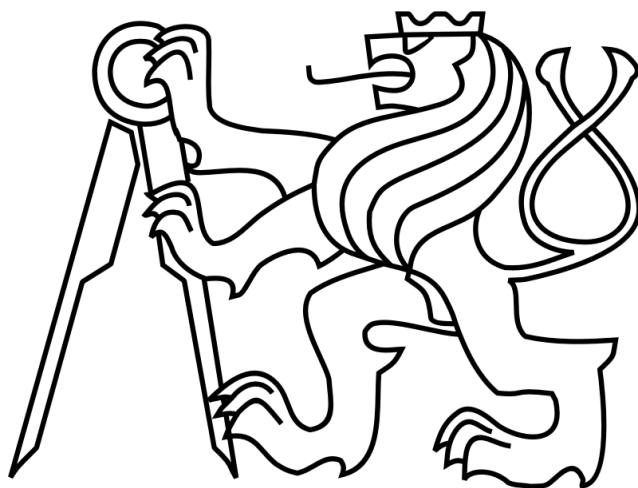


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

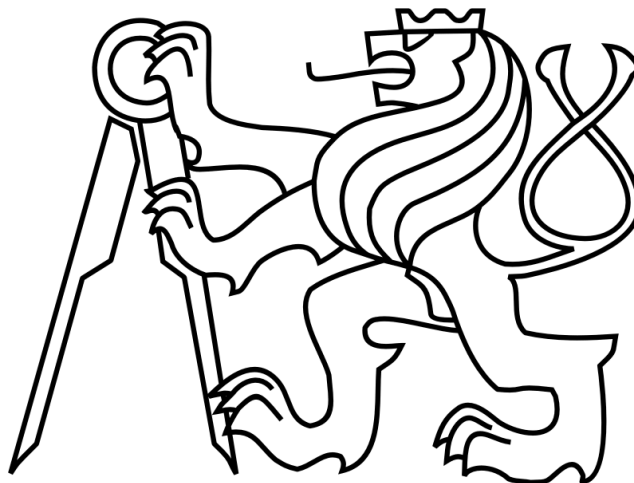
2013

Student: Tomáš Chytráček

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky



Bakalářská práce

Čtečka implantovatelných RFID čipů

Student: Tomáš Chytráček

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel Zahradník, CSc.

Studijní program: Kybernetika a Robotika, Bakalářský

Obor: Systémy a řízení

20.května 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne 21.5.2013

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing Pavlu Zahradníkovi, CSc. za odborné vedení své bakalářské práce, zapůjčení přístrojů v této práci použitých a řadu praktických rad, které jsem ve své práci využil.

Zadání diplomové práce

(Originál v originálu diplomové práce,
oboustranná kopie v kopii diplomové práce)

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací čtečky miniaturních implantovatelných RFID tagů používaných k identifikaci zvířat. Komunikační RFID protokoly jsou popsány normami ISO 11784 a ISO 11785. Specifikací této čtečky je čtecí vzdálenost do 0.5m. Pro vývoj a digitální zpracování čtečky používám mikroprocesor Propeller P8X32A od firmy Parallax.

Klíčová slova: RFID čtečka, RFID tag, ISO 11784, ISO 11785, Propeller

Summary:

This final project deals with design and implementation of reader miniature implantable RFID tags used to identify animals. RFID protocols are described in standards ISO 11784 a ISO 11785. Specification of the reader is read range up to 0.5m. For the development and digital processing of the reader I use microprocessor Propeller P8X32A made by Parallax company.

Index Terms: RFID reader, RFID tag, ISO 11784, ISO 11785, Propeller

Obsah

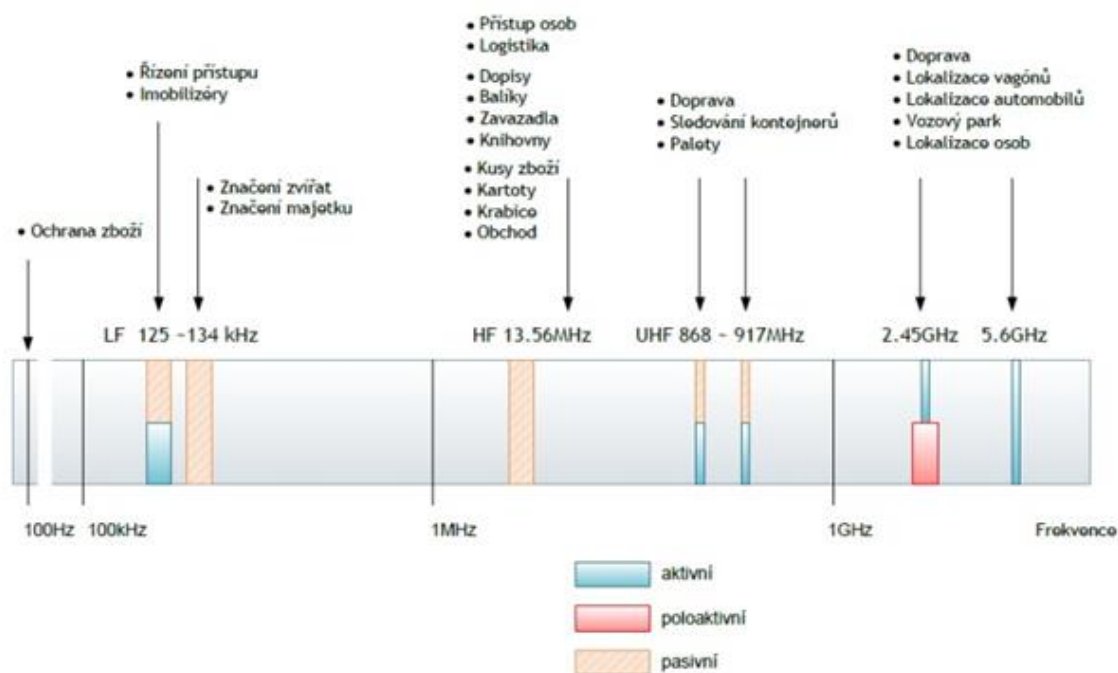
1	Úvod.....	7
1.1	RFID transponder - tag	8
1.2	RFID reader - čtecí zařízení (zkráceně čtečka).....	8
2	Teoretický rozbor.....	9
2.1	ISO normy související s prací	9
2.1.1	ISO 11784	9
2.1.2	ISO 11785	9
2.1.3	ISO 14223	9
2.2	Rozbor jednotlivých norem	9
2.2.1	ISO 11784	9
2.2.2	ISO 11785	10
2.2.3	ISO 14223	11
3	Použitý mikroprocesor.....	12
4	Vysílací/přijímací obvod (dále jen v/p obvod)	16
4.1	Rezonanční obvody.....	16
4.1.1	Sériový rezonanční obvod	17
4.1.2	Paralelní rezonanční obvod.....	18
4.2	Elektromagnetické pole a bezdrátový přenos.....	18
4.3	Volba v/p rezonančního obvodu	19
4.4	Fyzikální vlastnosti vysílací cívky	19
4.4.1	Podmínky ČTU omezující využití rádiových kmitočtů	20
4.4.2	Stanovení parametrů vysílací cívky	20
4.4.3	Výpočet indukčnosti a odporu cívky	21
4.4.4	Výsledné parametry vysílací cívky.....	22
4.4.5	Parametry vysílací cívky a pomocných cívek.....	22
4.5	Výpočet rezonančního obvodu.....	23
4.6	Přijímací obvod	23
4.6.1	Základní přijímací prvek	23
4.6.2	Princip ASK modulace pro příjem informace	23
5	Generování harmonické nosné vlny 134.2kHz pomocí D/A převodníku.....	25
5.1	Program použitý ke generování nosné vlny	25

5.2	D/A převodník TDA 8702	26
5.3	Výstupní zesilovací člen nosné vlny.....	28
5.3.1	Zapojení s LM675	28
5.3.2	Zapojení s komplementárními tranzistory	29
5.3.3	Transformátor	32
5.4	Vysílací/přijímací obvod	32
5.5	Zpracování přijatého signálu	32
5.5.1	Demodulace	32
5.6	Vyhodnocení výsledků získaných ze všech těchto zapojení.....	35
6	Generování nosné vlny 134.2kHz pomocí PWM modulace	36
6.1	PWM modulace	36
6.2	Program použitý ke generování PWM signálu	37
6.2.1	PWM signál bez zpětné vazby.....	37
6.2.2	PWM signál se zpětnou vazbou	37
6.3	Budící člen PWM.....	37
6.3.1	Zapojení s komplementárními tranzistory	37
6.3.2	Zapojení s N-MOSFET tranzistory.....	38
6.4	Vyhodnocení výsledků buzení PWM signálem.....	40
7	Vyhodnocení výsledků	41
	Literatura	42
	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	43
	Seznam a zdroje obrázků.....	44
	Seznam tabulek	46
	Přílohy.....	47
1.	Generování harmonického signálu	47
2.	Generování PWM signálu s pevnou střídou.....	48
	Obsah přiloženého CD	49

Kapitola 1

1 Úvod

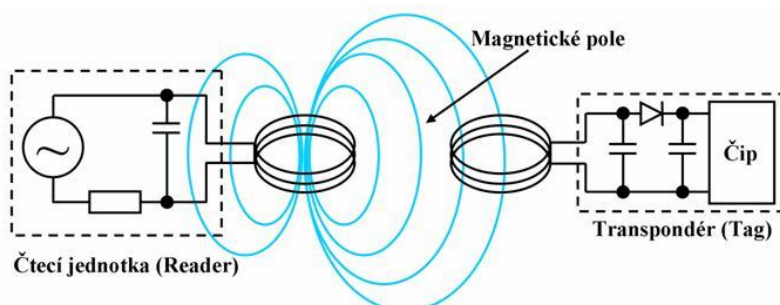
Má bakalářská práce se zabývá návrhem a následnou realizací čtečky miniaturních implantovatelných RFID tagů. Název RFID je odvozen z anglického názvu Radio Frequency Identification, což je možné přeložit jako Identifikace pomocí radiových frekvencí. Tyto technologie jsou používány po celém světě k identifikaci osob, zvířat a věcí. Rozdělení frekvencí a druh využití RFID technologií je uveden na Obr. 1.1



Obr. 1.1 – Rozdělení frekvencí pro RFID

Ve své práci jsem se zaměřil na implantovatelné tagy pracující na frekvenci 134.2 kHz, které jsou popsány normami ISO 1178, ISO 11785 a ISO14223. Tyto tagy se implantují pod kůži zvířat a slouží k jejich identifikaci. Specifikací mé čtečky je maximální čtecí vzdálenost 0.5 m.

Princip RFID technologie:



Obr. 1.2 – Princip RFID

1.1 RFID transponder - tag

RFID tag je elektronické zařízení, sloužící k uchování a předání svého identifikačního čísla. Tyto tagy mohou mít různé tvary a velikosti.

Tagy jsou rozděleny dle způsobu napájení:

- Aktivní – obsahují vlastní napájení
- Pasivní – pro své napájení používají bezdrátový přenos energie ze čtecího zařízení

V tomto případě se budeme zabývat pasivními implantovatelnými tagy viz

Obr. 1.3



Obr. 1.3 - Implantovatelný tag

1.2 RFID reader - čtecí zařízení (zkráceně čtečka)

RFID čtečka je zařízení sloužící k získání identifikačního čísla z tagu. Dle druhu čtených tagů může tato čtečka obsahovat i napájecí obvod pro tag.

Identifikační číslo je možné nadále ve čtečce vyhodnotit a předat pomocí příslušného rozhraní.

Čtečky se dělí dle manipulovatelnosti:

- Stacionární – pevně namontované
- Přenosné – většinou kompaktní přenositelné zařízení k ruční identifikaci

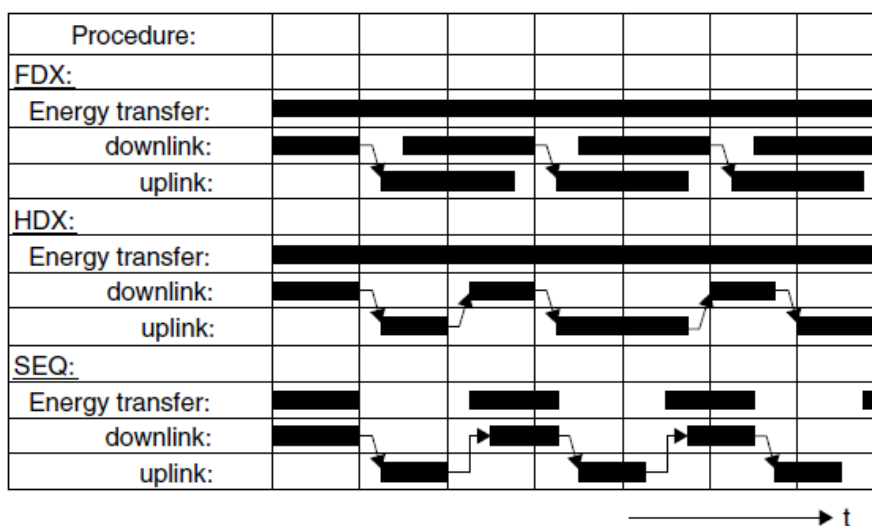
2.2.2 ISO 11785

Pro nosnou frekvenci 134.2kHz jsou zde definovány dva druhy modulací. Jedná se o amplitudovou ASK a frekvenční FSK modulaci [2].

Tabulka 2.1

Protokol	Full Duplex (FDX, FDX-B)	Half Duplex (HDX)
Modulace	ASK	FSK
Frekvence	129kHz - 133.2kHz 135.2kHz – 139.4kHz	124.2kHz [znak 1] 134.2kHz [znak 0]
Kanálové kódování	Modifikované diferenciální bifázové (mDBP)	-
Doba symbolu	0.23845ms	0.1288ms [znak 1] 0.1192ms [znak 0]
Počet bitů ve zprávě	128	112

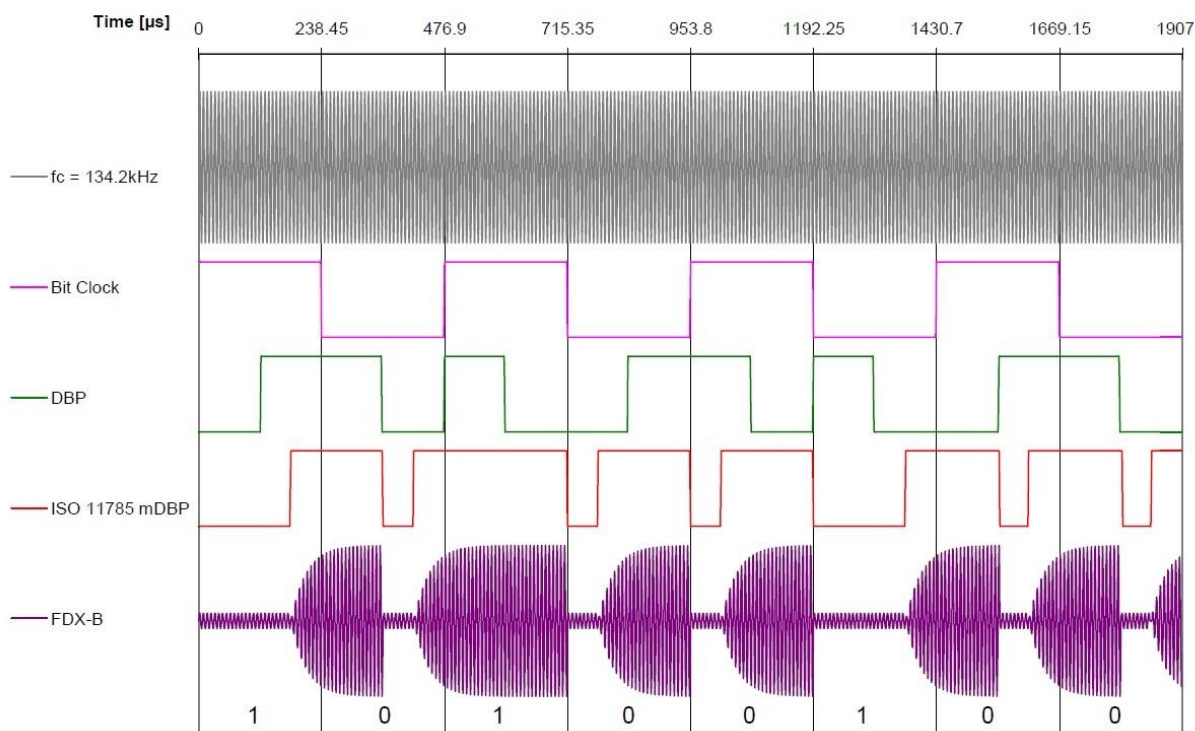
Přenos energie a rozbor přenosu dat: downlink- čtečka → tag, uplink- tag → čtečka



Obr. 2.2 – Přenos energie a dat

Ve své práci budu navrhovat čtečku tagů pracujících v FDX režimu a využívajících amplitudovou ASK modulaci.

Přenos a dekódování jednotlivých bitů je vyobrazen na Obr. 2.3



Obr. 2.3 – Přenos jednotlivých bitů

Má čtečka bude pracovat v FDX režimu, založeném na modifikovaném diferenciálním bifázovém kódování viz Obr. 2.3. Toto kódování je zvolené z důvodu dlouhého přechodu z logické 0 do logické 1. Při přechodu z log 0 do log 1 je nejdříve 8 period zvyšující se amplitudy nosné frekvence, které se považují stále za log 0 a až poté signál považovaný za log 1. Signál vždy na začátku hodinového taktu změni svou hodnotu na hodnotu opačnou. V případě, že dojde ke změně i uvnitř hodinového taktu, jedná se o log 0 a v případě, že signál zůstává po dobu hodinového taktu nezměněn, jedná se o log 1

2.2.3 ISO 14223

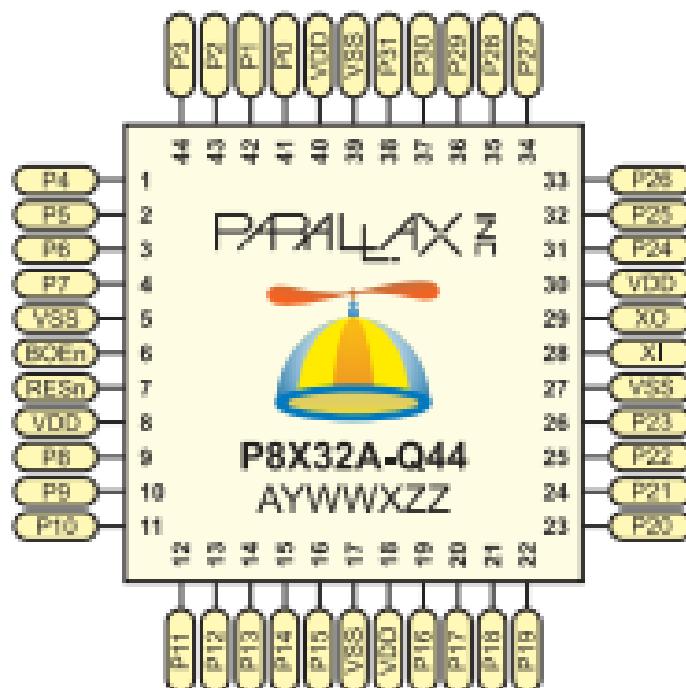
Tato norma se zabývá dalšími specifikacemi norem ISO 11784 a ISO 11785. V našem případě tuto normu téměř nevyužijeme.

Kapitola 3

3 Použitý mikroprocesor



Pro vývoj čtečky RFID tagů jsem použil mikroprocesor Propeller P8X32A od firmy Parallax.



Obr. 3.1 – Popis pouzdra mikroprocesoru Propeller P8X32A

Vlastnosti mikroprocesoru [3]:

Tabulka 3.1

Typ	P8X32A
Typ pouzdra	DIP (P8X32A-D40) QFP (P8X32A-Q44) QFN (P8X32A-M44)
Napájení	3.3V DC
Frekvence externího oscilátoru	DC – 80MHz (4MHz – 8MHz s fázovým závěsem clock PLL)
Vnitřní RC oscilátor	12MHz – 20kHz
Systémový hodinový takt	DC – 80MHz
Celková RAM/ROM	64k bytů – 32k RAM/ 32k ROM
Processor RAM	2k (na každé jádro)
Organizace RAM/ROM	32 bitů (4 byty nebo 1 long)
I/O piny	32 (CMOS technologie)
Zdroj/Spotřeba proudu na I/O	40 mA

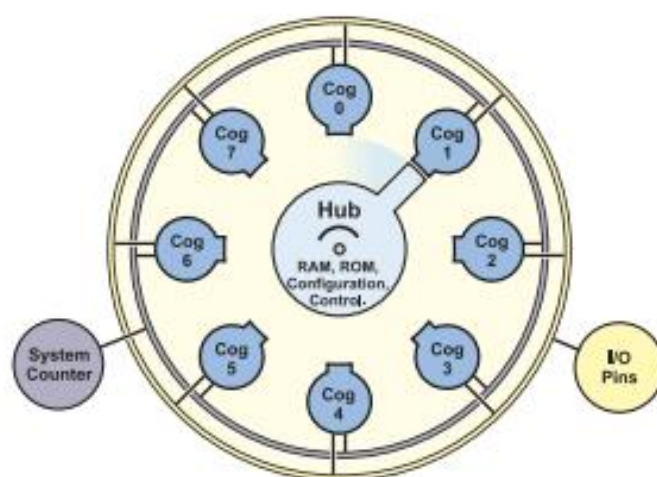
Specifickou vlastností mikroprocesoru Propeller P8X32A je malá proudová spotřeba. Další výhodou tohoto mikroprocesoru je 8 integrovaných procesorových jader (zde se každé jádro nazývá Cog), která fungují nezávisle. Díky této architektuře je možný společný běh až 8 programů.

Vlastnosti jednotlivých Cogů:

- každý Cog je řízen společnými hodinovými takty, které může nadále dělit
- má svou vlastní paměť RAM
- má přístup do společné paměti přes HUB viz Obr. 3.3 (tento přístup je omezen na vymezené časové intervaly)
- má přístup k I/O pinům (může definovat vlastnosti pinů, číst a zapisovat jednotlivé hodnoty)



Obr. 3.2 – Struktura jednotlivých Cogů



Hub and Cog Interaction

Obr. 3.3 – Přístup jednotlivých Cogů ke společné Hub paměti

Další výhodou tohoto mikroprocesoru je volnost při volbě programovacího jazyka.

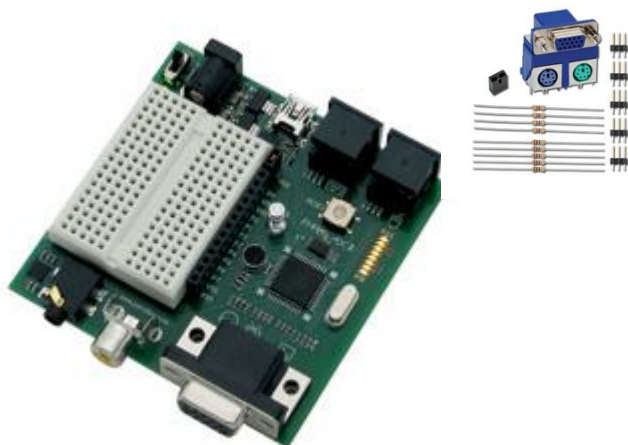
Podporované programovací jazyky:

- Propeller assembly (Assembler) – základní programovací jazyk vhodný pro rychlé aplikace
- Spin – objektově orientovaný programovací jazyk s integrovanými ovládacími funkcemi (VGA, PWM,...)
- C – v polovině mé bakalářské práce byl zpřístupněn i nově vyvíjený nízkoúrovňový programovací jazyk C a vývojové prostředí SimpleIDE

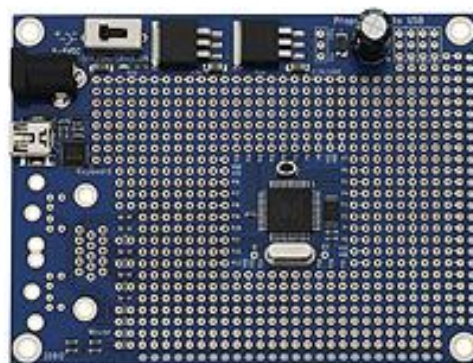
Pro vývoj programu jsem použil vývojové prostředí Propeller Tool.

Mikroprocesor Propeller P8X32A jsem použil k základnímu vývoji elektrického zapojení své RFID čtečky. V budoucnu počítám s použitím nového procesoru Propeller 2 od firmy Parallax, který je ve vývoji a očekává se jeho nasazení do prodeje. Jeho výhodou bude vyšší frekvence operací, větší počet I/O bran, A/D a D/A převodníky na všech I/O branách a řadu dalších funkcí.

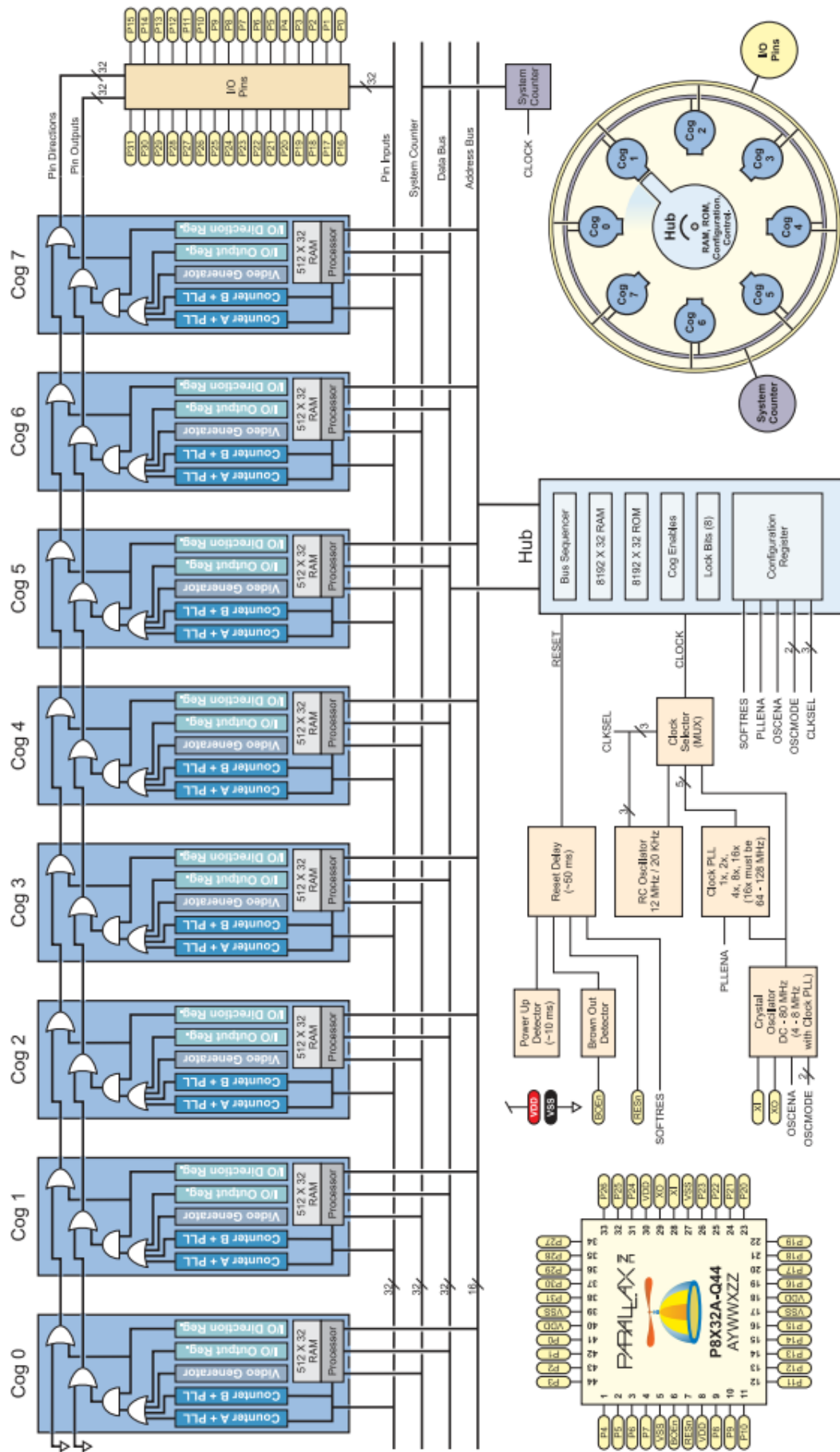
Pro práci s mikroprocesorem Propeller P8X32A jsem použil vývojové desky od firmy Parallax, které jsou osazeny těmito mikroprocesory. Tyto desky jsou osazeny stabilizátory napětí 3.3V, 5V a dále jsou osazeny dalšími periferiemi.



Obr. 3.4 – Propeller Demo Board



Obr. 3.5 -Propeller Proto Board Obr.



Obr. 3.6 – Struktura mikroprocesoru Propeller

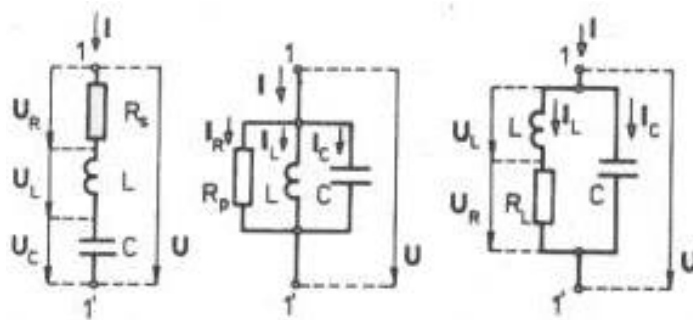
Kapitola 4

4 Vysílací/přijímací obvod (dále jen v/p obvod)

Základem jakékoli bezdrátové komunikace je vysílací a přijímací obvod. Vysílací a přijímací obvod pro tyto RFID technologie je obvykle tvořen rezonančním obvodem.

4.1 Rezonanční obvody

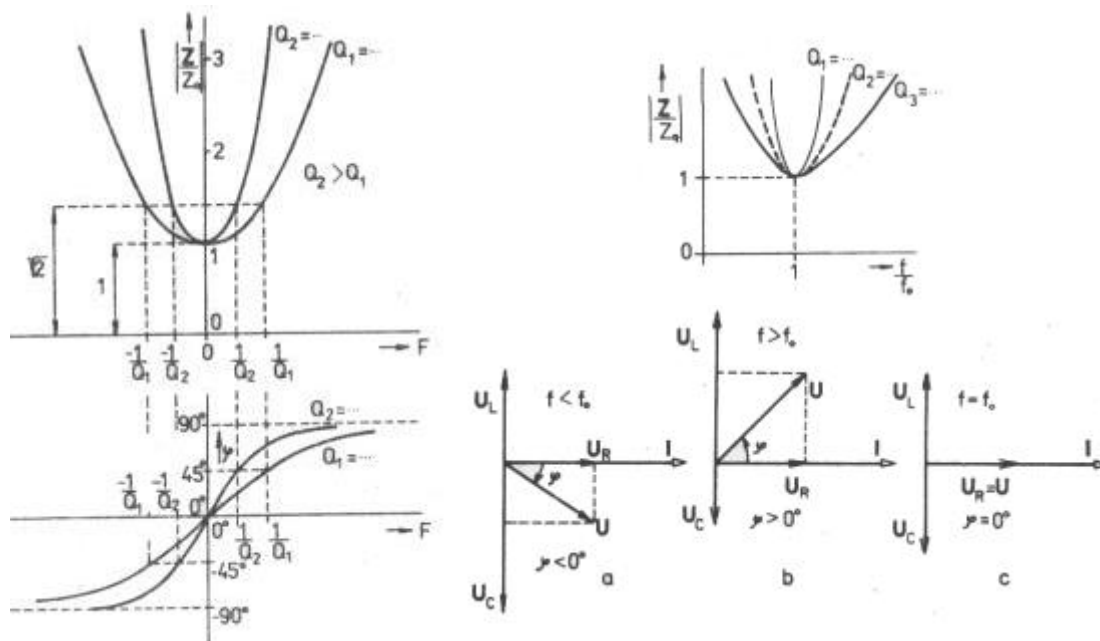
Za rezonanční obvod můžeme považovat jakékoli spojení indukčnosti a kondenzátoru, vykazující specifické vlastnosti na rezonančním kmitočtu. Základní typy rezonančních obvodů jsou sériový a paralelní rezonanční obvod. Při vývoji elektrického zapojení jsem použil oba typy základních rezonančních obvodů a z tohoto důvodu jsou zde stručně vysvětleny vlastnosti obou rezonančních obvodů.



Obr. 4.1 – Sériový, paralelní rezonanční obvod

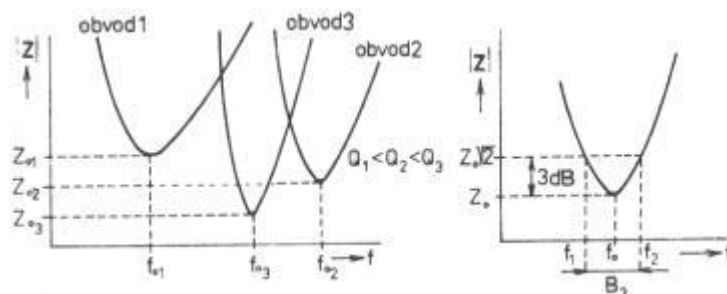
4.1.1 Sériový rezonanční obvod

Za sériový rezonanční obvod považujeme sériovou kombinaci reálné cívky a reálného kondenzátoru. Toto elektronické spojení vykazuje na své rezonanční frekvenci nejmenší impedanci Z , což vede k navýšení proudu tímto obvodem. Následující charakteristiky popisují chování sériového rezonančního obvodu.



Obr. 4.2 – Charakteristiky sériového rezonančního obvodu

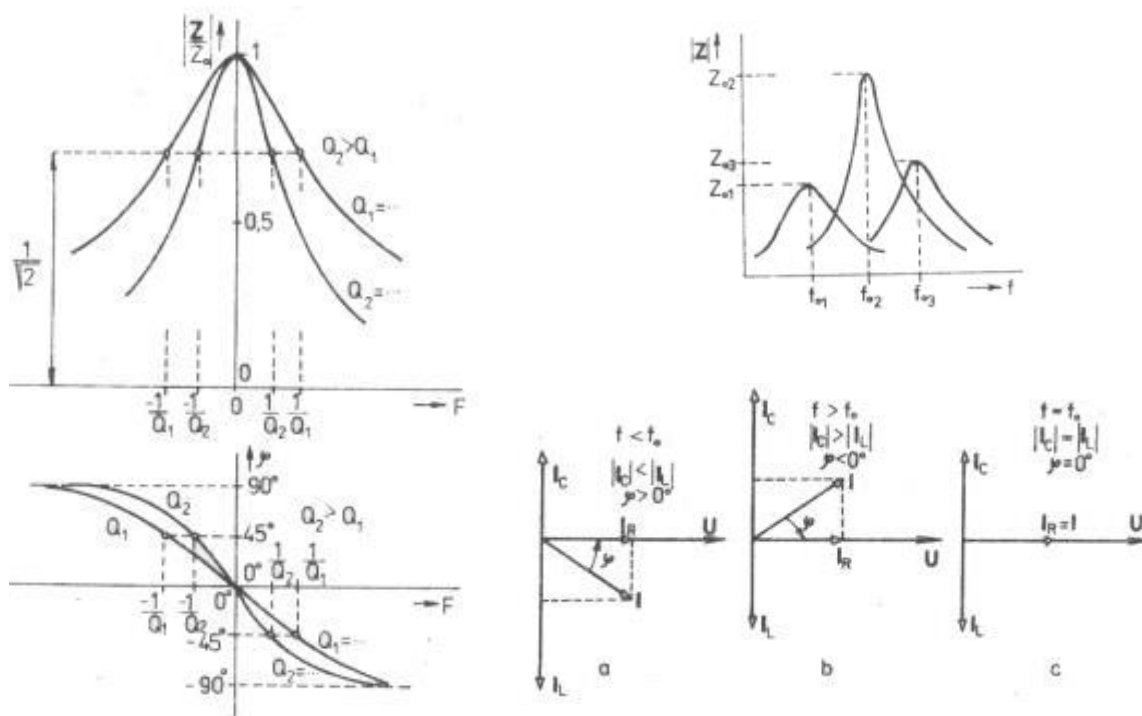
Jedním z charakteristických vlastností rezonančních obvodů je šířka pásma. Šířka pásma určuje frekvenční rozsah, kdy impedance u sériového rezonančního obvodu nevzroste nad 3dB proti rezonanční impedanci. U paralelního rezonančního obvodu je tomu naopak, jelikož impedance v rezonanci je největší. Šířka pásma hraje hlavní roli v přijímacích obvodech, jelikož při malé šířce pásma není možné přenést přes rezonanční obvod informační frekvence a tím dojde ke ztrátě informace ze signálu.



Obr. 4.3 – Šířka pásma sériového rezonančního obvodu

4.1.2 Paralelní rezonanční obvod

Za paralelní rezonanční obvod považujeme paralelní kombinaci reálné cívky a reálného kondenzátoru. Náhradní schéma tohoto zapojení se může lišit v závislosti na umístění ztrátového rezistoru pro tento obvod. Toto elektronické spojení vykazuje na své rezonanční frekvenci největší impedanci Z , což vede k navýšení napětí na tomto obvodu. Následující charakteristiky popisují chování paralelního rezonančního obvodu.



Obr. 4.4 – Charakteristiky paralelního rezonančního obvodu

4.2 Elektromagnetické pole a bezdrátový přenos

Pro bezdrátovou komunikaci s tagem je nutné se stručně seznámit s principem bezdrátového přenosu energie a elektromagnetickým polem (pro hlubší seznámení by bylo nutné pochopení teorie elektromagnetického pole, což není pro tento případ nutné).

Elektromagnetické pole je nerozdělitelné spojení elektrického a magnetického pole. Elektromagnetické pole je charakterizováno vektory elektrické intenzity E a magnetické indukce B . Velikost a orientaci těchto vektorů popisují Maxwellovy rovnice. V tomto případě se nebudeme zabývat složitými výpočty elektromagnetického pole a využijeme zjednodušené matematické vzorce pro určení jednotlivých veličin.

Základní vlastnost pro tvorbu komunikačních prvků v elektromagnetickém poli je vzdálenost jednotlivých komunikačních prvků (v našem případě čtečka a tag). Bezdrátovou komunikaci je možné rozdělit na komunikaci v blízkém a vzdáleném elektromagnetickém poli. Toto rozdělení je závislé na vlastnostech vektoru elektrické

intenzity E a magnetické indukce B. Pro jednotlivé zdroje elektromagnetického pole je možné rozměry blízkého a vzdáleného elektromagnetického pole najít již vypočteny.

V tomto případě se jedná o bezdrátovou komunikaci v blízkém elektromagnetickém poli s využitím transformátorové vazby. Jako zdroj elektromagnetického pole použijeme cívku bez jádra.

4.3 Volba v/p rezonančního obvodu

Volba v/p rezonančního obvodu byla závislá na požadovaných vlastnostech obvodu na rezonanční frekvenci. Z výše uvedených vlastností rezonančních obvodů je patrné, že jednotlivé zapojení rezonančních obvodů vykazují na své rezonanční frekvenci extrém velikosti impedance Z celkového zapojení. Z této vlastnosti jsem vycházel při volbě rezonančního obvodu pro jednotlivá zapojení.

Jako zdroj elektromagnetického pole jsem použil cívku bez jádra. Energie vyzářená touto cívku je přímo úměrná druhé mocnině proudu, který touto cívku protéká (4.1).

$$E_L = \frac{1}{2} Li^2 \quad (4.1)$$

Kde L- indukčnost cívky, i- proud protékající cívku

Vysílací rezonanční obvod je buzen z výstupního zesilovacího členu a výstupní proud je nepřímo úměrný impedanci rezonančního obvodu. Energie vyzářená cívku je přímo úměrná druhé mocnině proudu, který touto cívku protéká. Tyto vlastnosti, společně s požadavkem na největší vyzářený výkon v rezonanci, dávají požadavek na největší proud cívku na rezonanční frekvenci. Tohoto požadavku je možno dosáhnout dvěma způsoby:

- Sériový rezonanční obvod napájený ze zdroje napětí
- Paralelní rezonanční obvod napájený ze zdroje napětí

Pro stejný proud protékající cívku paralelního a sériového rezonančního obvodu je nutné připojit na paralelní rezonanční obvod mnohem větší napětí oproti sériovému rezonančnímu obvodu. K tomuto účelu jsem v jednom ze svých zapojení použil transformátor zvyšující napětí.

4.4 Fyzikální vlastnosti vysílací cívky

Pro své pokusy komunikace s tagem jsem si zhotovil čtyři odlišné cívky. Tyto cívky mají průměr: 5cm, 20cm, 34cm, 60cm. Cívka o průměru 60cm je vhodná pro komunikaci s tagem ve vzdálenosti do 0.5m(viz níže). Druhé tři cívky mají omezenou čtecí vzdálenost. Pro vývoj elektrického zapojení čtečky a pokusy komunikace s tagem bylo vhodnější začít s menšími cívkami na menší čtecí vzdálenosti, jelikož není nutný velký vyzářený výkon pro napájení tagu. Modulovaný signál vysílaný tagem je díky malému vysílacímu výkonu lépe rozeznatelný a tím je vhodnější pro vývoj demodulačních a filtračních obvodů.

4.4.1 Podmínky ČTU omezující využití rádiových kmitočtů

Fyzikální vlastnosti vysílací cívky jsou závislé na vyzářeném výkonu a požadavku na komunikaci v blízkém elektromagnetickém poli.

Vyzářený výkon je regulován Českým telekomunikačním úřadem. Konkrétně všeobecným oprávněním č. VO-R/10/04.2012-7 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu [6]. Článek 10 tohoto oprávnění stanovuje podmínky pro stanice s indukční smyčkou. Tento princip komunikace je použit pro komunikaci s Tagem, a tudíž musím dodržet mezní parametry stanovené tímto oprávněním.

Ozn.	Kmitočtové pásmo	Intenzita magnetického pole	Další podmínky
a	9–90 kHz	72 dB μ A/m ve vzdálenosti 10 m	
b	90–119 kHz	42 dB μ A/m ve vzdálenosti 10 m	
c	119–135 kHz	66 dB μ A/m ve vzdálenosti 10 m	
c1	135–140 kHz	42 dB μ A/m ve vzdálenosti 10 m	
c2	140–148,5 kHz	37,7 dB μ A/m ve vzdálenosti 10 m	
d	148,5–1600 kHz	–5 dB μ A/m ve vzdálenosti 10 m	²³⁾

Obr. 4.5 – Výňatek ze všeobecného oprávnění č. VO-R/10/04.2012-

Zde je definována pro náš kmitočt maximální intenzita 66dB μ A/m ve vzdálenosti 10m od cívky. V tomto případě komunikace s tagem na vzdálenost do 0.5m je nutné vyzářit co největší výkon, a tudíž bude cívka navrhnutá na maximální intenzitu omezenou všeobecným oprávněním č. VO-R/10/04.2012-7.

4.4.2 Stanovení parametrů vysílací cívky

Pro splnění komunikace v blízkém elektromagnetickém poli cívky je dán požadavek na poloměr r této cívky daný vztahem [7]:

$$r = \sqrt{2}h \quad (4.2)$$

Kde h - maximální vzdálenost tagu od cívky

Z tohoto důvodu a z důvodu fyzické realizace jsem zvolil poloměr cívky $r = 0.3m$.

Z maximální intenzity 66dB μ A/m a vzorce pro výpočet intenzity ve vzdálenosti h je možno si vyjádřit vztah pro součin IN . Tento vztah je nutné při následné realizaci cívky zachovat. [7]

$$H(dB) = 20 \log(H) = 20 \log\left(\frac{INr^2}{2\sqrt{(r^2+h^2)^3}}\right) \quad (4.3)$$

$$IN = 10^{\frac{H(\text{dB})}{20}} \frac{2\sqrt{(r^2+h^2)^3}}{r^2} \quad (4.4)$$

Z tohoto vztahu vyšla konstanta $IN \cong 20$

Proud protékající cívkou bude laditelný a jako maximální hodnota tohoto proudu bude 1A. Z důvodu této podmínky a variability vyzářeného výkonu jsem zvolil $N = 30$

Maximální intenzita elektromagnetického pole vyzářeného do prostoru a dosažitelná hodnota proudu cívkou stanovuje parametry pro výpočet indukčnosti cívky L.

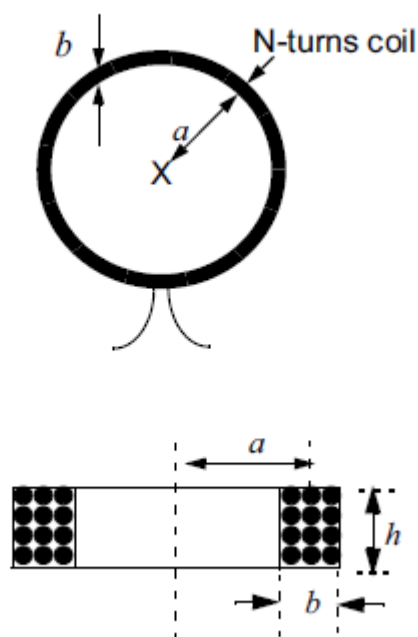
4.4.3 Výpočet indukčnosti a odporu cívky

Pro teoretický výpočet indukčnosti a odporu cívky vycházím z výše stanovených parametrů:

$$N = 30 \quad (4.5)$$

$$r = 0.3\text{m} \quad (4.6)$$

Prototyp cívky bude vytvořen z vodiče o průměru $d_{\text{vodič}} = 0.8\text{mm}$. Tento vodič bude navinut na kostru dle obrázku. [8]



Obr. 4.6 – Okótování parametrů vysílací cívky

Hodnota indukčnosti je pro tento typ cívky aproximována vzorcem [8]:

$$L = \frac{0.31(aN)^2}{6a+9h+10b} \quad (4.7)$$

Kde $L = [\mu H]$, $a = 30.24\text{cm}$, $h = 6 * 0.08 = 0.48\text{cm}$, $b = 5 * 0.08 = 0.4\text{cm}$

Z tohoto vztahu vyšla indukčnost $L = 1344\mu H$

Hodnota sériového odporu pro náhradní schéma vysílací cívky je dána vzorcem pro výpočet odporu vodiče:

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad (4.8)$$

Kde $\rho = 0.0178\Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$ – měrný odpor vodiče, $l \cong 57\text{m}$ – délka vodič,

$S \cong 2$ – průřez vodiče

Z tohoto vztahu vyšla hodnota sériového náhradního odporu $R = 0.504\Omega$

4.4.4 Výsledné parametry vysílací cívky

Teoreticky vypočtené parametry:

$$N = 30$$

$$r = 0.3\text{m}$$

$$L = 1344\mu H$$

$$R = 0.504\Omega$$

Parametry změřené na cívce:

$$L = 1717\mu H$$

$$R = 0.504\Omega$$

Parametry jsou odlišné od teoretických výpočtů z důvodu realizačních problémů části parametrů.

4.4.5 Parametry vysílací cívky a pomocných cívek

Tabulka 4.1

	Vysílací cívka	Pomocná cívka A	Pomocná cívka B	Pomocná cívka C
r	0.3m	0.025m	0.1m	0.17m
L	1344 μH	1980 μH	580 μH	280 μH
R	0.504 Ω	4.6 Ω	1.1 Ω	0.7 Ω

4.5 Výpočet rezonančního obvodu

Jak jsem již dříve uvedl, pro vysílací/přijímací účely se používají rezonanční obvody. Viz Kapitola 4 – oddíl 4.1. Rezonanční frekvence f_0 je totožná pro sériový i paralelní rezonanční obvod. Pro příklad výpočtu rezonančního obvodu použijí hodnoty vysílací cívky. Pro pomocné cívky jsou výpočty stejné.

Hodnotu rezonanční frekvence f_0 popisuje Thomsonův vztah:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.9)$$

Z Thomsonova vztahu je možné si vyjádřit hodnotu kondenzátoru C :

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 L} \quad (4.10)$$

Z tohoto vztahu vyšla kapacita kondenzátoru $C = 819\text{pF}$

Tento kondenzátor jsem z důvodu možnosti doladění realizoval jako paralelní kombinaci kondenzátoru s pevnou kapacitou $C_1 = 819\text{pF}$ a kapacitního trimru s proměnou kapacitou $C_{2_{MAX}} = 819\text{pF}$.

4.6 Přijímací obvod

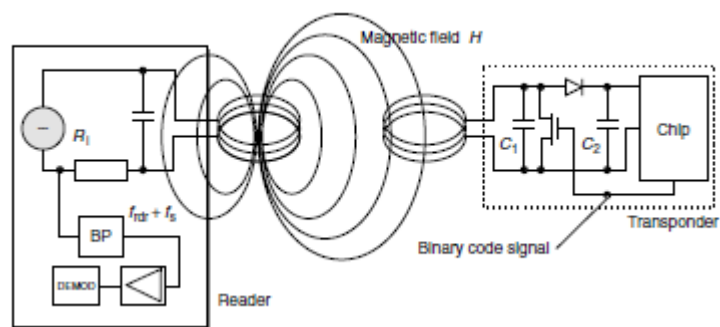
Přijímací obvod zde slouží k přijímání modulovaného signálu z tagu. V této práci se zaměřuji na pasivní implantovatelné tagy pracující v FDX režimu a využívající amplitudovou ASK modulaci viz kapitola 2.2.2.

4.6.1 Základní přijímací prvek

Základní přijímací prvek tvoří v tomto případě přijímací cívka. Přijímací cívku je možné mít nezávisle na ostatním obvodu, ale jelikož pracuji s pasivními tagy, které jsou napájeny pomocí elektromagnetického pole vysílací cívky, mohu tuto cívku použít i pro přijímací účely. Z tohoto důvodu budu tuto cívku nazývat vysílací/přijímací cívka.

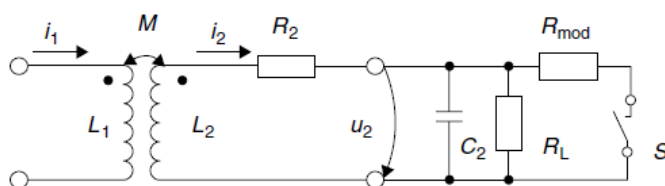
4.6.2 Princip ASK modulace pro příjem informace

Pro vývoj přijímacího obvodu a získání modulovaného signálu je nejdříve nutné pochopit princip ASK modulace pro přenos dat z tagu. Přítomností tagu v blízkém poli buzené vysílací/přijímací cívky vznikne mezi vysílací/přijímací cívkou a tagem transformátorová vazba. Díky této vazbě je tag napájen a může vysílat informaci o svém identifikačním čísle. Jelikož má práce je zaměřena na tagy pracujících ve FDX režimu, probíhá přenos informace z tagu souběžně s přenosem napájení. Modulace informace z tagu se provádí zkratováním vysílacího/přijímacího obvodu tagu, což se projeví do spotřeby energie pole.



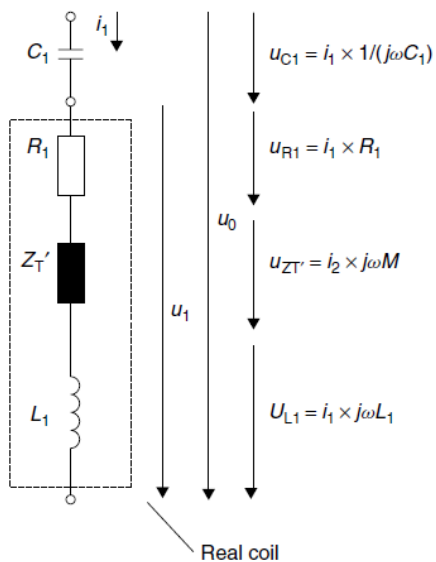
Obr. 4.7 – Princip ASK modulace

Náhradní schéma komunikace s tagem je zobrazeno na Obr. 4.8

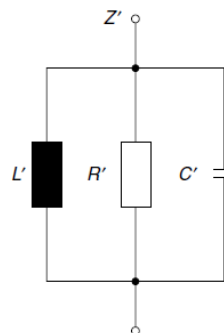


Obr. 4.8 – Náhradní chema komunikace s tagem

Toto náhradní schéma je možné zjednodušit na proměnný rezistor připojený snižující jakost vysílací/přijímací cívky.



Obr. 4.9 – Sériové náhradní chema



Obr. 4.10 – Paralelní náhradní schéma

Kapitola 5

V této kapitole jsou popsány hlavní části elektronických zapojení, která jsem použil při vývoji vysílacího a přijímacího obvodu buzeného harmonickým signálem. Při vývoji jsem použil více modifikací těchto zapojení, která měly zlepšit kvalitu signálu.

5 Generování harmonické nosné vlny 134.2kHz pomocí D/A převodníku

Pro komunikaci s tagem je nejdříve nutné vytvořit harmonický signál o frekvenci 134.2kHz, který bude sloužit pro napájení a následný přenos informace. Tento signál je možno vygenerovat různými metodami. Jednotlivé metody se liší kvalitou harmonického signálu. Jako první metodu pro generování nosné harmonické vlny jsem zvolil generování signálu převodem digitálních vzorků harmonického průběhu pomocí D/A převodníku. Pomocí této metody je možno vygenerovat čistý harmonický signál, což je výhodnější pro následné zpracování.

Pro tento účel jsem se rozhodl vymezit jeden z 8 Cogů pro generování této nosné frekvence a 8 I/O pinů. Tento Cog bude v příslušných intervalech posílat digitální hodnoty vzorků harmonického signálu na výstupní piny. Na tyto piny bude připojen D/A převodník TDA 8702, který převede digitální hodnotu z výstupních pinů na analogovou.

5.1 Program použitý ke generování nosné vlny

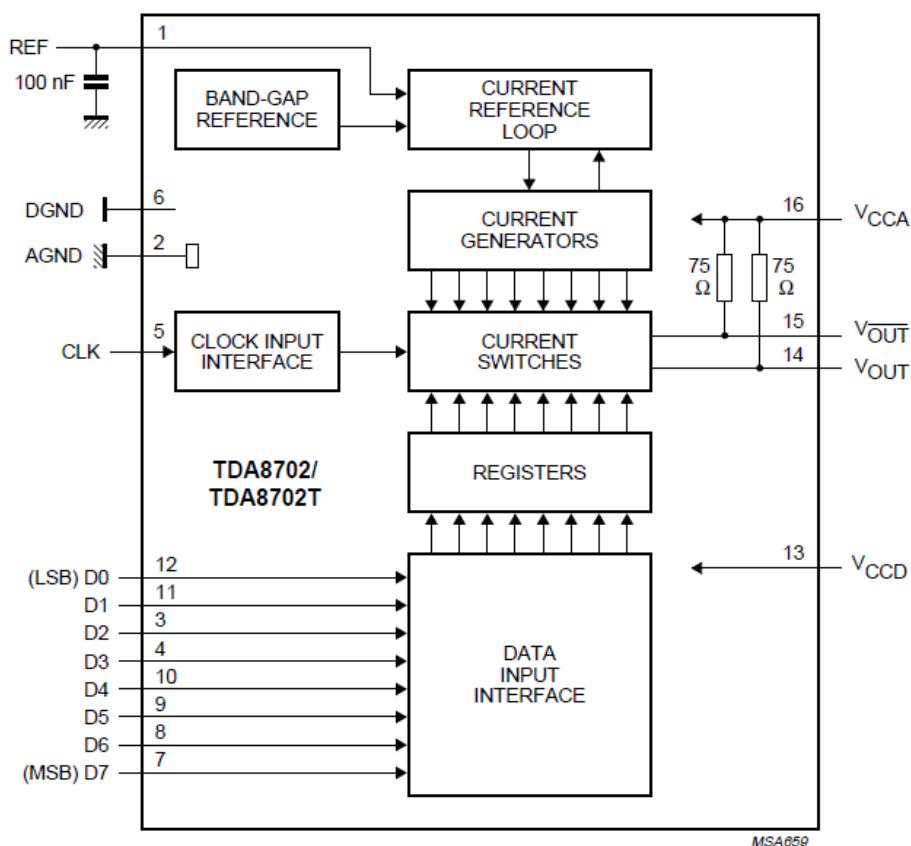
V tomto případě je nutné opakovaně v časových periodách generovat na výstupech mikroprocesoru digitální hodnoty vzorků harmonického signálu. Pro tento účel je vhodné využít programovací jazyk Assembler, jelikož je z výběru programovacích jazyků nejrychlejší. Po pokusech s inicializačním generováním tabulky hodnot vzorků harmonického signálu jsem dospěl k názoru, že je nejvhodnější tuto tabulku napsat staticky do programu, aby nebylo nutné při sepnutí zařízení čekat na inicializaci. Tyto hodnoty v nekonečném cyklu postupně přepínám na výstupní piny mikroprocesoru. Z důvodu velké rychlosti přepínání jsem nezařadil do elektrického zapojení a následně do programu Enable signál, kterým je D/A převodník TDA 7802 vybaven. Pro tento účel je D/A převodník stále aktivován a k přepínání výstupních napěťových hodnot převodníku dochází ihned po přivedení digitálních hodnot z mikroprocesoru. Celý program je uveden v příloze č.1.

5.2 D/A převodník TDA 8702

Vlastnosti [4]:

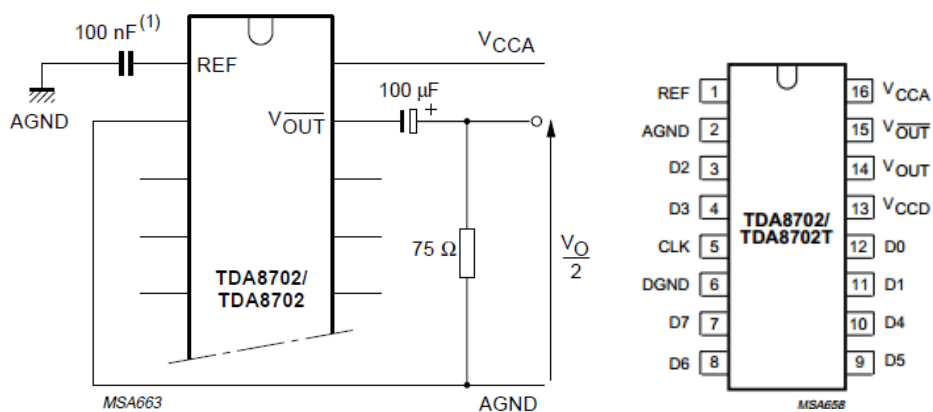
Tabulka 5.1

Typ	TDA8702
Typ pouzdra	DIP 16 (TDA8702) SO (16TDA8702T)
Napájení	-0.3V - +7V (Vcca) -0.3V - +7V (Vccd) -0.5V - +0.5V (Vcca- Vccd)
Vstupní napětí	-0.3V – Vccd
Výstupní proud	-5mA - +26mA
Maximální frekvence	30MHz



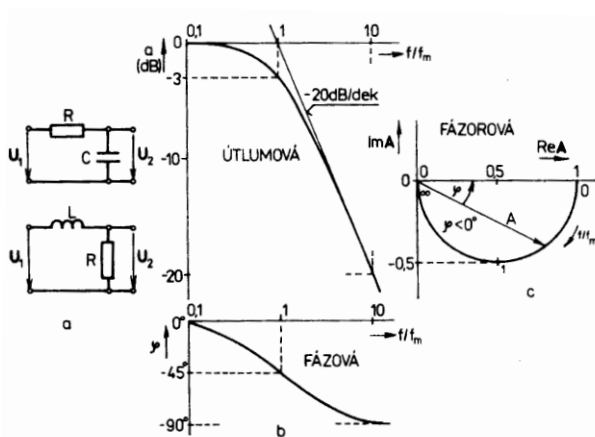
Obr. 5.1 – Struktura D/A převodníku TDA7802

D/A převodník TDA 8702 jsem zapojil dle datasheetu [4] tak, aby výstupní napětí bylo referováno vzhledem k zemi viz Obr. 5.1. Na vstupní piny D/A převodníku (D0-D7) jsem připojil výstupní piny mikroprocesoru P8X32A (P0-P7)



Obr. 5.2 – Schéma zapojení D/A převodníku TDA7802 a popis pouzdra

Na výstup A/D převodníku jsem připojil integrační RC článek (dolní propuště), který mi odfiltroval vyšší frekvence než je požadovaných 134.2kHz.



Obr. 5.3 – Integrační článek

$$\omega_m = 2\pi f_m = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC} \quad (5.1)$$

$$f_m = 134200 \text{ Hz} \quad (5.2)$$

Pro tento účel mi stačilo vzít mezní frekvenci vyšší než 134.2kHz a tudíž jsem ve výsledném zapojení použil hodnoty obvodových prvků:

$$R = 74 \Omega$$

$$C = 6.8 \text{ nF}$$

Na výstupu z integračního článku jsem získal harmonický signál o frekvenci 134.229kHz, vhodný svou frekvencí a tvarem pro napájení a přenos informace z tagu. Amplituda tohoto signálu je nedostačující pro napájení vysílacího/přijímacího obvodu a tudíž bude muset být upravena výstupním zesilovačem.

5.3 Výstupní zesilovací člen nosné vlny

Jak jsem již výše uvedl, vytvořená harmonická nosná vlna na výstupu z dolní propusti není vhodná svou amplitudou pro napájení vysílacího/přijímacího obvodu. Pro tento účel jsem zvolil dva typy zapojení:

- Zapojení s výkonovým operačním zesilovačem LM675
- Zapojení s operačním zesilovačem a komplementárními tranzistory pro zvýšení výstupního proudu

5.3.1 Zapojení s LM675

Tento operační zesilovač jsem zvolil z důvodu jeho výstupního výkonu, který vyhovuje našemu požadovanému vysílacímu výkonu.

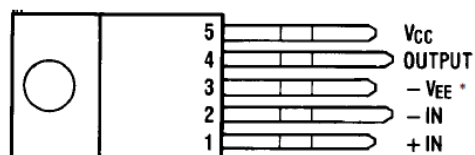
Operační zesilovač LM675 jsem zapojil dle datasheetu [5] jako neinvertující zesilovač viz Obr. 5.5. Obvod napájím dvěma zdroji stejnosměrného napětí o hodnotě 12V zapojenými symetricky vzhledem k zemi.



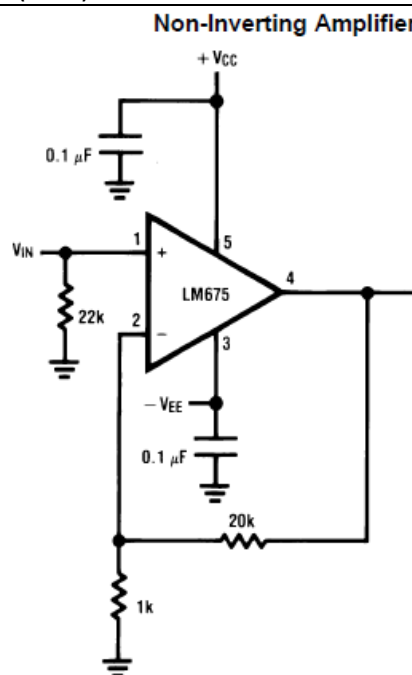
Vlastnosti LM675 [5]:

Tabulka 5.2

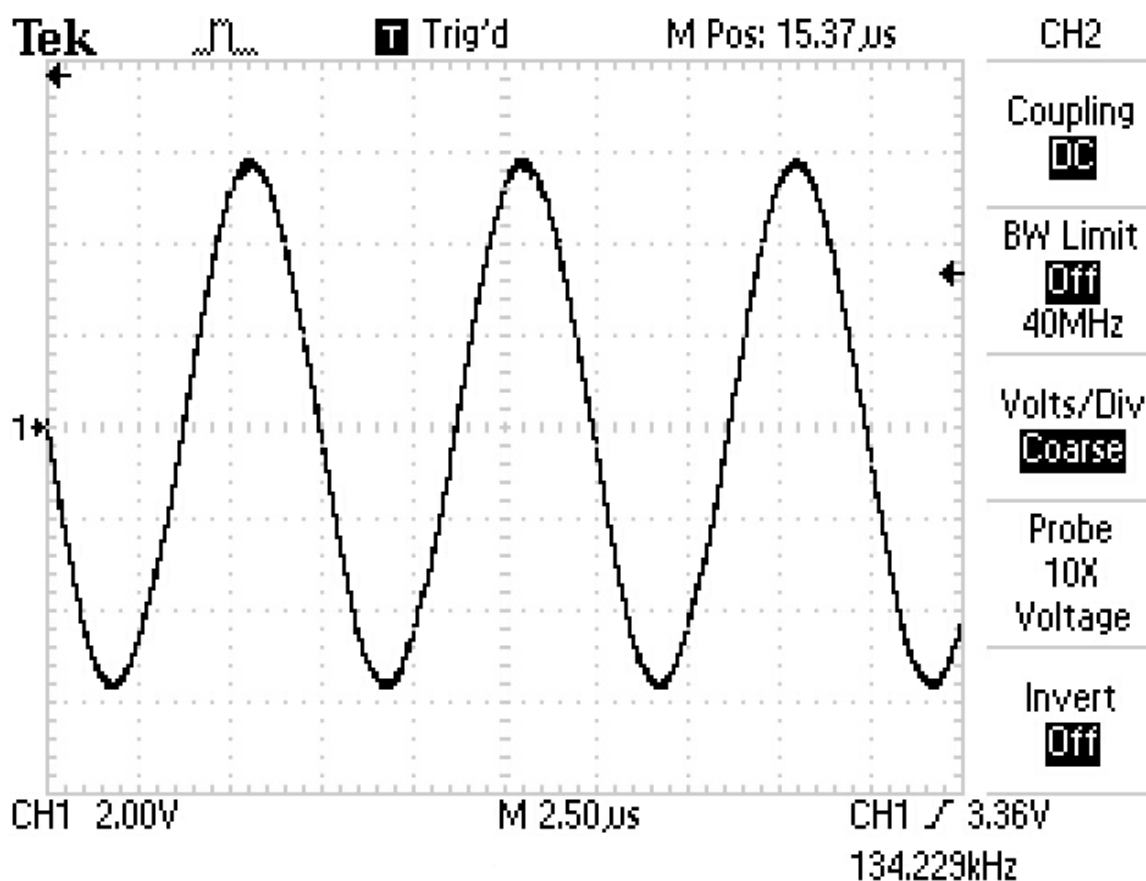
Typ	LM675
Typ pouzdra	TO-220
Napájení	$\pm 30\text{V}$ (max)
Vstupní napětí	-Vee - +Vcc
Výstupní výkon	25W (max)



Obr. 5.4 – Vývody operačního zesilovače LM675



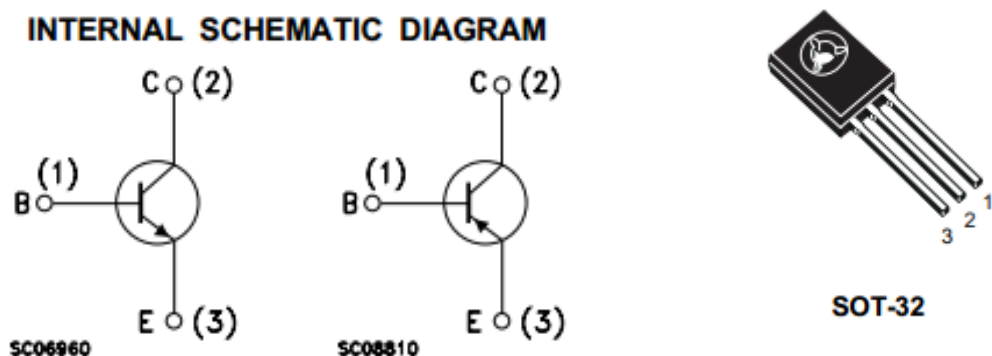
Obr. 5.5 – Zapojení operačního zesilovače LM675



Obr. 5.6 – Průběh výstupního napětí harmonického budiče s OZ LM675

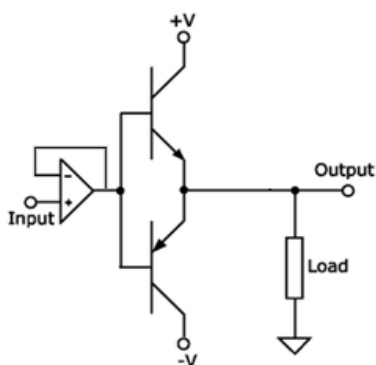
5.3.2 Zapojení s komplementárními tranzistory

Toto zapojení je výhodné svou cenově dostupnější realizací oproti výkonovému OZ. Princip tohoto zapojení je jednoduchý. Na výstup nevýkonového OZ vložíme zapojení s komplementárními tranzistory NPN a PNP, které nám zajistí zvýšení výstupního proudu. Pro toto zapojení jsem použil tranzistory BD441, BD442 [15].

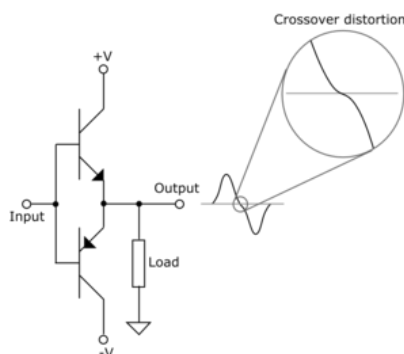


Obr. 5.7 – Schéma a popis pouzdra komplementárních tranzistorů BD441, BD442

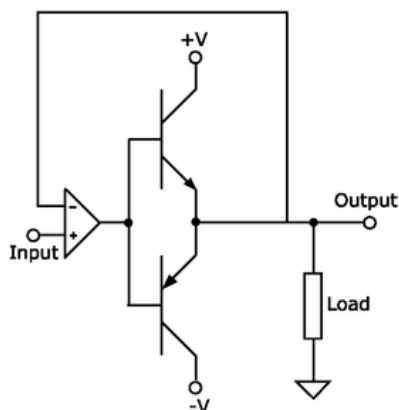
Toto zapojení je možné stabilizovat pomocí zpětné vazby na OZ. Základní a používané zapojení je zapojeno dle Obr. 5.10.



Obr. 5.8 – Zapojení komplementárních tranzistorů s OZ bez zpětné vazby

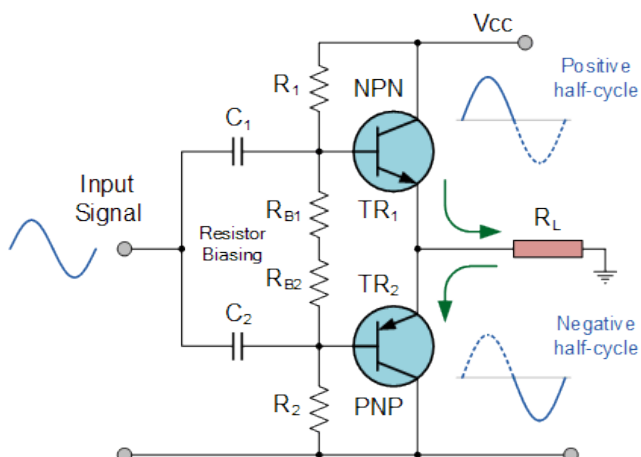


Obr. 5.9 – Přechodové zkreslení zapojení s komplem. Tranzistory bez zpětné vazby

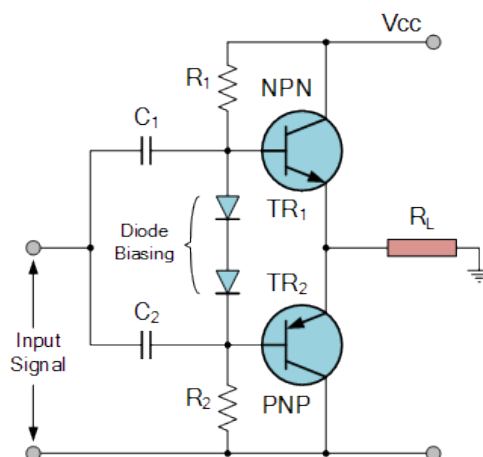


Obr. 5.10 – Zapojení komplementárních tranzistorů s OZ a zpětnou vazbou

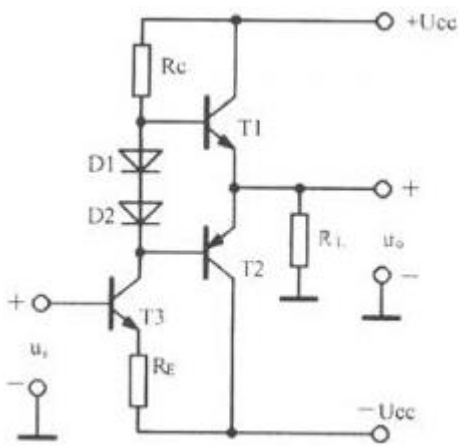
Toto zapojení ale není vhodné pro zesilování tohoto harmonického signálu, jelikož se jedná o zapojení zesilovače ve třídě B, které má pásmo necitlivosti na vstupní signál $-0.7V$ - $+0.7V$ způsobené napětím potřebným k otevření PN přechodu v tranzistoru. Z tohoto důvodu je nutné zvolit zapojení pracující ve třídě AB, které má operační síť okolo tranzistorů způsobující odstranění pásma necitlivosti. Těchto zapojení jsem vyzkoušel více.



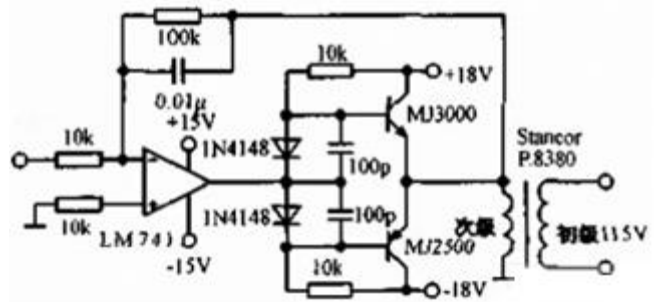
Obr. 5.11 – Zapojení komplementárních tranzistorů ve třídě AB



Obr. 5.12 – Zapojení komplementárních tranzistorů ve třídě AB

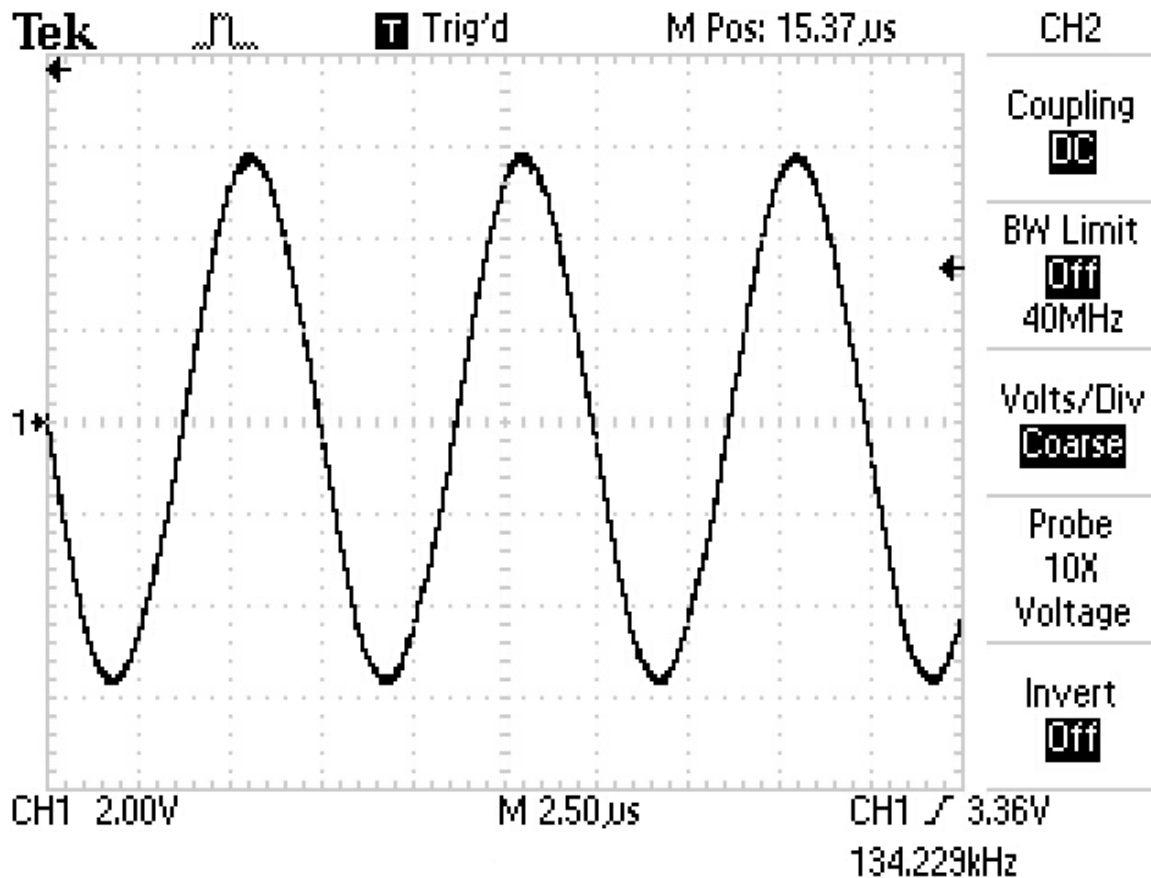


Obr. 5.13 – Zapojení komplementárních tranzistorů Ve třídě AB



Obr. 5.14 – Zapojení komplementárních tranzistorů Ve třídě AB

Nejlépe se chovalo upravené zapojení na Obr. 5.14, jelikož kopírovalo zesílený harmonický signál bez zkreslení. Ostatní obvody při větším zatížení začaly signál zkreslovat.



Obr. 5.15 – Průběh výstupního napětí harmon. Budiče s komplem. Tranzistory

5.3.3 Transformátor

V jednom pokusu komunikace s tagem jsem potřeboval zvýšit výstupní napětí ze zesilovacího členu. Pro tento účel jsem si vytvořil transformátor s převodem 1:20. Tento transformátor jsem vytvořil do hrníčkového jádra H22 – Al 8000.

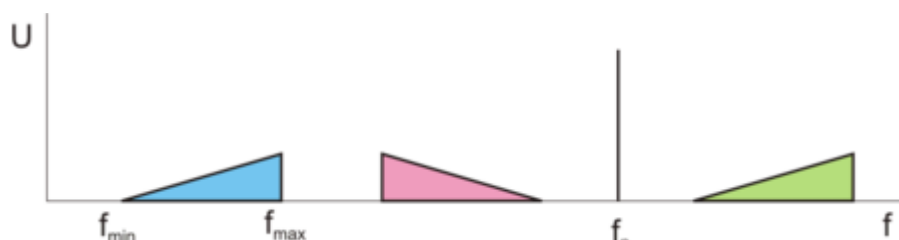
5.4 Vysílací/přijímací obvod

Ve svých pokusech jsem použil oba typy rezonančních obvodů. Pro snímání modulovaného signálu v podobě změny jakosti cívky a tím i proudu protékajícího rezonančním obvodem jsem použil více metod. Tento signál je možno snímat na jednom z obvodových prvků LC, či je možné použít snímací rezistor. V případě použití snímacího rezistoru je tento vhodně zvolený rezistor umístěn do série s rezonančním obvodem a změna napětí na tomto rezistoru odpovídá změně proudu pocházejícího LC prvky.

5.5 Zpracování přijatého signálu

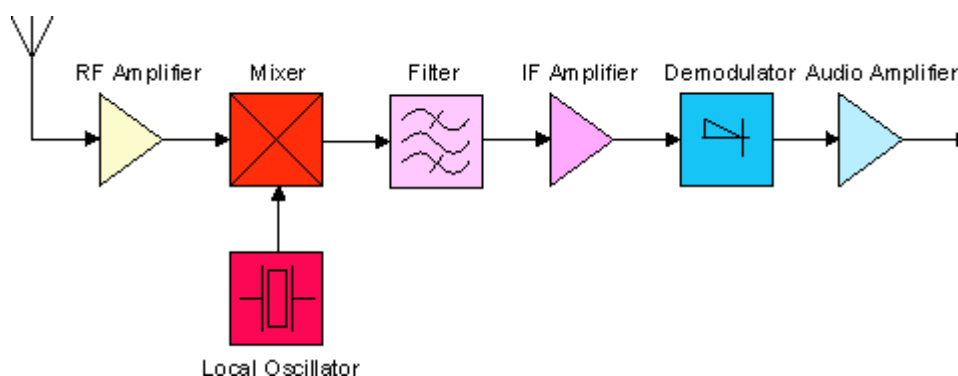
5.5.1 Demodulace

Přijatý signál z tagu je z důvodu bezdrátové komunikace modulován na nosnou frekvenci 134.2kHz. Modulace spočívá v přenosu základního informačního frekvenčního pásma tagu (modré) do pásma přeneseného na frekvenci f_n 134.2kHz.



Obr. 5.16 – Zobrazení chema základního chema (modře) při ASK modulaci

Tento přijatý signál je nejdříve nutné přenést zpět do základního pásma. Přenos do základního pásma se nazývá demodulace. K demodulaci jsem v těchto zapojeních použil princip superheterodynu [9].

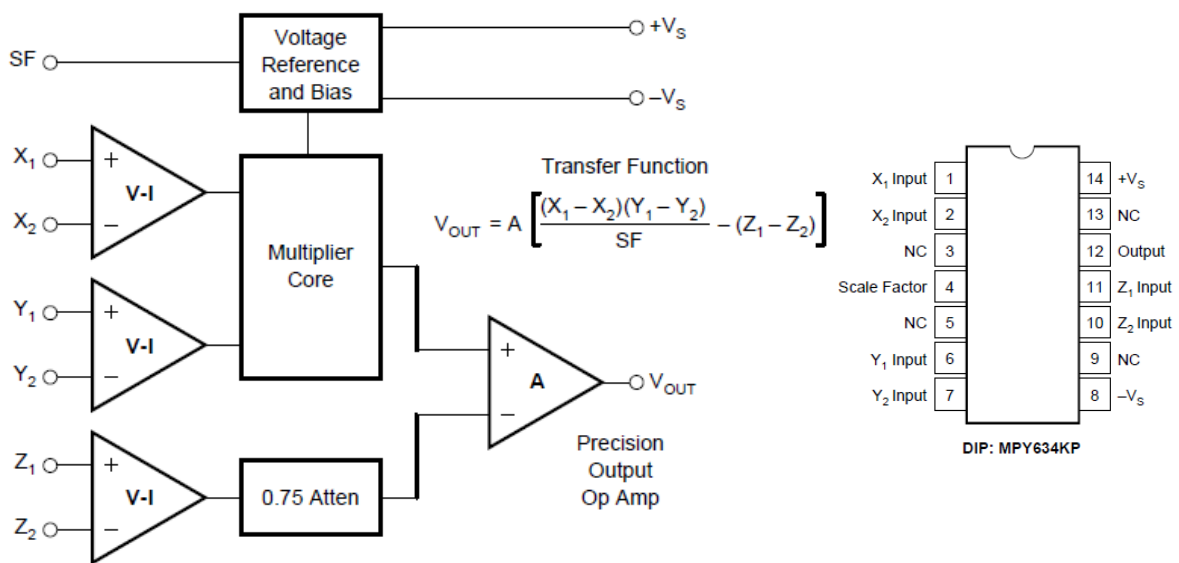


Obr. 5.17 – Princip superheterodynu

Funkce jednotlivých částí Superheterodynu:

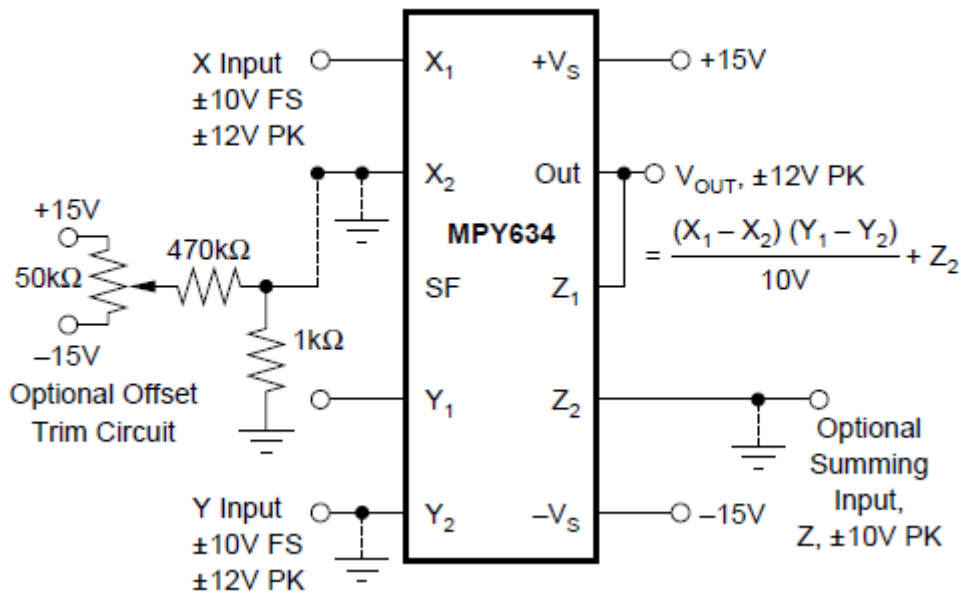
- RF Amplifier (vstupní zesilovač) – slouží k úpravě signálu pro vstup do směšovače
- Mixer (směšovač) – hlavní část superheterodynu, pracuje na principu násobení přijímaného signálu se signálem z lokálního oscilátoru
- Filter (filtr) – slouží k odfiltrování nepotřebných frekvencí z výstupu směšovače
- IR Amplifier (zesilovač) – slouží k úpravě signálu pro další použití
- Další obvody jsou určeny pro zpracování radiových frekvencí

Jako směšovač jsem ve své práci použil integrovaný obvod- násobičku MPY634 [10].



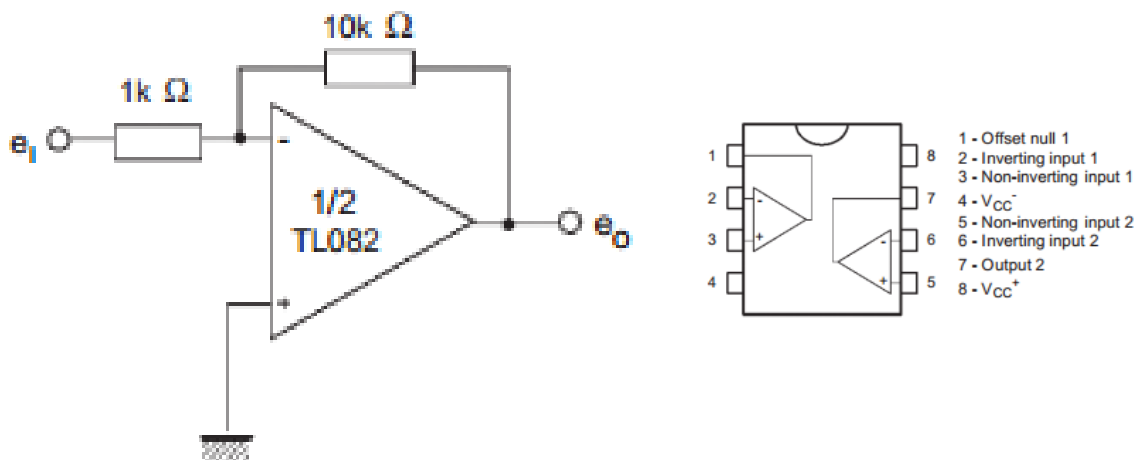
Obr. 5.18 – Blokové chema a popis pouzdra násobičky MPY634

Tuto násobičku jsem zapojil dle datasheetu.



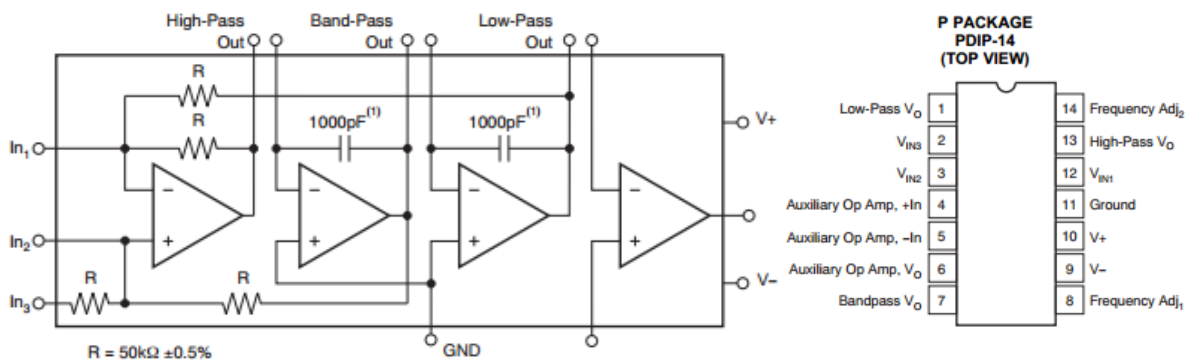
Obr. 5.19 – Doporučené zapojení násobičky MPY634

Výstupní signál z násobičky bylo nutné zesílit. Pro tento účel jsem použil invertující zapojení operačního zesilovače TL082CN [11]. Operační zesilovač jsem zapojil dle doporučeného zapojení z datasheetu. V tomto zapojení jsem pozměnil rezistory nastavující celkové zesílení



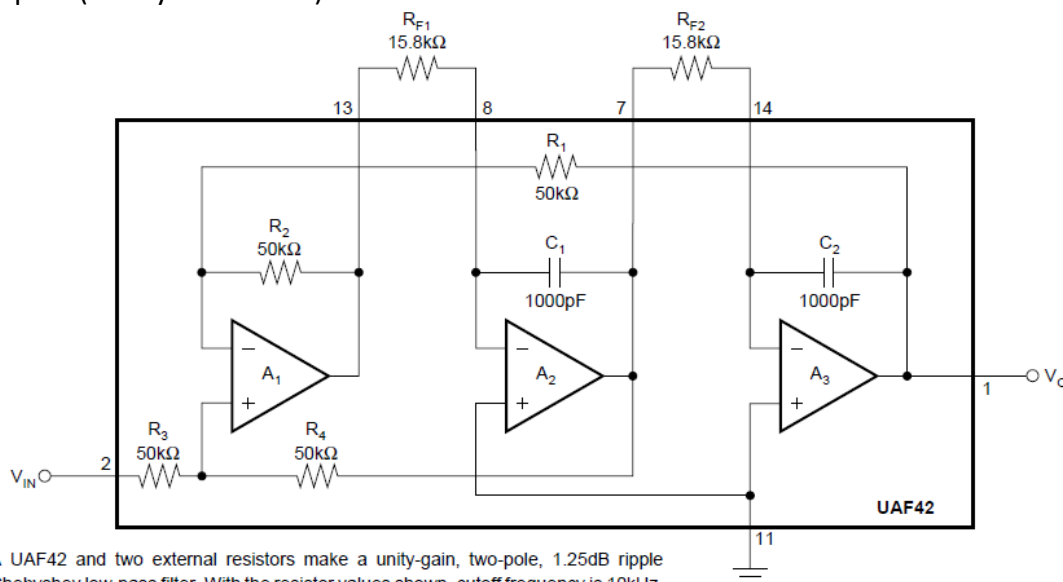
Obr. 5.20 – Doporučené zapojení operačního zesilovače TL082CN a popis pouzdra

Zesílený signál bylo nutné filtrovat z důvodu odstranění nežádoucích frekvencí. V tomto případě jsou nežádoucí frekvence umístěny nad základním spektrem informačního signálu. Z tohoto důvodu jsem zvolil pro filtraci dolní propust. Jelikož je nutné vyšší frekvence zcela odfiltrovat, musel jsem vytvořit aktivní propust vyššího řádu. Pro tento účel jsem použil integrovaný obvod UAF42AP [12].



Obr. 5.21 – Blokové chema a popis pouzdra obvodu aktivního filtru UAF42AP

Tento obvod je univerzální aktivní filtr. Jeho parametry se nastavují okolní operační sítí. Pro ulehčení práce s výpočty jednotlivých součástek je k dispozici od firmy Texas Instruments program FILTERPRO. V tomto programu je možné navrhovat požadované filtry. Já jsem pro tyto účely nakonec použil doporučené zapojení [13]. Jedná se o dolní propust (Chebyshevův filtr) 2.řádu s mezní frekvencí 10kHz.



A UAF42 and two external resistors make a unity-gain, two-pole, 1.25dB ripple Chebyshev low-pass filter. With the resistor values shown, cutoff frequency is 10kHz.

Obr. 5.22 – Zapojení obvodu UAF42AP- dolní propust 2.řádu, Chebyshev, 10kHz

Tyto aktivní dolní propusti jsem zapojil dvě do kaskády, čímž mi vznikla dolní propust 4.řádu s mezní frekvencí 10kHz.

5.6 Vyhodnocení výsledků získaných ze všech těchto zapojení

Po dlouhodobých pokusech se všemi výše uvedenými zapojeními jsem nebyl schopen efektivně detekovat přítomnost tagu v elektromagnetickém poli cívky. Detekce tagu byla možná pouze u nejmenší pomocné cívky, kdy tag byl umístěn přímo v jádru cívky. U větší pomocné cívky jsem nebyl schopen detekovat signál z tagu vůbec. I přes veškeré pokusy jsem nebyl schopen zajistit kvalitnější signál. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl přejít na jiný typ generování nosné vlny a detekce tagu v elektromagnetickém poli cívky.

Kapitola 6

V této kapitole jsou popsány hlavní části elektronických zapojení, které jsem použil při vývoji vysílacího a přijímacího obvodu buzeného PWM signálem. Na tomto zapojení stále pracuji. Zatím jsem použil PWM modulovaný signál s pevnou střídou. Do budoucna chci pomocí PWM řídit amplitudu harmonického signálu.

6 Generování nosné vlny 134.2kHz pomocí PWM modulace

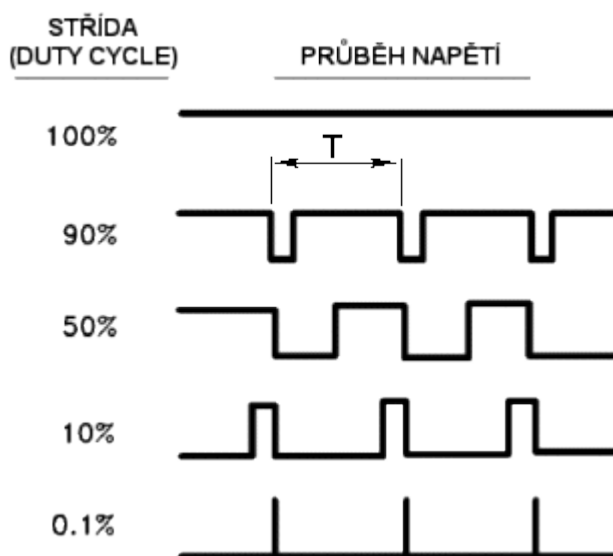
Po nezdařilých pokusech komunikace s tagem pomocí generování harmonické nosné vlny, jsem se rozhodl generovat nosnou vlnu 134.2kHz pomocí PWM modulace. PWM(Pulse-Width Modulation) modulace je jedním typem diskrétních modulací, sloužících k řízení výkonu do zátěže. V tomto případě budu řídit pomocí PWM výkon do vysílacího/přijímacího obvodu a budu tím regulovat amplitudu nosné vlny.

6.1 PWM modulace

PWM modulace je jedním typem diskrétních modulací. Modulovaný signál může obsahovat pouze dva stavy log1/log0 a přenášená informace je zakódována do signálu pomocí jeho střídy D:

$$D = \frac{\tau}{T} \tag{6.1}$$

Za střídu signálu považujeme poměr τ délky pulsu log1 a T délky periody.



Obr. 6.1 – Střídy PWM modulace

6.2 Program použitý ke generování PWM signálu

V tomto případě je nutné na výstupních pinech mikroprocesoru opakovaně měnit logické hodnoty. Mikroprocesor Propeller má při programování v programovacím jazyce Spin podporu PWM generování.

6.2.1 PWM signál bez zpětné vazby

Základní program pro generování PWM signálu bez zpětné vazby má pevně nastavenou střídu signálu. Tento program jsem naprogramoval v programovacím jazyce Assembler. Bylo zde nutné generovat na dvou pinech mikroprocesoru odlišné PWM signály. Význam těchto signálů bude vysvětlen v dalším textu. Celý program je uveden v příloze č.2.

6.2.2 PWM signál se zpětnou vazbou

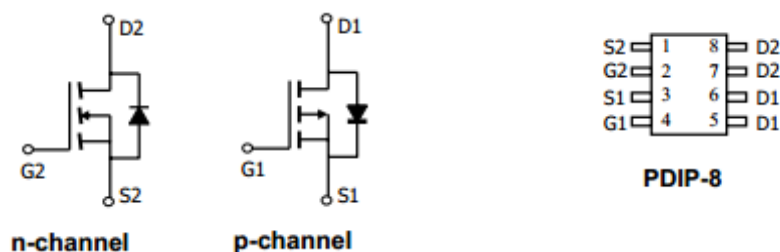
V další práci plánuji vytvořit zpětnou vazbu amplitudy generovaného signálu na střídu PWM signálu. Tento program bude umět udržovat konstantní amplitudu generovaného harmonického signálu.

6.3 Budící člen PWM

Jeden způsob jak vytvořit PWM signál je použít přímo výstupní piny mikroprocesoru a budit s ním vysílací/přijímací obvod. Výstupní piny mikroprocesoru jsou omezeny výstupním výkonem, což omezuje výkon přenesený do vysílacího/přijímacího obvodu a tím i čtecí vzdálenost. Z tohoto důvodu jsem nemohl použít přímo výstupní piny mikroprocesoru a bylo nutné vytvořit elektrotechnické zapojení, které by umožňovalo zvýšit výstupní výkon PWM signálu. Pro zvýšení výstupního výkonu jsem se rozhodl použít unipolární tranzistory MOSFET. Tyto tranzistory jsou řízeny elektrickým polem a fungují v obvodu jako spínače.

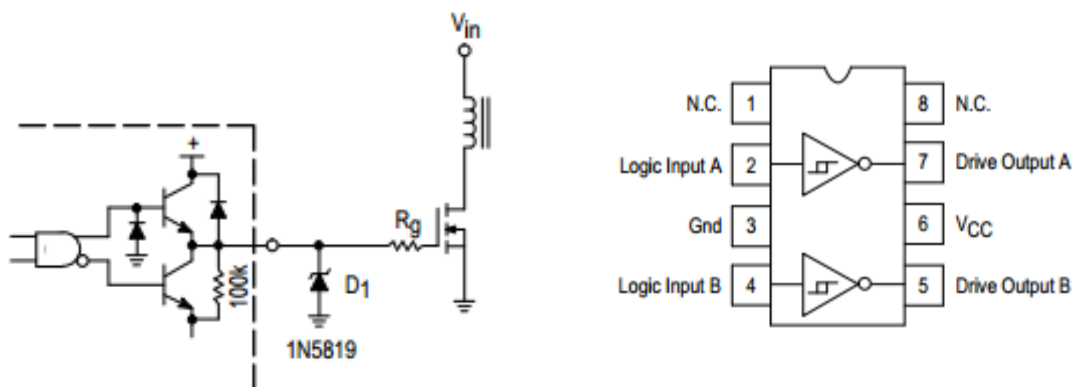
6.3.1 Zapojení s komplementárními tranzistory

Pro buzení výkonového PWM signálu jsem se nejdříve rozhodl použít zapojení s komplementárními MOSFET tranzistory AOP605 [16].

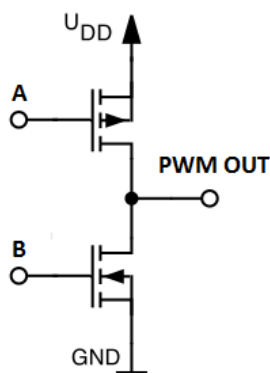


Obr. 6.2 – Schéma a popis pouzdra komplementárních MOSFET tranzistorů AOP605

Tyto tranzistory jsem budil pomocí budiče MC34151P [14].



Obr. 6.3 – Schéma zapojení a popis pouzdra budiče MOSFETů MC34151P



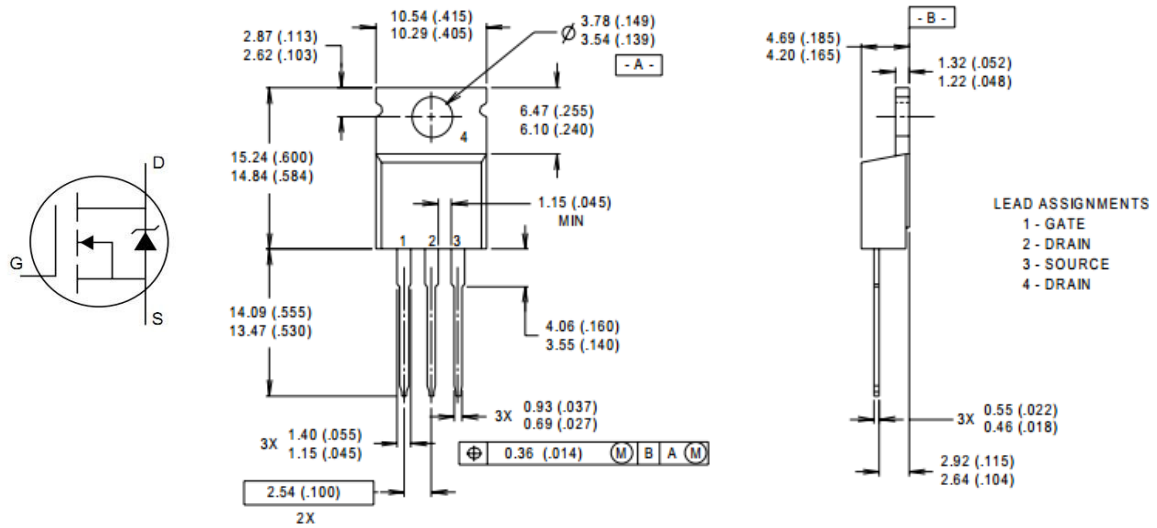
Obr. 6.4 – Zapojení komplementárních MOSFET tranzistorů

Na vstupy budiče bylo nutné přivádět dva PWM signály s časovým zpožděním. Toto zpoždění způsobuje prodlevu mezi otevřením jednoho z tranzistorů a zavřením druhého. V případě, že by signály byly totožné, docházely by situacím, kdy by oba tranzistory byly otevřené a protékal by skrz oba tranzistory zkratovací proud. Tento proud by zahřival oba tranzistory a mohlo by dojít ke zničení obou tranzistorů.

Výstupní napětí z tohoto zapojení odpovídalo PWM signálu, ale obsahovalo překmity v náběžných hranách, které jsem nebyl schopen odstranit. Tyto překmity se přenášely do napájecího napětí a vytvářely tím rušení pro další obvody. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl použít dva MOSFET tranzistory s N kanálem.

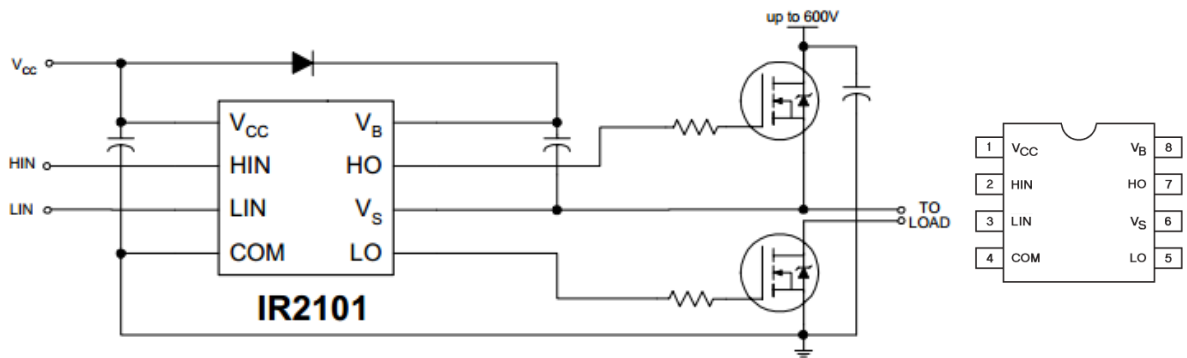
6.3.2 Zapojení s N-MOSFET tranzistory

Pro odstranění překmitů v náběžných hranách výkonového PWM signálu jsem se rozhodl použít dva N-MOSFET tranzistory IRF3205 [17].

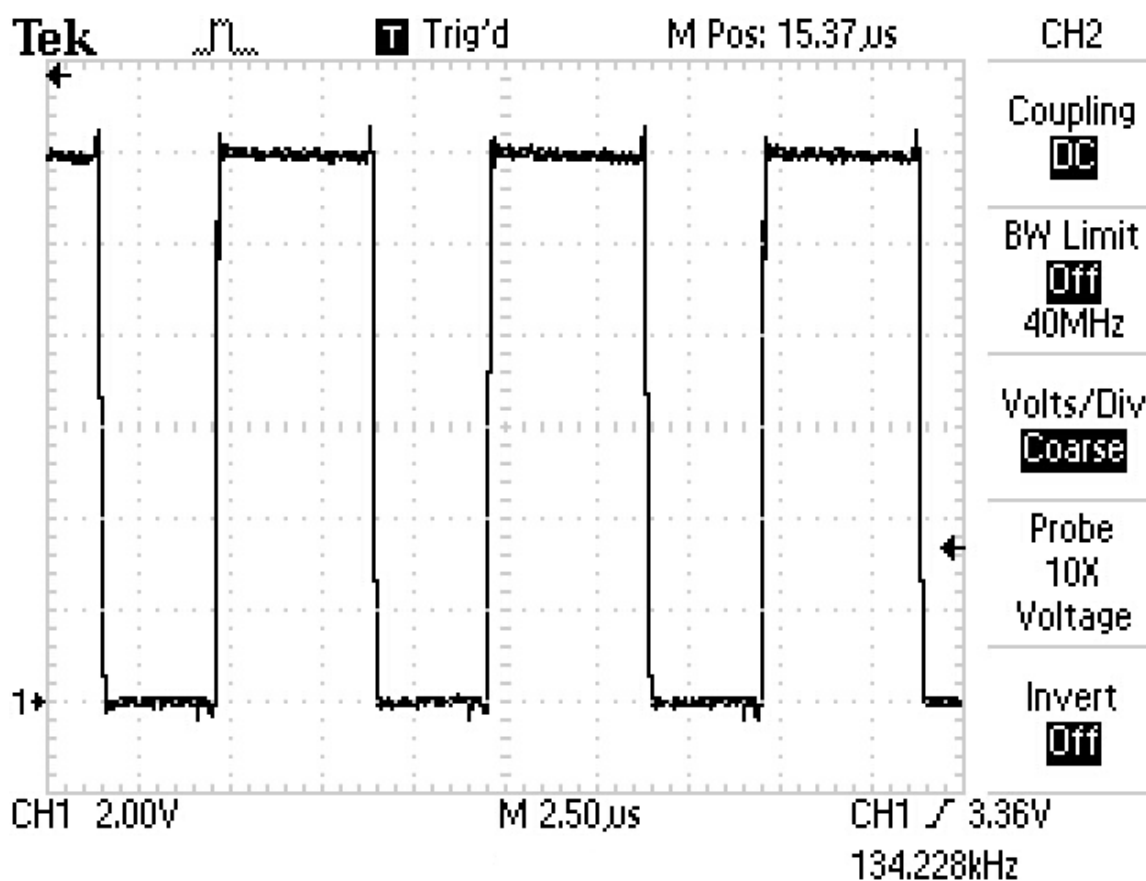


Obr. 6.5 – Schéma a popis pouzdra N-MOSFET tranzistoru IRF3205

Tyto tranzistory jsem budil budičem N-MOSFETů IR2101 [18].



Obr. 6.6 – Schéma zapojení a popis pouzdra budiče N-MOSFETů IR2101



Obr. 6.7 – Průběh výstupního napětí PWM budiče s N-FET tranzistorem

6.4 Vyhodnocení výsledků buzení PWM signálem

Na elektronickém zapojení zpracování přijatého signálu z tagu stále pracuji.

Kapitola 7

7 Vyhodnocení výsledků

Cílem mé práce je vytvořit čtečku RFID tagů s čtecí vzdáleností do 0.5m. Tato podmínka se v začátcích mé práce zdála jako lehce splnitelná. V průběhu mé práce jsem začal přicházet na problémy spojené s tímto vzdálenostním požadavkem a tak jsem se nakonec zaměřil na detekci signálu z tagu v blízkém elektromagnetickém poli cívky. Tímto problémem jsem se zabýval v celé této práci. Základem tohoto RFID komunikačního spojení je rezonanční obvod. Tento obvod zajistí napájení tagu a příjem signálu z tagu. Tento rezonanční obvod je nutné napájet. V začátku své práce jsem se rozhodl napájet rezonanční obvod ze zdroje harmonického signálu. Tato metoda se zdála jako spektrálně nejčistší, jelikož se do obvodu nezaváděly zdrojem buzení jiné frekvenční složky než nosná frekvence 134.2kHz. I přes velkou řadu zapojení a pokusů jsem nebyl schopen detekovat kvalitnější signál ve větší vzdálenosti od cívky. Signál jsem detekoval pouze uvnitř nejmenší z cívek. Jelikož jsem nebyl schopen ani po konzultaci se svým vedoucím bakalářské práce přijít na problém s detekcí tagu, rozhodl jsem se přejít na jiný typ buzení. Další možností, jak budit rezonanční obvod a napájet tím tag je buzení pomocí PWM signálu. PWM(Pulse-Width Modulation) modulovaný signál slouží k regulaci výkonu do zátěže. Hlavním parametrem tohoto signálu je střída, kterou je možné měnit a tím regulovat výkon do zátěže. Při práci s PWM signálem jsem začal s pevnou střídou, což určuje konstantní výkon do zátěže. V případě pevné střídy se ještě nedá tento signál nazývat PWM. V budoucnu bych chtěl vytvořit zpětnou vazbu na mikroprocesor, která by udržovala konstantní amplitudu signálu. Tato zpětná vazba by měnila střídu budícího signálu a tím by se jednalo o PWM buzení. V pokusech s PWM buzením jsem byl úspěšnější. Nyní jsem schopen detekovat tag na vzdálenost cca 10cm, ale výsledky zatím nejsou zcela ověřeny a tudíž jsem je nepublikoval. Na svém projektu stále pracuji a výsledné funkční zařízení bych chtěl dokončit jako diplomovou práci.

Dosavadní práce mi přinesla řadu zkušeností s praktickými realizacemi elektronických zapojení a byla tím velkým přínosem znalostí a zkušeností do budoucích prací. Tímto bych chtěl ještě jednou poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing Pavlu Zahradníkovi, CSc., jelikož díky jemu jsem tyto zkušenosti načerpal a práce mě tím velice bavila.

Literatura

- [1] ISO 11784 [1996-10-15] International standard
- [2] ISO 11785 [1996-10-15] International standard
- [3] PARALLAX. *Propeller Specifications* [online]. 2013 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.parallax.com/PropellerChips/tabid/833/Default.aspx>
- [4] DATA SHEET. *TDA8702 8-bit video digital-to-analog converter* [online]. 1993 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: http://www.kip.uni-heidelberg.de/lhcb/Publications/ACEX/data_sheets/TDA8702_T.pdf
- [5] DATASHEET. *LM675 Power Operational Amplifier* [online]. 1999 [cit. 2013-02-15]. Dostupné z: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/1/03qzshuytq6j1zk8a1y827p7w5wy.pdf>
- [6] Česká republika. Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/04.2012-7 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu. In: http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2012/vo-r_10-04_2012-07.pdf. 2012. Dostupné z: http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2012/vo-r_10-04_2012-07.pdf
- [7] FINKENZELLER, Klaus. *RFID Handbook (Second Edition)*. Giesecke & Devrient GmbH, Munich, Germany: John Wiley & Sons, 2003. ISBN 0-470-84402-7.
- [8] Antenna Circuit Design for RFID Applications. *Microchip* [online]. 2003 [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00710c.pdf>
- [9] RICK CAMPBELL. *High-Performance-Direct-Conversion Receivers*. Department of Electrical Engineering Michigan Technical University. Houghton, 1992. Dostupné z: <http://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/9208019.pdf>
- [10] DATA SHEET: Wide Bandwidth PRECISION ANALOG MULTIPLIER. [online]. 2004 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/mpy634.pdf>
- [11] DATA SHEET: TL082 TL082A – TL082B GENERAL PURPOSE J-FET DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS. [online]. 2002 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/25389/STMICROELECTRONICS/TL082CN.html>
- [12] DATA SHEET: UNIVERSAL ACTIVE FILTER. [online]. 2010 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uaf42.pdf>
- [13] DATA SHEET: FILTER DESIGN PROGRAM FOR THE UAF42 UNIVERSAL ACTIVE FILTER. [online]. 1993 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/sbfa002/sbfa002.pdf>
- [14] DATA SHEET: High Speed Dual MOSFET Drivers. [online]. 1996 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MC34151D.pdf>

- [15] DATA SHEET: COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS. [online]. 1997 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.ges.cz/sheets/b/bd439_42.pdf
- [16] DATA SHEET: Complementary Enhancement Mode Field Effect Transistor. [online]. 2005 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/sheets/a/aop605.pdf>
- [17] DATA SHEET: IRF3205 HEXFET® Power MOSFET. [online]. 2001 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf3205.pdf>
- [18] DATA SHEET: HIGH AND LOW SIDE DRIVER IR2101(S)/IR2102(S) & (PbF). [online]. 2004 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/dokumentace/955/955-053/dsh.955-053.1.pdf>

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka, symbol	Význam zkratky
FDX	Full duplex
HDX	Half duplex
ASK	Amplitude-shift keying
FSK	Frequency-shift keying
RAM	Random Access Memory
VGA	Video Graphics Array
PWM	Pulse-Width Modulation
I/O	Input/Output
A/D	Analog/Digital
D/A	Digital/Analog
DC	Direct Current
V/P	Vysílací/Přijímací
OZ	Operační zesilovač

Seznam a zdroje obrázků

Obr. 1.1 – Rozdělení frekvencí pro RFID.....	7
[zdroj: http://pandatron.cz/?733&rfid_-_technologie_pro_internet_veci]	
Obr. 1.2 – Princip RFID.....	7
[zdroj: http://kmf.troja.mff.cuni.cz/vitaha/Most/Web/What_is_RFID_cz.html]	
Obr. 1.3 – Implantovatelný tag.....	8
[zdroj: http://www.biomark.com/products/tags/bulk_pit_tags]	
Obr. 2.1 – Struktura kódu	9
[zdroj: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169999000344]	
Obr. 2.2 – Přenos energie a dat.....	10
[zdroj: [7]]	
Obr. 2.3 – Přenos jednotlivých bitů	11
[zdroj: BISHOP, J.W., T. PINATO a P. VIAUD. ISO 11785 Transponder Performance Measurement. I-21027 Ispra I(VA); ITALY, 2009.]	
Obr. 3.1 – Popis pouzdra mikroprocesoru Propeller P8X32A	12
[zdroj: http://www.parallax.com/PropellerChips/tabid/833/Default.aspx]	
Obr. 3.2 – Struktura jednotlivých Cogů	13
[zdroj: http://www.parallax.com/PropellerChips/tabid/833/Default.aspx]	
Obr. 3.3 – Přístup jednotlivých Cogů ke společné Hub paměti.....	13
[zdroj: http://www.parallax.com/PropellerChips/tabid/833/Default.aspx]	
Obr. 3.4 – Propeller Demo Board	14
[zdroj: http://www.parallax.com/Store/Microcontrollers/PropellerDevelopmentBoards/tabid/514/CategoryID/73/List/0/SortField/0/Level/a/ProductID/340/Default.aspx]	
Obr. 3.5 -Propeller Proto Board Obr.....	14
[zdroj: http://www.parallax.com/Store/Microcontrollers/PropellerDevelopmentBoards/tabid/514/CategoryID/73/List/0/SortField/0/catpageindex/2/Level/a/ProductID/423/Default.aspx]	
Obr. 3.6 – Struktura mikroprocesoru Propeller	15
[zdroj: http://www.parallax.com/PropellerChips/tabid/833/Default.aspx]	
Obr. 4.1 – Sériový, paralelní rezonanční obvod	16
[zdroj: http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt016.htm]	
Obr. 4.2 – Charakteristiky sériového rezonančního obvodu.....	17
[zdroj: http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt016.htm]	
Obr. 4.3 – Šířka pásma sériového rezonančního obvodu.....	17
[zdroj: http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt016.htm]	
Obr. 4.4 – Charakteristiky paralelního rezonančního obvodu	18
[zdroj: http://moryst.sweb.cz/elt2/stranky1/elt016.htm]	
Obr. 4.5 – Výňatek ze všeobecného oprávnění č. VO-R/10/04.2012-	20
[zdroj: http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2012/vo-r_10-04_2012-07.pdf]	
Obr. 4.6 – Okótování parametrů vysílací cívky	21
[zdroj: [8]]	

Obr. 4.7 – Princip ASK modulace	24
<i>[zdroj: [7]]</i>	
Obr. 4.8 – Náhradní schéma komunikace s tagen.....	24
<i>[zdroj: [7]]</i>	
Obr. 4.9 – Sériové náhradní schéma	24
<i>[zdroj: [7]]</i>	
Obr. 4.10 – Paralelní náhradní schéma	24
<i>[zdroj: [7]]</i>	
Obr. 5.1 – Struktura D/A převodníku TDA7802.....	26
<i>[zdroj: [4]]</i>	
Obr. 5.2 – Schéma zapojení D/A převodníku TDA7802 a popis pouzdra	27
<i>[zdroj: [4]]</i>	
Obr. 5.3 – Integrační článek.....	27
<i>zdroj http://hellweb.loose.cz/index.php?page=school&subpage=elt&id=17</i>	
Obr. 5.4 – Vývody operačního zesilovače LM675.....	28
<i>[zdroj: [5]]</i>	
Obr. 5.5 – Zapojení operačního zesilovače LM675	28
<i>[zdroj: [5]]</i>	
Obr. 5.6 – Průběh výstupního napětí harmonického budiče s OZ LM675	29
<i>[zdroj: záznam z osciloskopu]</i>	
Obr. 5.7 – Schéma a popis pouzdra komplementárních tranzistorů BD441, BD442	29
<i>[zdroj: [15]]</i>	
Obr. 5.8 – Zapojení komplementárních tranzistorů s OZ bez zpětné vazby	30
<i>[zdroj: http://www.absoluteastronomy.com/topics/Crossover_distortion]</i>	
Obr. 5.9 – Přechodové zkreslení zapojení s komplem. Tranzistory bez zpětné vazby..	30
<i>[zdroj: http://www.absoluteastronomy.com/topics/Crossover_distortion]</i>	
Obr. 5.10 – Zapojení komplementárních tranzistorů s OZ a zpětnou vazbou	30
<i>[zdroj: http://www.absoluteastronomy.com/topics/Crossover_distortion]</i>	
Obr. 5.11 – Zapojení komplementárních tranzistorů Ve třídě AB.....	30
<i>[zdroj: http://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amp_6.html]</i>	
Obr. 5.12 – Zapojení komplementárních tranzistorů Ve třídě AB.....	30
<i>[zdroj: http://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amp_6.html]</i>	
Obr. 5.13 – Zapojení komplementárních tranzistorů Ve třídě AB.....	31
<i>[zdroj: http://www.seekic.com/circuit_diagram/Basic_Circuit/Analog_Circuit/Class_AB_Complementary_Symmetry_Power_Amplifier_Circuit_Diagram.html]</i>	
Obr. 5.14 – Zapojení komplementárních tranzistorů Ve třídě AB.....	31
<i>[zdroj: http://www.seekic.com/circuit_diagram/amplifier_circuit/index181.html]</i>	
Obr. 5.15 – Průběh výstupního napětí harmon. Budiče s komplem. Tranzistory	31
<i>[zdroj: záznam z osciloskopu]</i>	
Obr. 5.16 – Zobrazení spektra základního signálu (modře) při ASK modulaci	32
<i>[zdroj: http://cs.zero.wikipedia.org/wiki/Amplitudov%C3%A1_modulace]</i>	

Obr. 5.17 – Princip superheterodynu	32
<i>[zdroj: http://www.absoluteastronomy.com/topics/Superheterodyne_receiver]</i>	
Obr. 5.18 – Blokové schéma a popis pouzdra násobičky MPY634	33
<i>[zdroj: [10]]</i>	
Obr. 5.19 – Doporučené zapojení násobičky MPY634	34
<i>[zdroj: [10]]</i>	
Obr. 5.20 – Doporučené zapojení operačního zesilovače TL082CN a popis pouzdra ...	34
<i>[zdroj: [11]]</i>	
Obr. 5.21 – Blokové schéma a popis pouzdra obvodu aktivního filtru UAF42AP	35
<i>[zdroj: [12]]</i>	
Obr. 5.22 – Zapojení obvodu UAF42AP- dolní propust' 2.řádu, Chebyshev, 10kHz	35
<i>[zdroj: [13]]</i>	
Obr. 6.1 – Střídý PWM modulace	36
<i>[zdroj: http://www.volny.cz/fuksam/povidani/pwm/pwm.htm]</i>	
Obr. 6.2 – Schéma a popis pouzdra komplementárních MOSFET tranzistorů AOP605	37
<i>[zdroj: [16]]</i>	
Obr. 6.3 – Schéma zapojení a popis pouzdra budiče MOSFETů MC34151P	38
<i>[zdroj: [14]]</i>	
Obr. 6.4 – Zapojení komplementárních MOSFET tranzistorů	38
<i>[zdroj: http://sv.wikipedia.org/wiki/MOSFET]</i>	
Obr. 6.5 – Schéma a popis pouzdra N-MOSFET tranzistoru IRF3205	39
<i>[zdroj: [17]]</i>	
Obr. 6.6 – Schéma zapojení a popis pouzdra budiče N-MOSFETů IR2101	39
<i>[zdroj: [18]]</i>	
Obr. 6.7 – Průběh výstupního napětí PWM budiče s N-FET tranzistorem	40
<i>[zdroj: záznam z osciloskopu]</i>	

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 – Druhy modulací používaných v RFID pro frekvenci 134.2kHz	10
Tabulka 3.1 – Parametry mikroprocesoru Propeller	12
Tabulka 4.1 – P8X32A Parametry vysílací cívky a pomocných cívek	22
Tabulka 5.1 – Parametry D/A převodníku TDA8702	26
Tabulka 5.2 – Parametry výkonového OZ LM675	28

Přílohy

1. Generování harmonického signálu

CON

 _clkmode = xtal1 + pll16x

 _xinfreq = 5_000_000

VAR

 long Cog, TestVar

PUB main

 Cog := cognew(@entry, @TestVar) + 1

PUB stop

 if Cog

 cogstop(Cog~ - 1)

DAT

 org 0

entry

 mov dira, Pin

 mov Time, cnt

 add Time, Delay_Sample

:singen_start

 (waitcnt Time, Delay_Sample

 mov OUTA, Sin"x") – tento cyklus se zopakuje pro všechny hodnoty Sin"x",
 kde x=1,2,3,..

Delay_Sample_Jmp long 13

Delay_Sample long 10

EnaPin long |< 8

Pin long %01111111_11111111_11111111_11111111

Pin_ON long %00000000_00000000_00000001_00000000

(Sin"x" long \$"hodnota pro sin") – zde je uvedena tabulka hodnot sinu

Time res 1

 fit

2. Generování PWM signálu s pevnou střídou

```
CON
    _clkmode    = xtal1 + pll16x
    _xinfreq    = 5_000_000
VAR
    long Cog, TestVar
PUB main
    Cog := cognew(@entry, @TestVar) + 1
PUB stop
    if Cog
        cogstop(Cog~ - 1)
DAT
    org 0
entry

    sub    Period, Delay_ON_1
    mov    Delay_ON_2, Period
    mov    dira, Pin_ON
    mov    outa, Pin_OFF
    mov    Time, cnt
    add    Time, Delay

:loop
    waitcnt Time, Delay_ON_2
    mov    outa, Pin_OFF
    nop
    mov    outa, Pin_ON_1
    waitcnt Time, Delay_ON_1
    mov    outa, Pin_OFF
    nop
    mov    outa, Pin_ON_2
    jmp    #:loop

Delay                long 40
Delay_ON_1           long 250
Delay_ON_2           long 0
Period               long 596
Pin_ON                long %11111111_11111111_11111111_11111111
Pin_OFF              long %00000000_00000000_00000000_00000000
Pin_ON_1             long %10101010_10101010_10101010_10101010
Pin_OFF_1            long %01010101_01010101_01010101_01010101
Pin_ON_2             long %01010101_01010101_01010101_01010101
Pin_OFF_2            long %10101010_10101010_10101010_10101010
Time                 res 1
                    fit
```

Obsah přiloženého CD

Písemné dokumenty
Písemná zpráva o bakalářské práci – formát pdf Zadání bakalářské práce - kopie Podepsané čestné prohlášení - kopie

Programové dokumenty
Program pro generování harmonického signálu Program pro generování PWM signálu