

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroniky a informačních technologií**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**FM radiopřijímač řízený mikrokontrolérem**

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub ŠANDA**  
Osobní číslo: **E18B0034P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Téma práce: **FM radiopřijímač řízený mikrokontrolérem**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroniky a informačních technologií**

### Zásady pro vypracování

FM přijímač na principu integrovaného obvodu řízený mikrokontrolérem

1. Přehled integrovaných obvodů pro FM přijímače
2. Návrh systému
3. Realizace

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/ENA1699-D.PDF>
2. <https://www.mouser.com/datasheet/2/268/doc4838-1065837.pdf>
3. <https://create.arduino.cc/projecthub/nickthegreek82/arduino-tea5767-fm-radio-receiver-543480>
4. <https://arduino-shop.cz/arduino/852-arduino-fm-radio.html>

Vedoucí bakalářské práce: **Prof. Ing. Milan Štork, CSc.**  
Katedra elektroniky a informačních technologií

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**

  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan



  
**Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

**Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na integrované FM přijímače, které lze řídit pomocí mikrokontroléru. Po úvodní části, kde je stručně popsáno pásmo velmi krátkých radiových vln, historie a budoucnost přenosu radiových stanic, následuje obecný popis superheterodynu se stručným popisem důležitých vlastností FM přijímačů. Dále je zde přehled dostupných FM integrovaných přijímačů a poté návrh FM rádia a následná realizace navrženého FM rádia.

**Klíčová slova**

FM přijímač, integrovaný přijímač, TEA5767, RDA5807M, Si4703m, Si4745, LV24250LS.

**Abstract**

The presented bachelor thesis is focused on integrated FM receivers that can be controlled by a microcontroller. After the introductory part where the band of very short radiowaves and the history and future of radio station transmission are briefly described, a general description of superheterodyne follows with a brief description of important features of FM receivers. Furthermore, there is an overview of available FM integrated receivers, then the design of the FM radio and the subsequent implementation of the designed FM radio.

**KeyWords**

FM receiver, integrated receiver, TEA5767, RDA5807M, Si4703m, Si4745, LV24250LS.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 25.5.2021

Jakub Šanda

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 POPIS A VLASTNOSTI FM PŘIJÍMAČE</b> .....	<b>12</b>
1.1 POPIS FM PŘIJÍMAČE .....	12
1.2 VLASTNOSTI .....	13
1.2.1 Frekvenční rozsah .....	13
1.2.2 Citlivost .....	13
1.2.3 Selektivita .....	13
<b>2 PŘEHLED INTEGROVANÝCH OBVODŮ PRO FM PŘIJÍMAČE</b> .....	<b>13</b>
2.1 TEA5767HN .....	14
2.1.1 Přehled .....	14
2.1.2 Blokové schéma .....	15
2.2 RDA5807M .....	15
2.2.1 Přehled .....	15
2.2.2 Blokové schéma .....	16
2.3 Si4703 .....	17
2.3.1 Přehled .....	17
2.3.2 Blokové schéma .....	18
2.4 Si4745 .....	18
2.4.1 Přehled .....	18
2.4.2 Blokové schéma .....	19
2.5 LV24250LS .....	20
2.5.1 Přehled .....	20
2.5.2 Blokové schéma .....	21
2.6 PŘEHLED VLASTNOSTÍ UVEDENÝCH FM PŘIJÍMAČŮ .....	21
<b>3 NÁVRH SYSTÉMU</b> .....	<b>22</b>

---

3.1	VÝBĚR FM IO OBVODU .....	22
3.2	VÝBĚR MIKROKONTROLÉRU .....	23
3.2.1	<i>I<sup>2</sup>C komunikace</i> .....	24
3.3	DISPLEJ.....	24
3.3.1	<i>UART</i> .....	25
3.4	AUDIO ZESILOVAČ S REPRODUKTORY.....	26
3.4.1	<i>Audio zesilovač</i> .....	26
3.4.2	<i>Reproduktory</i> .....	27
3.5	NAPÁJENÍ.....	28
3.6	SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	28
<b>4</b>	<b>REALIZACE .....</b>	<b>29</b>
4.1	ZOBRAZENÍ NA DISPLEJI A OVLÁDÁNÍ.....	29
4.2	REALIZACE OBVODU .....	30
4.3	PROGRAM .....	31
4.4	KRABICE PRO RÁDIO.....	32
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>33</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>34</b>
	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>1</b>



## Úvod

S rádiovými přijímači se dnes a denně setkává snad každý člověk na této planetě. Ať se jedná o mobilní telefon v kapse, dálkový ovladač k televizi, rádio v kuchyni nebo GPS navigaci. Rádiové vlny se využívají především ke komunikaci na různé vzdálenosti. Tyto vlny dělíme podle jejich frekvence na takzvaná vlnová pásma, přičemž v této práci nás bude zajímat pouze pásmo VKV neboli velmi krátké vlny. Jedná se o pásmo s frekvencí od 30 MHz do 300 MHz. Právě v části pásma VKV se vysílá frekvenčně modulované (FM) rozhlasové vysílání, které lze zachycovat FM radiopřijímači. Jedná se o část pásma mezi 87 až 108 MHz, které je využíváno v Evropě a USA.

FM radiopřijímačů je hned několik typů, avšak většina moderních FM přijímačů pracuje na principu superheterodynu neboli superhetu. Právě superheterodyn i frekvenční modulaci vynalezl americký elektroinženýr a vynálezce Edwin H. Armstrong. Dnes se můžeme setkat se dvěma modulacemi analogového přenosu rozhlasových stanic, a to již zmíněnou FM a AM. AM neboli amplitudová modulace je starší způsob modulování signálu než FM. Jak napovídá název amplitudové modulace, u této modulace se mění amplituda nosné vlny v závislosti na modulačním signálu oproti FM, kde se mění frekvence nosného signálu v závislosti na modulačním signálu. FM díky tomu, že nosná vlna nepřenáší signál pomocí amplitudy, ale frekvence, je méně náchylná na rušení a také má lepší kvalitu zvuku díky vyšší šířce pásma. Tyto výhody FM jsou však podmíněny vyšší složitostí vysílače a přijímače signálu a také tím, že FM signál nelze přenášet na velké vzdálenosti.

Tato práce se věnuje integrovaným obvodům (IO) FM přijímačů, které lze řídit pomocí mikrokontroléru. Je zde vytvořen přehled aktuálně dostupných IO FM přijímačů, dále návrh systému FM rádia jedním z nich a následná realizace.

Mezi nejnovější vysílání rádiových stanic patří DAB a DAB+, které u nás v ČR začalo mít řádné vysílání v roce 2011. DAB+ neboli Digital audio Broadcasting je digitální vysílání, které se přenáší v pásmu VKV stejně jako FM. Přijímače DAB+ se vyznačují vysokou kvalitou zvuku a odolností proti rušení. Česká republika je již dnes téměř celá pokrytá digitálním vysíláním. Celkově se ve světě přechází z analogových sítí na digitální. Jako například v Norsku, kde v roce 2018 ukončili celostátní analogovou síť a přešli na DAB+ [1]. Digitální vysílání je jednoznačně budoucnost v oblasti rozhlasového vysílání.

## Seznam symbolů a zkratk

FM ..... Střední pracovní vodič napájecí soustavy

VKV ..... Velmi krátké vlny

IO ..... Integrovaný obvod

RDS ..... Radio Data System

I<sup>2</sup>C ..... Internal Integrated Circuit

SPI ..... Serial Peripheral Interface

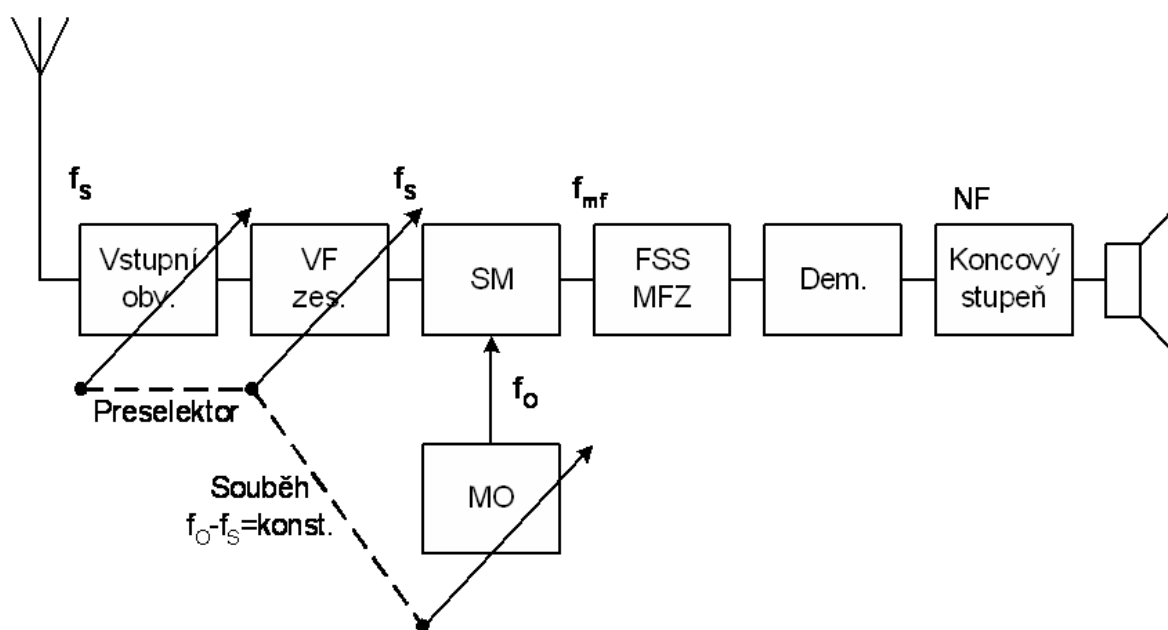
## Seznam obrázků a tabulek

OBR. 1: PRINCIPÁLNÍ BLOKOVÉ SCHÉMA SUPERHETERODYNU [3].....	12
OBR. 2: FM RÁDIO TEA5767 NA DESTIČCE PLOŠNÉHO SPOJE 11X11MM [6].....	14
OBR. 3: BLOKOVÉ SCHÉMA INTEGROVANÉHO OBVODU TEA5767 [4].....	15
OBR. 4: RDA5807M NA DESTIČCE PLOŠNÉHO SPOJE 11X11 MM [7].....	16
OBR. 5: BLOKOVÉ SCHÉMA RDA5807M [5].....	16
OBR. 6: SI4703 NA DESCE PLOŠNÉHO SPOJE 30X22 MM [10].....	17
OBR. 7: BLOKOVÉ SCHÉMA SI4703 [9].....	18
OBR. 8: QFV ČIP SI4745 [12].....	19
OBR. 9: BLOKOVÉ SCHÉMA SI4745 [12].....	19
OBR. 10: VQLP ČIP LV24250LS [11].....	20
OBR. 11: BLOKOVÉ SCHÉMA LV24250LS [11].....	21
OBR. 12: MODUL TEA5767 31X30MM [13].....	22
OBRÁZEK 13: ANTÉNA PRO TEA5767 [13].....	23
OBR. 14: ARDUINO NANO S POPSANÝMI PINY [14].....	24
OBR. 15: DOTYKOVÝ DISPLEJ NEXTION 2.4" [17].....	25
OBR. 16: AUDIO ZESILOVAČ PAM8403 2X3W 21X19MM [19].....	26
OBR. 17: BLOKOVÉ SCHÉMA ZESILOVAČE PAM8403 [21].....	27
OBR. 18: REPRODUKTORY 3W 40MM [20].....	27
OBR. 19: SCHÉMA ZAPOJENÍ NAVRŽENÉHO FM RADIA.....	28
OBR. 20: ZOBRAZENÍ NA DISPLEJI NEXTION.....	29
OBR. 21: UKÁZKOVÁ FOTOGRAFIE OBVODU RÁDIA NA PROTOTYPOVÉM POLI 70X50MM.....	30
OBR. 22: VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU.....	31
OBRÁZEK 23: FOTKA KOMPLETNÍHO RÁDIA V KRABICI.....	32
TABULKA 1: PŘEHLED VLASTNOSTÍ UVEDENÝCH FM PŘIJÍMAČŮ.....	21

# 1 Popis a vlastnosti FM přijímače

## 1.1 Popis FM přijímače

Dnešní moderní FM přijímače fungují na principu přijímače s nepřímým zesílením, tedy superheterodynu (superhet). Jeho princip spočívá v tom, že zachycenou nosnou frekvenci přemění na mezifrekvenci, na kterou je nastaven mezifrekvenční zesilovač. Struktura superhetu je znázorněna na obr.1.



Obr.1: Principiální blokové schéma superheterodynu [3]

**Preselektor:** Vstupně laděný obvod a VF předzesilovač. Velmi hrubý výběr části signálu. Je laditelný, ale s nízkou selektivitou [3].

**Směšovač (SM):** Konverze na mezifrekvenční kmitočet [3].

**Místní oscilátor (MO)**

**Filtr soustředěné selektivity (FSS):** Zajišťuje hlavní výběr požadované stanice (filtr s největší selektivitou v přijímači) [3].

**Mezifrekvenční zesilovač (MFZ):** Provádí hlavní zesílení signálu (zesilovač s nejvyšším zesílením v přijímači) [3].

**Demodulátor (Dem.):** Odstraní VF složku z přijatého signálu [3].

**Koncový stupeň:** NF zesilovač, kde se NF složka zesílí a pokračuje na výstup (do reproduktoru) [3].

U IO FM přijímačů je zpracování signálu analogově číslicové, tzn. na určité úrovni provádí převod z analogové do číslicové oblasti pomocí A/D převodníku a poté následuje číslicové zpracování signálu [8]. Jelikož u přijímače na principu superhetu je potřeba se vypořádat se zrcadlením signálu, využívají IO FM přijímače metody na jeho potlačení, jako je využití komplexního směšovače (image rejection mixer). Komplexní směšovač je vylepšené zapojení směšovače, kde dochází k eliminaci zrcadlového příjmu na základě sečtení signálů opačné fáze. Využívají ho právě moderní jednočipová řešení, zejména s následným digitálním zpracováním signálu [3].

## 1.2 Vlastnosti

### 1.2.1 Frekvenční rozsah

Frekvenční rozsah nám udává, v jakém rozsahu lze daný přijímač přeladovat. Podle frekvence dělíme rádiové vlny na vlnová pásma. Rozhlasové přijímače bývají laditelné v rozsazích: dlouhé vlny (DV), střední vlny (SV), krátké vlny (KV) a velmi krátké vlny (VKV) [2]. Právě v části pásma VKV se vysílá frekvenčně modulované rozhlasové vysílání. VKV pásmo je od 30-300 MHz. V Evropě a USA se pro FM rozhlas využívá rozsah 87,5-108,0 MHz.

### 1.2.2 Citlivost

Citlivost je schopnost příjmu slabých signálů od vysílačů. U FM přijímačů se udává jako minimální úroveň vstupního signálu ( $\mu\text{V}$ ), při které je dosaženo normalizovaného výstupního výkonu 50 mW (5 mW, 500 mW) za přednastaveného poměru užitečného signálu k šumu 26 dB [2].

### 1.2.3 Selektivita

Selektivita je schopnost přijímače vybrat jen jeden signál z mnoha signálů, které anténa zachytává, a zbylé co nejvíce potlačit. Udává se poměrem vstupního napětí přijímače, které při daném rozladění  $\Delta f$  vybudí výstup přijímače na 50 mW, k citlivosti přijímače při nosné frekvenci. Poměr se vyjadřuje v decibelech (dB). Selektivita se vyjadřuje různými způsoby, z nichž nejpřehlednější je grafický způsob [2].

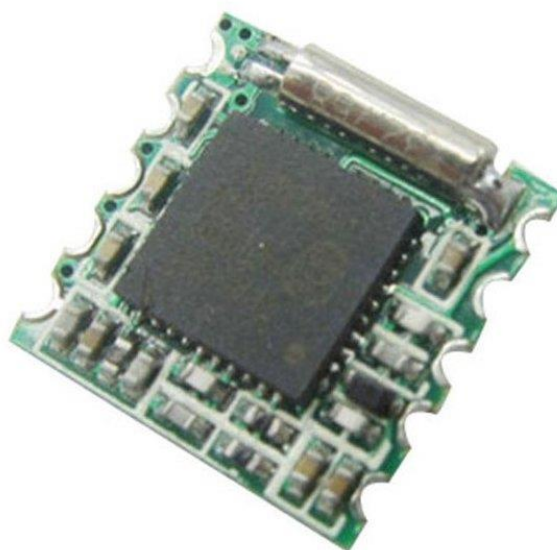
## 2 Přehled integrovaných obvodů pro FM přijímače

V této kapitole je uveden přehled dostupných integrovaných obvodů pro FM přijímače. Jsou zde uvedeny jejich důležité vlastnosti, jako je frekvenční rozsah, citlivost, selektivita a napájecí napětí. Jsou zde zobrazeny i bloková schémata integrovaných obvodů.

## 2.1 TEA5767

### 2.1.1 Přehled

TEA5767 je jednočipový elektronicky laděný FM přijímač pro nízkonapěťové aplikace s plně integrovanou selektivitou mezní frekvence a demodulací. Rádiový obvod je téměř kompletní a vyžaduje jen pár externích komponentů pro spuštění. Velikost QFN40 čipu je 6x6x0,85 mm. Je zde také možnost koupit tento čip na modulu s potřebnými periferiemi, jako je konektor pro anténu, audio výstup a piny pro napájení a komunikaci s mikrokontrolérem [4].

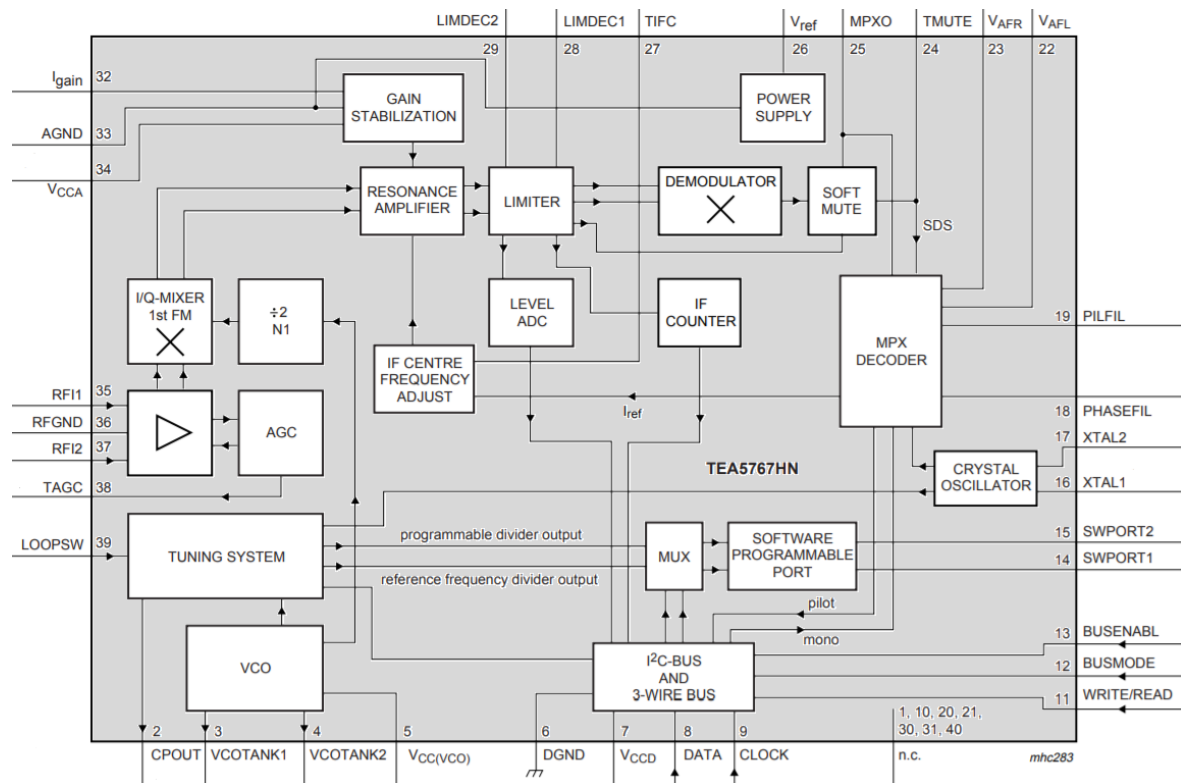


**Obr.2: FM rádio TEA5767 na destičce plošného spoje 11x11mm [6].**

Rádio je možno napájet od 2,5-5V, typicky 3V. Frekvenční rozsah je od 76 do 108 MHz, to znamená, že je schopné fungovat jak v Evropě a Americe, kde se využívá rozsah 87,5-108,0 MHz, tak i v Japonsku, kde se využívá pásmo 76-96 MHz. Udávaná citlivost je typicky 2,5  $\mu$ V a maximálně 3  $\mu$ V. Selektivita  $S_{-200}$  je typicky 36dB a  $S_{+200}$  typicky 43 dB [4].

Tento integrovaný obvod lze řídit pomocí I<sup>2</sup>C komunikace nebo sběrnicí SPI [4]. Komunikaci I<sup>2</sup>C bude probrána v další kapitole.

## 2.1.2 Blokové schéma



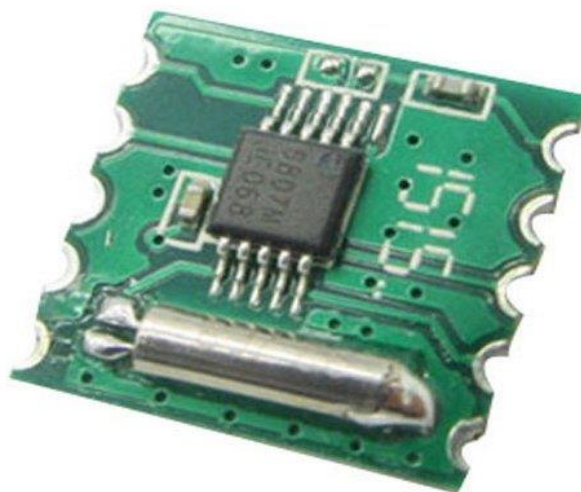
Obr.3: Blokové schéma integrovaného obvodu TEA5767 [4]

## 2.2 RDA5807M

### 2.2.1 Přehled

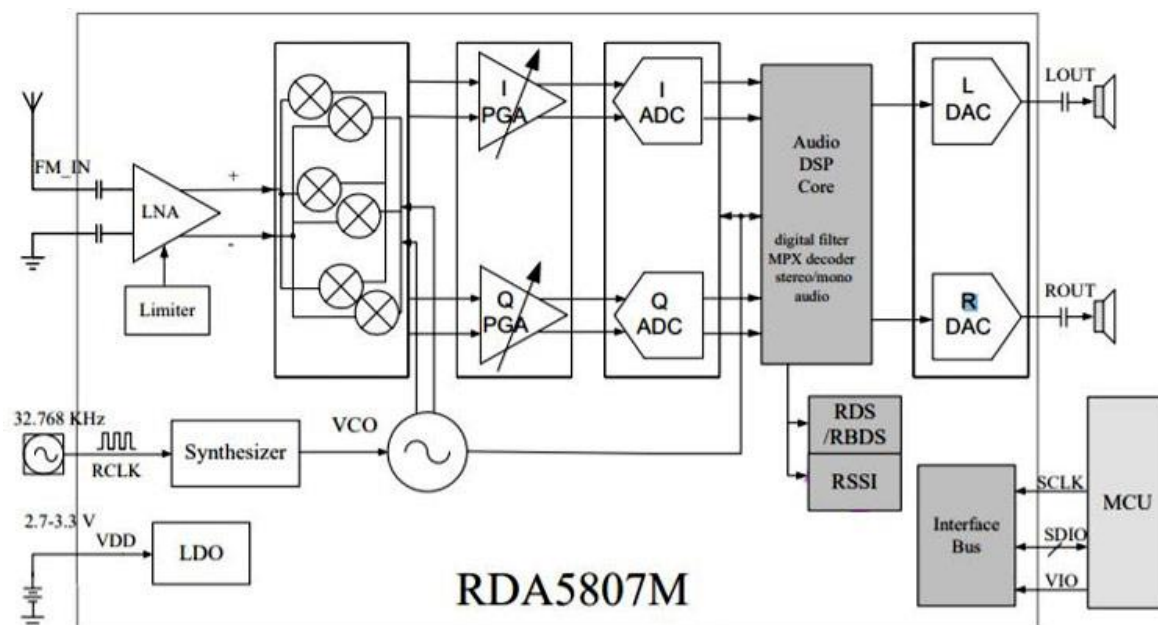
RDA5807M je jednočipový rádiový FM tuner s plně integrovaným syntetizérem, IF selektivitou, RDS/RBDS a MPX dekodérem. Tuner využívá CMOS zpracování, podporuje více rozhraní a vyžaduje málo externích komponent. Velikost čipu je 3x3x0,85 mm. To vše ho činí vhodným pro přenosná zařízení. Řada RDA5708M má výkonný low-IF digitální audio procesor, díky tomu má optimální kvalitu zvuku pro různé podmínky příjmu [5].

RDA5807M má frekvenční rozsah od 50 do 115MHz a podporuje flexibilní přeladitelnost 100 kHz, 200 kHz, 50 kHz a 25 kHz. Napájecí napětí se pohybuje mezi 2,7 až 3,3 V. Citlivost přijímače se typicky pohybuje okolo 1,3  $\mu$ V. Selektivita  $S_{200}$  je typicky 70dB. Tento čip je také schopen dekódovat RDS a digitálně ovládat hlasitost. RDA5807M podporuje pouze řízení skrze I<sup>2</sup>C komunikaci [5].



Obr.4: RDA5807M na destičce plošného spoje 11x11 mm [7].

## 2.2.2 Blokové schéma



Obr.5: Blokové schéma RDA5807M [5]

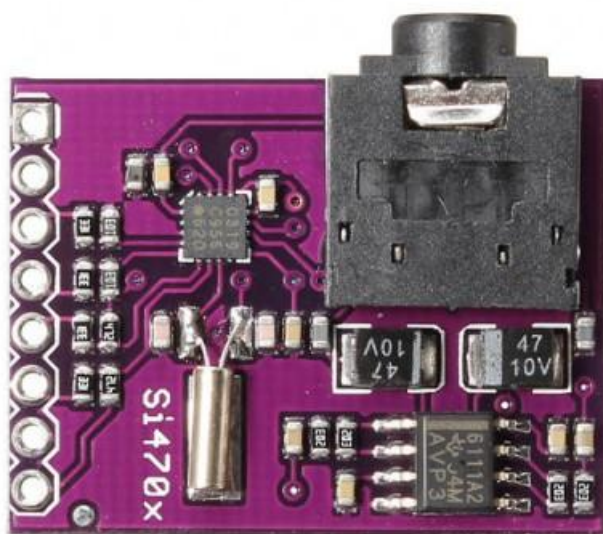


## 2.3 Si4703

### 2.3.1 Přehled

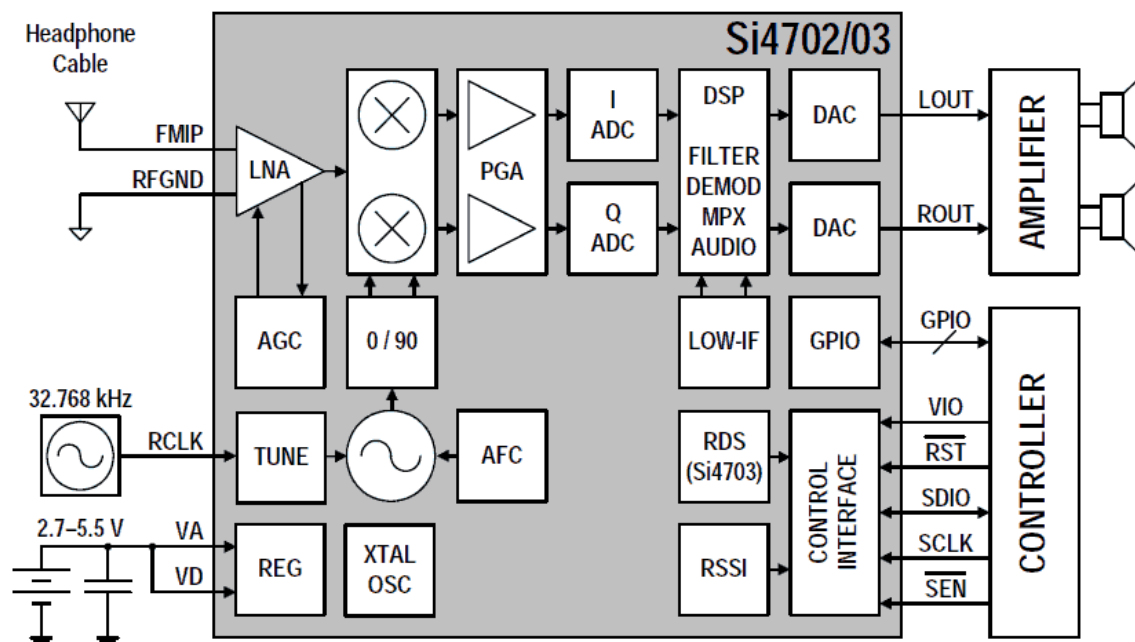
Si4703 pochází z řady Si4700 FM tunerů od firmy Silicon Laboratories. Tento čip především těží z osvědčené digitální integrace a 100% procesní technologii CMOS, díky čemuž je plně integrován. Je to jeden z nejmenších FM IC tunerů od firmy Silicon Laboratories. Rozměry QFN20 pouzdra jsou 3x3x0,55 mm. Zařízení nabízí značnou programovatelnost. Může být přizpůsobeno k subjektivním požadavkům na poslech a umožňuje přizpůsobitelnost v důležitých parametrech, jako jsou vyhledávání a ladění. Si4703 zahrnuje digitální procesor pro evropský Radio Data System (RDS) a US Radio Broadcast Data (RBDS) [9].

Podporuje frekvenční rozsah od 76 do 108 MHz. Citlivost je typicky 2,5  $\mu\text{V}$  a selektivita  $S_{200} = 50$  dB. Napájet lze od 2,7 do 5,5 V. Řídit jej lze pomocí SPI nebo I<sup>2</sup>C. Je zde možno plně digitálně řídit nastavení hlasitosti zvuku, automatické vyhledávání stanic, měření síly signálu atd [9]. Na obrázku č.6 můžeme Si4703 vidět na desce plošného spoje (nalevo od 3,5mm jack konektoru), který se volně prodává jako modul pro práci s tímto čipem.



Obr.6: Si4703 na desce plošného spoje 30x22 mm [10]

### 2.3.2 Blokové schéma



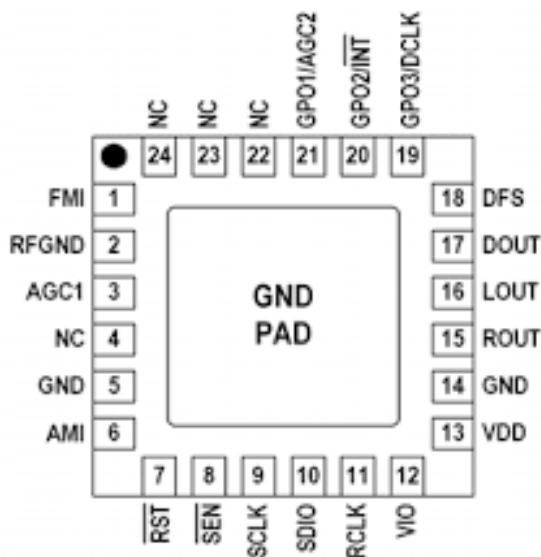
Obr.7: Blokové schéma Si4703 [9]

## 2.4 Si4745

### 2.4.1 Přehled

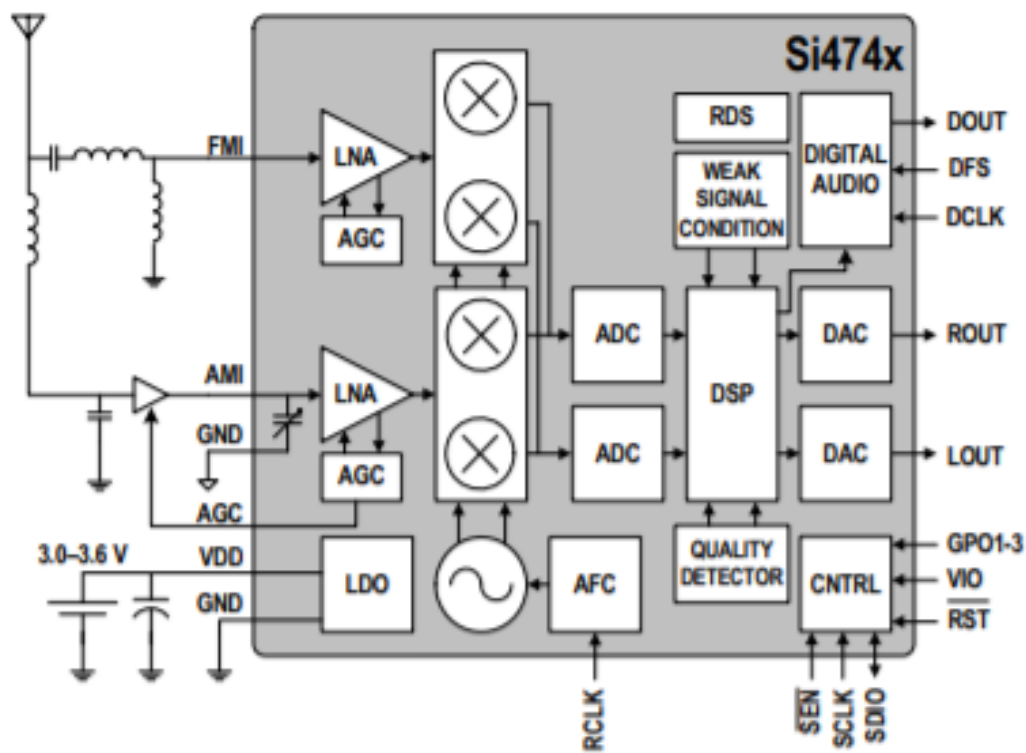
Si4745 je FM/AM/LV/SW přijímač od firmy Silicon Laboratories 100% CMOS integrovanými obvody. Je především určen pro automobilový průmysl. Je nabízen v pouzdře 24 QFN 4x4x0,85 mm. Je v něm implementována Silicon Laboratories mezinárodně patentovaná architektura digital low intermediate frequency (low-IF) neboli digitálně malá mezní frekvence. Poskytuje rozsáhlou flexibilitu přizpůsobení zvuku a výkonu systému. Obsahuje také plně integrovaný preprocesor pro RDS a RBDS [12]. Na obr.8 je vidět umístění padů tohoto čipu.

FM přijímač je plně integrován od antény až po audio výstup. Podporuje frekvenční rozsah od 64 do 108 MHz. Citlivost je typicky  $2\mu\text{V}$  a selektivita  $S_{200}$  je typicky 50 dB. Napájecí napětí se pohybuje v rozmezí 3–3,6V. Ovládat lze ve dvou módech a to I<sup>2</sup>C a SPI.



Obr.8:QFV čip Si4745 [12]

### 2.4.2 Blokové schéma



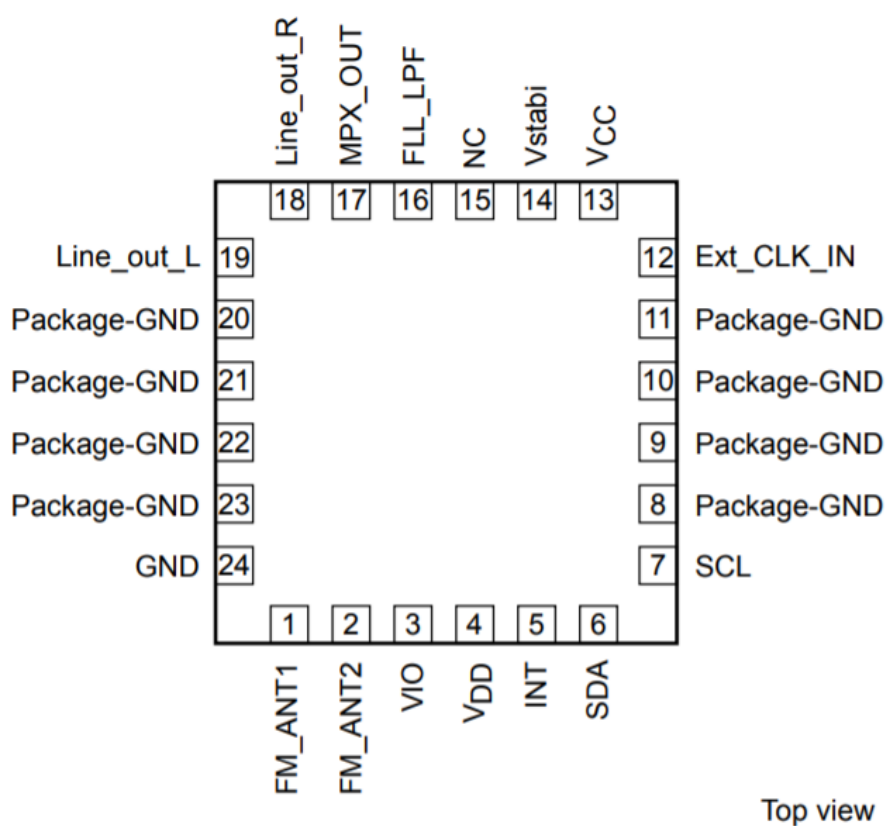
Obr.9: Blokové schéma Si4745 [12]

## 2.5 LV24250LS

### 2.5.1 Přehled

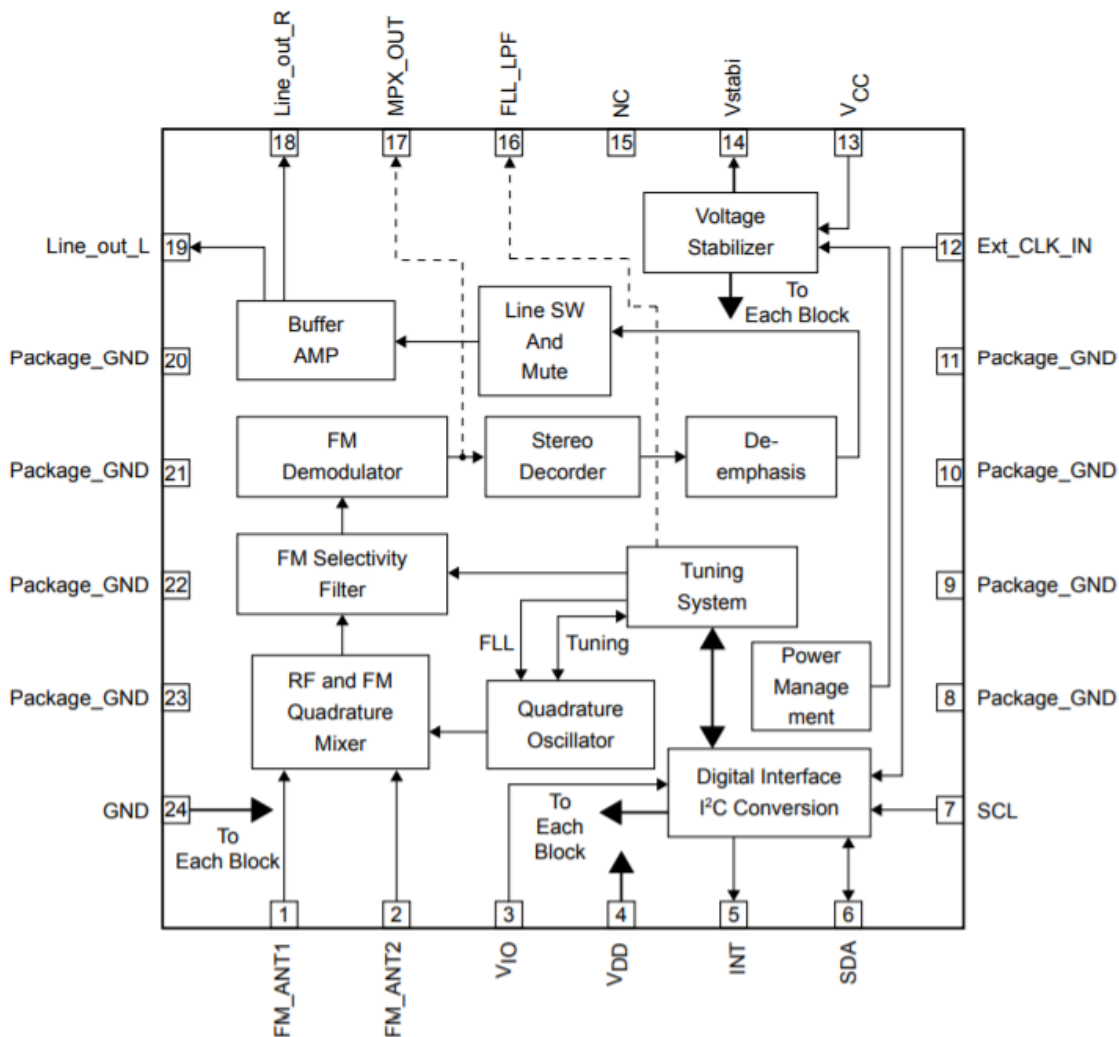
LV24250LS je jednočipový FM IO tuner, který má integrovány externí komponenty nezbytné pro ladění. Velikost jeho VQLP pouzdra je 3,5x3x5x0,85 mm, které je znázorněno na obr.10. Vyrábí se za pomoci technologie BI-CMOS LSI [11].

Podporovaná šířka pásma je od 76 do 108 MHz. Citlivost je typicky 1,1  $\mu\text{V}$  při MONO poslechu. Selektivitu výrobce neudává. Doporučené napájení výrobce udává mezi 2,5 až 3,6 V. Tento čip lze řídit za pomoci I<sup>2</sup>C sběrnice [11].



Obr.10: VQLP čip LV24250LS [11]

### 2.5.2 Blokové schéma



Obr.11: Blokové schéma LV24250LS [11]

### 2.6 Přehled vlastností uvedených FM přijímačů

Tabulka 1: Přehled vlastností uvedených FM přijímačů

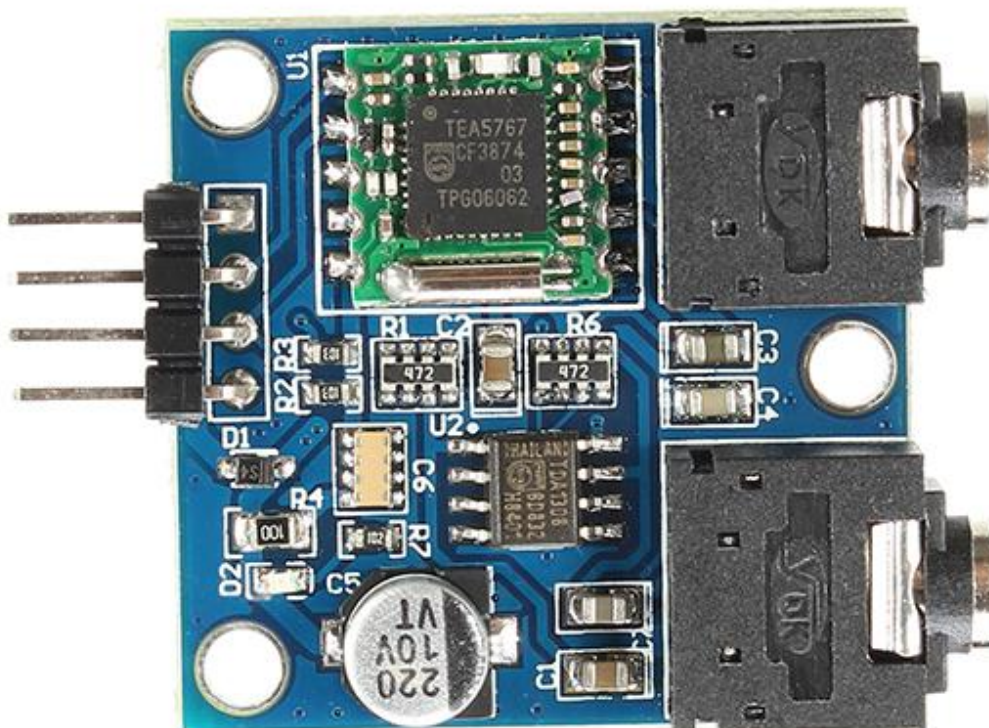
	TEA5767	RDA5807M	Si4703	Si4745	LV24250LS
Napájecí napětí [V]	2,5-5	2,7-3,3	2,7-5,5	3-3,6	2,5-3,6
Frek. rozsah [MHz]	76-108	50-115	76-108	64-108	76-108
Citlivost (typ) [μV]	2,5	1,3	2,5	2	1,1
Selektivita(±200) [dB]	(-)36, (+)43	70	50	50	-
RDS	ne	ano	ano	ano	ne
I2C	ano	ano	ano	ano	ano
SPI	ano	ne	ano	ano	ne

## 3 Návrh systému

### 3.1 Výběr FM IO obvodu

Pro tuto práci byl vybrán obvod TEA5767, respektive modul s tímto čipem. Jedná se o modul, který má výhodu v tom, že už má připravené výstupy pro komunikaci skrze I<sup>2</sup>C, audio výstup se zesilovačem pro sluchátka TDA1308 a výstup pro anténu ve formě konektoru jack 3,5mm. Velikost modulu je 31x30 mm [13]. Pro řízení tohoto modulu je ideální využít Arduino desku, pro kterou je tento modul téměř předurčen.

Na obr.12 níže můžeme vidět právě tento modul. V levé části jsou piny pro napájení a komunikaci, přičemž odshora se jedná o piny Vcc (+5V), SDA, SLC, GND. Na opačné straně lze vidět v horním rohu výstup pro anténu a v dolním rohu audio výstup. Srdcem celého modulu je již popisovaný čip TEA5767 na destičce plošného spoje, na které se nachází mimo pasivní součástky i oscilační krystal pro externí časování PLL syntetizéru.



Obr.12: Modul TEA5767 31x30mm [13]

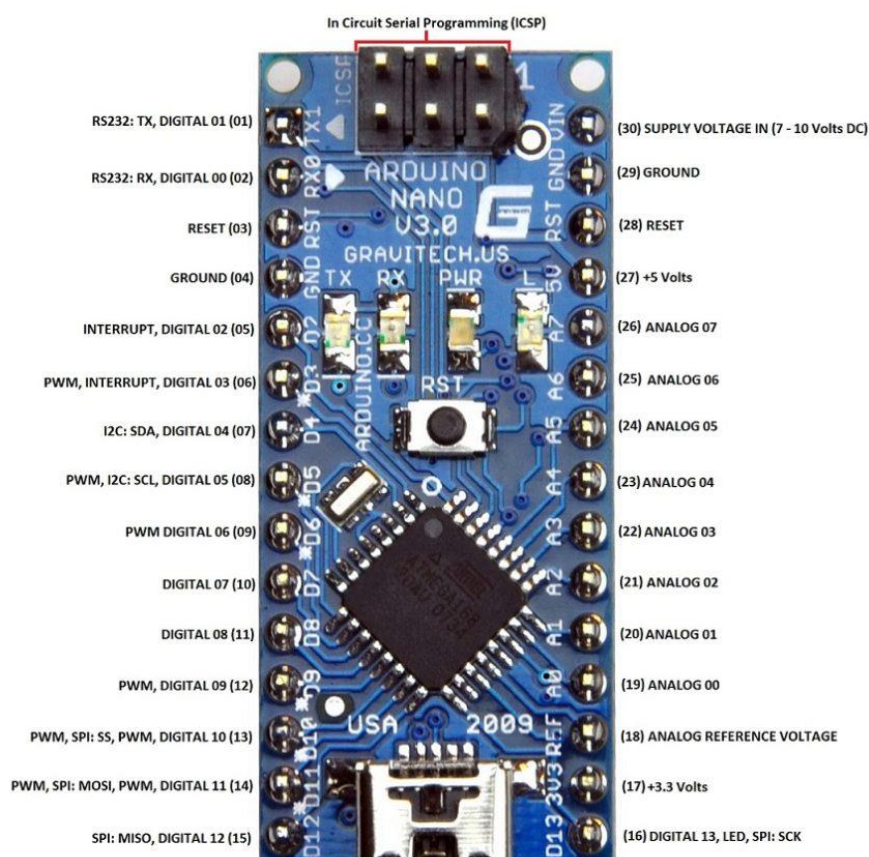
Na obr.13 je zobrazena teleskopická anténa určená pro modul TEA5767. K modulu se připojuje díky konektoru 3,5mm jack. Délka antény je 25cm při plném vytažení.



Obrázek 13: Anténa pro TEA5767 [13]

### 3.2 Výběr mikrokontroléru

Pro řízení vybraného FM IO přijímače bylo zvoleno Arduino nano, což je mikrokontrolérová vývojová deska založená na ATmega328. Výhoda využití Arduina jako řídicího prvku spočívá v široké základně návodů a fór (jak na používání, tak i na programování tohoto zařízení) a možnost využití již připravených knihoven k daným zařízením. K řízení FM modulu je využita I<sup>2</sup>C komunikace, která se na Arduino nano nachází na analogových pinech A4 (SDA) a A5 (SCL) [14]. Na obr.14 níže můžeme vidět právě Arduino nano s popisem jednotlivých pinů.



Arduino Nano V3 - Pin Description

[www.CircuitsToday.com](http://www.CircuitsToday.com)

Obr.14: Arduino nano s popsanými piny [14]

### 3.2.1 I<sup>2</sup>C komunikace

I<sup>2</sup>C je zkratka která vznikla z ICC bus neboli Internal Integrated Circuit Bus. Jedná se o interní datovou sběrnici sloužící pro komunikaci a přenos dat mezi jednotlivými integrovanými obvody. V dnešní době tento způsob komunikace podporuje řada integrovaných obvodů. Jedná se především o mikrokontroléry, sériové paměti, inteligentní LCD, audio a video obvody, a/d a d/a převodníky a další digitálně řízené obvody. Hlavní výhodou je, že obousměrný přenos probíhá po dvou vodičích – data SDA (serial data) a hodiny SCL (serialclock). To především u mikrokontrolérů výrazně optimalizuje nároky na počet vstupně-výstupních pinů a celkově zjednodušuje výsledné zapojení. Na jednu sběrnici může být připojeno více integrovaných obvodů. Přenosová rychlost sběrnice je v základní verzi 100kHz (standard mode). Ve vylepšených verzích to může být 400kHz (fast mode) nebo až 1MHz, ale ne všechny integrované obvody tuto verzi podporují. Rychlost přenosu pak musí být přizpůsobena nejpomalejšímu čipu na sběrnici [15].

### 3.3 Displej

Jako hlavní ovládací a zobrazovací prvek byl pro tuto práci zvolen dotykový displej Nextion. Přesně jde o Nextionorig. NX3224T024 2.4" 320 x 240 TFT displej. Tento displej



v sobě obsahuje vlastní mikrokontrolér, který ve spojení se softwarem od výrobce umožňuje jednoduchým způsobem vytvářet složité nabídky či rozložení na displeji. Displej taktéž disponuje rezistivní dotykovou vrstvou, díky které můžeme ovládat tlačítka či posuvníky na displeji [16].

Práce s ním probíhá tak, že si pomocí programu Nextion Editor navrhne zobrazení textu, grafů, obrázku a dalších elementů. Po nastavení chování displeje pak stačí pomocí UART připojit k displeji Arduino a posílat z něj příkazy pro ovládání displeje. Napájecí napětí displeje je 5 V [16].



Obr.15: Dotykový displej Nextion 2.4“ [17]

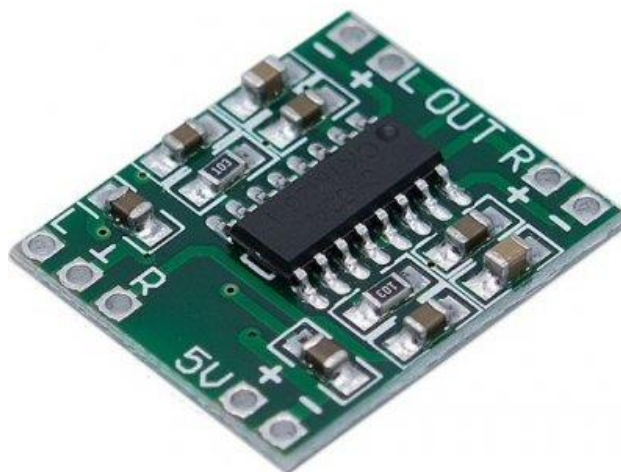
### 3.3.1 UART

UART neboli Universal asynchronous receiver-transmitter (univerzální asynchronní vysílač-přijímač) je sběrnice, která za pomoci dvou pinů často značených jako RX a TX odesílá a přijímá data. Jedná se o univerzální sériovou komunikaci, tudíž lze konfigurovat datový formát a přenosové rychlosti. Posílá datové bity jeden po druhém, od nejméně významného (LSB) po nejvýznamnější (MSB), orámované startovacími a stop bity. Nejběžnější signálové úrovně jsou RS-232 což je 12V úroveň a RS-485, 5V úroveň [18].

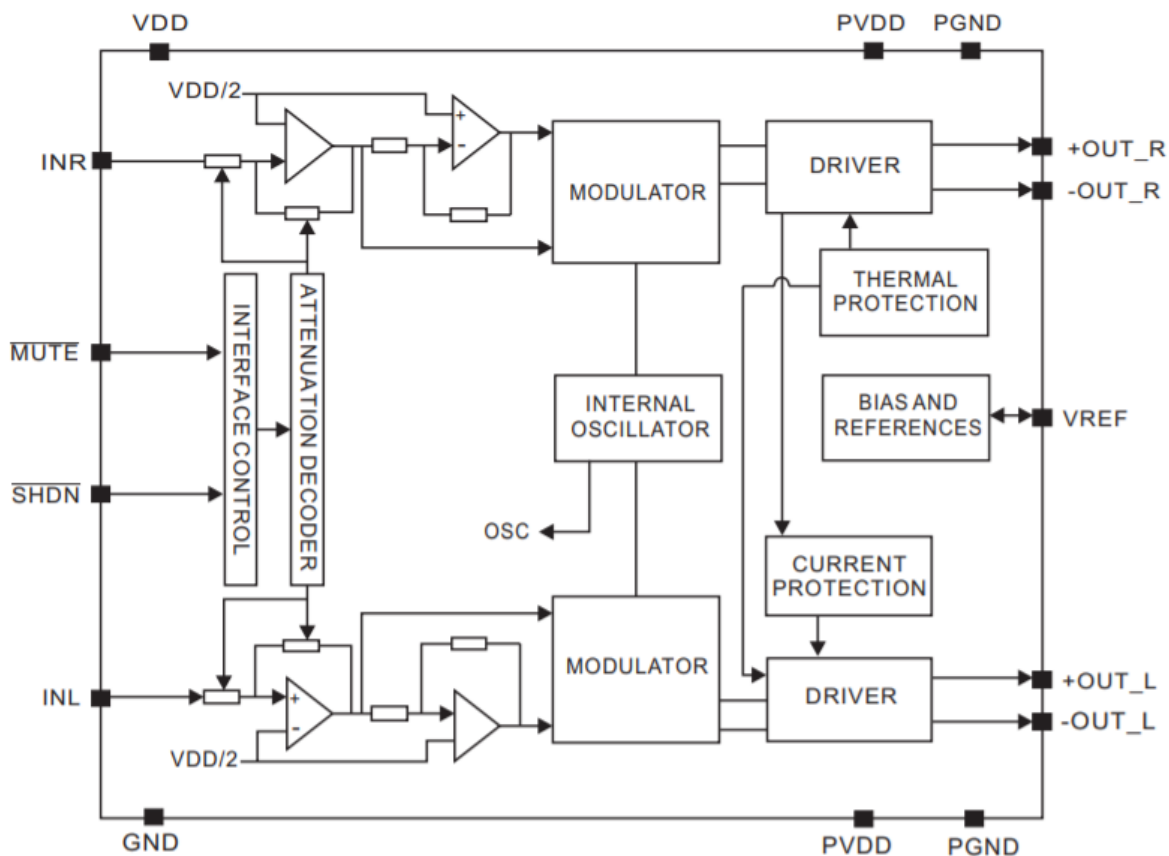
## 3.4 Audio zesilovač s reproduktory

### 3.4.1 Audio zesilovač

Jako zesilovač byl zakoupen již předpřipravený zesilovač PAM8403. Jedná se o dvoukanálový 2x3W zesilovač třídy D s celkovým harmonickým zkreslením 0,3%. Zesilovač lze napájet napětím od 2,5 až 5V [19]. Jak je vidět na schématu zapojení na obr.19, vstup zesilovače je připojen přes tandemový potenciometr na audio výstup modulu TEA5767.



Obr.16: Audio zesilovač PAM8403 2x3W 21x19mm [19]



Obr.17: Blokové schéma zesilovače PAM8403 [21]

### 3.4.2 Reproduktory

Adekvátně k 3W zesilovači byly zvoleny 3W reproduktory o průměru 40mm s impedancí  $4\Omega$  a charakteristickou citlivostí 100dB/W. Jsou zobrazeny na obr.18.

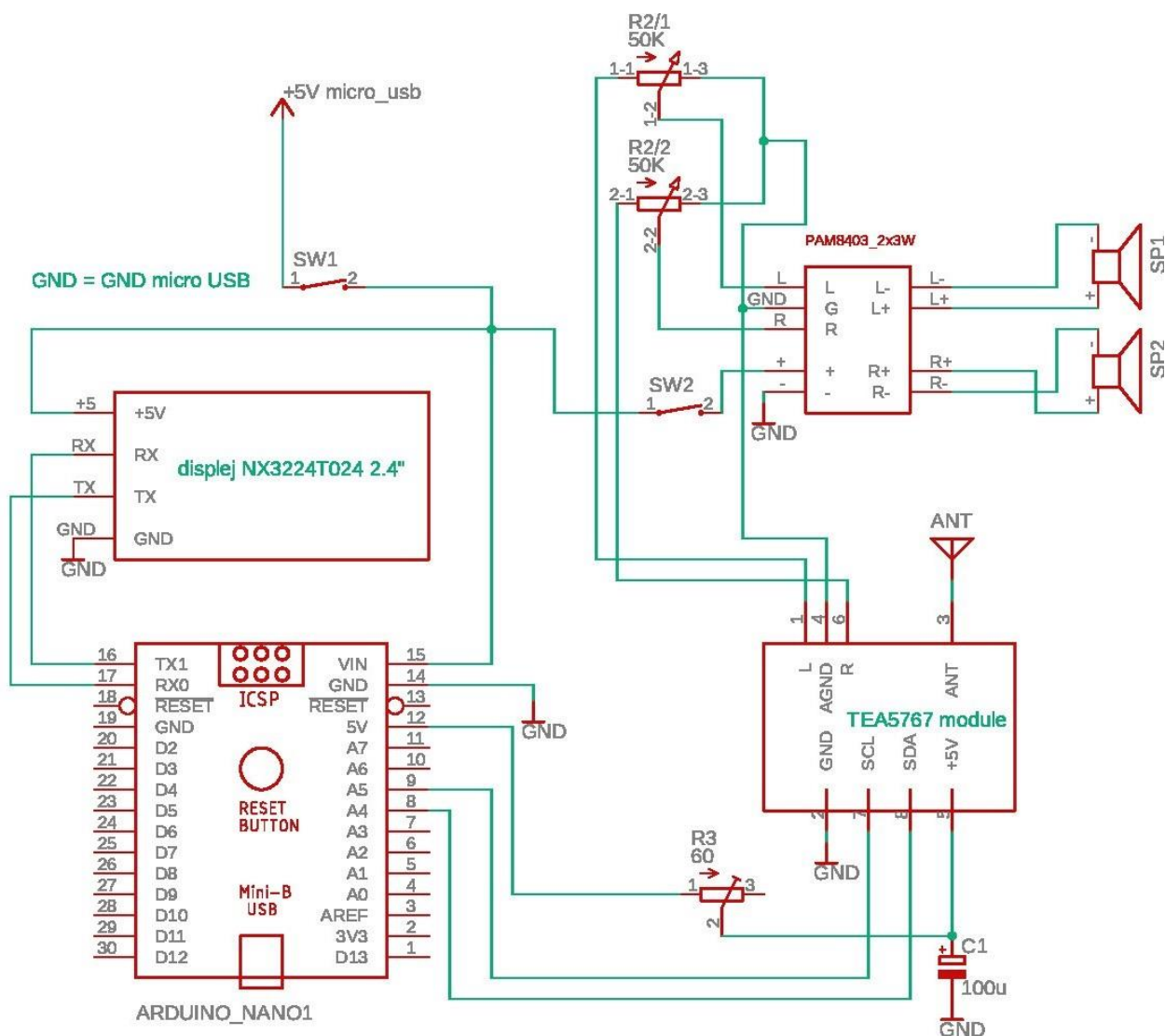


Obr.18: Reproduktory 3W 40mm [20]

### 3.5 Napájení

Jelikož všechny využívané komponenty vyžadují napájení 5V, rozhodl jsem se napájení realizovat pomocí micro USB konektoru. To znamená, že FM rádio bude moci být napájeno přes USB kabel buď z klasického síťového adaptéru pro mobilní telefony, USB portu 3.0 z počítače a nebo pro přenosnou variantu lze využít powerbanku. Jak je vidět na obr.19 je modul TEA5767 napájen z arduino výstupu 5V a filtrován skrze jednoduchý RC filtr, který právě filtruje vyšší frekvence z napájení arduina. Tyto vyšší frekvence měli nepříznivý vliv na kvalitu zvuku.

### 3.6 Schéma zapojení



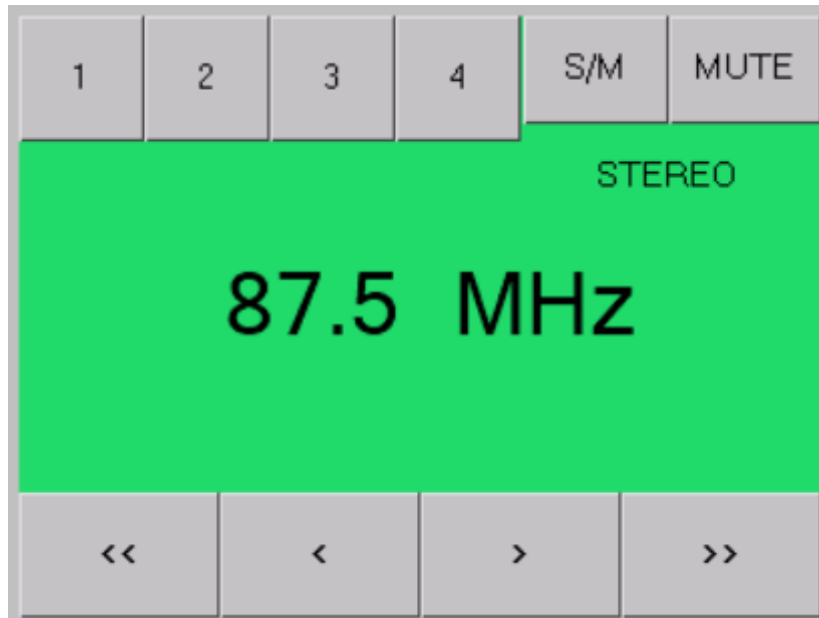
Obr.19: Schéma zapojení navrženého FM radia

## 4 Realizace

### 4.1 Zobrazení na displeji a ovládání

Jak již bylo zmíněno, navržené rádio se ovládá skrze displej Nextion. Grafika displeje se programuje přes NextionEditor a následně se program nahraje do displeje pomocí SD karty. Poté již naprogramovaný displej může začít komunikovat skrze sériovou linku UART nastavenou rychlostí 9600 baudů neboli 9,6 kbit/s. Na obr.20 můžeme vidět vytvořený vzhled, který se zobrazí na displeji po spuštění rádia. Ve spodní části jsou 4 tlačítka pro přeladování rádia. Symbol “>>“ na tlačítku představuje automatické hledání stanice směrem k vyšším frekvencím, přičemž rádio hledá, dokud nenajde nejsilnější signál. Symbol “>“ na tlačítku značí malý krok přeladění na vyšší frekvenci, podrobněji je to krok o 0,1 MHz. Využívá se při doladění rádia při nepřesném naladění za pomoci automatického hledání. U symbolů otočených o 180° jsou funkce stejné, jen slouží k ladění směrem na nižší frekvence.

V horním levém rohu můžeme vidět v řadě 4 stejně velká tlačítka, která realizují funkci uložení nebo vyvolání frekvence rádia. Při přidržení jakéhokoliv ze zmiňovaných čtyř tlačítek 0,5s a následném uvolnění se na dané tlačítko uloží frekvence, která je aktuálně zobrazená uprostřed displeje. Pokud se na tlačítko 1 až 4 pouze klikne, z paměti je vyvolána uložená frekvence na daném tlačítku.



Obr.20: Zobrazení na displeji Nextion

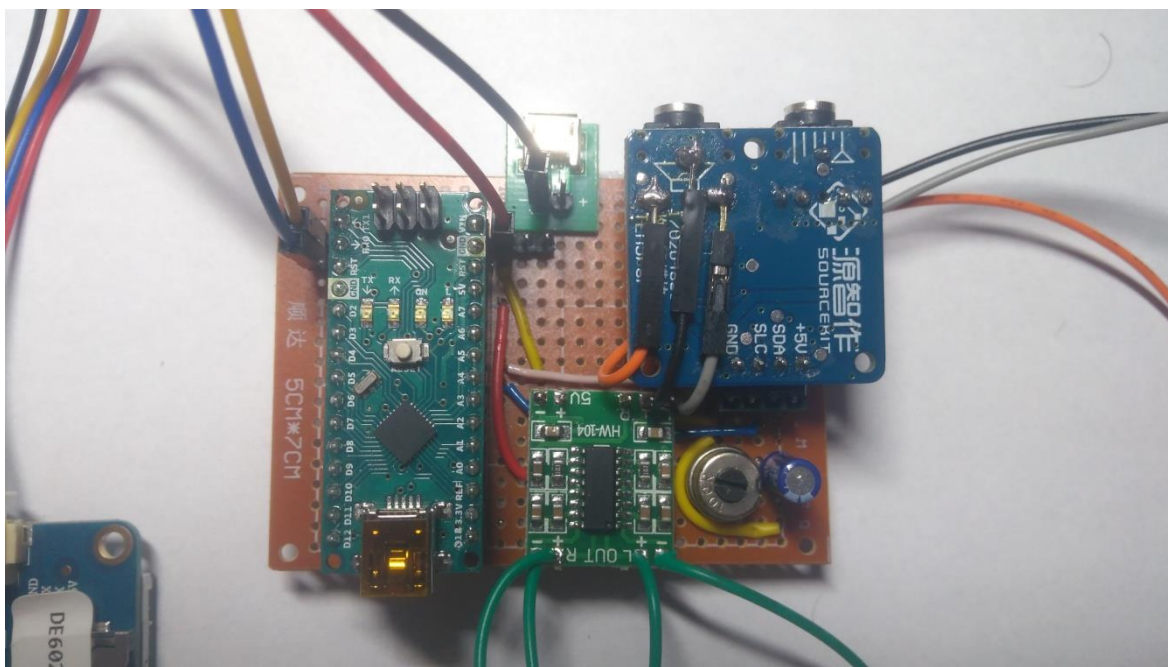
V pravém horním rohu displeje je tlačítko s nápisem “MUTE“, které při stisku vypne zvuk vycházející z audio výstupu modulu rádia. Vlevo od tohoto tlačítka se nachází tlačítko s nápisem “S/M“, což je přepínač mezi stereofonním a monofonním zvukovým výstupem. Aktuální stav poslechu můžeme vidět pod těmito dvěma tlačítky, a to heslovitě STEREO (stereofonní) a MONO (monofonní) poslech.

Ovládání hlasitosti reproduktorů je realizováno pomocí 50 k $\Omega$  tandemového potenciometru, který je připojen ihned za modul TEA5767 a přivádí signál do zesilovače PAM8403.

Mimo tlačítka pro přivedení napájení do celého obvodu je zde ještě druhé tlačítko, které je čistě pro přívod napájení do modulu PAM8403. Je to z důvodu možného připojení externích reproduktorů, které se dají připojit přes 3,5mm jack konektor. Při připojení externích reproduktorů se jednoduše vypne napájení zesilovače a tím pádem se odpojí i zabudované reproduktory.

## 4.2 Realizace obvodu

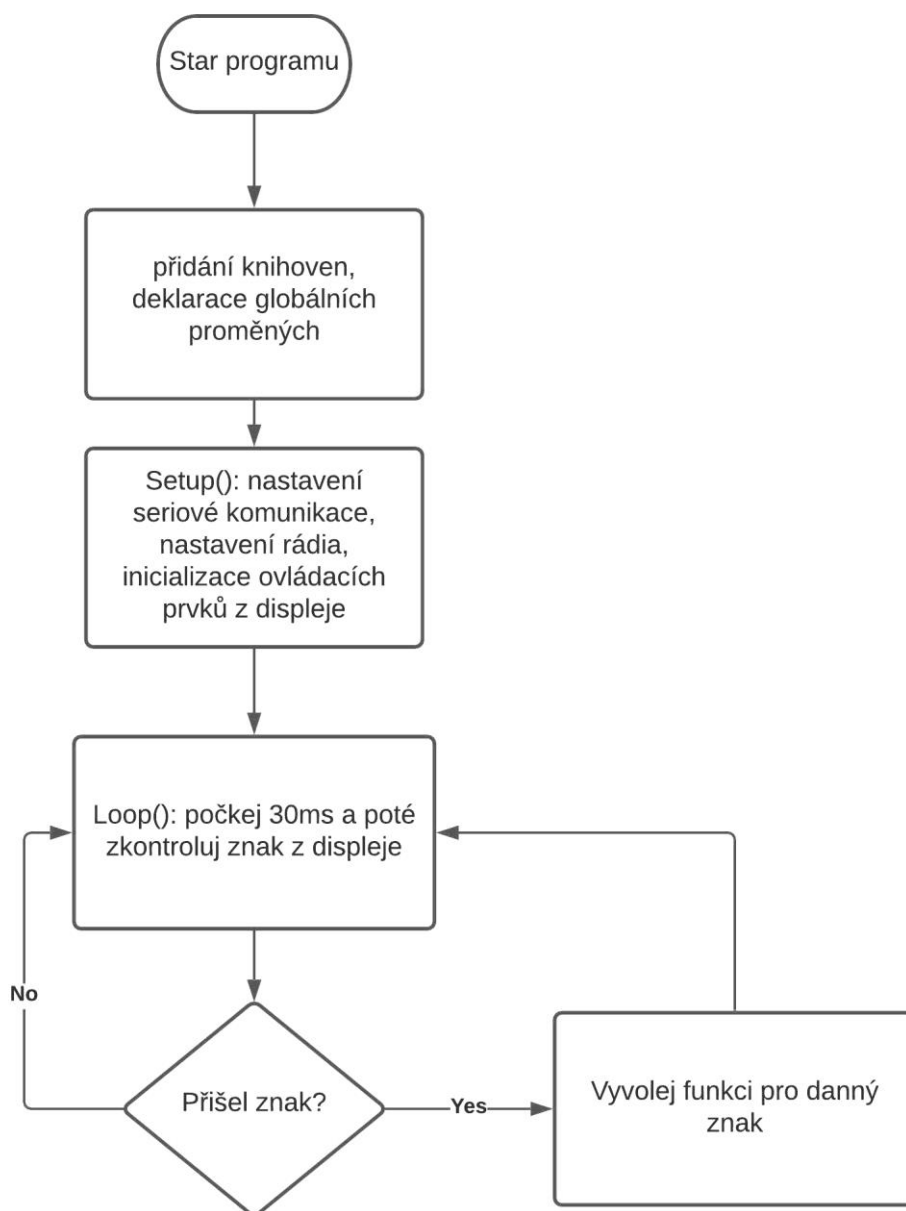
Jak již bylo zmíněno v kapitole 3, obvod se skládá převážně z již předpřipravených modulů. Z tohoto důvodu bylo pro pospojování těchto modulů zvoleno prototypové pole, na kterém se jednotlivé moduly a součástky propojí buď pomocí krátkých cest vytvořených z pájky, anebo izolovanými vodiči. Na obr.21 můžeme vidět již takto realizovaný obvod. Z důvodu přehlednosti zde nejsou zobrazeny spínače a audio potenciometr. Právě spínače a audio potenciometr jsou z důvodu praktičnosti k obvodu připojeny skrze zásuvné kontakty stejně tak jako arduino a modul TEA5767, které jsou taktéž vyjímatelné.



Obr.21: Ukázková fotografie obvodu rádia na prototypovém poli 70x50mm

### 4.3 Program

Program pro řízení rádia byl sepsán ve vývojovém prostředí Arduino IDE, které je volně dostupné a programuje se v jazyku Wiring. Princip programu je následovný: připojení potřebných knihoven a deklarace globálních proměnných, nastavení rychlosti přenosu dat přes sériovou linku, nastavení rádia a naladění na frekvenci uloženou pod prvním ukládacím tlačítkem, inicializace ovládacích prvků z displeje a poté už nekonečná smyčka, která každých 30ms testuje, zda nebyl přijat signál z displeje. Pokud byl odeslán signál z displeje, tak se vyvolá patřičná funkce a po provedení funkce se program opět vrátí do nekonečné smyčky. Na obr.22 je zobrazen principiální vývojový diagram programu.



Obr.22: Vývojový diagram programu

#### 4.4 Krabice pro rádio

Krabice pro rádio byla vyrobena z bukového dřeva v domácí truhlářské dílně. Rozměry krabice jsou 130 x 115 x 95 mm. Na obr.23 je již zobrazen hotový výrobek s již usazenými komponenty rádia.



Obrázek 23: Fotka kompletního rádia v krabici



## Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo vytvořit přehled dostupných integrovaných FM přijímačů a navrhnout a realizovat FM rádio řízené mikrokontrolérem.

V první části této práce byl popsán princip superheterodynu a důležité vlastnosti FM radiopřijímače.

V druhé části byl vytvořen přehled vybraných aktuálně dostupných FM integrovaných radiových přijímačů, které lze ovládat pomocí mikrokontroléru. V přehledu je každý přijímač uveden popisem od výrobce a jsou zde také zahrnuty důležité vlastnosti.

Třetí část obsahuje návrh FM rádia, který popisuje výběr FM přijímače, mikrokontroléru, ovládacích prvků, ozvučení a napájení rádia. Je zde také uvedeno navržené obvodové schéma zapojení.

V poslední části této práce je probrána realizace celého projektu. Je zde uvedeno ovládání pomocí dotykového displeje, realizace obvodu, nastíněn program, který se stará o řízení rádia a vytvoření krabičky pro rádio.

Navržené FM rádio splňuje požadavky zadání bakalářské práce, a to že FM přijímač je integrovaný a řízený mikrokontrolérem. Co se týče funkcí, lze navržené FM rádio srovnat s komerčními FM radii, tzn. jedná se o stereofonní rádio, lze automaticky vyhledávat radiové stanice a je zde možnost ukládání oblíbených stanic do paměti a opět je vyvolat zpět. Výhodou tohoto rádia je snadno ovladatelný dotykový displej, celková jednoduchost zapojení a snadná montáž, popřípadě demontáž obvodu. Ovšem jsou zde ještě možnosti jak dané FM rádio vylepšit. Jedná se hlavně o vylepšení rádiové antény, využití přijímače, který dokáže dekódovat RDS na naladěné stanici a možnosti přidělení vlastního napájení ve formě baterii pro zlepšení mobility.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Historie digitálního rozhlasového vysílání ve světě* [online]. Dostupné na: <http://www.dab-plus.cz/historie.html>
- [2] *Rádiový přijímač – Superhet* [online]. [www.dlabos.wz.cz](http://www.dlabos.wz.cz) . Dostupné na: <http://dlabos.wz.cz/en/53-Prijimace.html>
- [3] LINHART, R. Úvod do sdělovací techniky, rádiové přijímače. Elektronická skripta. Plzeň: KEI-UST, ZČU v Plzni, 2020.
- [4] TEA5767 Datasheet [online], Philips, 2006. Dostupné na: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/166931/PHILIPS/TEA5767HN.html>
- [5] RDA5807M Datasheet [online], RDA microelectronics, 2014. Dostupné na: <http://www.datasheet.es/PDF/808923/RDA5807M-pdf.html>
- [6] *FM rádio 76MHz - 108MHz TEA5767* [online], [www.laskaarduino.cz](http://www.laskaarduino.cz). Dostupné na: <https://www.laskaarduino.cz/arduino-fm-tuner-76mhz-108mhz-tea5767/>
- [7] *FM rádio 50MHz - 115MHz RDA5807M* [online], [www.laskaarduino.cz](http://www.laskaarduino.cz). Dostupné na: <https://www.laskaarduino.cz/arduino-fm-tuner-50mhz-115mhz-rda5807m/>
- [8] KAŠPAR, P. *Experimentální srovnání vlastností vybraných typů komerčně dostupných integrovaných FM přijímačů*. Bakalářská práce Brno: VUT v Brně , 2013. Dostupné na: [https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp\\_id=65785&aid\\_redir=1](https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=65785&aid_redir=1)
- [9] SI4703 Datasheet [online], Silicon Laboratories, 2006. Dostupné na: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/201123/SILABS/SI4703.html>
- [10] CJMCU-470 Si4703 FM Radio Tuner Evaluation Development Board [online], [www.apopulart.com](http://www.apopulart.com). Dostupné na: <https://www.apopulart.com/cjmcu-470-si4703-fm-radio-tuner-evaluation-development-board.html>
- [11] LV24250LS Datasheet [online], ON Semiconductor, 2013. Dostupné na: <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/ena1699-d.pdf>
- [12] Si4745 Datasheet [online], Silicon Laboratories, 2008. Dostupné na: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/525883/SILABS/SI4745/436/2/SI4745.html>
- [13] TEA5767 FM Stereo Module 76-108 MHz WithAntena [online], [www.banggood.com](http://www.banggood.com). Dostupné na: [https://www.banggood.com/TEA5767-FM-Stereo-Radio-Module-76-108MHZ-With-Antenna-p-1103142.html?akmClientCountry=CZ&p=DQ30066511122014069J&utm\\_campaign=educ8stv&utm\\_content=huangwenjie&cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/TEA5767-FM-Stereo-Radio-Module-76-108MHZ-With-Antenna-p-1103142.html?akmClientCountry=CZ&p=DQ30066511122014069J&utm_campaign=educ8stv&utm_content=huangwenjie&cur_warehouse=CN)
- [14] Arduino Nano Tutorial- Pinout&Schematics [online], [www.duino4projects.com](http://www.duino4projects.com). Dostupné na: <https://duino4projects.com/arduino-nano-tutorial-pinout-schematics/>

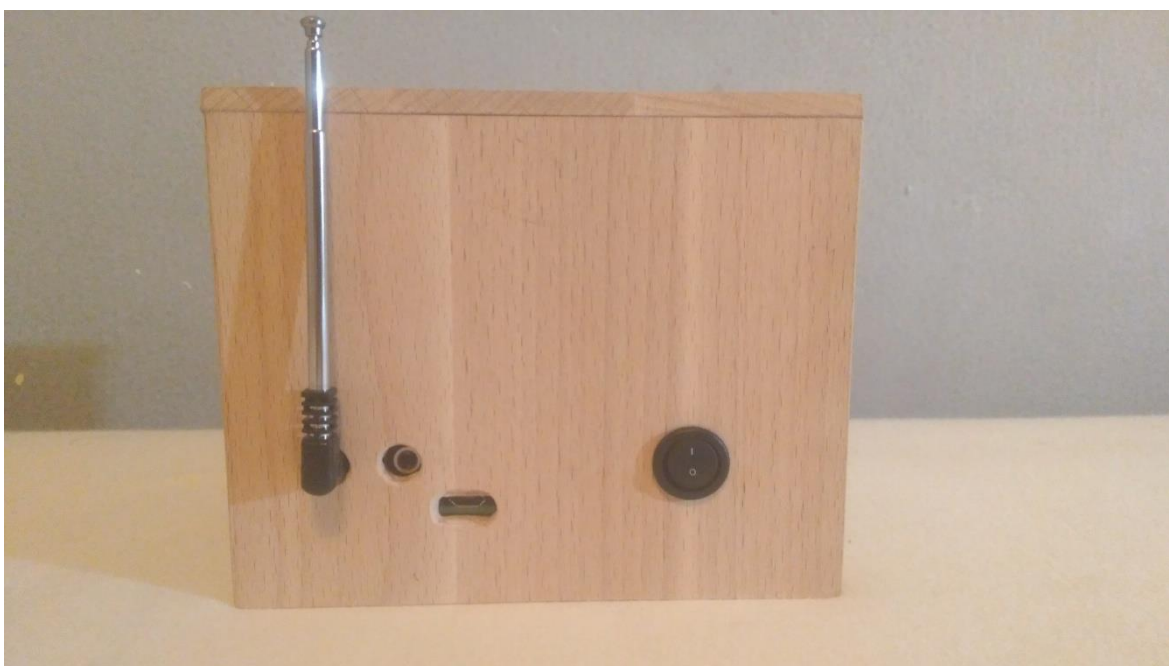
- [15] Stručný popis sběrnice I2C a její praktické využití k připojení eeprom 24LC256 k mikrokontroléru PIC16F877 [online], Poslední změna 20.5. 2000. [Cit. 20.5.2000]. Dostupné na: <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/strucny-popis-sberrnice-i2c-a-jeji-prakticke-vyuziti-k-pripojenu-externi-eeeprom-24lc256>
- [16] LCD displej Nextion 2,8“ [online], [www.navody.drateg.cz](http://www.navody.drateg.cz). Dostupné na: <https://navody.drateg.cz/navody-k-produktum/lcd-displej-nextion-2.8.html>
- [17] Nextionorig. NX3224T024 2.4" 320 x 240 TFT displej [online], [www.laskaarduino.cz](http://www.laskaarduino.cz). Dostupné na: <https://www.laskaarduino.cz/nextion-orig--nx3224t024-2-4--320-x-240-tft-displej/>
- [18] Universal asynchronous receiver-transmitter [online], Poslední změna 8.5. 2021. [Cit. 8.5. 2021]. Dostupné na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Universal\\_asynchronous\\_receiver-transmitter](https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_asynchronous_receiver-transmitter)
- [19] 2x3W digitální audio zesilovač PAM8403 [online], [www.laskaarduino.cz](http://www.laskaarduino.cz). Dostupné na: <https://www.laskaarduino.cz/2x3w-digitalni-audio-zesilovac-pam8403/>
- [20] Reproduktor 3W 4Ohm 40mm [online], [www.laskaarduino.cz](http://www.laskaarduino.cz). Dostupné na: <https://www.laskaarduino.cz/reprodukator-3w-4-40mm/>
- [21] PAM8403 Datasheet [online], Power Analog Microelectronics, 2008. Dostupné na: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/246505/PAM/PAM8403/54/1/PAM8403.html>

## Přílohy

Foto FM radia zepředu



Foto FM radia zezadu



## Program

```

/* BP práce FM radiořizené mikrokontrolerem
 * Vypracoval J.Šanda 2021.
 */
#include <Nextion.h> // přidání potřebných knihoven
#include <TEA5767N.h> // knihovna pro displej
#include <Wire.h> // knihovna pro modul TEA5767
#include <EEPROM.h> // knihovna pro I2C komunikaci
// knihovna pro práci s pamětí EEPROM

TEA5767N radio = TEA5767N();

floatstat =87.5; // globální proměné
floatselectedStation;
int hodnota;
int perioda = 500;
bool m=false;
bools_m = true;
unsigned long t=0;

NexButton b0 = NexButton(0,1,"b0"); // deklarace tlačítek na displeji
NexButton b1 = NexButton(0,2,"b1");
NexButton b2 = NexButton(0,4,"b2");
NexButton b3 = NexButton(0,5,"b3");
NexButton b4 = NexButton(0,7,"b4");
NexButton b5 = NexButton(0,8,"b5");
NexButton b6 = NexButton(0,9,"b6");
NexButton b7 = NexButton(0,10,"b7");
NexButton b8 = NexButton(0,13,"b8");
NexDSButton bt0 = NexDSButton(0, 3, "bt0");
NexTouch *nex_listen_list[] =
{
  &b1, // Buttonadded - auto seek up
  &b0, // Buttonadded - auto seekdown
  &b2, // Buttonadded - seekdown
  &b3, // Buttonadded - seek up
  &b4, // Buttonadded - auto seek up
  &b5, // Buttonadded - auto seekdown
  &b6, // Buttonadded - seekdown
  &b7, // Buttonadded - seek up
  &b8, // Buttonadded - stereo/mono
  &bt0, // // Dualstatebuttonadded - MUTE
  NULL
};
voidsaveStation(floatstation,intx,int y) // uložení stanice do EEPROM
{
float aux;
byte byteValue;
byteValue = (byte) floor(station);

```

```

EEPROM.write(x, byteValue);
aux = station - floor(station);
aux *= 10.0;
if (aux > 5.0) {
  byteValue = byte(aux);
  if (((float)byteValue) - aux > 0.1) {
    byteValue--;
  } elseif ((aux - ((float)byteValue)) > 0.1) {
    byteValue++;
  }
  } else {
byteValue = (int) ceil(aux);
}
EEPROM.write(y,(byte)aux );
}
voidLoadStation(inta,int b) // Načtení stanice z EEPROM
{
radio.mute();
float x =EEPROM.read(a);
float y =EEPROM.read(b);
float z=x+(y/10.0);
radio.selectFrequency(z);
radio.turnTheSoundBackOn();
}
voidFrekUpdate(void) // Přepis aktuální frekvence zobrazované na displeji
{
Serial.print("t1.txt=\");
Serial.print(radio.readFrequencyInMHz(),1);
Nextion_send();
}
voidStereo_Mono(void) // Funkce na změnu Stereo,mono na displeji
{
if (s_m)
{
Serial.print("t2.txt=\");
Serial.print("STEREO");
Nextion_send();
}
else
{
Serial.print("t2.txt=\");
Serial.print("MONO");
Nextion_send();
}
}
voidNextion_send(void) // funkce na poslání ukončovacích příkazů do displeje
{
Serial.print("\");
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
}

```

```
Serial.write(0xff);
}
void b0PushCallback(void *ptr) // Funkce pro zmáčknutí tlačítka na autovyhledávání
    stanice na nižší frekvenci
{
    byte isBandLimitReached;
    radio.setSearchDown();
    isBandLimitReached = radio.searchNextMuting();
    if (isBandLimitReached) {
        radio.setSearchUp();
        isBandLimitReached = radio.searchNextMuting();
    }
    FrekUpdate();
} // End ofpress event
void b1PushCallback(void *ptr) // Funkce pro zmáčknutí tlačítka na autovyhledávání
    stanice na vyšší frekvenci
{
    byte isBandLimitReached = false;
    radio.setSearchUp();
    isBandLimitReached = radio.searchNextMuting();
    if (isBandLimitReached) {
        radio.setSearchDown();
        isBandLimitReached = radio.searchNextMuting();}
    FrekUpdate();
}
void b2PushCallback(void *ptr) // Funkce pro zmáčknutí tlačítka na snížení frekvence o
    0,1MHz.
{
    if (selectedStation> 87.5)
    {
        selectedStation=radio.readFrequencyInMHz();
        selectedStation -= .1;
        radio.selectFrequency(selectedStation);
        FrekUpdate();
    }
}
void b3PushCallback(void *ptr) // Funkce po f+0,1MHz.
{
    if (selectedStation< 108.0)
    {
        selectedStation=radio.readFrequencyInMHz();
        selectedStation += .1;
        radio.selectFrequency(selectedStation);
        FrekUpdate();
    }
}
void bt0PushCallback(void *ptr) // Funkce pro zmáčknutí tlačítka MUTE
{
    if(!m) radio.mute();
    else radio.turnTheSoundBackOn();
}
```

```
m=!m;
}
void b4PushCallback(void *ptr) // Funkce pro zahájení časování tlačítka 1
{
    t=millis();
}
void b4PopCallback(void *ptr) // Funkce pro odtisknutí tlačítka 1
{
    if((millis()-t)>500)
    {
        float Station=radio.readFrequencyInMHz();
        saveStation(Station,0,1);
    }
    else
    {
        LoadStation(0,1);
        FrekUpdate();
    }
}

void b5PushCallback(void *ptr) // Funkce pro zahájení časování tlačítka 2
{
    t=millis();
}
void b5PopCallback(void *ptr) // Funkce pro odtisknutí tlačítka 2
{
    if((millis()-t)>500)
    {
        float Station=radio.readFrequencyInMHz();
        saveStation(Station,2,3);
    }
    else
    {
        LoadStation(2,3);
        FrekUpdate();
    }
}
void b6PushCallback(void *ptr) // Funkce pro zahájení časování tlačítka 3
{
    t=millis();
}
void b6PopCallback(void *ptr) // Funkce pro odtisknutí tlačítka 3
{
    if((millis()-t)>500)
    {
        float Station=radio.readFrequencyInMHz();
        saveStation(Station,4,5);
    }
    else
    {
```



```
LoadStation(4,5);
FrekUpdate();
  }
}
void b7PushCallback(void *ptr) // Funkce pro zahájení časování tlačítka 4
{
  t=millis();
}
void b7PopCallback(void *ptr) // Funkce pro odtisknutí tlačítka 4
{
if((millis()-t)>500)
  {
float Station=radio.readFrequencyInMHz();
saveStation(Station,6,7);
  }
else
  {
LoadStation(6,7);
FrekUpdate();
  }
}
void b8PushCallback(void *ptr) // Funkce pro stits tlačítka S/M, přepínání Stereo,mono
{
if(s_m) { radio.setMonoReception(); }
else { radio.setStereoReception();}
s_m=!s_m;
Stereo_Mono();
}
void setup() {

Serial.begin(9600);          // Nastavení rychlosti přenosu sériové linky
radio.mute();                // Vypnout zvut
radio.setStereoReception(); // Nastavení stereo výstupu
LoadStation(0,1);           // Nastavení stanice uloženou pod tlačítkem 1
selectedStation=radio.readFrequencyInMHz(); //Uložení nastavené frekvence do proměnné
FrekUpdate();
Stereo_Mono();
delay(200);

b0.attachPush(b0PushCallback); // Přiřazení tlačítkům jejich funkce
b1.attachPush(b1PushCallback);
b2.attachPush(b2PushCallback);
b3.attachPush(b3PushCallback);
b4.attachPush(b4PushCallback);
b4.attachPop(b4PopCallback);
b5.attachPush(b5PushCallback);
b5.attachPop(b5PopCallback);
b6.attachPush(b6PushCallback);
b6.attachPop(b6PopCallback);
b7.attachPush(b7PushCallback);
```

```
b7.attachPop(b7PopCallback);
b8.attachPush(b8PushCallback);
bt0.attachPush(bt0PushCallback);

radio.turnTheSoundBackOn();           // Zapnutí zvuku radia
}
void loop() {                          // Nekonečná smyčka
  //delay(30);                          // 30ms prodleva
  nexLoop(nex_listen_list);           // Čtení znaků z displeje
}
```