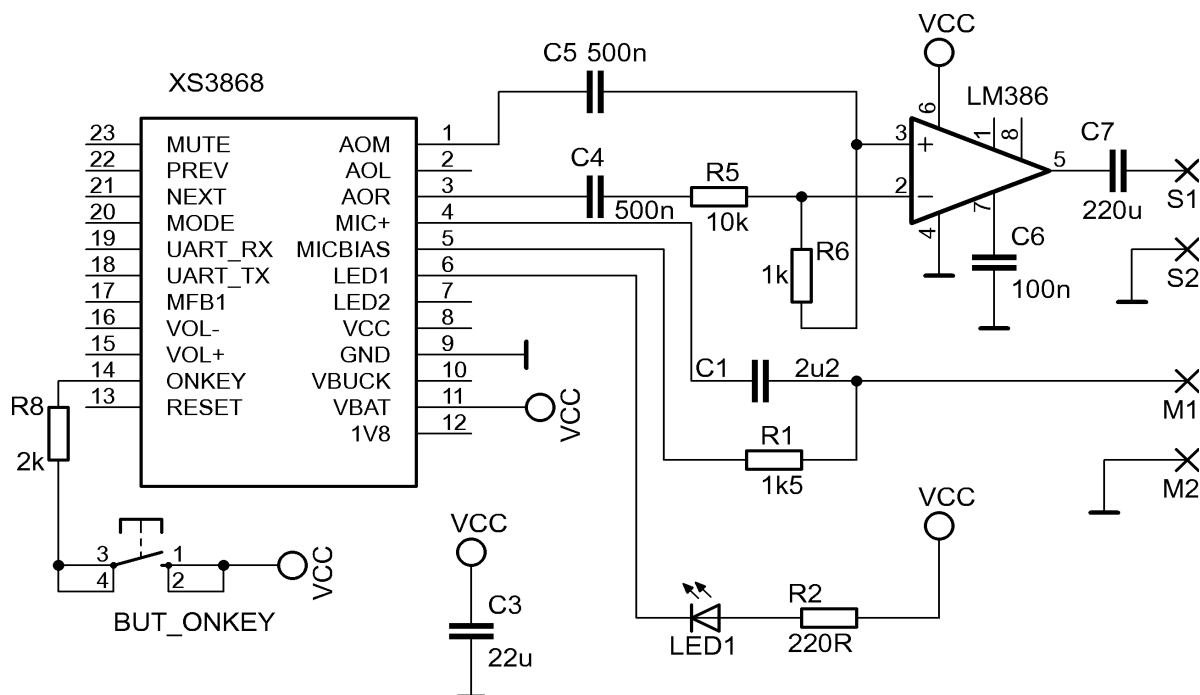
Obrázek 20: Zapojení elektretového mikrofonu

Jak vidno na obrázku, zesilovač v pouzdře mikrofonu je napájen přes odpor  $R$ , a z tohoto samého pinu je signál vyváděn přes kondenzátor  $C$  do mikrofonního vstupu.

Hodnotu odporu  $R$  a  $U$  volíme dle doporučení v katalogovém listu mikrofonu - obvyklé hodnoty jsou jednotky kiloohmů, kapacitu volíme dle (1.1), pokud známe vstupní odpor mikrofonního vstupu. V našem případě vycházíme z katalogového listu Bluetooth modulu ( $2,2 \mu\text{F}$ ).[3]

## 6 Návrh konečného řešení

Tato kapitola se zabývá celkovým návrhem zapojení. Dává do souvislosti především kapitoly předchozí a také se zabývá návrhem podpurných obvodů.



Obrázek 21: Schéma hlavní části

Na výše uvedeném obrázku je zobrazeno několik částí:

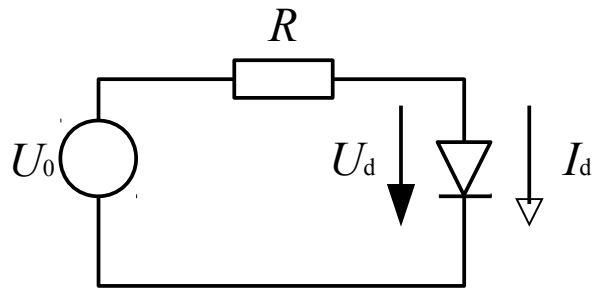
- část tlačítka ONKEY pro přijetí hovoru
- analogová výstupní část – operační zesilovač + podpurné součástky; vstupem je analogový signál a výstupem svorky S1 a S2 na reproduktor
- analogová vstupní část – svorky M1 a M2 pro připojení elektretového mikrofону
- vyhlazovací kondenzátor napájecího napětí
- indikační část – LED dioda

Toto schéma neřeší napájení a nabíjení. Této problematice je věnována zvláštní podkapitola.

### 6.1 Výpočet předřadného odporu LED

Pro zajištění optimální svítivosti LED diody a její ochrany je nutné vložit do série s diodou předřadný odpor. K výpočtu této hodnoty je zapotřebí znát napájecí napětí zdroje a pracovní bod diody (případně si jej zvolit).





Obrázek 22: Napájení LED diody

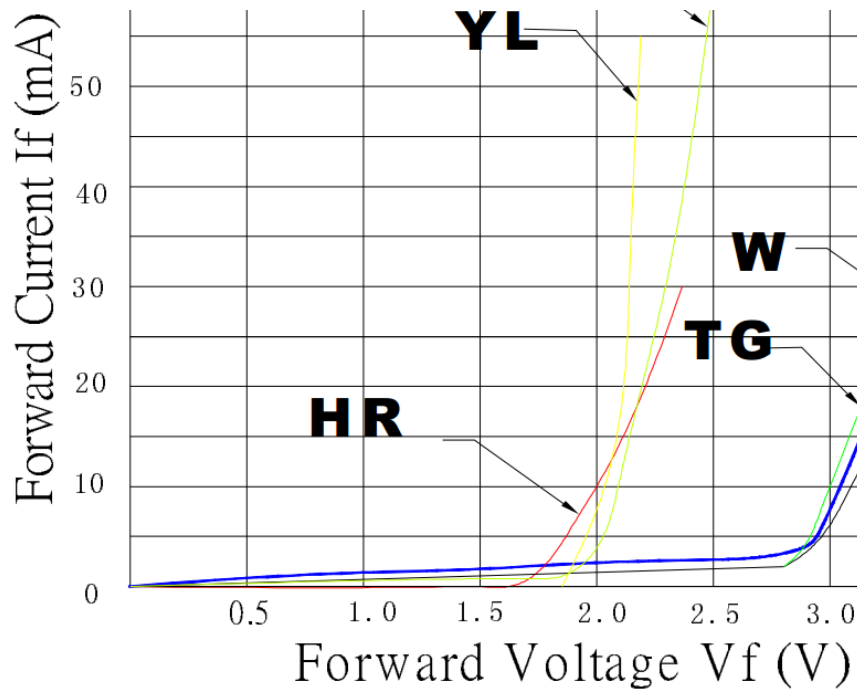
Má-li diodou protékat proud  $I_d$  a zároveň na ní být napětí  $U_d$ , pak na rezistoru  $R$  musí být napětí (podle prvního Kirchhoffova zákona):

$$U_R = U_0 - U_d \text{ ,}$$

dále platí (podle druhého Kirchhoffova zákona), že proud diodou i odporem je stejný, nyní již lze vypočítat hodnotu odporu:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_0 - U_d}{I_d} \text{ .}$$

Pracovní bod  $[U_d; I_d]$  určíme z VA charakteristiky diody pro  $I_d = 10 \text{ mA}$ .



Obrázek 23: VA charakteristika LED [10]

Bod byl odečten ze křivky HR – červené diody. Pro  $I_d = 10 \text{ mA}$  je  $U_d = 2 \text{ V}$ . Pro napájecí napětí  $4,2 \text{ V}$  je hodnota předřadného odporu červené diody:

$$R_{\text{RED}} = \frac{U_0 - U_d}{I_d} = \frac{4,2 \text{ V} - 2 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 220 \text{ } \Omega \text{ .}$$

V případě modré diody (indikující nabíjení) je možné zopakovat výše uvedený postup, nicméně v tomto případě již není třeba snižovat odběr diody, jelikož je napájena ze síťového napáječe  $5 \text{ V}$ . Je tedy využito hodnot doporučených výrobcem ( $I_d = 20 \text{ mA}$  a  $U_d = 3 \text{ V}$ ):

$$R_{\text{BLUE}} = \frac{U_0 - U_d}{I_d} = \frac{5 \text{ V} - 3 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 100 \text{ } \Omega \text{ .}$$

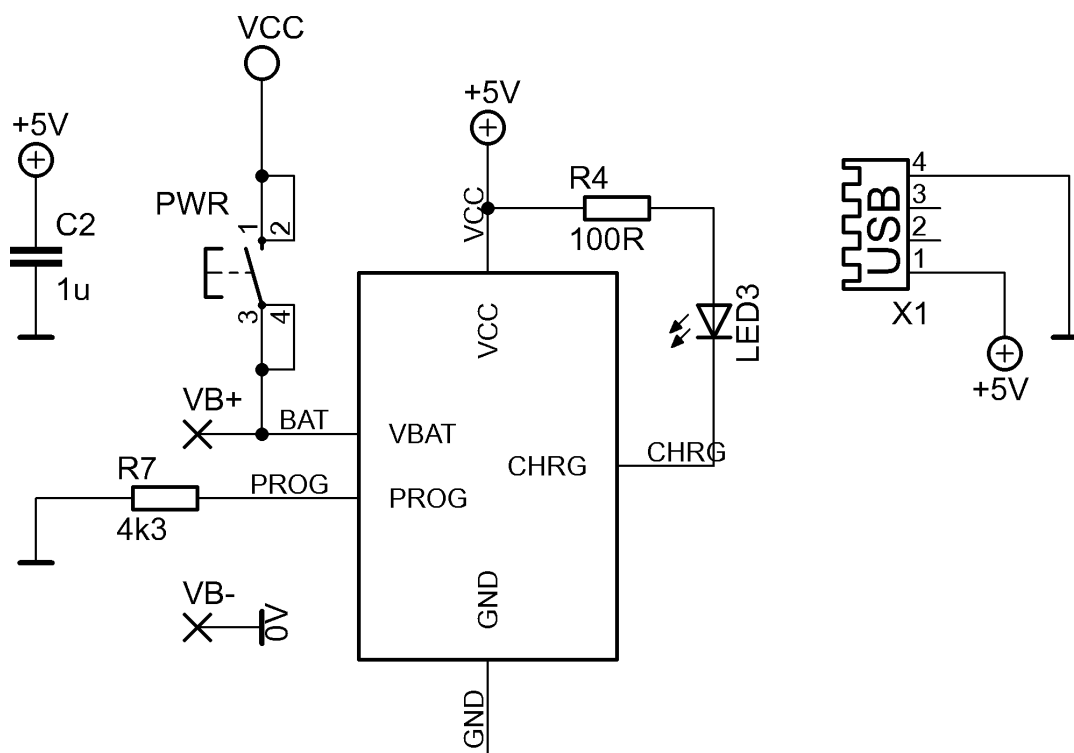
## 6.2 Mikrofon

Využito zapojení popsaného v kapitole věnované této problematice, hodnoty součástek voleny dle katalogových listů:

- $R_1 = 1500 \text{ } \Omega$  [7]
- $C_1 = 2,2 \text{ } \mu\text{F}$  [3]

Mikrofon je možné napájet 1 – 10 V[7], což vyhovuje napájení přímo z modulu XS3868 pomocí pinu MICBIAS.

### 6.3 Návrh napájecí a nabíjecí části



Obrázek 24: Schéma napájecí a nabíjecí části

Jak je možné vidět na obrázku, jsou zde dvě napájení – 5 V a VCC. Napájení 5 V je dostupné, pokud je do USB konektoru připojen napáječ.

Přepínač PWR připíná baterii na napájení zbytku výrobku. Jedná se o ON/OFF spínač, který se po každém sudém stisku stane zkratem a po každém lichém stisku je tento zkrat rozpojen.

Kondenzátor C2 vyhlazuje napětí z USB napáječe. Rezistor R7 řídí nabíjecí proud baterie. Signalizační dioda svítí, pokud se akumulátor nabíjí.

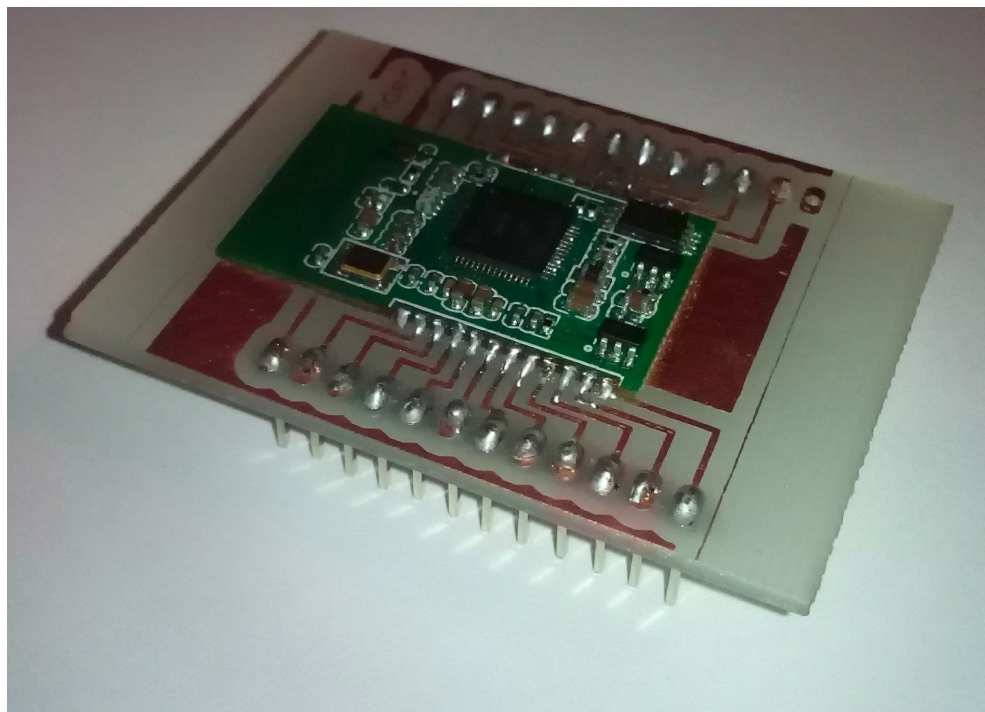
V konečném řešení je dále použito Li-pol baterie o kapacitě 240 mAh, s maximálním vybíjecím proudem 30C (7,2 A) a rozměry 2 cm × 2,5 cm × 0,7 cm. Pro nabíjení proudem 1C (240 mA), je nutné zvolit odpor  $R_7$ :

$$R_7 = \frac{1000 \text{ V}}{240 \text{ mA}} = 4166 \Omega ,$$

respektive zvolíme 4,3 k $\Omega$ .

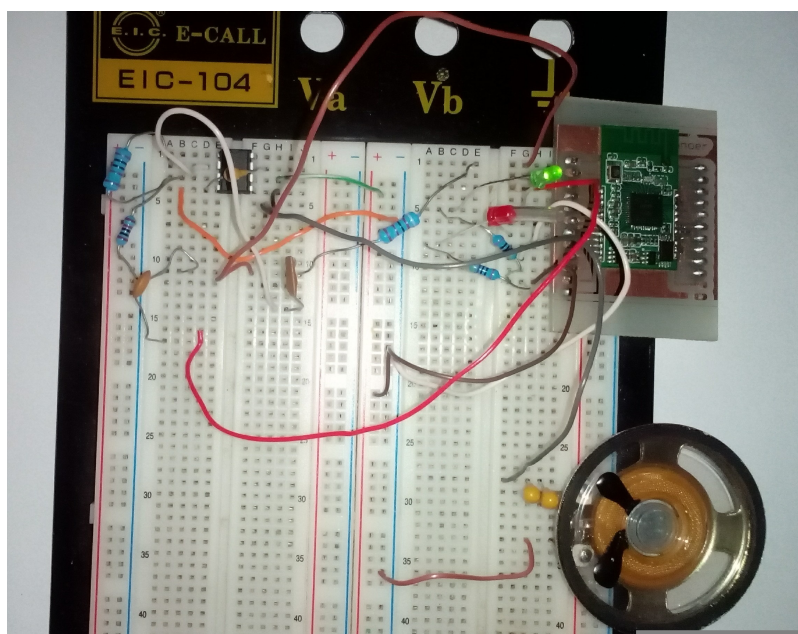
## 7 Experimentální ověření

Experimentálně bylo ověřeno zapojení vstupní a výstupní audio části. Pro tyto účely byl vyvinut tzv. expander. Jeho jediným úkolem je přizpůsobit modul pro připojení do nepájivého pole.



Obrázek 25: Expander modulu XS3868

Další pokusy byly prováděny na nepájivém poli – především odlazování výstupní audio části. Následující obrázek takovýto pokus znázorňuje. Zapojení je v tomto případě shodné s výše popsaným.



Obrázek 26: Zapojení experimentu

Dále byla experimentálně ověřena funkčnost zapojení mikrofonu. Vzhledm k tomu, že je tato část náchylná na šum, byla za tímto účelem vytvořena deska plošných spojů a bylo potvrzena funkčnost zařízení.

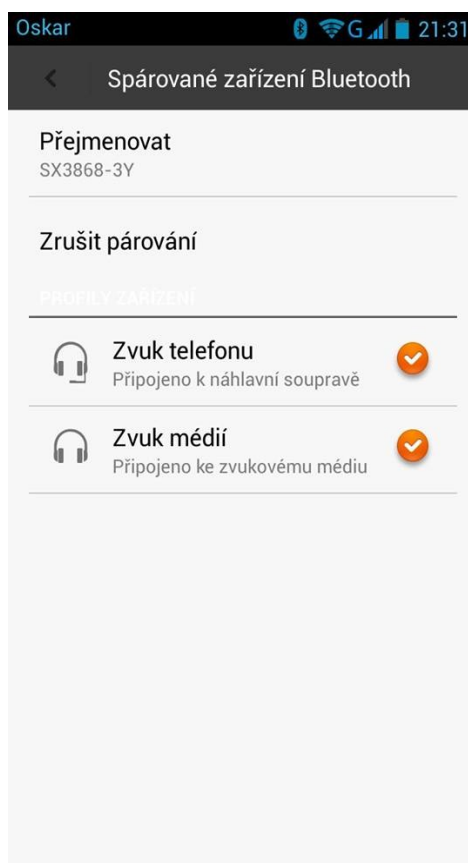
Pro stanovení provozní doby bylo provedeno měření odběru proudu. Naměřená data lze shrnout do následující tabulky:

stav	odběr
čeká na připojení	60 mA
připojeno – nepřehrává se (mimo hovor)	30 mA
připojeno – přehrává se (během hovoru)	80 mA

Tabulka 11: Odběr proudu

Vezmeme-li v úvahu kapacitu baterie 240 mAh, pak lze podobně jako u mobilních telefonů stanovit následující výdrž:

- osm hodin v pohotovostním režimu
- tři hodiny hovoru

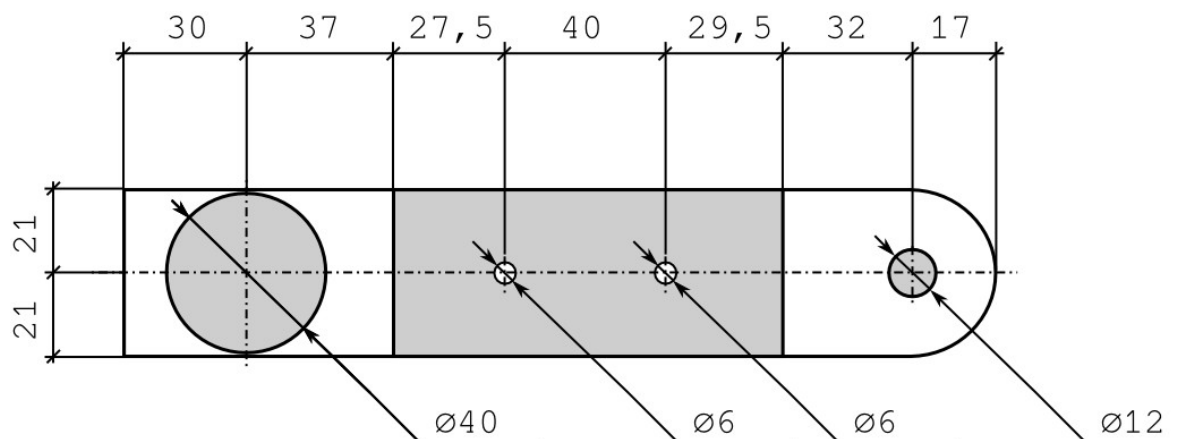


Obrázek 27: Spárovaný modul s výpisem profilů

Na předchozím obrázku je možné vidět spárovaný modul s telefonem (pomocí obvyklého PIN 0000). Z obrázku je zřejmá podpora „náhlavní soupravy“ - HSP/HFP a podpora A2DP a AVRCP (položka Zvuk médií).

## 8 Konstrukční řešení

Pro výrobu prototypů i vlastního konečného řešení je nutné vytvořit desku plošných spojů. Konečný výrobek je nutné rozměrově přizpůsobit výslednému obalu - mikrotelefonu. Z tohoto hlediska se jeví jako nejvýhodnější využít rovného povrchu, v němž bylo původně umístěno těžítka mikrotelefonu. Nákres mikrotelefonu popisuje následující obrázek:



Obrázek 28: Nákres mikrotelefonu s rozměry

Šedě vyznačeny jsou části: reproduktor (průměr 400 mm), mikrofon (průměr 120 mm) a rovná plocha, na níž bylo původně umístěno těžítka (rozměry 970 × 420 mm). Návrh plošného spoje je tedy omezen těmito rozměry a dále je nutné vzít v úvahu kolíky (2 × průměr 6 mm), jež držely těžítka na místě.

Výroba plošných spojů obvykle probíhá fotocestou – na epoxidové desce je nanášena vrstva mědi a na této vrstvě je dále nanášen světlocitlivý lak. Lak má tu vlastnost, že po jeho osvětlení se stane rozpustným v roztoku hydroxidu sodného. Tohoto je s výhodou využito, přes masku s požadovaným obrazcem se celá deska osvětí a následně je vyvolána v roztoku NaOH. Tímto je dosaženo pokrytí měděné desky lakem pouze v místech, kam dopadalo světlo. Dále je deska vyvolána v roztoku chloridu železitého (i jiného leptadla), čímž se dosáhne odleptání mědi, jenž není pokryta lakem.

Pro svou jednoduchost nicméně byla zvolena méně konvenční metoda výroby plošných spojů, jde o tzv. „metodu nažehlování toneru“. Jako výchozí materiál v tomto případě postačí pouze expoxidová deska s vrstvou mědi.[11] Poté se uplatní následující postup:

- důkladné vyčištění měděné vrstvy
- tisk zrcadlově otočené předlohy na speciální papír (pomocí laserové tiskárny)
- důkladné přiložení vytištěného motivu na očištěnou desku a její fixace
- zažehlení motivu na desku přes čistý list papíru (přibližně 5 minut, střední teplota)
- opatrné položení do kádě s vodou (přibližně na 5 minut)
- sloupnutí zbylého papíru

Speciálním papírem se v tomto případě myslí buď fólie určená přímo pro tyto účely (pak není nutné odmačtení ve vodě) nebo je možné použít některé druhy barevných lepicích papírů, přičemž se předloha tiskne na lepicí stranu, která se stane po namočení kluzkou (podobně jako například poštovní známky).

Princip funkce je pravděpodobně zřejmý – po zažehlení je toner spojen s papírem i s měděnou vrstvou, poté se namočením stane lepidlová vrstva kluzkou a toner půjde snadno sloupnout – zůstane pouze na měděné ploše.

Výhodou této metody je jednoduchost, její opakovatelnost (pokud se nažehlení nezdaří, lze desku umýt a pokus opakovat) a je také cenově výhodnější (cena desek bez laku je nižší než s lakem).

Je-li deska plošných hotová, je nutné ji vyvrtat. K tomuto účel je vhodné využít stolní vrtačku. Vzhledem k malým rozměrům děr (typicky od cca 0,6 mm) musí být upínací hlava vrtačky schopna takovýto vrták upnout, dalším požadavkem na vrtačku je nízká házivost (odchýlení od osy) a dostatečné otáčky. Po vyvrtání je vhodné nanést pájitelný lak a součástky zapájet.

Při návrhu bylo využito především SMD součástek v pouzdře 1206 (diody, rezistory, kondenzátory) a SO8 (operační zesilovač).

## 9 Závěr

V rámci tohoto projektu byl proveden rozbor dostupných Bluetooth modulů s ohledem na použití v audio technice. S ohledem na jednoduchost návrhu a cenu byl vybrán modul XS3868 a dále použit.

Dále byla obecně popsána technologie Bluetooth, proveden teoretický i praktický rozbor jednotlivých protokolů (pomocí odchyty rámců) a teoretický popis jednotlivých Bluetooth profilů, jež se bezprostředně týkají přenosu audio signálu pomocí této technologie.

Pro úplné praktické využití bylo nutné se zabývat také napájením – zvolit vhodný typ akumulátoru a seznámit se s principem jejich dobíjení. Pro tyto účely byl zvolen vhodný akumulátor a dobíjecí obvod.

Pro účely audio reprodukce signálu byl vybrán výkonový zesilovač, popsáno a realizováno praktické zapojení. Dále byl popsán princip a teoretické zapojení elektretového mikrofonu které bylo taktéž realizováno.

Bylo provedeno experimentální ověření funkčnosti výše uvedených zapojení s výsledky, jež odpovídaly očekávání. Zapojení mikrofonu, audio zesilovače a Bluetooth modulu bylo shledáno funkčním a použitelným.

Zvolena a popsána byla také technologie vhodná pro výrobu desek plošných spojů v domácích podmínkách a bylo vyrobeno několik prototypů pomocí této technologie. Dále bylo popsáno konstrukční řešení finálního výrobku – zapouzdření do mikrotelefonu.



## Literatura

- [1] Rayson Technology co., Ltd., katalogová stránka modulu BTM-110 [WWW dokument]. Dostupné z: [http://www.rayson.com/rayson/en/index.php?pros=product&pros=product&b\\_cat\\_id=A01&m\\_cat\\_id=A0101&s\\_cat\\_id=A010102&prod\\_id=P0012&level=3](http://www.rayson.com/rayson/en/index.php?pros=product&pros=product&b_cat_id=A01&m_cat_id=A0101&s_cat_id=A010102&prod_id=P0012&level=3)
- [2] neznámý, přehled modulu XS3868 [WWW dokument]. Dostupné z: [http://www.aliexpress.com/store/product/Xs3868-bluetooth-stereo-audio-module-control-chip-OVC3860-stereo-bluetooth-module/420320\\_800968011.html](http://www.aliexpress.com/store/product/Xs3868-bluetooth-stereo-audio-module-control-chip-OVC3860-stereo-bluetooth-module/420320_800968011.html)
- [3] neznámý, datasheet modulu XS3868 [WWW dokument]. Dostupné z: <http://www.thinksues.com/IC/All%20data%20modules/2078.zip>
- [4] kolektiv vývojářů Bluetooth, dokumentace Bluetooth proroků a profilů [WWW dokument]. Dostupné z: <https://developer.bluetooth.org>
- [8] kolektiv vývojářů Bluetooth, dokumentace Bluetooth proroků a profilů [WWW dokument]. Dostupné z: <https://developer.bluetooth.org>
- [6] Jaroslav Belza, Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení [WWW dokument]. Dostupné z: <http://www.belza.cz/charge/liion1.htm>
- [5] Linear Technology Corporation, datasheet obvodu LTC4050-4.2 [WWW dokument]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/405442xf.pdf>
- [9] Texas Instruments, Datasheet obvodu LM386 [WWW dokument]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm386.pdf>
- [10] OptoSupply Limited, dataseet k diodám řady OSXX1206C1A\_N [WWW dokument]. Dostupné z: [http://www.optosupply.com/UploadFile/PDF/osxx1206c1a\\_n.pdf](http://www.optosupply.com/UploadFile/PDF/osxx1206c1a_n.pdf)
- [7] Monacor International, datasheet mikrofonu MCE100 [WWW dokument]. Dostupné z: [http://www.monacor.de/pdf/produkte/detailseite\\_en.php?artikelid=2718](http://www.monacor.de/pdf/produkte/detailseite_en.php?artikelid=2718)
- [11] Martin Marušák, Výroba DPS nazehlením toneru [WWW dokument]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vyroba-dps-nazehlenim-toneru.html>