



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra mikroelektroniky

**Návrh, realizace a ověření činnosti přijímače
pro rádiový orientační běh**

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Studijní obor: Aplikovaná elektronika

Vedoucí práce: Ing. Karel Ulovec, Ph.D.

Jakub Lněnička

Praha 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **LNĚNIČKA Jakub**

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

Název tématu: **Návrh, realizace a ověření činnosti přijímače pro rádiový orientační běh**

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte a popište stručně princip rádiového orientačního běhu (ROB) a uveďte technické požadavky pro užívání rádiových zařízení podle pravidel ROB. Na základě uvedených technických požadavků a podle potřeb závodníků stanovte základní vlastnosti přijímače pro ROB.
2. Provedte návrh a realizaci přijímače ROB, který vyhoví stanoveným vlastnostem.
3. S využitím přístrojového vybavení v laboratoři Rádiových vysílačů a přijímačů na katedře radioelektroniky ověřte funkci a splnění stanovených vlastností realizovaného přijímače ROB.
4. Porovnejte realizovaný přijímač s komerčně dostupným. Zabývejte se rovněž orientačně ekonomickou rozvahou návrhu a realizace.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky, případně navrhněte možná vylepšení.

Seznam odborné literatury:

- [1] DANĚK, K. Moderní rádiový přijímač. BEN - technická literatura, Praha, 2005.
- [2] VLACH, M. Pravidla rádiového orientačního běhu. Asociace rádiového orientačního běhu České republiky, Praha, 2011.
- [3] The ARRL Handbook for Radio Communications. ARRL Publisher, Newington, 2011.
- [4] The ARRL Antenna Book. ARRL Publisher, Newington, 2011.

Vedoucí: **Ing. Karel Ulovec, Ph.D.**

Platnost zadání: 31. 8. 2015

L.S.

Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 16. 1. 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci „Návrh, realizace a ověření činnosti přijímače pro rádiový orientační běh“ vypracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a použil jsem k tomu pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

V Praze dne

.....

Jakub Lněnička

Anotace

Tato práce je zaměřena na návrh a realizaci přijímače pro radiový orientační běh. V úvodu jsou popsána pravidla radiového orientačního běhu, z nichž jsou následně vyvozeny vlastnosti vyžadované od radiového přijímače. Práce dále rozebírá principy funkce přijímače a soustřeďuje se také na popis postupu vytvoření funkčního vzorku přijímače. Nakonec jsou vlastnosti přijímače změřeny v laboratoři a porovnány s parametry stanovenými v úvodu práce a také s parametry komerčně dostupného přijímače pro radiový orientační běh SUPERFOX 3,5GX.

Summary

This document is focused on designing and implementation of a receiver for radio orienteering. Introduction is devoted to the radio orienteering rules, then receiver's required qualities are derived from these rules. The document also describes the function principals of the receiver and focuses on its manufacturing process. In the end the properties of a functional sample are measured in a laboratory and they are compared to the qualities defined in the introduction and to the properties of a commercial receiver for radio orienteering SUPERFOX 3.5GX.

Obsah

1.	Úvod.....	8
1.1	Radiový orientační běh	8
1.2	Technické specifikace vybavení pro ROB	11
1.2.1	Přijímače.....	11
1.2.2	Vysílače.....	11
1.3	Požadavky na přijímač.....	11
2.	Šíření krátkých vln.....	12
2.1	Definice krátkých vln	12
2.2	Ionosférická refrakce.....	13
3.	Popis řešení.....	13
3.1	Princip superheterodynního přijímače	15
3.2	Anténa.....	15
3.3	Feritová anténa	17
3.3.1	Konstrukce feritové antény	18
3.4	RF zesilovač	20
3.5	Integrovaný obvod přijímače MC3362.....	22
3.6	NF zesilovač.....	23
3.6.1	Operační zesilovač.....	24
3.6.2	Koncový stupeň.....	24
4.	Deska plošných spojů.....	25
5.	Krabička.....	28
6.	Ověření činnosti přijímače	28
6.1	Srovnávací měření citlivosti	29
6.2	Selektivita.....	30

6.2.1	Měření mezifrekvenčního filtru	30
6.2.2	Srovnávací měření selektivity.....	31
6.3	Stabilita frekvence.....	32
6.4	Proudový odběr	33
7.	Finanční rozvaha	34
8.	Možnosti vylepšení	35
9.	Závěr	36
	Seznam použitých součástí	39
	Seznam použitých zkratk.....	41
	Použité zdroje	42
	Přílohy	43

Seznam tabulek a obrázků

Obr. 1:	SUPERFOX 3,5GX - komerčně dostupný přijímač pro ROB [4]	8
Obr. 2:	CONTEST 2007, komerčně dostupný vysílač v pásmu 3,5 MHz [4]	9
Obr. 3:	Schéma zapojení přijímače.....	14
Obr. 4:	Frekvenční diagram směšování	15
Obr. 5:	Směrové charakteristiky antény [1].....	16
Obr. 6:	Funkce feritové antény [2].....	17
Obr. 7:	Graf závislosti μ_{rod} na poměru délky a průměru feritové tyčky [2] ...	19
Obr. 8:	Schéma feritové antény.....	20
Obr. 9:	Schéma RF zesilovače [3].....	21
Obr. 10:	Vnitřní zapojení MC3362 [6]	22
Obr. 11:	Zapojení MC3362	23
Obr. 12:	Zapojení NF zesilovače	23
Obr. 13:	Otisk desky plošných spojů	26
Obr. 14:	Rozmístění součástek na DPS	27
Obr. 15:	Měřicí pracoviště	29
Tabulka 1:	Výsledky měření citlivosti	29
Obr. 16:	Měření MF filtru pomocí spektrálního analyzátoru	31
Tabulka 2:	Výsledky měření selektivity	32
Tabulka 3:	Výsledky měření stability frekvence	33
Tabulka 4:	Výsledky měření proudového odběru	34
Tabulka 5:	Vynaložené finance a čas	35
Tabulka 6:	Srovnání přijímačů Lnenijak 2014 a SUPERFOX 3,5GX	37
Obr. 17:	Fotografie realizovaného přijímače.....	43
Obr. 18:	Fotografie vnitřku realizovaného přijímače	44

1. Úvod

1.1 Radiový orientační běh

Radiový orientační běh (ROB) je sport, který je založen na klasickém orientačním běhu (OB). Zatímco při OB závodník k nalezení kontrol rozmístěných po lese využívá buzolu a mapu se zakreslenými kontrolami, při ROB je používán radiový přijímač se směrovou anténou a prázdná mapa. Jde o závod na čas, kdy se závodník pomocí zmíněných pomůcek snaží najít 5 vysílačů rozmístěných po lese. Na obrázku 1 je fotografie radia SUPERFOX 3,5GX, v České republice jediného komerčně dostupného přijímače.



Obr. 1: SUPERFOX 3,5GX - komerčně dostupný přijímač pro ROB [4]

V mapě pro ROB nejsou zakreslené kontroly, používá se pouze k naplánování co nejrychlejších běžeckých postupů mezi jednotlivými vysíláči (závodník se snaží co nejvíce využívat cesty a obíhat tak překážky v podobě vodních ploch, hustého lesa nebo například bažin). Vyhodnocení signálu z rádia závodník provádí pomocí sluchátek, a to tím způsobem, že plynule otáčí přijímačem všemi směry a poslouchá změny v hlasitosti (amplitudě) přijímaného signálu v závislosti na natočení rádia. Směrová anténa zajišťuje, že v okamžiku, kdy závodník míří přijímačem a tedy i anténou tím směrem, ve kterém se nachází právě vysílající kontrola, signál ve sluchátkách má nejmenší hlasitost. Toto minimum v přijímací směrové charakteristice antény je způsobeno tím, že feritová anténa reaguje na magnetickou složku elektromagnetického pole vyzařovaného vysíláčem. Indukované napětí je úměrné počtu závitů tvořícími anténu a magnetickému toku procházejícímu těmito závity. Pokud je tedy anténa natočena tak, že siločáry magnetického pole jsou kolmé k rovině závitů, je indukované napětí nejvyšší, naopak pokud do závitů nevstupuje téměř žádný magnetický tok, je indukované napětí minimální.



Obr. 2: CONTEST 2007, komerčně dostupný vysílač v pásmu 3,5 MHz [4]

Vysílače se pravidelně každou minutu střídají ve vysílání, během 5 minut se tedy vystřídají všechny a v následující šesté minutě vysílá opět kontrola č.1 atd. Všech pět kontrol vysílá na jedné frekvenci, závodník tedy nemusí každou minutu přeladovat přijímač. Používá se však ještě šestý vysílač označovaný jako maják, který vysílá nepřetržitě na jiné frekvenci než kontroly a jeho funkcí je navádět běžce do cíle. Na většině českých i mezinárodních závodů se používají vysílače CONTEST 2007 českého výrobce OK2BWN (obrázek 2).

Závodník má tudíž vždy minutu na co nejpřesnější zaměření kontroly a její nalezení. Pokud nestihne v dané minutě kontrolu nalézt, zakreslí si směr do mapy, aby po zbývajících 4 minutách, kdy vysílač mlčí, věděl, kterým směrem má běžet. Při zaměření vysílače z více míst a zakreslení směrů vznikne na mapě průsečík, který dává závodníkovi představu o přibližné poloze vysílače. Jakmile kontrolu nalezne, takzvaně si ji orazí, to znamená, že do čipu, který nese navlečený na prstu, se uloží informace obsahující označení vysílače a čas, kdy ho závodník orazil. V cíli se pak zkontroluje, zda běžec našel všechny kontroly, které měl (což se může lišit v závislosti na kategorii) a určí se jeho výsledný čas.

Startuje se ve startovních skupinách, mezi jednotlivými skupinami je při klasickém závodě rozestup 5 minut. V jedné startovní skupině nesmí být dva závodníci ze stejné kategorie.

Závod je pro mužskou kategorii dlouhý asi 8-12 km, ale existují i závody ve sprintu (zhruba 3 km) a na dlouhé trati (až 25 km). Závodníci jsou rozděleni do kategorií podle pohlaví a věku. ROB je sport pro všechny generace; od kategorie MD9 (žáci do 9 let) až po MD60 (senioři nad 60 let).

Soutěží se na dvou pásmech, 3,5 MHz a 144 MHz. Tyto dvě frekvence byly vybrány, jelikož jsou volné pro radioamatérský provoz ve všech třech regionech rozlišovaných Mezinárodní radioamatérskou unií IARU a umožňují tak bezproblémovou organizaci mezinárodních závodů.

Moje práce se bude dále zabývat pouze pásmem 3,5 MHz, jelikož se jedná o u závodníků oblíbenější a tudíž častěji používané pásmo. Díky své větší vlnové délce má totiž z hlediska ROB lepší vlastnosti. Na rozdíl od 144 MHz se neodráží od terénních nerovností, z hlasitosti signálu se tedy dá usoudit na vzdálenost kontroly a celkově je zaměřování vysílačů mnohem přesnější.

1.2 Technické specifikace vybavení pro ROB

Parametry přijímačů a vysílačů se řídí mezinárodními pravidly, jejich současná verze 2.12B je platná od ledna 2014 [5]. Pravidla jsou vytvářena Mezinárodní radioamatérskou unií IARU. V následujících odstavcích je výtažek z Přílohy 1, která se věnuje právě technickým specifikacím vybavení pro ROB.

1.2.1 Přijímače

Neměly by být používány přijímače, které ve vzdálenosti větší než 10 m od vysílače vytvářejí interferenci na 3,5 MHz nebo 144 MHz, jinak jsou povoleny jakékoliv přijímače a antény. Mezinárodní jury může provést test závodníka přijímače, který použil na soutěži.

1.2.2 Vysílače

Vysílače vysílají na frekvenci z pásma 3510 - 3600 kHz. Odstup mezi současně vysílajícími vysílači musí být minimálně 30 kHz. Vysílací výkon musí být v rozmezí 1 W - 5 W. Pro identifikaci vysílače je zavedeno pět třípísmenných slov v Morseově abecedě. Každé kontrole je tak přiřazeno jedno slovo, které je kódováno pomocí modulace A1A CW (vypínání a zapínání nosné vlny). Vysílač toto slovo vysílá pořád dokola 5-8 krát v průběhu své aktivní minuty:

0:00 - 0:59 vysílá kontrola č. 1 znak MOE (--/---/.)

1:00 - 1:59 vysílá kontrola č. 2 znak MOI (--/---/..)

2:00 - 2:59 vysílá kontrola č. 3 znak MOS (--/---/...)

3:00 - 3:59 vysílá kontrola č. 4 znak MOH (--/---/....)

4:00 - 4:59 vysílá kontrola č. 5 znak MO5 (--/---/.....)

5:00 - 5:59 vysílá opět kontrola č.1

atd.

Vysílače musí v horizontální rovině vysílat všesměrově. Používá se vertikálně polarizovaná elektromagnetická vlna.

1.3 Požadavky na přijímač

Vyhodnocení přijatého signálu bude probíhat sluchem. Je tedy potřeba signál

z pásma 3,5 MHz převést na slyšitelný audio signál na frekvenci okolo 1500 Hz, na který je lidské ucho dobře citlivé. Vyhodnocování sluchem je v radiovém orientačním běhu zažitý způsob, jelikož je výhodné oproti optickému vyhodnocení (např. displej, ručkový ukazatel) z toho hlediska, že závody v ROB probíhají většinou v poměrně obtížném terénu, a je tak lepší, když závodník může koncentrovat svůj zrak jen na mapu a terén před sebou a informace o směru, ve kterém se nachází vysílač, dostává skrz sluchátka.

Jedním z nejdůležitějších parametrů přijímače pro ROB je citlivost. Je nutné zajistit, aby byl závodník po celou dobu závodu schopen zaměřit kterýkoliv z pěti vysílačů, přitom vzdálenost mezi závodníkem a nejvzdálenějším vysílačem může být při závodech na klasické trati až například 5 km. Samozřejmostí je tedy použití potenciometru k regulaci hlasitosti v takovém rozsahu, aby byl závodník schopen slyšet vzdálené vysílače a na druhou stranu aby nedošlo k poškození sluchu, pokud se ocitne v bezprostřední blízkosti právě aktivního vysílače.

Stabilita frekvence je klíčová pro pohodlí závodníka. Pokud frekvence „ujíždí“, závodník je zbytečně rozptylován neustálým doladováním přijímače na požadovanou frekvenci. Při kolísání frekvence je navíc znesnadněno samotné zaměřování, jelikož je pro lidské ucho obtížné rozeznat změny v amplitudě signálu, vypovídající o poloze vysílače, od nadbytečných změn ve frekvenci, které nenesou žádnou užitečnou informaci.

Vysoké nároky jsou kladeny na směrovost antény. Směrová charakteristika musí mít velmi ostrá minima, aby bylo vyhodnocení signálu sluchem jednoduché a přesné.

2. Šíření krátkých vln

2.1 Definice krátkých vln

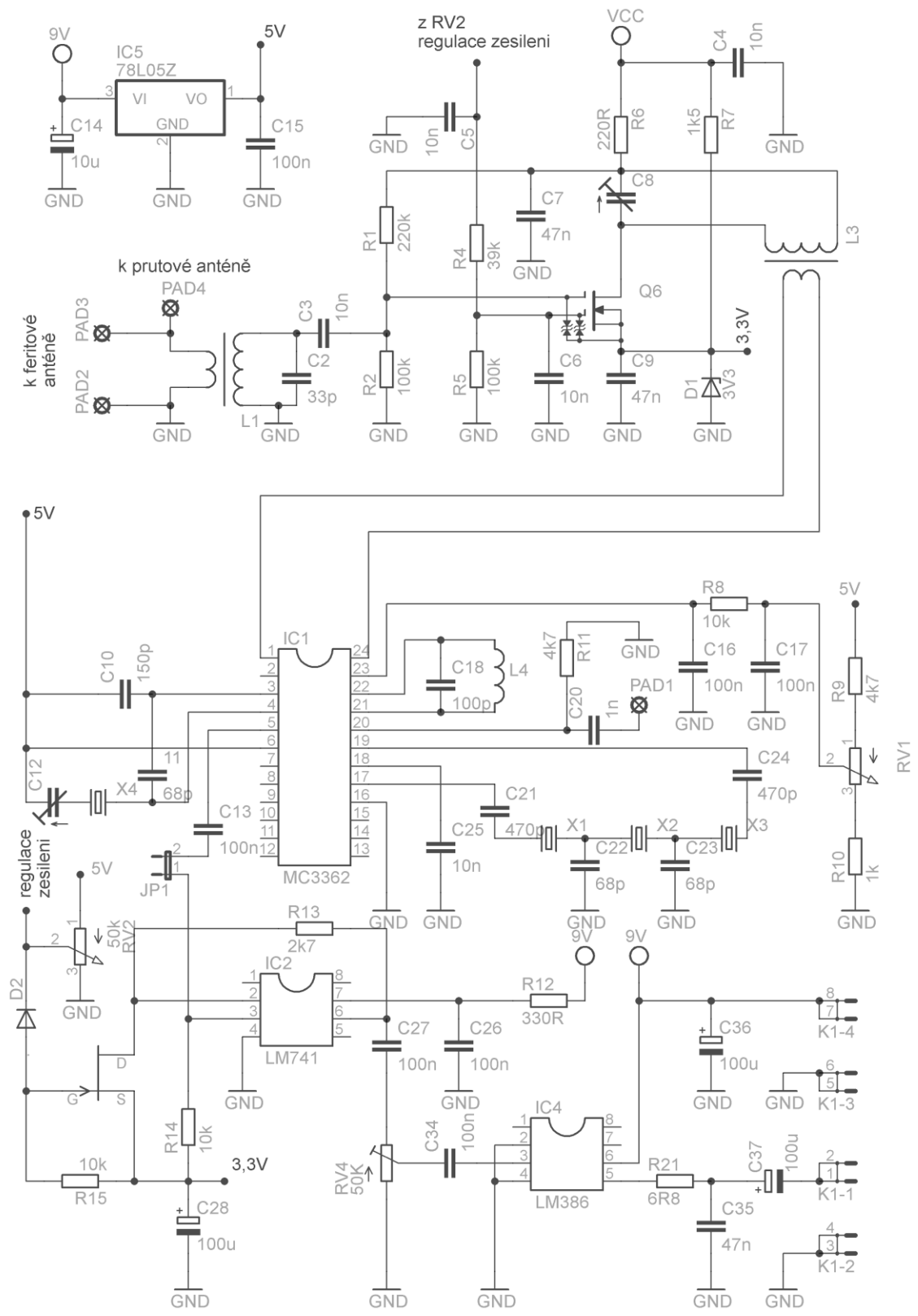
Frekvenci 3,5 MHz odpovídá délka 80 m, spadá tedy do oblasti elektromagnetického záření označovaného jako krátké vlny (KV). KV podle definice zahrnují frekvence od 3 MHz do 30 MHz, jimž odpovídají vlnové délky přibližně 100 m až 10 m. Tyto kmitočty se s výhodou používají pro přenos na velmi dlouhé vzdálenosti, není totiž vyžadována přímá viditelnost mezi vysílačem a přijímačem díky fenoménu zvanému ionosférická refrakce.

2.2 Ionosférická refrakce

Tento jev se pozitivně projevuje na dosah telekomunikačního spoje, podmínky šíření jsou ale velmi nestabilní a liší se v průběhu roční doby i střídáním dne a noci, a to kvůli kolísání množství ionizovaných plynů v ionosféře vlivem působení slunečního záření. Při ROB se ionosférické refrakce nevyužívá, protože vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem je malá (do 10 km). Zmiňuji se o ní kvůli ní proto, že může při závodě působit rušivě, jelikož někdy způsobuje interferenci vysílání kontroly ROB se signálem z mnohonásobně vzdálenějšího radioamatérského vysílače.

3. Popis řešení

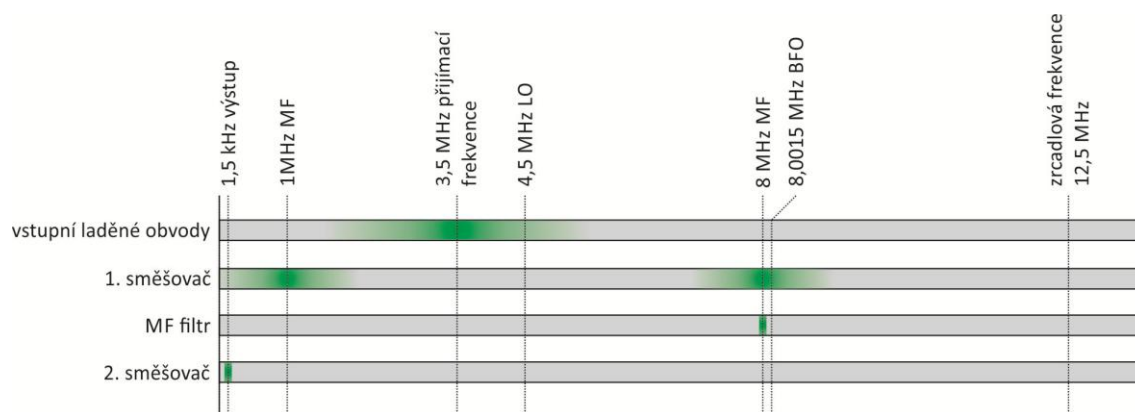
Přijímač je realizací návrhu australského radioamatéra s volacím znakem VK3VT podle článku, který vyšel v časopise Amateur Radio Magazine v roce 1997 [3]. Jedná se tedy o starší návrh, některé součástky už v dnešní době nejsou dostupné, musel jsem je tedy nahradit novějšími a přizpůsobit obvod jejich parametrům. Zároveň jsem se snažil zapojení v některých ohledech vylepšit. Schéma přijímače na obrázku 3 zobrazuje zapojení přijímače po úpravách původního návrhu z článku. Konkrétní případy takových úprav jsou popsány níže v popisu řešení.



Obr. 3: Schéma zapojení přijímače

3.1 Princip superheterodynního přijímače

Jedná se o superheterodynní přijímač postavený kolem integrovaného obvodu úzkopásmového FM přijímače MC3362 od firmy Motorola. V superhetech se využívá dvojího směřování, tzn. že přijímaný signál se nejprve pomocí místního oscilátoru (LO) převede na mezifrekvenční (MF) signál, který je následně ve druhém směřovači převeden pomocí zrcadlového oscilátoru (BFO) na nízkofrekvenční signál. Přeladitelnosti přijímače je dosaženo změnou frekvence místního oscilátoru.



Obr. 4: Frekvenční diagram směřování

Obrázek 4 ukazuje, která frekvenční pásma propouštějí jednotlivé komponenty přijímače. Vstupní laděné obvody mají propustné pásmo široké (značené zelenou barvou) a jejich účelem je potlačení zrcadlového signálu s frekvencí 12,5 MHz, tedy signálu o 4,5 MHz (frekvenci místního oscilátoru) vyšší než je MF signálu. Pokud by nežádoucí zrcadlový signál nebyl potlačen ještě před 1. směřováním, převedl by se společně s 3,5 MHz na mezifrekvenční signál a už by nebylo možné ho efektivně odfiltrovat.

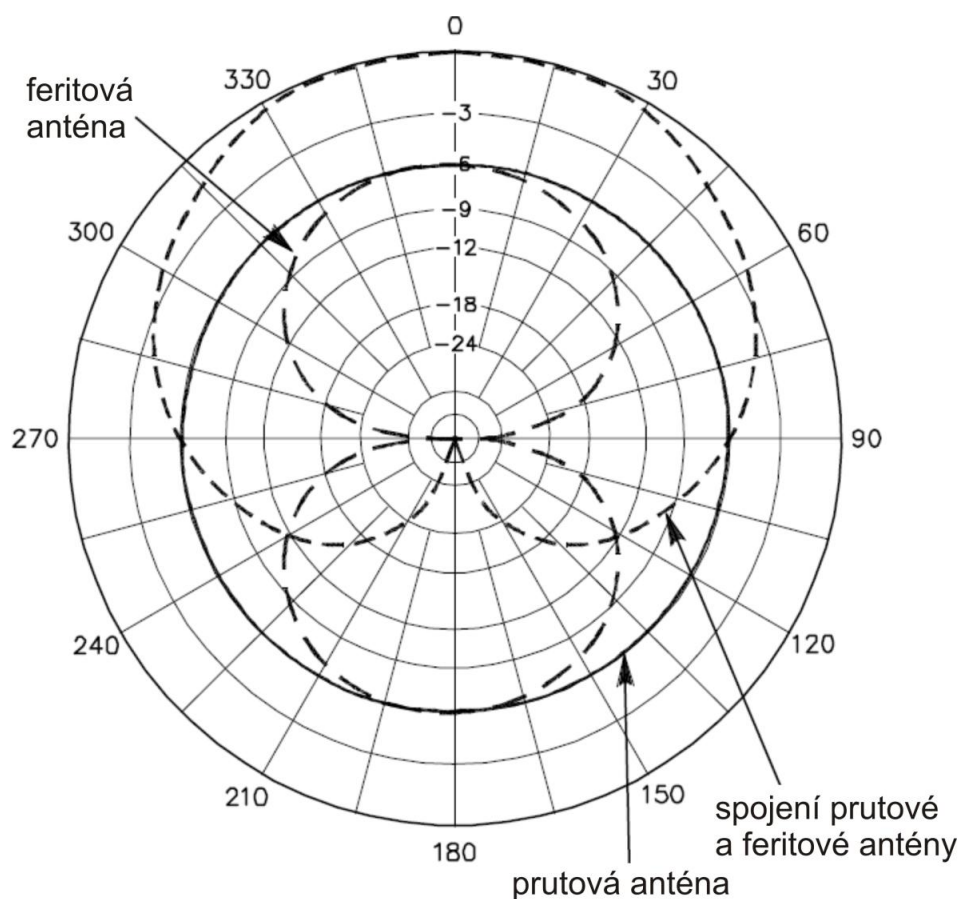
3.2 Anténa

K určení směru, ve kterém se hledaný vysílač nachází, je využita směrová anténa, skládající se z feritové a prutové antény. K určení přesného směru se více hodí samotná feritová anténa, jelikož její směrová charakteristika má ostřejší nuly a zaměřování je tak přesnější. Nuly jsou ale dvě naproti sobě a je tedy potřeba nějakým

způsobem zjistit, která z nich odpovídá směru vysílače. K tomu slouží prutová anténa, která má ve spojení s feritovou anténou srdcovitou charakteristiku. Zmíněné směrové charakteristiky jsou znázorněny na obrázku 5.

Pro dosažení co nejvhodnějšího tvaru charakteristiky (tzn. co největšího předozadního poměru) je potřeba, aby signály z prutové a feritové antény měly přibližně stejnou úroveň a zároveň musí být vzájemně fázově posunuty o 90° . Tyto podmínky jsou zajištěny volbou vhodné délky prutové antény a také odporovým trimrem a laditelnou cívkou v sérii s touto prutovou anténou.

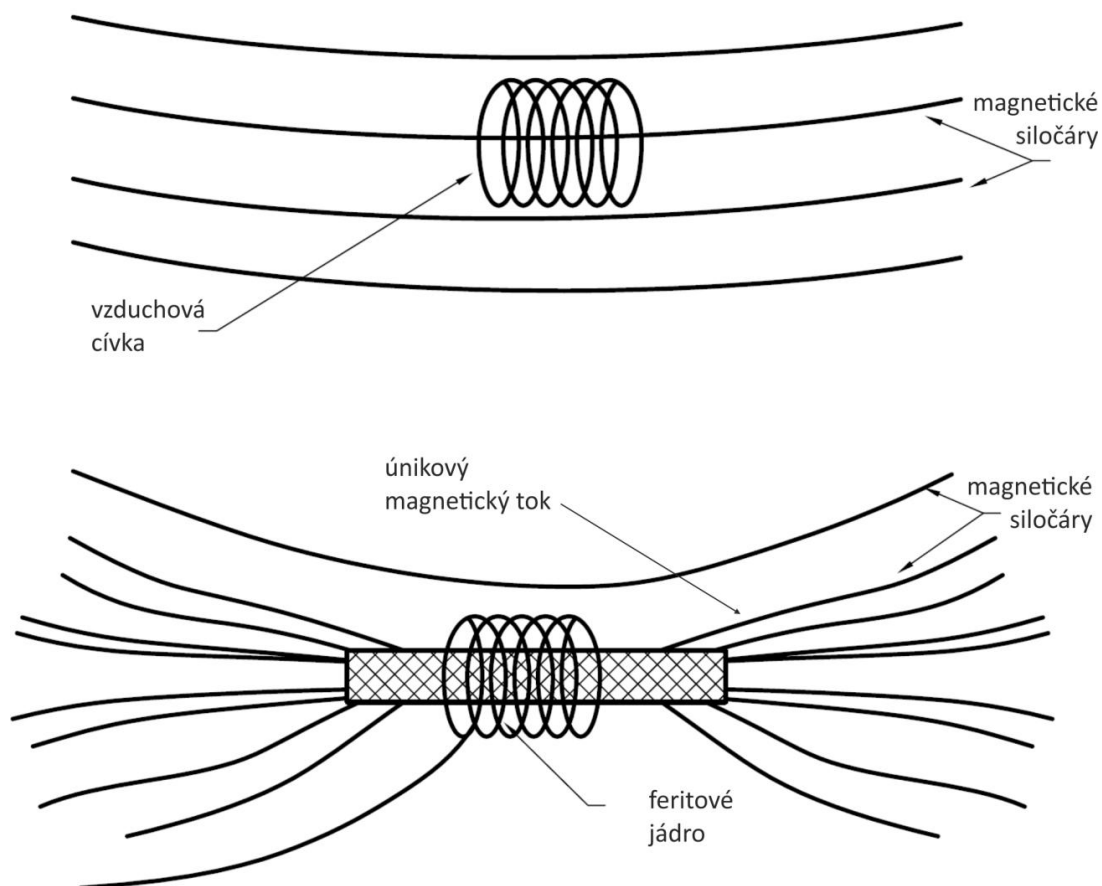
Propojení obou antén se provádí stiskem tlačítka na boku přijímače. Maximum směrové charakteristiky takto vzniklé antény odpovídá směru vysílače, je ale velmi široké a k přímému zaměření vysílače se tedy použít nedá.



Obr. 5: Směrové charakteristiky antény [1]

3.3 Feritová anténa

Podle Faradayova indukčního zákona se ve smyčce umístěné ve střídavém magnetickém poli indukuje napětí. Feritová anténa je tvořena několika takovými smyčkami navinutými na feritové tyčce. Ferit zakřivuje siločáry magnetického pole (obrázek 6) a zvyšuje tak magnetický tok v cívce a tím i indukované napětí.



Obr. 6: Funkce feritové antény [2]

Feritová anténa je tvořena 34 závitů 0,7 mm lakovaného měděného drátu na jádře z materiálu N2 (nikelnato-zinečnatý ferit) o průměru 10 mm a délce 140 mm. Oproti originálnímu návrhu jsem použil tyčku o 40 mm delší, cívka by tak měla dosáhnout většího činitele jakosti a anténa by tak měla mít větší zisk a lepší selektivní vlastnosti. Materiál N2 v pásmu 3,5 MHz vykazuje velmi malé ztráty a počáteční relativní permeabilitu asi 200. Cívka je pomocí kapacitního trimru doladěna do

rezonance na frekvenci 3,55 MHz, tedy přibližně na střed přijímacího pásma. Anténa tak funguje zároveň jako preselektor a stará se o potlačení zrcadlového kmitočtu, který se nachází okolo 12,5 MHz.

3.3.1 Konstrukce feritové antény

Indukčnost antény je spočítána tak, aby byla umožněna její rezonance s paralelně připojeným kondenzátorem, konkrétně s kapacitním trimrem o maximální kapacitě 50 pF. S ohledem na nepřesnosti výpočtu a kapacitu závitů cívky jsem pro jistotu počítal s kapacitou 30 pF, aby bylo možné trimr nastavit jak na vyšší, tak i nižší hodnotu kapacity. Pro indukčnost cívky v paralelním rezonančním obvodu platí podle Thomsonova vztahu následující rovnost (1):

$$L = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_r^2 \cdot C} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot (3,55 \cdot 10^6)^2 \cdot 30 \cdot 10^{-12}} = 67 \mu\text{H} \quad (1)$$

L - indukčnost antény

f_r - rezonanční frekvence

C - kapacita trimru

Známe tedy požadovanou indukčnost, z níž lze dopočítat počet závitů tvořících anténu. K tomu jsem využil vztah (2) pro výpočet indukčnosti feritové antény [2]:

$$L = \frac{4 \cdot \pi \cdot N^2 \cdot A \cdot \mu_{\text{rod}} \cdot 10^{-4}}{l} \quad (2)$$

L - indukčnost v μH

N - počet závitů

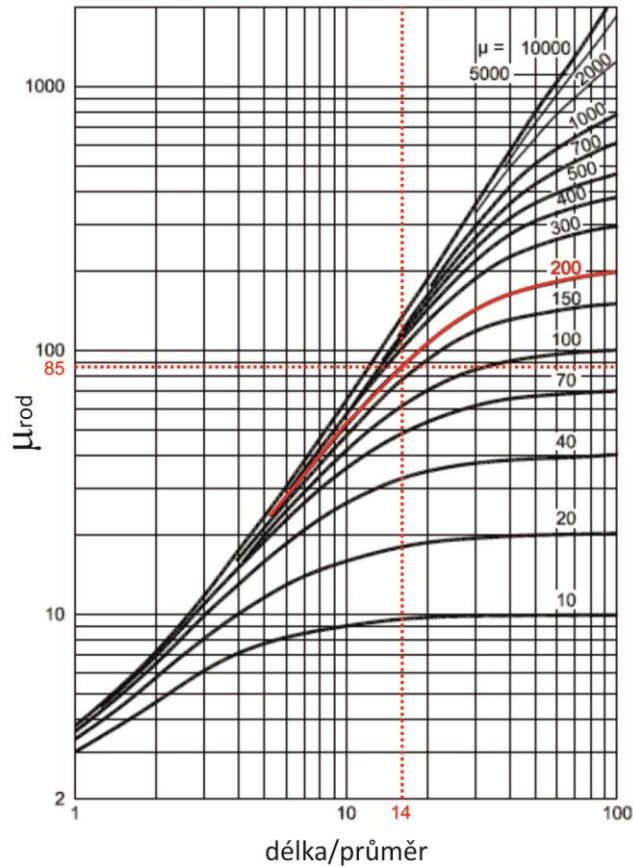
μ_{rod} - relativní permeabilita feritové tyčky

A - plocha řezu feritové tyčky v mm^2

l - délka feritové tyčky v mm

Permeabilita feritové tyčky μ_{rod} je veličina zohledňující vliv tvaru feritu na jeho

výslednou permeabilitu, μ_{rod} se totiž liší od počáteční permeability feritu udávané výrobcem. Tato odlišnost je způsobena únikovým magnetickým tokem (obrázek 6) a její velikost je závislá na poměru délky a průměru tyčky, jak ukazuje graf na obrázku 7.



Obr. 7: Graf závislosti μ_{rod} na poměru délky a průměru feritové tyčky [2]

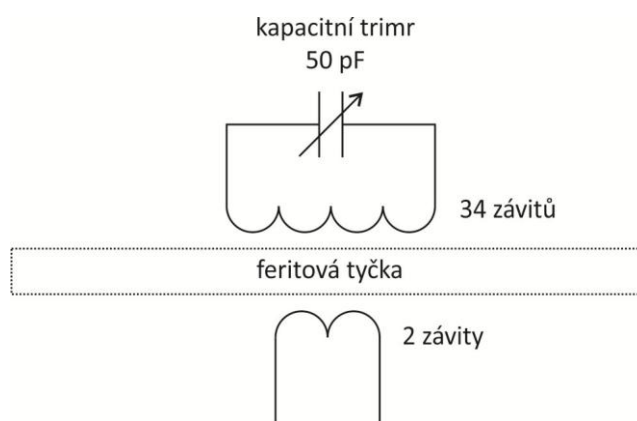
Pro délku tyčky 140 mm a průměr tyčky 10 mm (tedy poměr délka/průměr = 14) a počáteční permeabilitu feritu z materiálu N2 $\mu_i = 200$ vychází permeabilita tyčky $\mu_{rod} = 85$. Úpravou rovnice (2) jsem získal vztah (3), z kterého lze dopočítat počet závitů cívky.

$$N = \sqrt{\frac{l \cdot L}{4 \cdot \pi \cdot A \cdot \mu_{rod} \cdot 10^{-4}}} = \sqrt{\frac{140 \cdot 67 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot \pi \cdot 25 \cdot \pi \cdot 85 \cdot 10^{-4}}} = 34 \quad (3)$$

Na tyčku tedy bylo potřeba namotat 34 závitů. Měření na LC-metru ukázalo indukčnost $L = 82 \mu\text{H}$ a činitel jakosti $Q = 125$. Reálná indukčnost se od vypočítané

hodnoty $67 \mu\text{H}$ liší asi o 20 %. To je přijatelná hodnota, která umožňuje bezproblémové doladění do rezonance pomocí 50 pF kapacitního trimru.

Schéma hotové feritové antény je na obrázku 8. Signál z antény je dvěma vazebními závity (tvořícími v podstatě sekundární vinutí transformátoru) přenesen přes transformátor L2 ke vstupu RF zesilovače. Tyto vazební závity zaručují dostatečný činitel jakosti paralelního rezonančního obvodu antény; kdyby byl signál snímán přímo z konce 34-závitové cívky, došlo by k ztlumení rezonance antény vlivem paralelně připojené impedance zátěže a tedy i k potlačení selektivních vlastností antény.

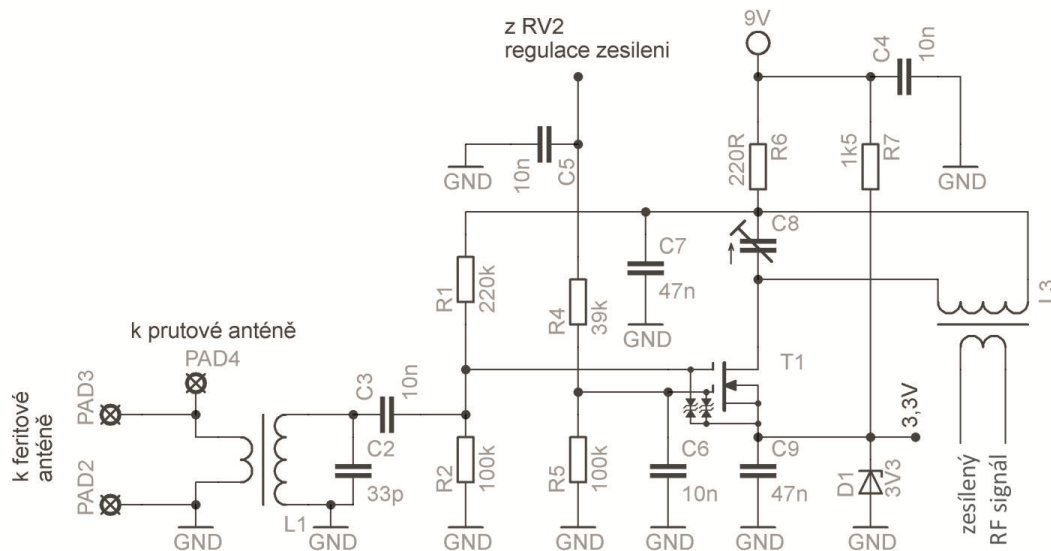


Obr. 8: Schéma feritové antény

3.4 RF zesilovač

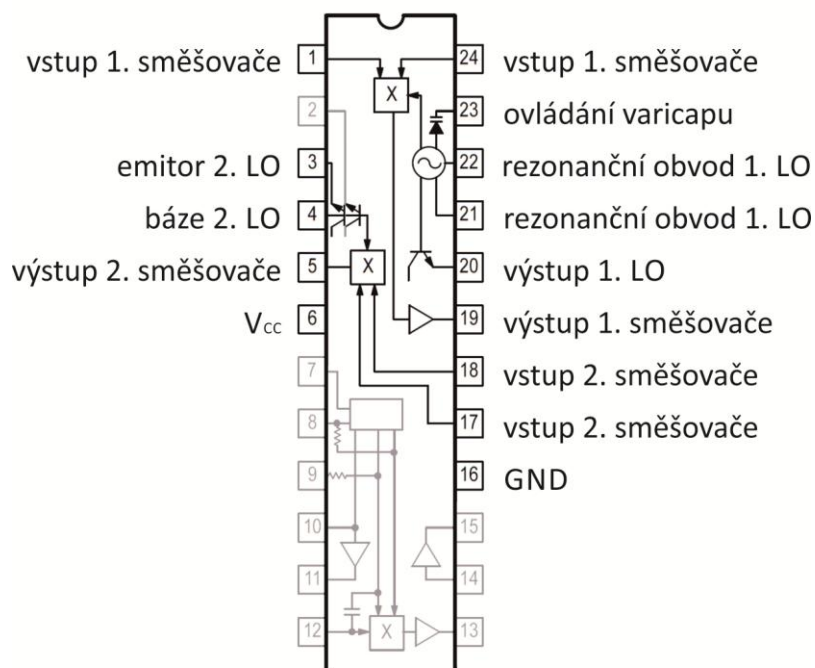
Signál z antény je pomocí transformátoru L2 převeden na vyšší impedanci odpovídající vstupní impedanci RF zesilovače s tranzistorem BF981. Pracovní bod tranzistoru je určen odporovými děliči R1-R2 a R4-R5 v oblasti hradel tranzistoru a také Zenerovou diodou D1, která v emitoru udržuje konstantní napětí 3,3 V. Zesílení tranzistoru je regulováno změnou napěťové úrovně na hradlu 2 pomocí potenciometru RV2. Zesílený signál je následně transformátorem L3 převeden na nižší impedanci odpovídající vstupní impedanci MC3362. V originálním zapojení byl pro zajištění stability zesilovače k hradlu 2 v sérii připojen $1 \text{ k}\Omega$ odpor. Jako lepší varianta se však ukázalo připojení hradla 2 kondenzátorem C6 k zemnímu vodiči co nejbližší u vývodu z pouzdra, jinak totiž tranzistor kmital na 100 MHz (kmitočtu FM radia, DPS posloužila jako anténa) kvůli parazitní kladné zpětné vazbě vytvořené cestami na plošném spoji.

Další změnou oproti originálnímu zapojení je zvětšení hodnoty odporu R6 ze 100 Ω na 220 Ω a připojení děliče R1-R2 až za tento rezistor, zabrání se tak zničení tranzistoru vlivem zvětšení drainového proudu I_D (toto opatření jsem zavedl poté, co se mi prorazil už 3. tranzistor). Pokud by tranzistor chtěl odebírat příliš velký proud (např. vlivem výše zmíněné kladné zpětné vazby), stoupne úbytek napětí na R6, tím pádem klesne napětí na R2 a tranzistor se přivře. Schéma zapojení RF zesilovače ukazuje obrázek 9.



Obr. 9: Schéma RF zesilovače [3]

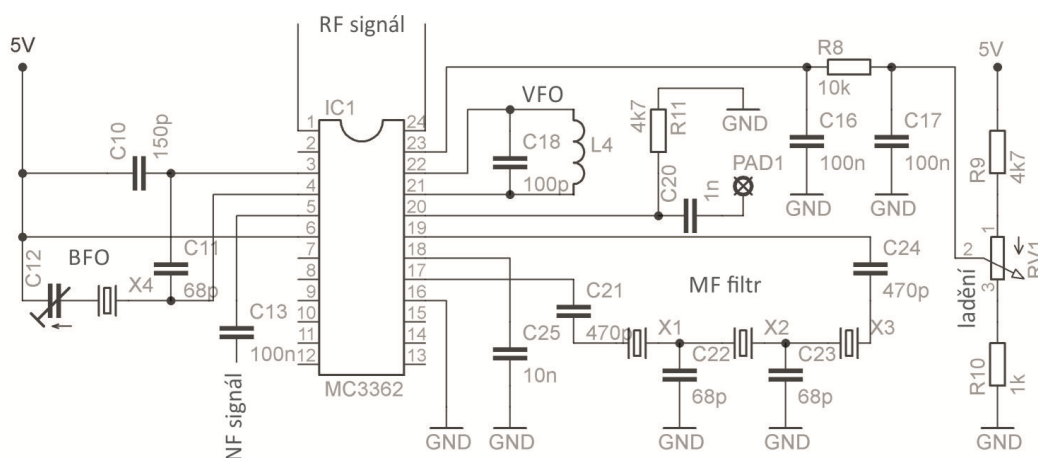
3.5 Integrovaný obvod přijímače MC3362



Obr. 10: Vnitřní zapojení MC3362 [6]

Vnitřní zapojení integrovaného obvodu MC3362 je zobrazeno na obrázku 10. Signál z RF zesilovače je přiveden na vstup prvního směšovače. Zde dochází k převodu na mezifrekvenci 8 MHz smíšením přijímaného signálu se signálem lokálního oscilátoru. Akumulační obvod oscilátoru se nachází mezi piny 21 a 22 a je tvořen cívkou L4 a slídovým kondenzátorem C18. Slídový kondenzátor jsem zvolil, jelikož je v současnosti nejstabilnějším dostupným typem kondenzátorů. Lepší by byly např. polystyrenové, které se však již nevyrábí a velmi obtížně se shání. Frekvence oscilátoru je přeladitelná pomocí změny napětí na varikapu (integrovaném v MC3362 na pinu 23) a měla by se pohybovat mezi 4,40 a 4,49 MHz, aby tak mohla být naladěna libovolná frekvence 3,51 – 3,60 MHz určená pravidly pro rádiový orientační běh (součet frekvencí signálu na vstupu směšovače je 8 MHz, $8 - 3,51 = 4,49$; $8 - 3,60 = 4,40$; proto rozsah 4,40 - 4,49 MHz). Výstup prvního směšovače je zesílen a vyveden na pin 19, kde je krystalovým filtrem vybrán mezifrekvenční 8 MHz signál, který z pinu 17 putuje na vstup druhého směšovače. Zde vstupuje do hry BFO (Beat Frequency Oscillator neboli

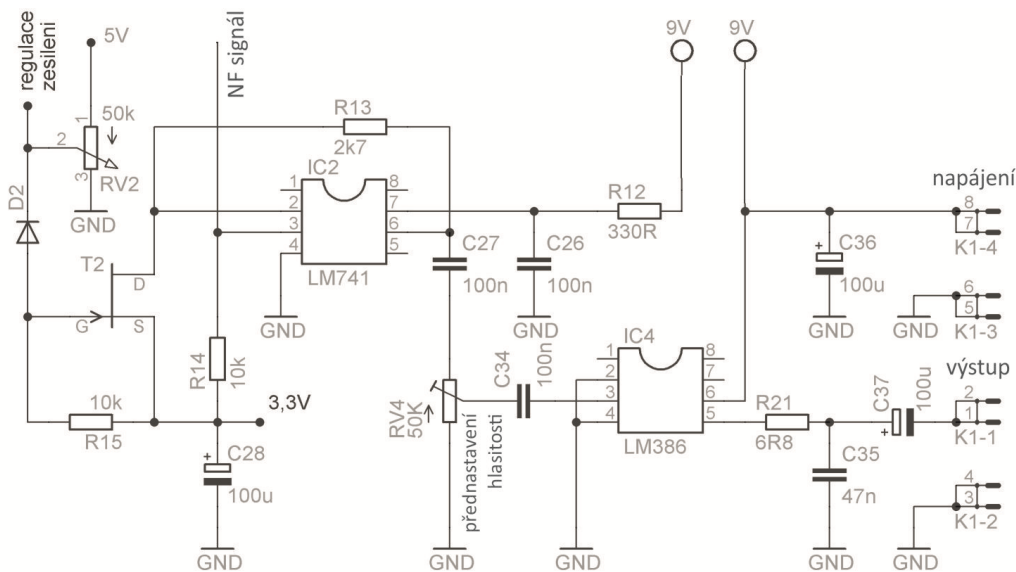
záznějový oscilátor) tvořený 8 MHz krystalem X4 rozladěným pomocí trimru C12 na frekvenci 8,0015 MHz. Ve druhém směšovači tak vznikne nízkofrekvenční zázněj na kmitočtu 1,5 kHz. Na obrázku 11 je schéma přidružených obvodů MC3362.



Obr. 11: Zapojení MC3362

3.6 NF zesilovač

Zesílení nízkofrekvenčního signálu probíhá ve dvou fázích; nejprve operačním zesilovačem LM741, následně koncovým stupněm LM386, jak ukazuje obrázek 12.



Obr. 12: Zapojení NF zesilovače

3.6.1 Operační zesilovač

Operační zesilovač LM741 je v neinvertujícím zapojení; signál je přiveden na neinvertující vstup. V ideálním případě by měl být zesilovač napájen symetricky, tj. například +9 V a -9 V, pro zjednodušení obvodu je napájen pouze +9 V a virtuální zem na jeho signálových vstupech je přivedena na napětí 3,3 V ze Zenerovy diody. Vstupní audio signál je superponován na toto stejnosměrné napětí a je tak umožněno zesílení kladných i záporných půlvln až na amplitudu 3,3 V. Při větším zesílení by došlo ke zkreslení signálu vlivem oříznutí sinusového průběhu v záporné půlvlně. Zesílení operačního zesilovače je ovládáno (stejně jako zesílení RF zesilovače) potenciometrem RV2. Pomocí RV2 je měněno napětí U_{GS} n-kanálového J-FETu T2, který se v tomto zapojení chová jako proměnný odpor. Zesílení operačního zesilovače v neinvertujícím zapojení je pak dáno vztahem (4).

$$A = 1 + \frac{R_{13}}{R_{DS}} \quad (4)$$

R_{DS} - odpor mezi elektrodami Drain a Source

Tranzistor 2N3819 z originálního zapojení se již nevyrábí, bylo nutné použít jiný J-FET s vhodným odporem R_{DS} . Vybral jsem BF245c, který by měl mít podle datasheetu [9] odpor R_{DS} zhruba od 150 Ω do 400 Ω . Pokud by zesílení bylo příliš velké, je možné ho snížit vyměněním odporu R13 za jiný rezistor s menší hodnotou odporu.

3.6.2 Koncový stupeň

Poslední fáze zesílení probíhá v koncovém stupni LM386. Jedná se o integrovaný obvod navržený pro zesilování audio signálů za pomoci malého množství přídavných součástek. Zesílení je regulovatelné od 20 dB do 200 dB připojením kondenzátoru a odporu mezi piny 1 a 8. V mém zapojení nejsou tyto piny použity zapojeny a zesílení je v tomto případě 26 dB. Výstup zesilovače je přes jednoduchý RC filtr typu dolní propust a vazební kondenzátor C37 připojen na DIN 5 zásuvku. Dvě zdířky této zásuvky, které nejsou využity pro signál, slouží jako spínač. Po připojení sluchátek jsou tyto 2 zdířky zkratovány příslušnými propojenými kolíky na zástrčce a obvod je teprve tehdy připojen

k napájení. Použitá sluchátka mají impedanci 16 Ω a maximální výkon 100 mW.

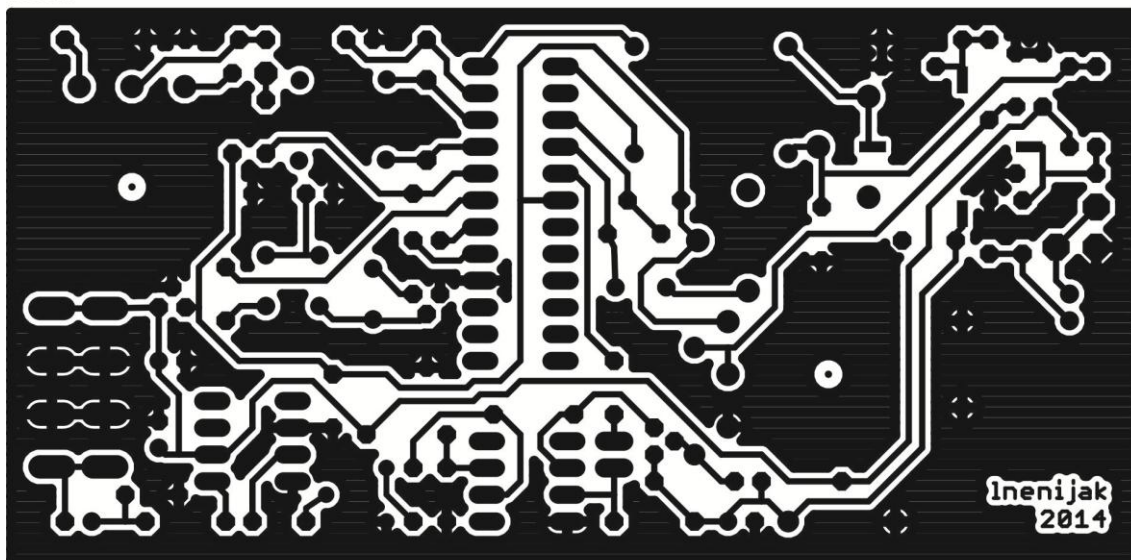
4. Deska plošných spojů

Vzhledem k velkému množství součástek, které se montují skrz díru (cívky, MC3362, laditelné kondenzátory) jsem se rozhodl, že i pro zbytek součástek použiji montáž skrz díru. Deska plošných spojů (DPS) nemusí být nijak extrémně malá, SMD součástky by tak výrobu jen zbytečně komplikovaly, protože se s nimi kvůli jejich velikosti obtížněji pracuje.

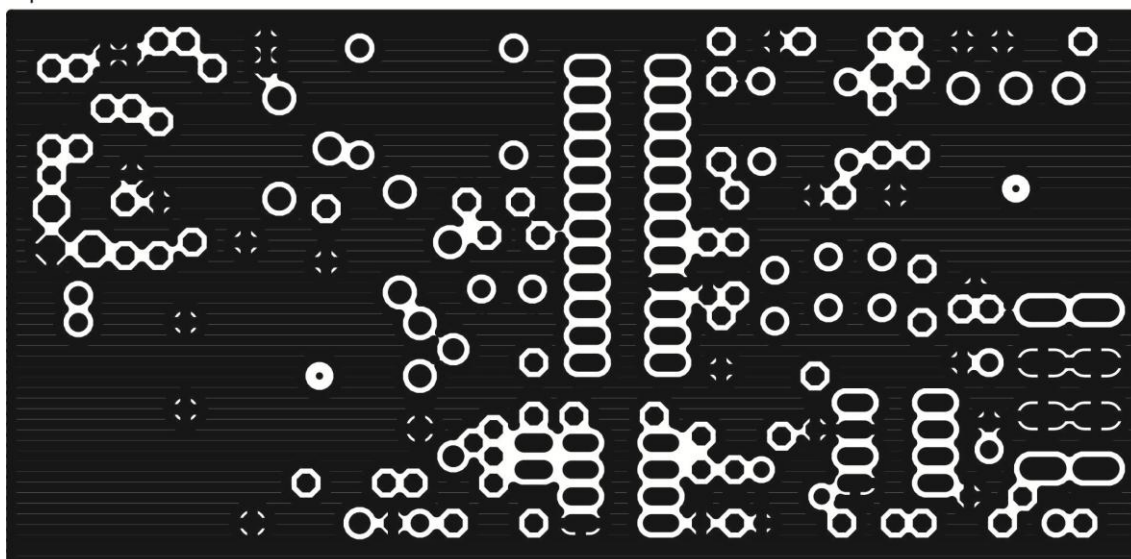
K návrhu DPS jsem použil program Eagle 6.5.0, v minulosti se mi osvědčil při tvorbě jiných projektů a navíc je dostupný zdarma (pouze s omezením maximální plochy DPS). Umožňuje rovněž vytvoření vlastních pouzder, což jsem využil především při umísťování ručně navinutých cívek na plošný spoj. Kvůli lepšímu stínění je celá vrchní strana desky využita jako společný vodič a je na co nejvíce místech propojena se zbytkovou měďí na spodní straně. Cesty vedoucí RF signál (mezi anténou a vstupem zesilovače, mezi výstupem zesilovače a vstupem prvního směšovače, mezifrekvenční filtr) jsou co možná nejkratší, aby se na nich neprojevila parazitní kapacita a indukčnost plošných spojů. U nízkofrekvenční části obvodu se již díky nižším frekvencím tyto parazitní vlastnosti příliš neprojevují a spoj je navržen především s ohledem na co nejmenší rozměry. Motiv plošných spojů a rozmístění součástek na DPS ukazují obrázky 13 a 14.

Při vývoji jsem se potýkal se zpětnou vazbou mezi kolektorem a jedním z hradel tranzistoru, která vznikla parazitní kapacitou mezi nožičkou součástky a cestou plošného spoje vedenou pod touto nožičkou. Jednalo se o chybu v návrhu DPS a ve finálním návrhu je již tato chyba opravena, bylo pouze potřeba dodržet větší vzdálenost mezi výstupem a vstupem zesilovače.

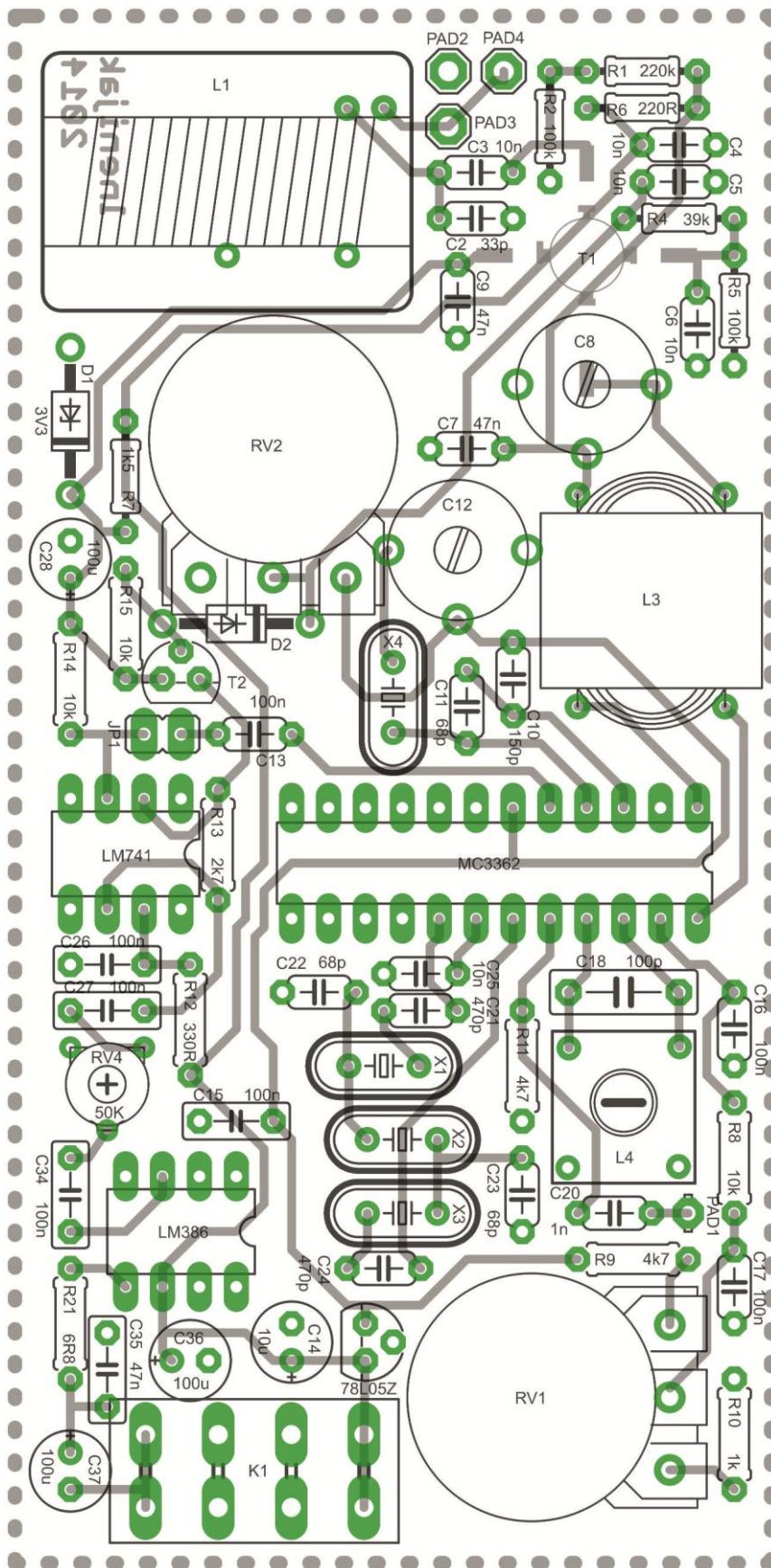
bottom



top



Obr. 13: Otisk desky plošných spojů



Obr. 14: Rozmístění součástek na DPS

5. Krabička

Přijímač bude provozován v poměrně náročných podmínkách. Musí vydržet otřesy vznikající při pádu závodníka na zem a musí být odolný vůči dešti.

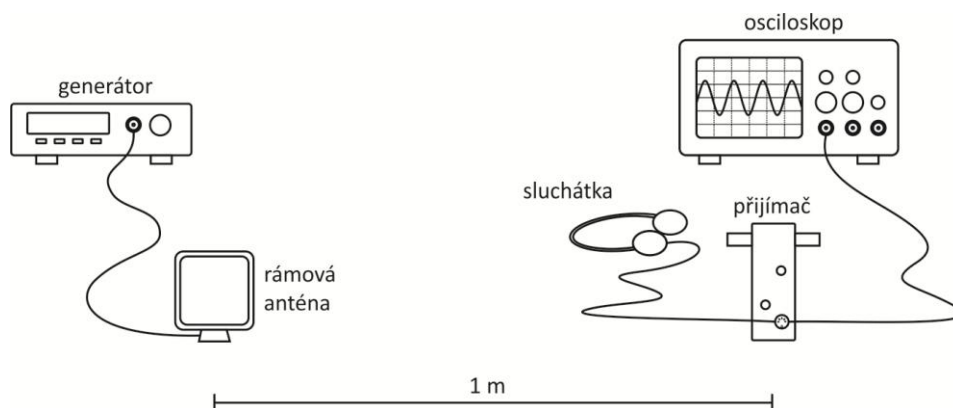
Krabičku jsem se rozhodl sletovat z cuprexitu FR4 (tloušťka laminátu 1,5 mm, tloušťka měděné fólie 35 μm). Tento materiál se jeví jako dostatečně pevný a při pečlivém sletování by krabička neměla ani propouštět vodu. Velkou výhodou cuprexitu je jeho stínící funkce. Měděná folie zajišťuje odstínění DPS od okolního prostředí, tudíž je znemožněno nežádoucím signálům, aby se indukovaly do cest na plošném spoji. Zároveň je pomocí přepážky mezi anténou a zesilovačem zabráněno vzniku zpětné vazby.

Na rozdíl od originálního zapojení jsou závity feritové antény rovněž schovány v krabičce, zatímco feritové jádro vyčnívá na obou stranách ven. Tím je dosaženo odstínění elektrického pole, anténa reaguje jen na pole magnetické a její směrová charakteristika vykazuje ostřejší nuly. Je však nutné vyfrézovat v horní části po obvodu krabičky drážku, přerušit měděnou fólii a zabránit tak vzniku závitu nakrátko, který by silně degradoval vlastnosti antény.

6. Ověření činnosti přijímače

Funkčnost přijímače jsem ověřil v laboratoři měřením za pomoci generátoru funkcí, osciloskopu a spektrálního analyzátoru. Přijímač bohužel postrádá anténní vstup s definovanou impedancí, z toho důvodu by bylo poměrně složité měřit hodnoty základních parametrů přijímače absolutně. Rozhodl jsem se proto otestovat komerčně dostupný model SUPERFOX 3,5GX v laboratoři a porovnat naměřené hodnoty s parametry mého přijímače, získanými měřeními v totožných podmínkách. V následujících odstavcích se budu na svůj přijímač odkazovat jako na Lnenijak 2014.

Rozvržení měřicího pracoviště ukazuje obrázek 15. Ke generátoru funkcí je koaxiálním kabelem připojena rámová anténa. Generátor pomocí antény vysílá sinusový signál na frekvenci 3,5 MHz. Tento signál je zachycen měřeným radiovým přijímačem a výstup přijímače je zobrazen na osciloskopu.



Obr. 15: Měřící pracoviště

6.1 Srovnávací měření citlivosti

Jedním ze základních parametrů přijímače je citlivost. Označuje nejmenší sílu signálu, z kterého je ještě přijímač schopen získat nějakou užitečnou informaci. Udává se zpravidla pro určitý poměr signálu k šumu (SNR), jelikož hladina šumu (především šumu generovaného uvnitř přijímače) je jedním z hlavních určujících faktorů citlivosti.

Citlivost byla změřena jako efektivní hodnota napětí sinusového signálu z generátoru, pro kterou nastal na výstupu přijímače odstup signálu od šumu $SNR = 6$ dB. SNR uvažuji jako poměr užitečného signálu sečteného se šumem ku samotnému šumu. Měření probíhalo na frekvenci 3,525 MHz. Efektivní hodnoty napětí šumu a užitečného signálu byly odečteny z osciloskopu. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 1.

	Lnenijak 2014	SUPERFOX 3,5GX
SNR [dB]	6	
f_0 [MHz]	3,525	
N [mV]	120	70
S + N [mV]	240	140
S_i [mV]	11	5,5

Tabulka 1: Výsledky měření citlivosti

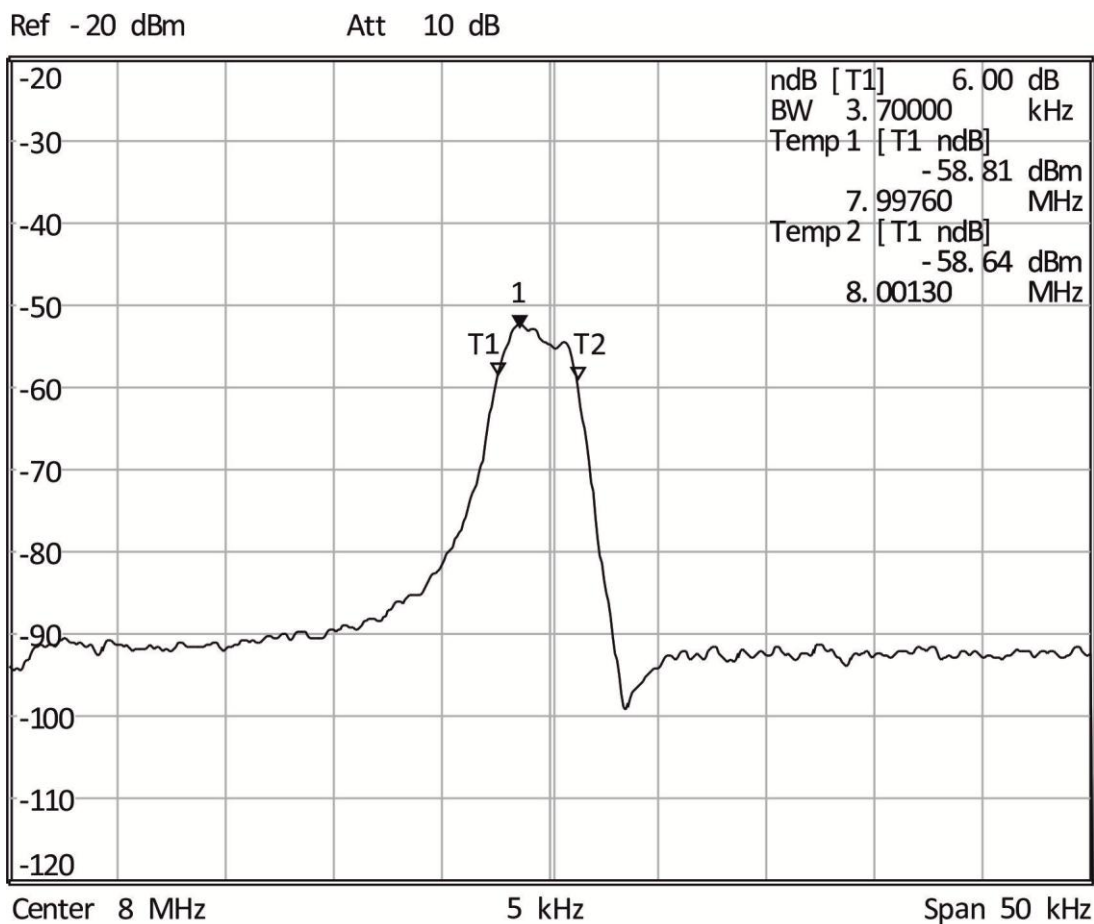
Z naměřených hodnot je patrné, že komerčně dostupný SUPERFOX 3,5GX má asi dvojnásobně (neboli o 6 dB) lepší citlivost než Lnenijak 2014.

6.2 Selektivita

Selektivita popisuje schopnost přijímače reagovat pouze na signál, na který je naladěn a potlačovat ostatní signály. Je určena hlavně vlastnostmi filtrů přijímače. Selektivitu jsem měřil dvěma způsoby; změřením vlastností MF filtru (šířka pásma tohoto filtru je hlavním určujícím faktorem selektivity) a porovnáním s komerčně dostupným přijímačem měřením ve stejných podmínkách (podobně jako při měření citlivosti).

6.2.1 Měření mezifrekvenčního filtru

Vlastnosti MF filtru byly změřeny za pomoci generátoru funkcí a spektrálního analyzátoru. Funkce SWEEP na generátoru zajistila proměnnou frekvenci (v rozsahu 7,95 MHz - 8,05 MHz) a na spektrálním analyzátoru bylo následně zobrazeno spektrum signálu na výstupu filtru. Poté byly pomocí kurzoru odečteny frekvence, pro které nastal pokles napěťové úrovně signálu o 6 dB oproti maximální hodnotě. Rozdíl těchto dvou frekvencí značí šířku propustného pásma MF filtru, která tedy podle obrázku 16 činí $8001,3 - 7997,6 = 3,7$ kHz.



Obr. 16: Měření MF filtru pomocí spektrálního analyzátoru

6.2.2 Srovnávací měření selektivity

Měření selektivity probíhalo na stejném měřicím pracovišti jako měření citlivosti (obrázek 15). Na generátoru byla nastavena měřící frekvence $f_0 = 3,525$ MHz, poté byly přijímače naladěny tak, aby se na výstupu objevil co nejsilnější signál (efektivní hodnota signálu se zobrazovala na osciloskopu). Poté byly pomocí změny frekvence na generátoru nalezeny frekvence, pro které nastal pokles efektivní hodnoty napětí výstupního signálu o 6 dB oproti jeho hodnotě na frekvenci f_0 .

	Lnenijak 2014	SUPERFOX 3,5GX
$f_0 + \Delta f_+$ [MHz]	3,5267	3,5253
$f_0 - \Delta f_-$ [MHz]	3,5236	3,5245
B_{6dB} [kHz]	3,1	0,8

Tabulka 2: Výsledky měření selektivity

Podle pravidel ROB musí být dvě současně vysílající kontroly od sebe vzdáleny alespoň 30 kHz, z naměřených hodnot v tabulce 2 je tedy zřejmé, že oba přijímače mají pro ROB vyhovující selektivitu. Lnenijak 2014 má přibližně čtyřikrát horší selektivitu než SUPERFOX 3,5GX, což negativně ovlivňuje jeho citlivost, protože na výstup přijímače projde šum s širším spektrem (tedy i větším výkonem).

6.3 Stabilita frekvence

Dalším klíčovým parametrem přijímače pro ROB je stabilita frekvence. Z principu funkce nemůže být přijímaná frekvence dokonale stabilní, záleží především na teplotních vlastnostech součástek tvořících rezonanční obvod VFO (oscilátoru s laditelnou frekvencí), tedy cívky L4, kondenzátoru C18 a varikapu integrovaného v přijímači. Tyto součástky se po zapnutí přijímače začnou vlivem protékajících proudů zahřívat a mírně tak měnit svou impedanci, což má za důsledek změnu ve frekvenci VFO.

Stabilita frekvence rovněž souvisí se stabilitou napájecího napětí oscilátoru (respektive integrovaného obvodu přijímače, jehož součástí je oscilátor) a řídicího napětí varikapu. Obě tato napětí jsou odvozena z 5V lineárního stabilizátoru a pokles napětí na 9V baterii vlivem vybití by tak neměl na frekvenci mít příliš velký vliv. Pro co nejmenší zvlnění jsou tato napětí co nejlépe MC3362 pomocí kondenzátorů blokována proti zemi.

Měření jsem provedl pro 3 časové intervaly; 1 minutu, 5 minut a 40 minut. Jednominutový interval ukazuje na schopnost přijímače udržet bez přeladování vysílání jedné kontroly, pětiminutový interval je doba, během které se vystřídají všechny vysílače a 40 minut je průměrná doba trvání celého závodu.

Hodnoty v tabulce 3 byly získány odečtením z osciloskopu, na němž bylo pomocí funkce MATH (Fourierovy transformace) zobrazeno spektrum signálu na výstupu přijímače. Zároveň byla nastavena doba dosvitu displeje osciloskopu na nekonečno, spektrální čára sinusového signálu za sebou tak zanechávala stopu, jejíž spektrální šířka byla po uplynutí požadované doby odečtena pomocí kurzorů.

	Lnenijak 2014	SUPERFOX 3,5GX
Δf_1 [Hz]	-260	25
Δf_5 [Hz]	-1020	-90
Δf_{40} [Hz]	-8300	123

Tabulka 3: Výsledky měření stability frekvence

Jak je vidět z výsledků v tabulce 3, SUPERFOX 3,5GX se vyznačuje mnohem lepší stabilitou frekvence, což je patrně způsobeno odlišným obvodem oscilátoru. Důležité ale je, že Lnenijak 2014 dokáže udržet po dobu alespoň jedné minuty frekvenci v menším rozsahu, než je propustné pásmo mezifrekvenčního filtru, tzn. že po dobu vysílání jednoho konkrétního vysílače závodník nepotřebuje frekvenci manuálně doladovat. Jemné doladění při začátku vysílání další kontroly je běžnou praxí, neboť vysílače rovněž nejsou dokonale stabilní a často nevysílají na přesně identické frekvenci.

6.4 Proudový odběr

Proudový odběr byl změřen multimetrem v režimu měření proudu sériově zařazeným k 9 V baterii. Byla změřena jak maximální hodnota odběru (při nastavení maximální hlasitosti přijímače) tak i jeho typická hodnota (hlasitost nastavena na polovinu rozsahu). Výsledky měření byly zaneseny do tabulky 4.

	Lnenijak 2014	SUPERFOX 3,5GX
max. proudový odběr	61 mA	58 mA
typ. proudový odběr	21 mA	18 mA

Tabulka 4: Výsledky měření proudového odběru

Při typickém odběru by Lnenijak 2014 měl při provozu z nabíjecí 9 V baterie o kapacitě 200 mAh v ideálním případě vydržet téměř 10 hodin, pro maximální odběr vychází výdrž na méně než 3 hodiny.

7. Finanční rozvaha

S ohledem na fakt, že na českém trhu existuje pouze jeden výrobce 3,5 MHz přijímačů, který navíc vyrábí pouze jeden typ rádia, rozhodl jsem se vypracovat přibližnou finanční rozvahu mého výrobku. Cena komerčně dostupného přijímače SUPERFOX 3,5GX činí 4900,-Kč. Mým záměrem je vyrobit několik (asi 10) rádií, které by mohly být využívány mým mateřským ROB oddílem při tréninku nejmenších dětí. Parametry mého přijímače jsou pro trénink dostačující a oddílu by se tak do jisté míry finančně ulevilo, protože by nemusel pro tyto účely nakupovat nákladné přijímače SUPERFOX.

Finanční rozvahu jsem rozdělil na 2 části: vývoj přijímače a výroba finálního výrobku. Obě části v součtu zahrnují veškeré finanční prostředky, které jsem do tohoto projektu vložil. Vývoj samotný obsahuje náklady na výrobu testovací DPS a pořizovací cenu součástek, které nakonec nebyly použity ve finálním výrobku (levné součástky jako běžné kondenzátory a odpory by se s ohledem na časovou náročnost nevyplatilo odletovat z testovací DPS a proto byly ve finálním přijímači použity nové, zatímco dražší součástky a ručně navinuté cívky byly použity jak v prototypu, tak v konečném výrobku). Náklady na výrobu konečného produktu by tak měly odpovídat nákladům na výrobu každého dalšího přijímače. V tabulce 5 jsou shrnuty finance a čas vynaložené na vývoj a výrobu přijímače.

	1. část - vývoj	2. část - výroba
DPS	150 Kč	50 Kč
součástky	200 Kč	500 Kč
krabice	-	50 Kč
celkem	350 Kč	600 Kč
čas	160 hodin	24 hodin

Tabulka 5: Vynaložené finance a čas

8. Možnosti vylepšení

Při vypracovávání projektu mě napadlo několik vylepšení, která by se dala využít až v případných dalších vyrobených přijímačích, většina z nich by totiž vyžadovala novu DPS nebo krabičku a nejsou tak zakomponována již v tomto vzorku přijímače Lnenijak 2014.

Příkladem takového vylepšení by mohlo být nahrazení integrovaného obvodu MC3362 dvěma novějšími a kvalitnějšími směšovači a mezifrekvenčním zesilovačem. Uvnitř MC3362 může docházet k přeslechům mezi jednotlivými signály a použití separátních směšovačů by tak mohlo mít na kvalitu výsledného signálu pozitivní vliv.

Vylepšení by si zasloužil rovněž mezifrekvenční filtr, který sice vyhovuje požadavkům na selektivitu přijímače pro ROB, jeho propustné pásmo je ale zbytečně široké (3,7 kHz). Pomoci by mohlo přidání jednoho nebo více filtrovacích stupňů (skládajících se z kondenzátoru a krystalu) do filtru nebo vylepšení plošného spoje tak, aby cesta mezifrekvenčního signálu byla ještě kratší a zároveň aby bylo zabráněno přeslechům mezi vstupem a výstupem filtru přes parazitní kapacitu cest na DPS.

Z hlediska zlepšení šumových vlastností by možná bylo vhodné pro zesílení NF signálu použít místo obyčejného operačního zesilovače LM741 některý z nízkošumových modelů určených speciálně pro audio techniku.

Dalším možným vylepšením je použití elektronického kompasu, který je schopen uchovat informaci o směru kontroly. Závodník provede co nejpřesnější

zaměření kontroly a směr stiskem tlačítka uloží do kompasu. Po přepnutí do módu kompasu je pak i po konci vysílací minuty této kontroly navigován příslušným směrem. Elektronický kompas tak funguje jako náhrada klasické buzoly, jeho obrovská výhoda je ale v navigaci sluchem, jelikož závodník pak může soustředit veškerou svou zrakovou pozornost výhradně na terén a běžet tak o něco rychleji.

Tento kompas jsem zkusil vyrobit z modulu pro detekci slabých magnetických polí Honeywell HMC5883L. Tento modul jsem propojil přes I²C sběrnici s vývojovým kitem Arduino UNO, jenž obsahuje mikrokontrolér Atmega 328P. Po napsání jednoduchého programu se mi podařilo dosáhnout požadovaného výsledku, kdy kompas reagoval na natočení změnou frekvence pípání výstupního signálu. Zatím však kompas funguje pouze na vývojové desce, pro využití v praxi je potřeba jej zmenšit a navrhnout novou krabičku, do které by se vešel a která by zajistila odstínění kompasu od obvodů přijímače.

9. Závěr

Na začátku práce je nastíněn princip radiového orientačního běhu, z něhož jsou následně vyvozeny parametry, které by měl mít přijímač pro ROB. V úvodu jsou rovněž rozebrána mezinárodní pravidla ROB, zvláště pak část věnující se technickým specifikacím vybavení pro ROB, aby bylo zajištěno, že přijímač těmto pravidlům vyhovuje a bude použitelný i na mezinárodních závodech.



Dále jsou popsány mechanismy šíření krátkých vln, konkrétně pásma v okolí 3,5 MHz, což je pracovní pásmo zvoleného přijímače.

V popisu řešení je nejdříve nastíněn princip superheterodynního přijímače jako celku a poté je přijímač rozdělen na jednotlivé bloky, jejichž funkce a konstrukce jsou následně podrobně popsány. Zvláštní pozornost je věnována anténě.

Poté je popsán postup tvorby desky plošných spojů a návrh a výroba krabičky. Krabička je navržena tak, aby umožňovala provoz přijímače v závodních podmínkách, je tedy odolná proti otřesům, mechanickým vlivům a dešti.

Hotový přijímač je dále společně s komerčně dostupným přijímačem SUPERFOX 3,5GX proměřen v laboratoři a parametry těchto dvou rádií jsou mezi sebou porovnány, jak ukazuje tabulka 6. Bylo zjištěno, že můj můj přijímač Lnenijak 2014 má dvakrát horší

citlivost než SUPERFOX 3,5GX a asi čtyřikrát horší selektivitu, která ale není pro ROB nijak klíčová. Byla také změřena stabilita frekvence, která je u mého přijímače opět o něco horší. Zároveň je ale dostačující, jelikož přijímač vydrží naladěný po více než jednu minutu (tedy dobu vysílání jednoho vysílače), poté je však zapotřebí jemné manuální doladění.

název	SUPERFOX 3,5GX	Lnenijak 2014
fotografie		
hmotnost	315 g	305 g
rozměry krabičky (v x š x h)	180 x 49 x 31 mm	184 x 55 x 29 mm
délka ferit. tyčky	100 mm	140 mm
napájecí napětí	9 V	9 V
proudový odběr	max. 58 mA, typ. 18 mA	max. 61 mA, typ. 21 mA
citlivost	$S_i \mu\text{V}$	$2S_i \mu\text{V}$
selektivita	$B_{-6\text{dB}} = 0,8 \text{ kHz}$	$B_{-6\text{dB}} = 3,1 \text{ kHz}$
stabilita frekvence	25 Hz/min	260 Hz/min
cena	4 900 Kč	600 Kč (cena materiálu)

Tabulka 6: Srovnání přijímačů Lnenijak 2014 a SUPERFOX 3,5GX

Na závěr je vypracována finanční rozvaha projektu, tedy náklady na vývoj a výrobu přijímače. Na jejím základě je stanovena výrobní cena přijímače Lnenijak 2014,

kteřá činí přibližně 600 Kč. Tato cena udává pouze výdaje za materiál potřebný pro výrobu přijímače a není v ní započítán čas strávený vývojem a výrobou přijímače. Orientačně jsem odhadl čas strávený vývojem (zahrnuje návrh zapojení, studium odborné literatury, výpočty a měření indukčností cívek a antény, návrh a výrobu testovacích DPS, výroba cívek, osazování DPS, zprovoznování přijímače v laboratoři, návrh finální DPS) na 160 hodin. Výroba funkčního vzorku mi zabrala dalších asi 24 hodin, čas potřebný k výrobě dalšího přijímače odhaduji na zhruba 16 hodin.

Podařilo se mi navrhnout a vyrobit přijímač pro ROB, který splňuje požadavky stanovené v úvodu. Je však nutné přiznat, že nedosahuje kvalit komerčně dostupného přijímače. Hodí se tedy spíše pro tréninkové účely. Na druhou stranu také nutno podotknout, že jsem schopen vyrobit rádio za osminu ceny SUPERFOXu 3,5GX (samozřejmě bez započtení práce).

Hotový přijímač jsem otestoval při oddílovém tréninkovém závodě. Potvrdilo se, že citlivost zaostává za SUPERFOXem, vysílače jsem podle hlasitosti signálu odhadoval vzdálenější, než ve skutečnosti byly. Bez problému se mi ale podařilo najít všechny kontroly a ověřil jsem tak, že Lnenijak 2014 má pro účely tréninku vyhovující vlastnosti.

Seznam použitých součástek

Název	Hodnota, resp. označení	Popis
L1	L = 81,55 μ H, Q = 125	feritová anténa
L2	L1 = 515 nH, Q1 = 51, L2 = 40,1 μ H, Q2 = 106	RF transformátor s tyčkovým jádrem
L3	L1 = 33,1 μ H, Q1 = 140, L2 = 3,7 μ H, Q = 134	RF transformátor s dvouotvorovým jádrem
L5		solenoid s feritovým jádrem
L4	L = 21,941 μ H, Q = 73	solenoid s feritovým jádrem
RV1	50k	lineární potenciometr
RV2	50k	lineární potenciometr
RV3	50k	odporový trimr
RV5	5k	odporový trimr
D1	3V3	Zenerova dioda
D2		křemíková dioda
Q1	BF981	dvouhradlový MOSFET
Q2	2N3819	J-FET
IC1	MC3362	integrovaný obvod RF přijímače
IC2	LM741	operační zesilovač
IC4	LM386	nízkofrekvenční zesilovač
IC5	78L05	lineární stabilizátor
X1	8.000 MHz	krystal
X2	8.000 MHz	krystal
X3	8.000 MHz	krystal
X4	8.000 MHz	krystal
R1	220k	odpor s kovovou vrstvou
R2	100k	odpor s kovovou vrstvou
R3	1k	odpor s kovovou vrstvou
R4	39k	odpor s kovovou vrstvou
R5	100k	odpor s kovovou vrstvou
R6	100R	odpor s kovovou vrstvou
R7	1k5	odpor s kovovou vrstvou
R8	10R	odpor s kovovou vrstvou
R9	4k7	odpor s kovovou vrstvou
R10	1R	odpor s kovovou vrstvou
R11	4k7	odpor s kovovou vrstvou
R12	330R	odpor s kovovou vrstvou
R13	2k7	odpor s kovovou vrstvou
R14	10k	odpor s kovovou vrstvou

R15	10k	odpor s kovovou vrstvou
R21	6R8	odpor s kovovou vrstvou
C1	5p - 55p	laditelný kondenzátor
C2	33p	kondenzátor keramický
C3	10n	kondenzátor keramický
C4	10n	kondenzátor keramický
C5	10n	kondenzátor keramický
C6	10n	kondenzátor keramický
C7	47n	kondenzátor keramický
C8	33p	kondenzátor keramický
C9	47n	kondenzátor keramický
C10	150p	kondenzátor keramický
C11	68p	kondenzátor keramický
C12	5 - 55p	laditelný kondenzátor
C13	100n	kondenzátor keramický
C14	10 μ	kondenzátor elektrolytický
C15	100n	kondenzátor keramický
C16	100n	kondenzátor keramický
C17	100n	kondenzátor keramický
C18	100p	kondenzátor keramický
C20	1n	kondenzátor keramický
C21	470p	kondenzátor keramický
C22	68p	kondenzátor keramický
C23	68p	kondenzátor keramický
C24	470p	kondenzátor keramický
C25	10n	kondenzátor keramický
C26	100n	kondenzátor keramický
C27	100n	kondenzátor keramický
C28	100 μ	kondenzátor elektrolytický
C34	100n	kondenzátor keramický
C35	47n	kondenzátor keramický
C36	100 μ	kondenzátor elektrolytický
C37	100 μ	kondenzátor elektrolytický

Seznam použitých zkratek

OB - orientační běh

ROB - radiový orientační běh

IARU - International Amateur Radio Union (Mezinárodní radioamatérská unie)

superhet - superheterodynní přijímač

MOSFET - Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

J-FET – Junction Gate Field Effect Transistor

V_{CC} - napájecí napětí

GND - Ground (společný vodič)

RF - radiová frekvence

NF - nízká frekvence

LO - Local Oscillator (místní oscilátor)

BFO - Beat Frequency Oscillator (záznějový oscilátor)

VFO - Variable Frequency Oscillator (oscilátor s laditelnou frekvencí)

SMD - Surface Mount Device (součástka pro povrchovou montáž)

MF - mezifrekvence

DPS - deska plošných spojů

FM - frekvenční modulace

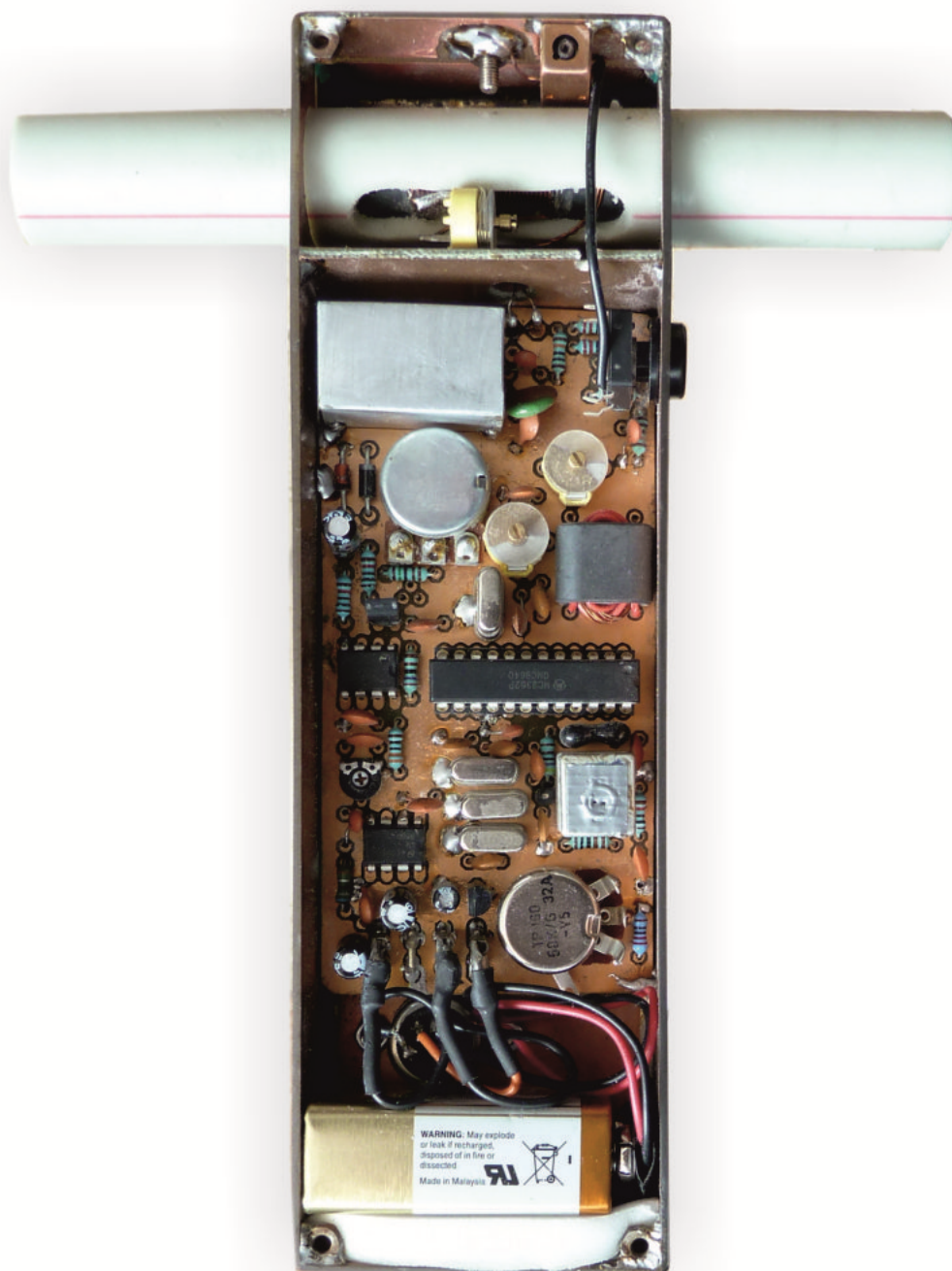
Použité zdroje

- [1] Published by American Radio Relay League. [cit. 2014-03-08]. *The ARRL handbook for radio communications 2011*. 88th ed. Newington, CT: American Radio Relay League, 2010. ISBN 978-0872590953.
- [2] Published by American Radio Relay League. [cit. 2014-03-08]. *The ARRL antenna book*. 21st ed. Newington, CT: ARRL, 2007. ISBN 978-087-2599-871.
- [3] VK3MZ 80M Receiver for ARDF. [online]. [cit. 2014-03-08]. Dostupné z: <http://www.vk3vt.net/VK3MZ%2080M%20DF%20receiver.pdf>
- [4] OK2BWN. Technika pro orientační sporty. [online]. [cit. 2014-03-08]. Dostupné z: www.ok2bwn.cz
- [5] RULES FOR CHAMPIONSHIPS IN AMATEUR RADIO DIRECTION FINDING: PART B - COMPETITION. IARU - REGION 1. [online]. [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: http://www.ardf-r1.org/files/Rules_V2.12B_2014.pdf
- [6] MC3362 Low-Power Narrow Band FM Receiver - Datasheet [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.discriminator.nl/ic/mc3362.pdf>
- [7] SCHULTZ, John J. THE DUAL-GATE MOSFET. [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: <http://www.hamanuals.com/S1/CX7/Articles/Mosfet.pdf>
- [8] BF981 Datasheet. [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.rf-microwave.com/datasheets/4283_Philips_BF981_01.pdf
- [9] BF245 N-channel silicon field-effect transistors - Datasheet. [online]. [cit. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BF245A-B-C.pdf

Přílohy



Obr. 17: Fotografie realizovaného přijímače



Obr. 18: Fotografie vnitřku realizovaného přijímače