



Fakulta elektrotechnická  
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Přenos diagnostické informace mezi návěstidlem a stavědlem

Autor práce: Bc. Ondřej Bouzek  
Vedoucí práce: Ing. Peter Hloušek, Ph.D.

Plzeň 2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej BOUZEK**  
Osobní číslo: **E13N0119P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Dopravní elektroinženýrství a autoelektronika**  
Název tématu: **Přenos diagnostické informace mezi návěstidlem a stavědlem**  
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Teoreticky rozeberte funkci a zapojení světelného relé a jeho součinnost s návěstní žárovkou.
2. Navrhněte koncepci systému zajišťující přenos diagnostické informace o intenzitě svícení návěstní svítilny mezi svítilnou a stavědlem po napájecím vedení.
3. Proveďte návrh realizace systému pomocí HW a SW prostředků. Pro zabezpečení přenosu diagnostické informace využijte vhodná ochranná opatření.
4. Laboratorně ověřte funkčnost návrhu a jeho chování v simulovaném prostředí reléového zabezpečovacího zařízení.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky práce.





Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**ON 34 2627 - Zapojení světelných návěstidel**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Petr Hloušek, Ph.D.**


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

# Abstrakt

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat systém přenášející diagnostickou informaci o svitu návěstní svítilny mezi železničním návěstidlem a stavědlem. K tomu bylo využito pulsně kódové modulace v kombinaci s amplitudovým klíčováním s nosnou frekvencí 10 kHz. K zabezpečení přenášených informací byl použit cyklický kód osmého řádu. Přenos byl úspěšně ověřen na metalickém vedení o délce 1060 m. Práce také pojednává o cyklickém kódování a elektromagnetických relé a jejich součinnosti v návěstních obvodech.

## Klíčová slova

elektromagnetické relé, přenos dat po napájecím vedení, cyklické kódování

# Abstract

Bouzek, Ondřej. *Transmission of diagnostic information between railway signal and interlocking* [Přenos diagnostické informace mezi návěstidlem a stavědlem]. Pilsen, 2015. Master thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Peter Hloušek

---

The goal of this master thesis was to design and realise system which will be able to transmit diagnostic information about lighting of signal lamp between railway signal and interlocking. The pulse width modulation and amplitude shift keying with modulation frequency 10 kHz was used for this purpose. Eighth order cyclic code secures the transmitted data. This data transfer was successfully verified on metallic lines with a length of 1060 m. The thesis also include references to the cyclic coding and electromagnetic relays and their interaction in signal circuits.

## Keywords

electromagnetic relays, power line data transmission, cyclic coding

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 6. května 2015

Bc. Ondřej Bouzek

.....

Podpis



# Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Seznam symbolů a zkratk	x
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Návěstní relé</b>	<b>2</b>
2.1 Světelné relé v návěstním obvodu . . . . .	2
2.2 Konstrukce elektromagnetického relé . . . . .	4
2.2.1 Fyzikální princip relé . . . . .	4
2.2.2 Elektrické vlastnosti relé . . . . .	5
2.3 Relé používaná v zabezpečovací technice . . . . .	5
2.3.1 Relé první bezpečnostní kategorie - typ N . . . . .	6
2.3.2 Relé druhé bezpečnostní kategorie - typ C . . . . .	7
2.4 Problematika dohledu svícení LED žárovky . . . . .	7
2.4.1 Využití fotovoltaiického jevu LED . . . . .	8
2.4.2 Dohled svitu LED diod pomocí měření napětí a proudu . . . . .	8
<b>3 Zabezpečení přenosu dat</b>	<b>10</b>
3.1 Hammingova vzdálenost . . . . .	10
3.1.1 Detekční a korekční schopnost kódu . . . . .	10
3.2 Lineární blokové kódy . . . . .	11
3.2.1 Generující matice . . . . .	11
3.2.2 Kontrolní matice . . . . .	11
3.3 Cyklické kódy . . . . .	12
3.3.1 Generující polynom . . . . .	12
3.3.2 Kontrolní polynom . . . . .	13
3.3.3 Nesystematické kódování . . . . .	13
3.3.4 Systematické kódování . . . . .	14
3.3.5 Dekódování . . . . .	15
3.3.6 Obvodové řešení kodéru . . . . .	16

3.3.6.1	Nesystematický kodér . . . . .	16
3.3.6.2	Systematický kodér . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Návrh přenosového systému</b>	<b>18</b>
4.1	Vlastnosti napájecího vedení . . . . .	18
4.2	Filtr linetráp . . . . .	20
4.3	Podoba přenášeného signálu . . . . .	20
4.3.1	Úvodní znak . . . . .	21
4.3.2	Struktura přenášené zprávy . . . . .	21
4.3.3	Rychlost přenosu . . . . .	22
<b>5</b>	<b>Vysílací modul</b>	<b>23</b>
5.1	Hardwarové řešení . . . . .	24
5.1.1	Napájení . . . . .	24
5.1.2	Mikrokontrolér PIC16F1934 . . . . .	24
5.1.2.1	Časovač 2 . . . . .	24
5.1.2.2	Komparátor . . . . .	25
5.1.2.3	Digitálně-analogový převodník . . . . .	25
5.1.3	Filtr typu dolní propust . . . . .	26
5.1.4	Indikační LED diody . . . . .	26
5.2	Softwarové řešení . . . . .	26
5.2.1	Inicializace mikrokontroléru . . . . .	27
5.2.2	Hlavní smyčka programu . . . . .	27
5.2.3	Přerušení komparátoru . . . . .	27
5.2.4	Přerušení časovače 2 . . . . .	29
5.3	Oživení vysílacího modulu . . . . .	29
<b>6</b>	<b>Přijímací modul</b>	<b>31</b>
6.1	Hardwarové řešení . . . . .	32
6.1.1	Spínaný zdroj MC34063A . . . . .	32
6.1.2	Pásmová propust . . . . .	32
6.1.2.1	Pasivní horní propust . . . . .	32
6.1.2.2	Aktivní horní propust . . . . .	33
6.1.2.3	Aktivní dolní propust . . . . .	34
6.1.2.4	Přenos celého filtru . . . . .	35
6.1.3	Neinvertující zesilovač . . . . .	35
6.1.4	Demodulátor . . . . .	36
6.1.5	Displej . . . . .	36
6.1.6	Indikační LED diody . . . . .	36
6.2	Softwarové řešení . . . . .	37
6.2.1	Inicializace mikrokontroléru . . . . .	37

6.2.2	Inicializace displeje . . . . .	37
6.2.3	Hlavní smyčka programu . . . . .	37
6.2.4	Přerušení časovače 2 . . . . .	39
6.2.5	Přerušení komparátoru . . . . .	39
6.3	Oživení přijímacího modulu . . . . .	39
6.3.1	Odolnost přenosu dat vůči rušení . . . . .	42
6.3.2	Rozbor ztráty zpráv v důsledku spínání návěstní žárovky . . . . .	43
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>45</b>
	<b>Reference, použitá literatura</b>	<b>46</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>47</b>
<b>A</b>	<b>Schémata zapojení</b>	<b>47</b>
<b>B</b>	<b>Desky plošných spojů</b>	<b>49</b>
<b>C</b>	<b>Zdrojové kódy</b>	<b>52</b>
C.1	Zdrojový kód mikrokontroléru vysílacího modulu . . . . .	52
C.2	Zdrojový kód mikrokontroléru přijímacího modulu . . . . .	54

# Seznam obrázků

2.1	Schéma zapojení světelného relé . . . . .	3
2.2	Zapojení cívek u světelného relé . . . . .	3
2.3	Zjednodušené schéma elektromagnetického relé . . . . .	4
2.4	Plastový žebříček relé NMŠ 1-2000 D  Převzato z [2]  . . . . .	6
2.5	Relé první bezpečnostní kategorie - NMŠ 1-2000 D  Převzato z [2]  . . . . .	7
2.6	Principiální řešení optoelektrického vazebního obvodu  Převzato z [3]  . . . . .	8
3.1	Obvodové řešení kodéru nesystematického cyklického kódu . . . . .	17
3.2	Obvodové řešení kodéru systematického cyklického kódu . . . . .	17
4.1	Schéma přenosového řetězce . . . . .	18
4.2	Uspořádání dvou vodičového vedení . . . . .	19
4.3	Frekvenční charakteristika simulovaného vedení o délce 2 km . . . . .	20
4.4	Amplitudové klíčování v kombinaci s pulzně šířkovou modulací . . . . .	21
5.1	Schématický diagram vysílací části . . . . .	23
5.2	Blokové schéma časovače 2  Převzato z [7]  . . . . .	24
5.3	Zjednodušené schéma komparátoru . . . . .	25
5.4	Schéma DA převodníku  Převzato z [7]  . . . . .	26
5.5	Frekvenční charakteristika filtru použitého ve vysílacím modulu . . . . .	27
5.6	Vývojový diagram vysílacího modulu . . . . .	28
5.7	Signál generovaný mikrokontrolérem . . . . .	29
5.8	Naměřený průběh napětí na napájecích svorkách vysílacího modulu . . . . .	30
5.9	Frekvenční spektrum napětí na napájecích svorkách vysílacího modulu . . . . .	30
6.1	Schématický diagram přijímací části . . . . .	31
6.2	Schéma komplexního filtru PP . . . . .	32
6.3	Frekvenční charakteristika pasivní horní propusti . . . . .	33
6.4	Frekvenční charakteristika aktivní horní propusti . . . . .	34
6.5	Frekvenční charakteristika aktivní dolní propusti . . . . .	35
6.6	Frekvenční charakteristika celého filtru . . . . .	36
6.7	Ukázka zobrazení dat na displeji přijímacího modulu . . . . .	37
6.8	Vývojový diagram přijímacího modulu . . . . .	38



6.9	Naměřený průběh napětí na napájecích svorkách přijímacího modulu . . .	40
6.10	Frekvenční spektrum napětí na napájecích svorkách přijímacího modulu . .	40
6.11	Ukázka rozmezí ignorování přijímaných dat . . . . .	41
6.12	Naměřený průběh napětí na výstupu demodulátoru a na výstupu kompa- rátoru . . . . .	41
6.13	Podoba celé zprávy na výstupu komparátoru . . . . .	42
6.14	Ukázka ovlivnění přenosu spínáním žárovky . . . . .	42
6.15	Ukázka ovlivnění přenosu spínáním žárovky . . . . .	43
6.16	Uvažovaná citlivá oblast na rušení . . . . .	43
6.17	Rozbor ztráty zpráv v důsledku spínání návěstní žárovky . . . . .	44
A.1	Schéma zapojení vysílacího modulu . . . . .	47
A.2	Schéma zapojení přijímacího modulu . . . . .	48
B.1	Navržená DPS vysílacího modulu . . . . .	49
B.2	Navržená DPS vysílacího modulu - rozložení součástek . . . . .	49
B.3	Navržená DPS přijímacího modulu - strana spojů . . . . .	50
B.4	Navržená DPS přijímacího modulu - strana součástek . . . . .	50
B.5	Navržená DPS přijímacího modulu - rozložení součástek . . . . .	51

# Seznam tabulek

2.1	Značení počtu kontaktů relé typu NMŠ . . . . .	6
3.1	Tabulka syndromů jednonásobné chyby . . . . .	15
4.1	Struktura posílané zprávy . . . . .	22

# Seznam symbolů a zkratek

ADC .....	<i>Analog to digital converter.</i> Analogově číslicový převodník
ADSL .....	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line.</i> Asymetrická digitální účastnická přípojka
AM .....	<i>Amplitude modulation.</i> Amplitudová modulace
ASK .....	<i>Amplitude shift keying.</i> Amplitudové klíčování
CRC .....	<i>Cyclic redundancy check.</i> Cyklický redundantní součet
DAC .....	<i>Digital to analog converter.</i> Číslicově analogový převodník
DIP .....	<i>Dual in-line package.</i> Pouzdro s dvěma řadami pinů
DPS .....	Deska plošných spojů
FVR .....	<i>Fixed voltage reference.</i> Pevná napěťová reference
HIS .....	Hlídač izolačního stavu
I/O pin .....	<i>In-Out pin.</i> Vstupně výstupní pin
LCD .....	<i>Liquid crystal display.</i> Display z tekutých krystalů
LED .....	<i>Light-Emitting Diode (Device).</i> Dioda(zařízení) emitující světlo
PE .....	Polyethylen
PP .....	Pásmová propust
PWM .....	<i>Pulse-width modulation.</i> Pulsně šířková modulace
SIL .....	<i>Safety integrity level.</i> Úroveň integrity bezpečnosti
$\epsilon_0$ .....	Permitivita vakua
$\epsilon_r$ .....	Relativní permitivita
$\mu_0$ .....	Permeabilita vakua
$\mu_r$ .....	Relativní permeabilita
$\rho$ .....	Měrná rezistivita

# 1

## Úvod

Cílem diplomové práce bylo navrhnout a realizovat systém zajišťující přenos diagnostické informace o intenzitě svícení návěštní svítilny mezi svítilnou a stavědlem po napájecím vedení 220 V/50 Hz. Mělo by se jednat o jednosměrnou komunikaci, která by byla aplikovatelná na stávajícím reléovém návěštním systému. Přenosová cesta by tedy měla obsahovat transformátor 220/12 V a řádově stovky metrů napájecího vedení.

Navržené zařízení by mělo sloužit jako doplněk k náhradě klasické žárovky luminiscenční diodou nainstalované na reléovém návěštním systému. Vyhodnocení stavu „svítí“ „nesvítí“ u této náhrady není díky svému malému proudovému odběru možné proudovým relé jako u klasické žárovky, proto je třeba tuto informaci přenést do stavědla jiným způsobem. Po zabezpečení tohoto přenosu by bylo možné vyhodnocení stavu LED svítilny včlenit do stávající reléové logiky stavědla či do logiky elektronického stavědla.

Práce je rozložena do pěti kapitol. První z nich je zaměřena na elektromagnetické relé a jeho součinnost v návěštních obvodech. Následující kapitola se zabývá zabezpečením přenosu dat s důrazem na cyklické kódování. Třetí kapitola obsahuje seznámení s navrženým přenosovým systémem. Kapitola 4 podrobně popisuje vysílací modul použitý k přenosu dat, o přijímacím modulu pak pojednává kapitola pátá.



## 2

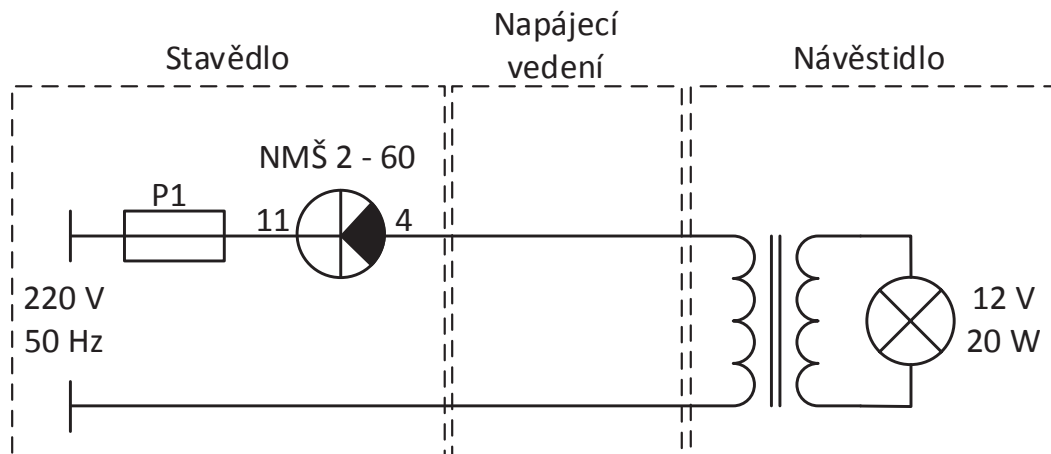
# Návěstní relé

Tato kapitola je zaměřena na první bod zadání této práce, tedy na elektromagnetické relé a jejich funkci v návěstním obvodu. Je zde nastíněna jejich konstrukce, vlastnosti a kategorie používané v železniční zabezpečovací technice. Při tvorbě této části bylo čerpáno z [1]. V závěru kapitoly je také zmínka o problematice dohledu návěstních svítidel s LED diodami.

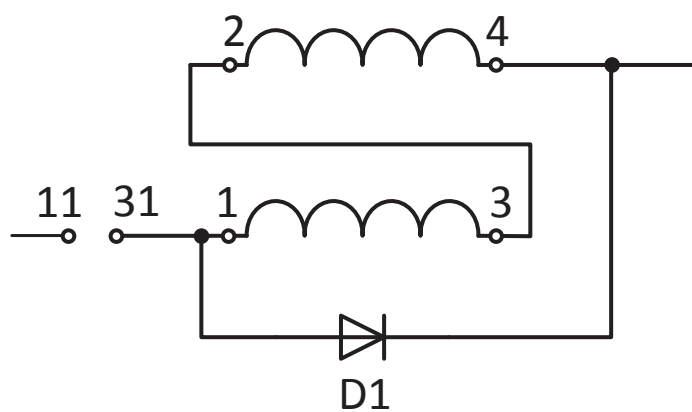
## 2.1 Světelné relé v návěstním obvodu

Pro bezpečný dohled svitu návěstní žárovky se u reléových zabezpečovacích obvodů používá proudové relé první bezpečnostní kategorie (viz kapitola 2.3.1). Na obrázku 2.1 je schéma zapojení nepřímého dohledového obvodu s relé NMS 2 - 60, tedy s relé se čtyřmi kontakty a cívkami o odporu  $60 \Omega$ . K sériově zapojeným cívkám je přidána paralelně takzvaná obtoková dioda **D1** (viz obrázek 2.2), díky které protéká cívkami relé pouze záporná půlperioda proudu. Při přerušení nebo proražení této diody dojde spolehlivě k odpadu kotvy relé. Pro návaznost do reléové logiky se využívá spínací kontakt, který signalizuje správnou funkci návěstní žárovky. V případě přerušení vlákna žárovky nebo přívodních kabelů přestane téct proud cívkami relé, což zaručí odpad kotvy. Další uvažovanou poruchou je zkrat vlákna žárovek či přívodních kabelů. V tomto případě je přepálena tavná pojistka **P1**, zapojená sériově k světelnému relé, a kotva opět odpadne. V pouzdře světelného relé je umístěna zkratovací propojka na pinech 11 a 31, díky které je přiváděno napětí k žárovce pouze, je-li v patici zasunuto příslušné relé.

Nebezpečná situace může nastat při degradaci izolace napájecích kabelů návěstidla, kdy svodový proud může způsobit vybuzení relé. Proto je třeba stav izolace pravidelně kontrolovat, případně může být použit hlídač izolačního stavu (HIS). Nevýhodou těchto dohlížecích obvodů je také malá rozlišovací schopnost způsobená hysterezí použitého relé a fakt, že je dohlížecí obvod aktivní pouze při požadavku na rozsvícení příslušného návěstního znaku.



Obr. 2.1: Schéma zapojení světelného relé



Obr. 2.2: Zapojení cívek u světelného relé

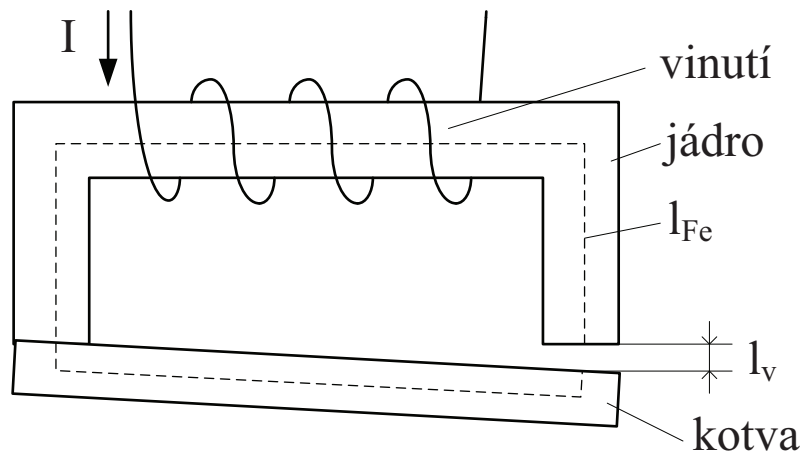
## 2.2 Konstrukce elektromagnetického relé

Základem relé je magnetický obvod určený ke spínání galvanicky oddělených elektrických obvodů, skládá se z jádra z feromagnetického materiálu ( $\mu_r \gg 1$ ), cívky a pohyblivé kotvy. Dalším prvkem jsou pracovní kontakty, ty se rozdělují do následujících skupin:

- spínací - sepnuty při vybuzení
- rozpínací - rozepnuty při vybuzení
- přepínací - kombinace obou předchozích

### 2.2.1 Fyzikální princip relé

Odvození funkce elektromagnetického relé bude demonstrováno na obrázku 2.3.



**Obr. 2.3:** Zjednodušené schéma elektromagnetického relé

Nejprve je třeba definovat magnetický odpor magnetického obvodu  $R_m$ , který se skládá z magnetického odporu feromagnetického jádra  $R_{Fe}$  a magnetického odporu vzduchové mezery  $R_{m0}$ :

$$\begin{aligned} R_m &= R_{Fe} + R_{m0} \\ &= \frac{l_{Fe}}{\mu_{rFe} \mu_0 S} + \frac{l_v}{\mu_0 S} \quad [H^{-1}] \end{aligned} \quad (2.1)$$

Kde  $l_{Fe}$  je střední délka siločáry feromagnetického jádra,  $l_v$  střední délka siločáry ve vzduchové mezeře,  $S$  velikost plochy průřezu jádra,  $\mu_0$  permeabilita vakua a  $\mu_{rFe}$  relativní permeabilita jádra.

Při splnění podmínky  $\mu_0 \ll \mu_{rFe}$  můžeme tento vztah zjednodušit na:

$$R_m = \frac{l_v}{\mu_0 S} \quad [H^{-1}] \quad (2.2)$$

A dále můžeme doplnit do upraveného vzorce pro výpočet indukčnosti:

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{N^2}{R_m} \\
 &= \mu_0 \frac{N^2 S}{l_v} \quad [\text{H}]
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

Následně lze vyjádřit práci:

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{2} L I^2 \\
 &= \frac{1}{2} \mu_0 (N I)^2 \frac{S}{l_v} \quad [\text{J}]
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

A konečně se dostáváme k vyjádření síly působící na pohyblivou část magnetického obvodu, tedy kotvy:

$$\begin{aligned}
 F &= -\frac{dW}{dl_v} \\
 &= -\frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{dl_v} \\
 &= -\frac{1}{2} \mu_0 (N I)^2 \frac{S}{l_v^2} \quad [\text{N}]
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Výsledná síla je záporného směru, tudíž působí ve směru zmenšení vzdálenosti  $l_v$ , kotva je tedy přitahována směrem k jádru intenzitou závislou na velikosti proudu protékajícího budící cívku. Poněvadž je tento proud v rovnici 2.5 v druhé mocnině, nezáleží na orientaci tohoto proudu. Jedná se tedy o neutrální relé. Tato síla působí proti gravitační síle, případně proti síle pružiny zajišťující odpad kotvy.

### 2.2.2 Elektrické vlastnosti relé

Důležitou vlastností elektromagnetických relé je hystereze, která je způsobena změnou velikosti vzduchové mezery při sepnutí a tím i změnou indukčnosti. Díky tomu jsou tato zařízení poměrně odolná na kolísání napájení.

## 2.3 Relé používaná v zabezpečovací technice

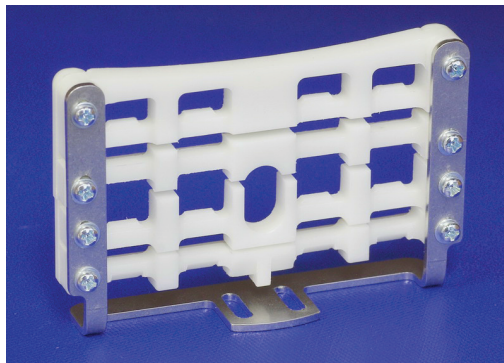
Od relé používaných v zabezpečovací technice se požaduje nízký přechodový odpor na kontaktech, přesná, spolehlivá a bezporuchová činnost a to při provozu při značně nepříznivých podmínkách (velký rozsah provozních teplot, vlhkost, prach. . .). Tyto požadované vlastnosti by mělo zařízení vykazovat po celou dobu životnosti, která dosahuje až 50 let. V zabezpečovací technice jsou používána relé první a druhé bezpečnostní kategorie, o kterých pojednávají následující kapitoly.



### 2.3.1 Relé první bezpečnostní kategorie - typ N

Relé první bezpečnostní kategorie jsou zařízení s vnitřní technickou bezpečností, u kterých není nutné kontrolovat jejich správnou činnost. Proto jsou také označovány jako relé typu N - *non controlled*. Aby zařízení mohlo nést označení relé první bezpečnostní kategorie, musí splňovat následující požadavky:

- **Zaručený odpad kotvy gravitací při nevybuzení** - to bývá zajištěno masivní kotvou
- **Pevná mechanická vazba kotvy a kontaktů, spoluchod kontaktů** - zajišťuje plastový žebříček (viz Obr. 2.4)
- **Nesvařitelnost spínacích kontaktů do 10 A** - na tyto kontakty se volí směs uhlíku a stříbra, rozpínací kontakty nesvařitelné být nemusí

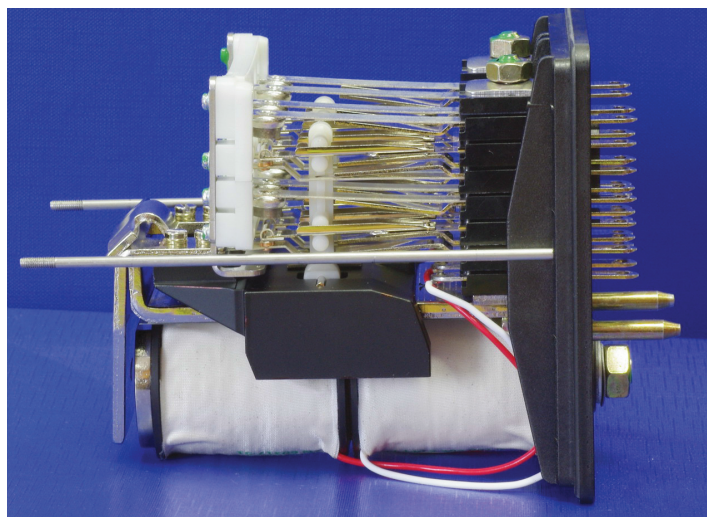


Obr. 2.4: Plastový žebříček relé NMŠ 1-2000 D [Převzato z [2]]

Relé této kategorie dosahují díky své robustnosti velkých rozměrů a jsou odolná proti vybuzení střídavým napětím o frekvenci 50 Hz až do napětí 600 V. Na železniční síti v České republice se nejčastěji používají dvoucívková malorozměrová relé typu NMŠ, případně NMŠM (N - neutrální - *neutralnoje*, M - malorozměrové - *malogabaritnoje*, Š - zástrčkové - *štepseľnoje*, M - zpožděně pracující - *medlenodějstvujučije*). Za touto zkratkou se uvádí ještě číslo udávající počet kontaktů (viz tabulka 2.1) a odpor vinutí. Například relé NMŠ 1 - 2000 (na obrázku 2.5) disponuje osmi kontakty a cívkami s odporem 2000  $\Omega$ .

Tab. 2.1: Značení počtu kontaktů relé typu NMŠ

Označení	Počet kontaktů
1	8
2	4
3	2
4	1



Obr. 2.5: Relé první bezpečnostní kategorie - NMŠ 1-2000 D [Převzato z [2]]

### 2.3.2 Relé druhé bezpečnostní kategorie - typ C

Relé druhé bezpečnostní kategorie, na rozdíl od předchozí skupiny, nemají zajištěnou vnitřní technickou bezpečnost, ale i přesto mohou být použita v bezpečných aplikacích za předpokladu, že bude kontrolována jejich správná činnost. Proto jsou také označovány jako relé typu C - *controlled*. Jejich vlastnosti jsou následující:

- **Galvanické oddělení spínacích a rozpínacích kontaktů** - nelze udělat přepínací
- **Pevná mechanická vazba kotvy a kontaktů, spoluchod kontaktů**
- **Odpad kotvy nezajištěn gravitací** - nejčastěji odpad zajišťuje pružina
- **Není zajištěna nesvařitelnost** - kontrola odpadnutí kotvy se musí provádět pomocí dohledu rozpínacího kontaktu

Relé druhé bezpečnostní kategorie jsou oproti relé první bezpečnostní kategorie podstatně menší a dosahují větší rychlosti spínání, podstatnou výhodou je i jejich nižší cena. Ale jsou také méně odolná vůči rušení (lze je vybudit proudem o frekvenci 50 Hz) a k jejich vybudění je potřeba většího výkonu. Nejčastěji je můžeme najít na rozhraní elektronických obvodů.

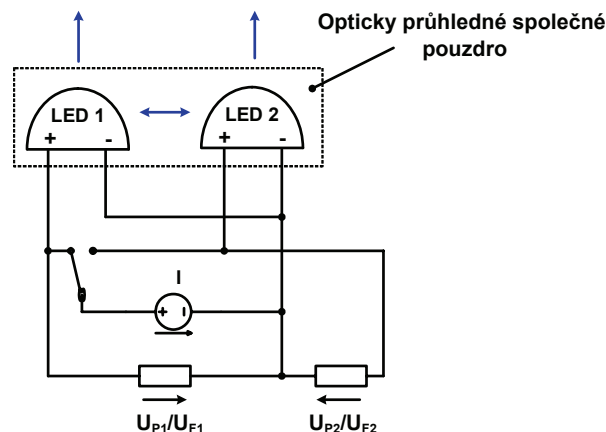
## 2.4 Problematika dohledu svícení LED žárovky

Žárovka je díky své jednoduchosti a snadné detekovatelnosti svitu zdroj světla ve světelných návěstidlech po několik desetiletí. Nicméně její špatná účinnost přeměny elektrické energie na světlo, malá odolnost vůči otřesům a krátká životnost jsou jistě důvody pro nalezení alternativního světelného zdroje. Tímto alternativním zdrojem mohou být právě

LED diody, ty disponují životností několik desítek tisíc hodin, nízkým příkonem a odolností vůči otřesům. Navíc velmi dobře snáší kmitavý režim svícení. Na druhou stranu není barva a intenzita světla vyzařovaná LED diodou stálá po celou dobu životního cyklu a pro zajištění dlouhé životnosti je třeba zajistit dobrý odvod tepla od čipu. Další velice podstatnou nevýhodou LED diod je problematický dohled jejich svitu. Jednou z možností je přímý fotometrický dohled, kdy je snímána intenzita svícení fotocitlivým prvkem, avšak i tento prvek podléhá degradaci a jeho vlastnosti se s časem mění.

### 2.4.1 Využití fotovoltaického jevu LED

Jedním z řešení dohledu svitu LED diod, popsaném v [3], je využití jejich fotovoltaického jevu. V tomto případě jsou umístěny dvě výkonové LED diody na společném opticky průhledném pouzdře (obrázek 2.6). Tyto diody ovšem nesvítili současně, ale je vždy napájena zdrojem konstantního proudu jen jedna z nich. Z druhé LED diody se vlivem těsné optické vazby stává zdroj fotovoltaického napětí  $U_F$ , které je rovno přibližně 1,5 V, zatímco na aktivní LED diodě je napětí v propustném směru  $U_P$  dané vlastnostmi použité diody. V dalším kroku si diody vymění své role. Jestliže jsou napětí  $U_P$  a  $U_F$  v požadovaných mezích, lze tvrdit, že je generován dostatečný světelný tok.



**Obr. 2.6:** Principiální řešení optoelektrického vazebního obvodu |Převzato z [3]|

Právě tento způsob vyhodnocení svitu by mohl být použit v této práci.

### 2.4.2 Dohled svitu LED diod pomocí měření napětí a proudu

Jinou možnost dohledu svitu LED diod využívá náhrada návěštní žárovky LED signal EU. LED signal EU je inovativní náhrada návěštní žárovky LED diodami od rakouské společnosti Zelisko GmbH. Tato náhrada se vyrábí v provedení pro stejnosměrné i střídavé napájení a je osazena čtyřmi, případně sedmi vysoce svítivými LED diodami. Splňuje podmínky pro úroveň integrity bezpečnosti SIL4 a podle výrobce (viz [4]) je zajištěna kompatibilita s běžně používanými dohlížecími obvody. Zařízení měří u každé LED diody

napětí a proud a kontroluje, zda jsou tyto hodnoty v příslušných mezích. Při poruše jedné LED diody by měla hodnota svitu stále splňovat požadované normy a je vyslán signál „prewarning“, při poruše druhé diody je již zařízení odpojeno. V současné době je instalováno přes 30 000 těchto náhrad a můžeme je nalézt i ve zkušebním provozu v České republice.

# 3

## Zabezpečení přenosu dat

Protože přenos dat v reálném prostředí je vystaven okolnímu rušení, je vhodné detekovat správnost přijatých dat. Proto tato kapitola pojednává právě o zabezpečení přenosu dat. Z důvodu obsáhlosti této problematiky bude primárně zaměřena na zabezpečení přenosu cyklickými kódy, které jsou nejvyužívanějšími bezpečnostními kódy z důvodu jejich jednoduchosti a dobrých detekčních schopností. Z těchto důvodů byl tento druh bezpečnostních kódů vybrán i pro zabezpečení přenosu v této práci. Detailnější informace o bezpečnostním kódování lze nalézt například v [5].

Při přenosu dat v reálném prostředí je třeba počítat s chybným přenosem kódových znaků způsobeným přítomným rušením. Tomu lze čelit použitím tzv. bezpečnostních kódů, které uměle zvyšují redundanci přenášených zpráv. Chyba přenosu znaku může být dvojí:

- záměna přenášeného znaku za jiný
- vytvoření znaku, který nebyl vyslán nebo pohlcení znaku vyslaného

Bezpečnostní kódy mohou být opravné či detekční. Detekční kódy dokáží pouze detekovat vzniklou chybu, opravné kódy navíc umožňují i některé chyby opravit.

### 3.1 Hammingova vzdálenost

Pomocí Hammingovy vzdálenosti můžeme určit detekční a korekční schopnosti kódu a je definována jako počet odlišných znaků dvou slov stejné velikosti. *Minimální Hammingova vzdálenost* je pak nejmenší možná Hammingova vzdálenost dvou různých kódových slov datového kódu.

#### 3.1.1 Detekční a korekční schopnost kódu

Detekční schopnost kódu můžeme určit podle rovnice 3.1, kde  $d$  je minimální Hammingova vzdálenost a  $\alpha$  maximální možný počet detekovaných chyb.

$$\alpha \leq d - 1 \tag{3.1}$$

Obdobně lze určit dle rovnice 3.2 počet chyb, které je možné v daném kódu opravit -  $\beta$ .

$$\beta \leq \frac{d-1}{2} \quad (3.2)$$

## 3.2 Lineární blokové kódy

Protože cyklické kódy jsou podskupinou lineárních blokových kódů, je v této části stručně nastíněna jejich problematika.

Lineární kódy se vyznačují tím, že libovolná kódová kombinace kódových slov vede opět ke kódovanému slovu. Obecně se značí jako  $(n,k)$  kódy, kde  $k$  je počet informačních znaků a  $n$  celková délka kódu. Počet redundantních zabezpečujících bitů je tedy dán vztahem 3.3.

$$r = n - k \quad (3.3)$$

*Blokový kód* je takový kód, u kterého je délka všech kódových slov  $n$  konstantní.

### 3.2.1 Generující matice

Pro sestavení *generující matice*  $G$  je třeba nejprve najít tzv. *bázi vektoru*, což je minimální množina vektorů, z nichž lze operacemi sčítání a násobení modulo 2 sestavit všechna slova daného kódu. Tento bázeový vektor nezabezpečeného kódového slova tvoří matici  $E$ . Přidáním matice zabezpečujících prvků  $R$  pak můžeme sestavit *generující matici systematického kódu*:

$$G = [E|R] \quad (3.4)$$

Jednotlivé řádky této matice jsou lineárně nezávislé. Zabezpečené slovo  $v$  lze získat vynásobením nezabezpečeného slova  $u$  touto maticí:

$$v = u \cdot G \quad (3.5)$$

### 3.2.2 Kontrolní matice

*Kontrolní matice*  $H$  slouží k ověření bezchybného přenosu zabezpečeného slova. Sestavit ji lze dle vztahu 3.6, kde  $E$  je bázeový vektor slova a  $R$  matice zabezpečujících prvků.

$$H = [-R^T|E] \quad (3.6)$$

Ověření správnosti přijaté zprávy se provádí vypočtením *syndromu*  $S$  (rovnice 3.7), kdy je přijatá zpráva  $w$  vynásobena transponovanou kontrolní maticí  $H$ . Je-li syndrom nulový, pak bylo slovo přijaté bez chyb.

$$S = w \cdot H^T \quad (3.7)$$

### 3.3 Cyklické kódy

Cyklické kódy jsou nejrozšířenější podskupinou kódů lineárních. Za jejich širokým uplatněním stojí dobré detekční schopnosti osamělých chyb, ale i shluků chyb. Další jejich výhodou je snadná hardwarová realizace pomocí zpětnovazebních posuvných registrů a poměrně nenáročná realizace softwarová. Primárně byly tyto kódy určeny k detekci chyb, ale dají se použít i k jejich opravě.

Cyklickým kódem můžeme nazývat takový lineární kód, který obsahuje s každým kódovým slovem  $a = a_0a_1a_2 \dots a_{n-1}$  také slovo  $a' = a_{n-1}a_0a_1 \dots a_{n-2}$ , které vzniklo cyklickým posunem slova  $a$ .

Pro snazší matematický popis těchto kódů se používá zápis pomocí polynomů, který získáme pomocí přepisu:

$$a_0a_1a_2 \dots a_{n-1} = a_0 + a_1x + a_2x^2 \dots a_{n-1}x^{n-1} \quad (3.8)$$

Odtud také vznikl alternativní název - *polynomické kódy*. Cyklický posun pak můžeme provést vynásobením polynomu proměnnou  $x$ . Protože platí vztah 3.9, koeficient, který vznikl násobením  $x \cdot x^{n-1}$  se přesouvá na začátek slova.

$$x^n \bmod (x^n - 1) = 1 \quad (3.9)$$

Matematické operace s těmito polynomy podléhají pravidlům operací modulo 2.

#### 3.3.1 Generující polynom

Každý cyklický  $(n, k)$  kód obsahuje generující mnohočlen  $g(x)$  stupně  $n - k$ , pro který platí, že  $g_0 \neq 0$  a  $g_{n-k} \neq 0$ . V opačném případě by tyto bity nenesli žádnou informaci a byl by degradován řád generujícího polynomu. Dále musí být polynom  $g(x)$  dělitelný beze zbytku polynomem  $x^n - 1$ . Pomocí polynomu  $g(x)$  lze vytvořit generující matici  $G$ , kde každý řádek vznikne cyklickým posunem řádku předchozího. Matice  $G$  pak bude mít následující podobu:

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ xg(x) \\ \vdots \\ x^{k-1}g(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{n-k} & g_{n-k-1} & \dots & g_1 & g_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & g_{n-k} & g_{n-k-1} & \dots & g_1 & g_0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & & & & & \\ 0 & 0 & \dots & 0 & g_{n-k} & g_{n-k-1} & g_{n-k-2} & \dots & g_0 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

### 3.3.2 Kontrolní polynom

Kontrolní polynom cyklického kódu  $h(x)$  se spočte dle rovnice 3.11 a následně z něj lze získat cyklickými posuvy kontrolní matici  $H$ , obdobně jako u předchozího případu.

$$H = \frac{x^n - 1}{g(x)} \quad (3.11)$$

### 3.3.3 Nesystematické kódování

Nesystematické kódování je jedna z možností, jak zabezpečit slovo pomocí cyklických kódů. Podstata tohoto kódování je založena na násobení generujícím polynomem, případně generující maticí. Od kódování systematického se liší tím, že výsledné slovo neobsahuje informační slovo v původní podobě.

Je-li slovo interpretováno pomocí bitového vektoru  $u = u_{k-1} \dots u_1 u_0$ , pak výsledné slovo  $v$  stupně  $n-1$  získáme vynásobením nezabezpečeného slova  $u$  generující maticí  $G$ :

$$v = u \cdot G$$

$$= [u_{k-1} u_{k-2} \dots u_1 u_0] \cdot \begin{bmatrix} g_{n-k} & g_{n-k-1} & \dots & g_1 & g_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & g_{n-k} & g_{n-k-1} & \dots & g_1 & g_0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & & & & & \\ 0 & 0 & \dots & 0 & g_{n-k} & g_{n-k-1} & g_{n-k-2} & \dots & g_0 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Druhou možností je slovo  $u$  vyjádřit jako polynom  $u(x) = (u_{k-1}x^{k-1} + u_{k-2}x^{k-2} + \dots + u_1x + u_0)$  a vynásobit generujícím polynomem  $g(x)$ :

$$v(x) = u(x) \cdot g(x)$$

$$= (u_{k-1}x^{k-1} + u_{k-2}x^{k-2} + \dots + u_1x + u_0) \cdot (g_{k-1}x^{k-1} + g_{k-2}x^{k-2} + \dots + g_1x + g_0) \quad (3.13)$$

#### Příklad:

Mějme informační slovo  $u = 1010$  a generující mnohočlen  $g = 1101$ . Výsledné slovo  $v$  se pak vypočte následovně:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Případně lze slovo  $u$  a generující polynom  $g$  přepsat do tvaru mnohočlenu jako  $u(x) = x^3 + x$  a  $g(x) = x^3 + x^2 + 1$  a následně vypočítat zakódované slovo  $v$ :

$$v(x) = (x^3 + x) \cdot (x^3 + x^2 + 1)$$

$$= x^6 + x^5 + x^3 + x^4 + x^3 + x$$

$$= x^6 + x^5 + x^4 + x \quad (3.15)$$



Oba způsoby vedou na stejný výsledek, ze kterého není na první pohled patrné kódované slovo, jedná se tedy o nesystematické kódování.

### 3.3.4 Systematické kódování

Další možností, jak zakódovat slovo  $u$  cyklickým kódem je systematické kódování, které vychází z dělení generujícím polynomem  $g(x)$ , dle rovnice 3.16.

$$\frac{u(x) \cdot x^{n-k}}{g(x)} = q(x) + r(x) \quad (3.16)$$

Operací  $u(x) \cdot x^{n-k}$  je posunuto slovo  $u$  o  $(n-k)$  míst doleva a zprava je doplněno nulami. Takto upravený mnohočlen se vydělí generujícím polynomem  $g(x)$ . Na pravé straně rovnice se nachází podíl  $q(x)$ , který nebude dále použit, a zbytek po dělení  $r(x)$ , ten se následně připojí za kódované slovo. Výsledné zakódované slovo má pak tvar:

$$v(x) = u(x) \cdot x^{n-k} + r(x) \quad (3.17)$$

Takto zakódované slovo je již dělitelné generujícím polynomem  $g(x)$  beze zbytku. Polynom  $r(x)$ , který nese zabezpečující informaci, bývá také často označován zkratkou CRC (*Cyclic Redundancy Check*).

#### Příklad:

Mějme kódové slovo  $u(x) = x^3 + x^2 + x$  a generující polynom  $g(x) = x^3 + x^2 + 1$ . Nejprve je třeba provést posun slova  $u(x)$  o  $(n-k)$ , tím dostaneme polynom  $x^6 + x^5 + x^4$ , se kterým se bude dále pracovat následujícím způsobem:

$$\begin{array}{r} x^6 + x^5 + x^4 + 0 + 0 + 0 + 0 : x^3 + x^2 + 1 = x^3 + x \\ -(x^6 + x^5 + 0 + x^3) \\ \hline x^4 + x^3 \\ -(x^4 + x^3) + 0 + x \\ \hline \mathbf{x} = \mathbf{r(x)} \end{array} \quad (3.18)$$

Případně lze tuto operaci provést v binární podobě pomocí operace nonekvivalence XOR:

$$\begin{array}{r} 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 : 1 \ 1 \ 0 \ 1 = 1 \ 0 \ 1 \ 0 \\ \oplus 1 \ 1 \ 0 \ 1 \\ \hline 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \\ \oplus \quad 1 \ 1 \ 0 \ 1 \\ \hline \mathbf{0 \ 1 \ 0} = \mathbf{r(x)} \end{array} \quad (3.19)$$

Důležitým výstupem těchto operací je zbytek po dělení  $r(x)$ , který se přidá za kódované slovo. Zakódované slovo bude pak mít podobu  $v(x) = x^6 + x^5 + x^4 + x$  případně binárně  $v = 1110010$ .

### 3.3.5 Dekódování

Dekódování cyklického kódu má stejný průběh bez ohledu na to, zda byla zpráva zakódována systematicky nebo nesystematicky. Podmínkou je, aby dekodování probíhalo se stejným generujícím mnohočlenem  $g(x)$ , kterým musí být přijatá zpráva  $w(x)$  dělitelná beze zbytku. Je-li zbytek po tomto dělení nenulový, je to informace o tom, že byla zpráva přijatá s chybou. U nesystematického kódování je navíc výsledný podíl požadovanou zprávou nesoucí data. U systematického kódování se při nulovém zbytku pouze oddělí část s CRC kódem a zbylá informační část přijaté zprávy se prohlásí za platnou.

Zbytek po dělení můžeme také označovat jako *syndrom*  $s(x)$ , který u jednonásobné chyby ukazuje na pozici chybného znaku. Pro generující polynom třetího řádu platí tabulka 3.1.

**Tab. 3.1:** Tabulka syndromů jednonásobné chyby

syndrom	pozice chyby
000	bez chyby
001	0
010	1
100	2
101	3
111	4
011	5
110	6

#### Příklad:

Vycházejme z nesystematicky zakódované zprávy z kapitoly 3.3.3, kde je zakódovaná zpráva  $u(x) = x^6 + x^5 + x^4 + x$ . Do tohoto slova nyní vložíme chybu na pozici  $x^2$ , přijímat poté budeme slovo  $w(x) = x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + x$ , které následně vydělíme generujícím polynomem  $g(x)$ :

$$\begin{array}{r}
 x^6 + x^5 + x^4 + 0 + x^2 + x + 0 : x^3 + x^2 + 1 = x^3 + x \\
 -(x^6 + x^5 + 0 + x^3) \\
 \hline
 x^4 + x^3 + x^2 + x \\
 -(x^4 + x^3 + 0 + x) \\
 \hline
 x^2 + 0 + 0 = s(x)
 \end{array} \tag{3.20}$$

Případně v binární podobě:

$$\begin{array}{r}
 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ : \ 1\ 1\ 0\ 1 = 1\ 0\ 1\ 0 \\
 \oplus 1\ 1\ 0\ 1 \\
 \hline
 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1 \\
 \oplus \quad 1\ 1\ 0\ 1 \\
 \hline
 1\ 0\ 0 = s(x)
 \end{array} \tag{3.21}$$

Po vydělení vyšel syndrom  $s(x) = x^2$  ( $s = 100$ ), z tabulky 3.1 pak zjistíme, že byl přijat chybný znak na pozici 2, tedy  $x^2$ . Po opravě této chyby provedeme znovu kontrolní dělení polynomem  $g(x)$ :

$$\begin{array}{r}
 x^6 + x^5 + x^4 + 0 + 0 + x + 0 : x^3 + x^2 + 1 = x^3 + x \\
 -(x^6 + x^5 + 0 + x^3) \\
 \hline
 x^4 + x^3 + 0 + x \\
 -(x^4 + x^3 + 0 + x) \\
 \hline
 0 + 0 + 0
 \end{array} \tag{3.22}$$

Nyní již vyšlo dělení beze zbytku a můžeme považovat přijaté slovo  $x^3 + x$  za platné. V opačném případě, když by byl zbytek opět nenulový, by se jednalo o vícenásobnou chybu, kterou nedokážeme opravit a zpráva by nebyla akceptována.

### 3.3.6 Obvodové řešení kodéru

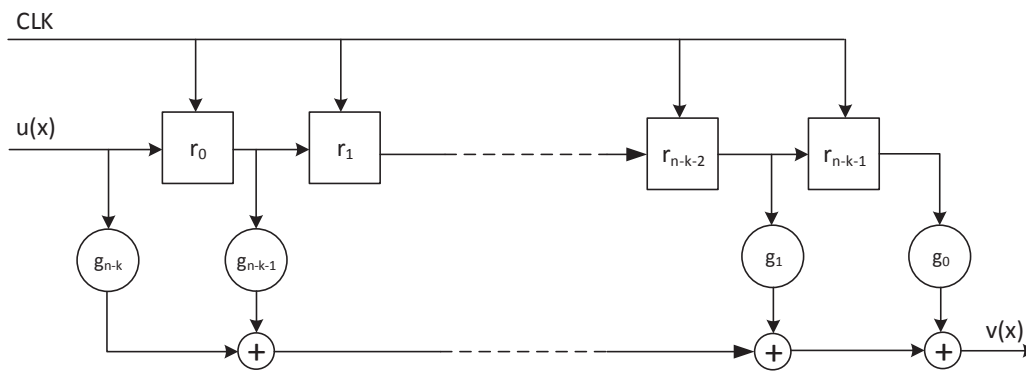
Jak již bylo řečeno, cyklické kódy se dají poměrně snadno hardwarově realizovat pomocí posuvných registrů a hradel XOR.

#### 3.3.6.1 Nesystematický kodér

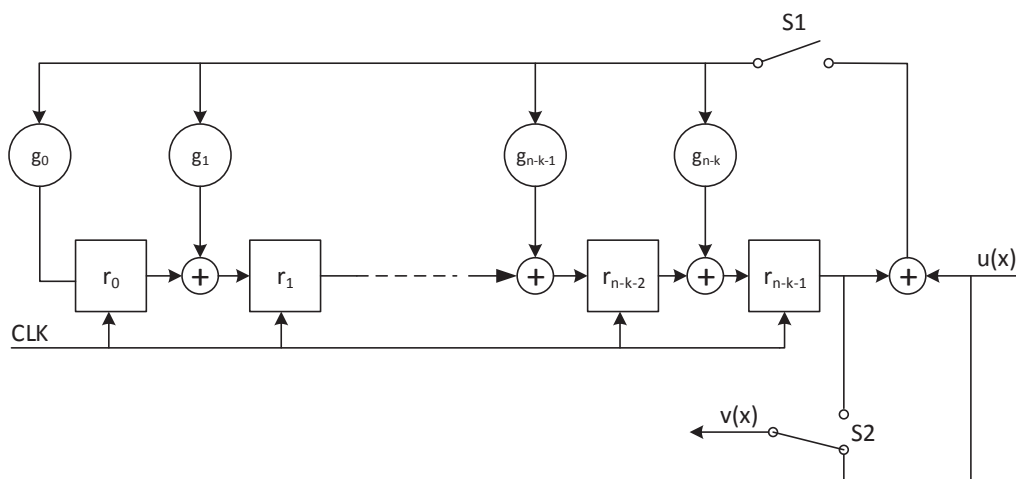
Na obrázku 3.1 je znázorněno schéma kodéru nesystematického cyklického  $(n, k)$  kódu. Princip tohoto kodéru je takový, že v  $k$  krocích se synchronně s hodinovými pulzy přivádí na vstup kodéru sériově slovo  $\mathbf{u}(\mathbf{x})$ . Následně je na vstup přivedena hodnota logické 0 a po dalších  $(n - k)$  hodinových pulzech je vysláno celé slovo  $\mathbf{v}(\mathbf{x})$  o délce  $n$ .

#### 3.3.6.2 Systematický kodér

Obvodové řešení systematického kodéru cyklického kódu (obrázek 3.1) je velmi podobné předchozímu případu. Vstupní slovo  $\mathbf{u}(\mathbf{x})$  je v  $k$  krocích sériově posíláno synchronně s taktem hodin  $\mathbf{CLK}$  do kodéru a zároveň na sériový výstup při sepnutém spínači  $\mathbf{S1}$  a přepínači  $\mathbf{S2}$  v dolní poloze. Poté je spínač  $\mathbf{S1}$  odpojen a přepínač  $\mathbf{S2}$  přepnut do horní pozice. V následných  $(n - k)$  hodinových pulzech je na výstup posílán kontrolní součet (CRC).



Obr. 3.1: Obvodové řešení kodéru nesystematického cyklického kódu



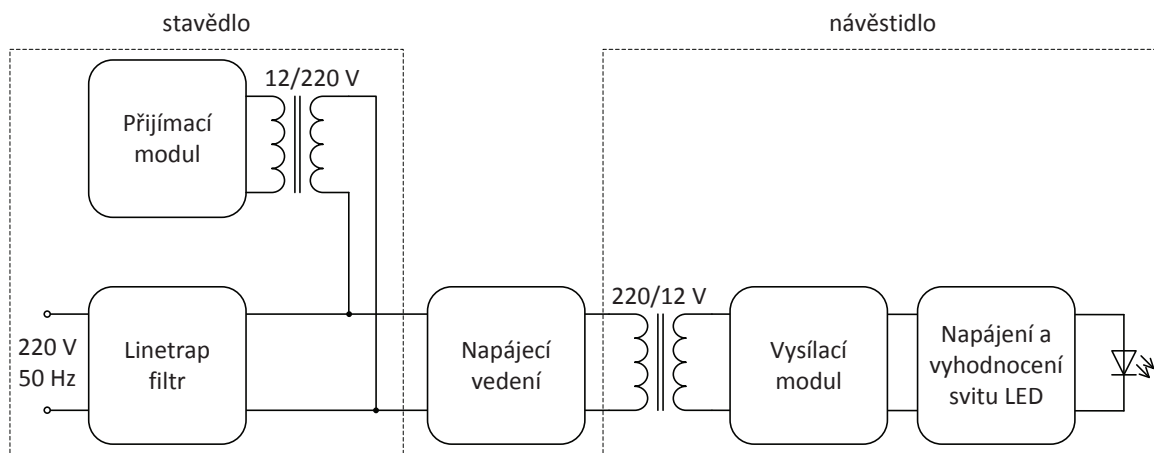
Obr. 3.2: Obvodové řešení kodéru systematického cyklického kódu

# 4

## Návrh přenosového systému

Požadavky pro přenos informace o svitu návěstní svítilny nejsou příliš náročné na rychlost samotného přenosu. Požaduje se, aby se tato informace přenesla během rychlého kmitání návěstního znaku s frekvencí 1,8 Hz. Perioda této kmitavé návěsti je pak rovna  $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1,8} = 0,555$  s. Návěstní žárovka svítí jen polovinu této periody, to znamená, že by tato informace měla být přenesena za dobu kratší než 278 ms.

Na obrázku 4.1 je schéma navrženého přenosového řetězce. Z něj je patrné, že informace vygenerovaná z vysílacího modulu musí překonat návěstní transformátor, napájecí vedení a následně zvolený transformátor pro napájení přijímacího modulu. Obvody pro napájení a vyhodnocení svitu LED diod nejsou v této práci řešeny.

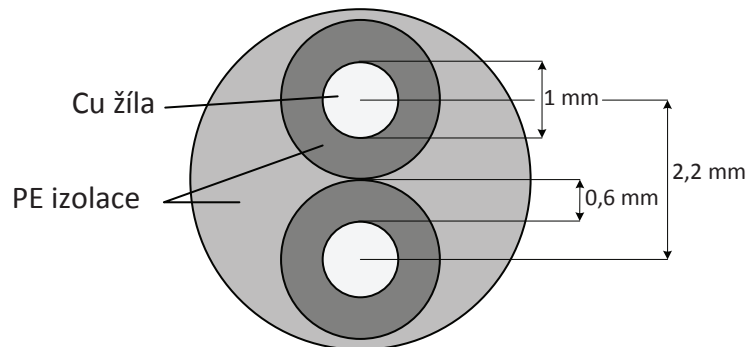


Obr. 4.1: Schéma přenosového řetězce

### 4.1 Vlastnosti napájecího vedení

Protože je nutné přenášet informaci přes napájecí vedení, bylo nutné znát jeho parametry, které by mohly být kritické pro přenos. Tato napájecí vedení většinou dosahují délky do 1 km, případně 2 km u předvěstí. Nejčastěji jsou tato vedení tvořena dvou vodičovým

vedením složeným z měděných drátů o průměru 1 mm s polyethylenovou (PE) izolací o síle 0,6 mm. Z toho byly vypočteny základní parametry vedení, tedy měrná indukčnost (rovnice 4.1), měrná kapacita (rovnice 4.2) a měrný odpor (rovnice 4.3).



**Obr. 4.2:** Uspořádání dvou vodičového vedení

$$\begin{aligned}
 L &= l \frac{\mu_0}{\pi} \ln \frac{d}{r} \\
 &= 1000 \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{\pi} \ln \frac{2,2 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \\
 &= 5,9 \mu\text{H/km}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

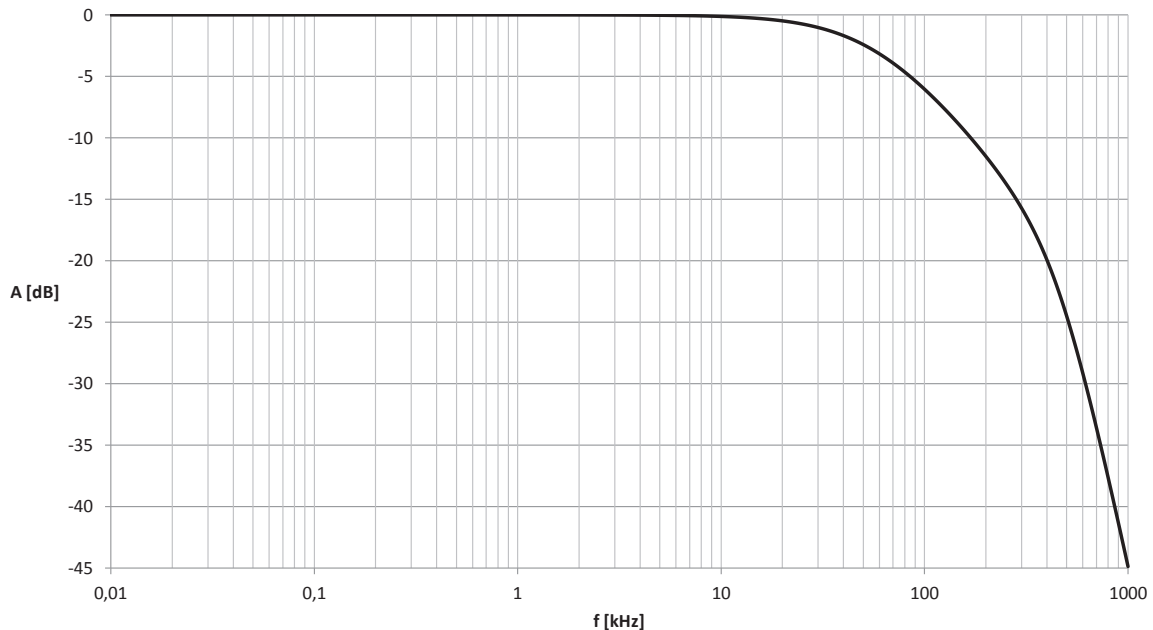
$$\begin{aligned}
 C &= \frac{\pi \varepsilon_r \varepsilon_0 l}{\ln \left( \frac{d}{2r} + \sqrt{\left( \left( \frac{d}{2r} \right)^2 - 1\right)} \right)} \\
 &= \frac{\pi \cdot 2,4 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1000}{\ln \left( \frac{2,2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} + \sqrt{\left( \left( \frac{2,2 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \right)^2 - 1\right)} \right)} \\
 &= 54,5 \text{ nF/km}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{\rho l}{S} \\
 &= \frac{169 \cdot 10^{-10} \cdot 1000}{\pi \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2} \\
 &= 21,5 \Omega/\text{km}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

V těchto rovnicích je délka vedení  $l = 1000$  m, vzdálenost mezi vodiči  $d = 2,2$  mm, poloměr vodičů  $r = 0,5$  mm, permeabilita vakua  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}}$ , permitivita vakua  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ , relativní permitivita PE  $\varepsilon_r = 2,4$  a rezistivita mědi  $\rho = 169 \cdot 10^{-10} \Omega\text{m}$ .

U těchto vztahů nebyla pro zjednodušení uvažována změna parametrů vlivem rostoucí frekvence, u měrné kapacity vedení byla uvažována pouze kapacita mezi vodiči a také byl zanedbán svod vedení.

Díky těmto parametrům mohlo být vedení nasimulováno a mohla být ověřena jeho frekvenční charakteristika. Na obrázku 4.3 je zobrazena frekvenční charakteristika tohoto vedení o délce 2 km vygenerovaná programem PSpice.



**Obr. 4.3:** Frekvenční charakteristika simulovaného vedení o délce 2 km

## 4.2 Filtr linetrapp

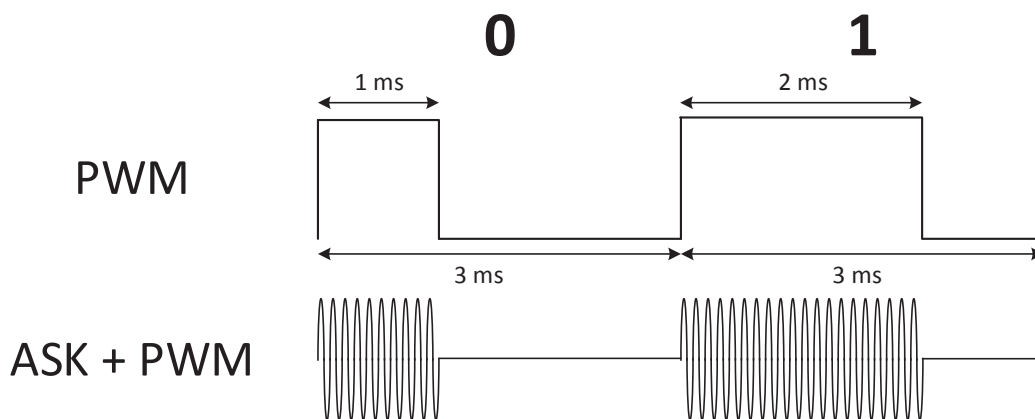
Označení linetrapp se objevuje například v [6] a označuje filtr, který slouží k tomu, aby vysokofrekvenční proud nesoucí informaci nebyl uzavírán přes rozvodnu síťového napětí, ale přes vazební transformátor. Další funkcí tohoto filtru je omezení vysokofrekvenčního signálu vyzařovaného do sítě.

Podoba tohoto filtru může být různá, často je složen z jednoho nebo více T-člankových filtrů, v nejjednodušší podobě se může jednat pouze o sériově zapojenou indukčnost. V realizovaném přenosovém systému bylo použito návěštní proudové relé, které disponuje poměrně velkou indukčností.

## 4.3 Podoba přenášeného signálu

Pro přenos bylo pro svou jednoduchost zvoleno amplitudové klíčování (ASK) v kombinaci s pulzně šířkovou modulací (PWM), kde je skokově měněna střída v závislosti na přenášeném znaku. S ohledem na frekvenční charakteristiku vedení byla stanovena modulační

frekvence 10 kHz. Perioda PWM pak musí být několikanásobně vyšší než perioda modulační frekvence, aby bylo možné signál správně demodulovat, v tomto případě byla zvolena perioda 3 ms. Dále musí být střída PWM pro jednotlivé znaky dobře rozlišitelná. Zde byla pro znak 0 zvolena střída  $\frac{1}{3}$  a pro znak 1 střída  $\frac{2}{3}$ . V jedné půlperiodě se pak přenesou 3 znaky, za posledním znakem z této trojice je následně generován krátký impulz pro rozpoznání střídy tohoto znaku. Způsob modulování binárního znaku podle zmíněných pravidel je znázorněn na obrázku 4.4.



**Obr. 4.4:** Amplitudové klíčování v kombinaci s pulzně šířkovou modulací

Přenos dat probíhá pouze v jedné půlperiodě napájecí frekvence 50 Hz, v druhé půlperiodě jsou napájeny obvody komunikačních modulů. Pro zajištění přenosu po celou periodu by bylo nutné umístit před usměrňovače těchto modulů další linetrap filtry.

### 4.3.1 Úvodní znak

Úvodní znak bylo nutné odlišit od ostatních znaků, aby bylo možné jasně identifikovat začátek posílané zprávy. Tento úvodní znak je charakterizován tím, že je generována frekvence 10 kHz po celou dobu jedné vysílací půlperrody, tedy 10 ms.

### 4.3.2 Struktura přenášené zprávy

Důležitou součástí přenášené zprávy je kontrolní součet, pro který bylo nezbytné zvolit vhodný generující polynom. S narůstajícím řádem generujícího polynomu se zvyšuje zabezpečení dat, ale zároveň narůstá velikost výsledné zprávy. S ohledem na pomalou přenosovou rychlost byl zvolen generující polynom osmého řádu používaný v ADSL, tedy  $g(x) = x^8 + x^2 + x + 1$ . Pro samotnou informaci o svitu bylo vyhrazeno 8 bitů, dalších 8 bitů obsahuje kontrolní součet CRC. Výsledná zakódovaná slova mají minimální Hammingovu vzdálenost  $d = 4$  a je možné odhalit všechny trojnásobné chyby.



**Tab. 4.1:** Struktura posílané zprávy

Úvodní znak	Informační slovo - 8 bitů	CRC - 8 bitů
-------------	---------------------------	--------------

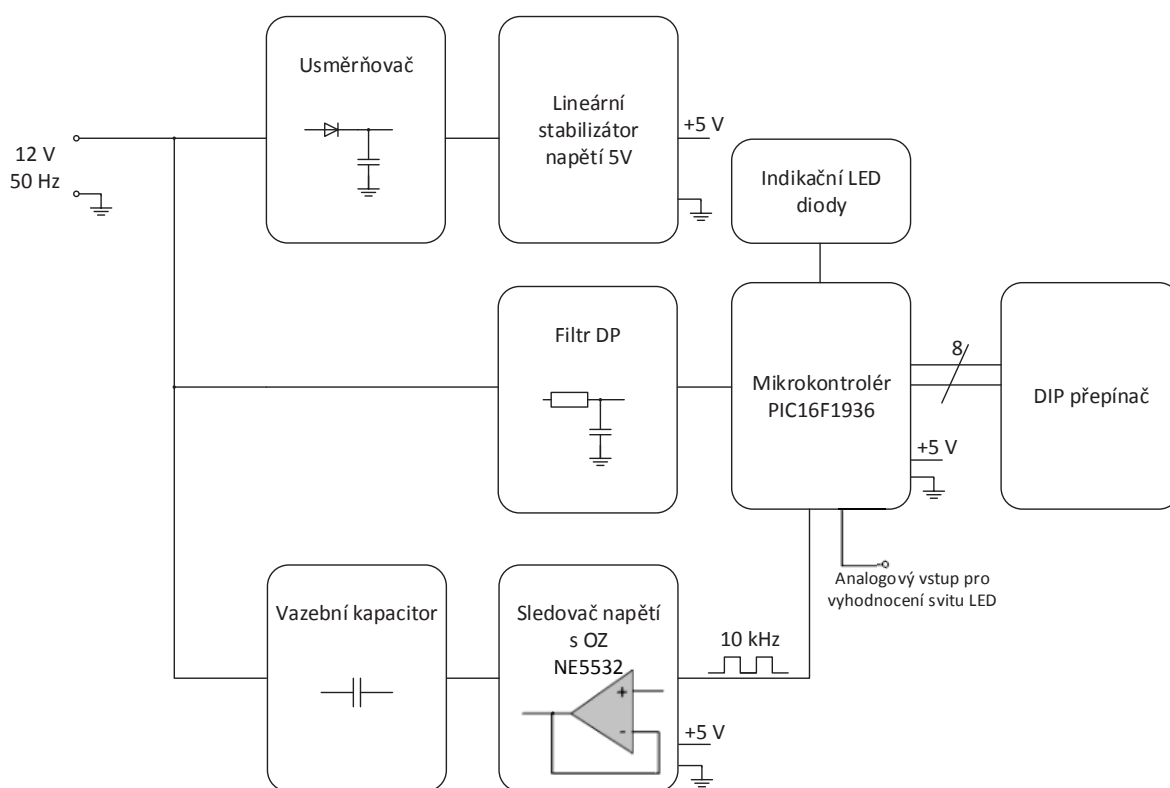
### 4.3.3 Rychlost přenosu

Při periodě PWM 3 ms se ve vysílací půlperiodě odešlou právě 3 znaky. Všechna šestnáct bitů včetně kontrolního součtu se tedy přeneší za 6 period napájecí frekvence. K tomu je nutné připočítat ještě jednu půlperiodu určenou pro úvodní znak. Výsledné slovo se pak bude přenášet s periodou  $T = 7 \cdot 20 \text{ ms} = 140 \text{ ms}$ . V aktivním stavu rychlé kmitavé návěsti (278 ms) by se tedy informace o svitu návěstní svítilny mohla přenést dvakrát.

# 5

## Vysílací modul

V této kapitole bude podrobně popsána realizace vysílacího modulu, jehož schématický diagram je na obrázku 5.1. Na vstupní svorky tohoto modulu je přivedeno střídavé napětí 12 V/ 50 Hz, ze kterého je zařízení napájeno v kladné půlperiodě přes jednocestný usměrňovač a lineární stabilizátor napětí. Záporná půlperioda je pak využita k odesílání namodulované informace, která je generována přímo z IO pinu mikrokontroléru a následně impedančně oddělena sledovačem napětí s operačním zesilovačem **NE5532**. Vazební kapacitor pak slouží k oddělení stejnosměrné složky signálu a jeho navázání na napájecí vedení.



Obr. 5.1: Schématický diagram vysílací části

Dále je vstupní napětí připojeno přes filtr typu dolní propust na komparátor mikrokontroléru, který určuje, kdy se budou data vysílat. Filtr zde zajišťuje, aby se na vstup komparátoru nedostávala složka o frekvenci 10 kHz.

Odesílaná data mohou být nastavena osmi-pólovým DIP přepínačem, případně může být připojena na připravený analogový vstup jednotka vyhodnocující svit LED diod.

## 5.1 Hardwarové řešení

### 5.1.1 Napájení

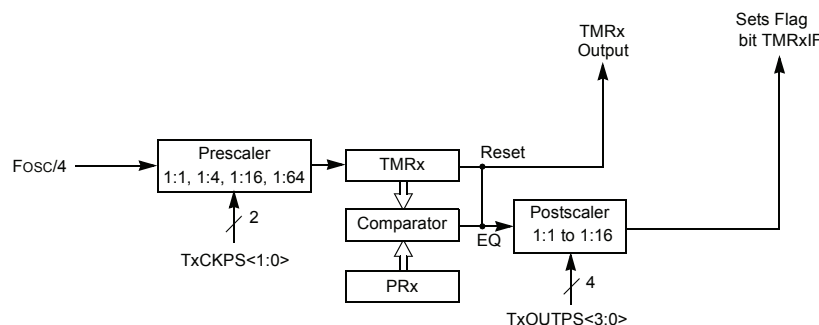
Na vstupu tohoto přípravku je připojeno střídavé napětí 12 V/ 50 Hz, které je usměrněno jednocestným usměrňovačem. Toto usměrněné napětí je dále přivedeno do lineárního stabilizátoru **LD50V**, na jehož výstupu je napětí 5 V, které napájí celý modul.

### 5.1.2 Mikrokontrolér PIC16F1934

Výběr mikrokontroléru pro tuto aplikaci nebyl příliš složitý, neboť potřebné periferní obvody jako komparátor, časovač a AD převodník obsahují i nejlevnější modely. Navíc zde není potřeba vysokého výpočetního výkonu. Nakonec byl vybrán mikrokontrolér PIC16F1934 od společnosti Microchip. Ten disponuje integrovaným RC oscilátorem, který může být naladěn až na frekvenci 16 MHz.

#### 5.1.2.1 Časovač 2

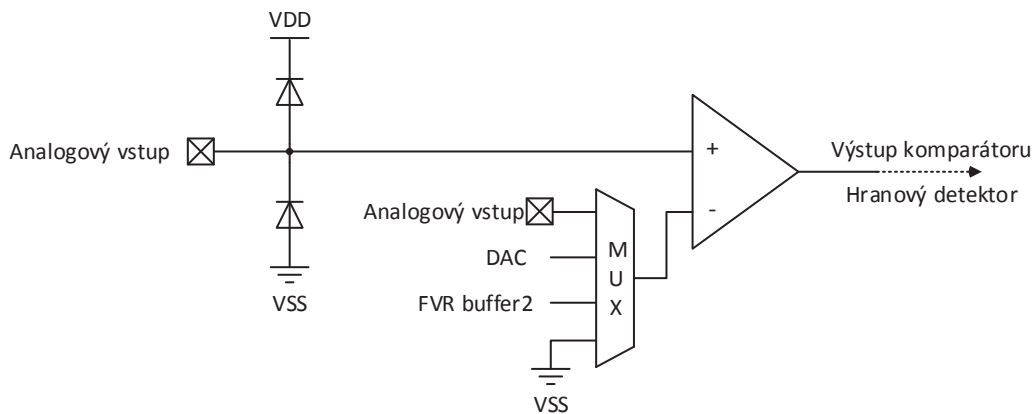
Obvody časovače 2 byly u vysílacího modulu využity ke generování signálu o frekvenci 10 kHz a amplitudě 5 V. Jedná se o osmibitový čítač, na jehož vstup je přiváděna čtyřikrát zmenšená frekvence vnitřních hodin mikrokontroléru, kterou lze dále modifikovat předděličkou. Komparátor porovnává hodnotu v registru **PR2** a hodnotu časovače **TMR2**. Při shodě těchto hodnot je časovač vynulován a je poslán puls do nastavitelné děličky, která při načtení nastaveného počtu pulzů z komparátoru vyvolá přerušení příznakovým bitem **TMR2IF**.



Obr. 5.2: Blokové schéma časovače 2 |Převzato z [7]

### 5.1.2.2 Komparátor

Komparátor v tomto modulu slouží k rozeznání kladné a záporné půlperiody napětí na vstupních svorkách. Na obrázku 5.3 je zjednodušené schéma tohoto obvodu. Na vstupu se nachází omezovací diody, které chrání pin proti přepětí. Maximální proud těmito diodami je 30 mA, musí být omezen sériově řazeným rezistorem, který je v tomto případě součástí filtru dolní propust (viz. kapitola 5.1.3).



**Obr. 5.3:** Zjednodušené schéma komparátoru

Výstup komparátoru je veden také k nastavitelným hranovým detektorům, díky kterým lze vyvolat přerušení při překlopení komparátoru. Multiplexorem lze volit komparační napětí z těchto možností:

- Napětí jiného analogového vstupu
- Výstup DA převodníku
- Výstup pevné napěťové reference (*FVR - fixed voltage reference*)
- Napěťová úroveň připojená na pin VSS

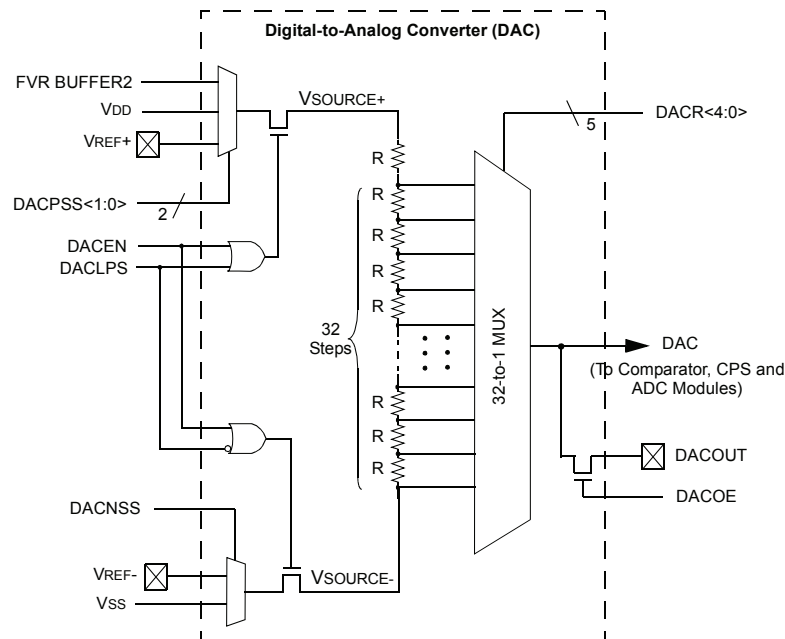
Pro detekci půlperiod bylo zvoleno komparační napětí z pinu VSS.

### 5.1.2.3 Digitálně-analogový převodník

Ačkoli je DA převodník použit v přijímacím modulu, bude pro ucelenost představen v této části práce.

Použitý mikrokontrolér disponuje pětibitovým DA převodníkem (obrázek 5.4), na jehož výstupu může být 32 různých hodnot napětí. To se volí multiplexorem pomocí registru **DACR** a jeho hodnota je dána vztahem 5.1. Toto napětí může být dále vedeno do AD převodníku, komparátoru či do jednoho z výstupních pinů. Hodnotu napětí  $V_{SOURCE+}$  lze podobně jako u komparátoru volit z několika zdrojů (FVR buffer2, napájecí napětí mikrokontroléru či napětí přivedené na analogový vstup  $V_{REF+}$ ), u napětí  $V_{SOURCE-}$  jsou tyto možnosti pouze dvě (napětí na pinu VSS případně napětí na pinu  $V_{REF-}$ ).

$$V_{OUT} = \left( (V_{SOURCE+} - V_{SOURCE-}) \cdot \frac{DACR[4:0]}{2^5} \right) + V_{SOURCE-} \quad [V] \quad (5.1)$$



Obr. 5.4: Schéma DA převodníku |Převzato z [7]|

### 5.1.3 Filtr typu dolní propust

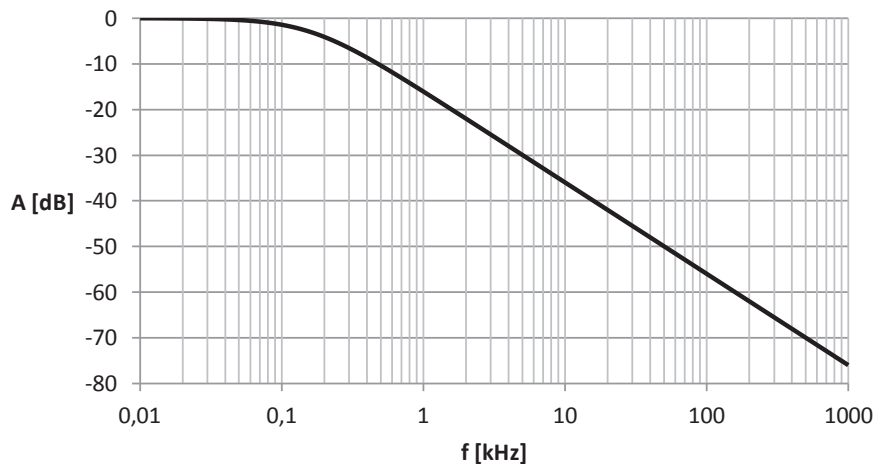
Jak již bylo řečeno, tento filtr slouží k tomu, aby se na vstup komparátoru nedostával namodulovaný signál o frekvenci 10 kHz. Navíc omezuje proud tekoucí přes omezovací diody. Jedná se o jednoduchý RC článek, jehož frekvenční charakteristika je na obrázku 5.5.

### 5.1.4 Indikační LED diody

Na výstup mikrokontroléru jsou připojeny dvě LED diody (červená a zelená). Zelená LED indikuje vysílání. Červená LED se rozsvítí v případě, že jsou odesílaná data zatížena chybou.

## 5.2 Softwarové řešení

Program pro mikrokontrolér byl vytvořen pomocí aplikace MPLab X od společnosti Microchip v programovacím jazyce C. Na obrázku 5.6 je vývojový diagram tohoto programu, který bude popsán v následujících odstavcích.



Obr. 5.5: Frekvenční charakteristika filtru použitého ve vysílacím modulu

### 5.2.1 Inicializace mikrokontroléru

Po startu mikrokontroléru proběhne nejprve jeho inicializace, při které je nastavena frekvence hodinových pulsů na 16 MHz. Dále je nastavena perioda přerušení časovače 2 na  $50 \mu s$  a je povoleno také přerušení na náběžnou i doběžnou hranu komparátoru. Nastaveny jsou také I/O piny.

### 5.2.2 Hlavní smyčka programu

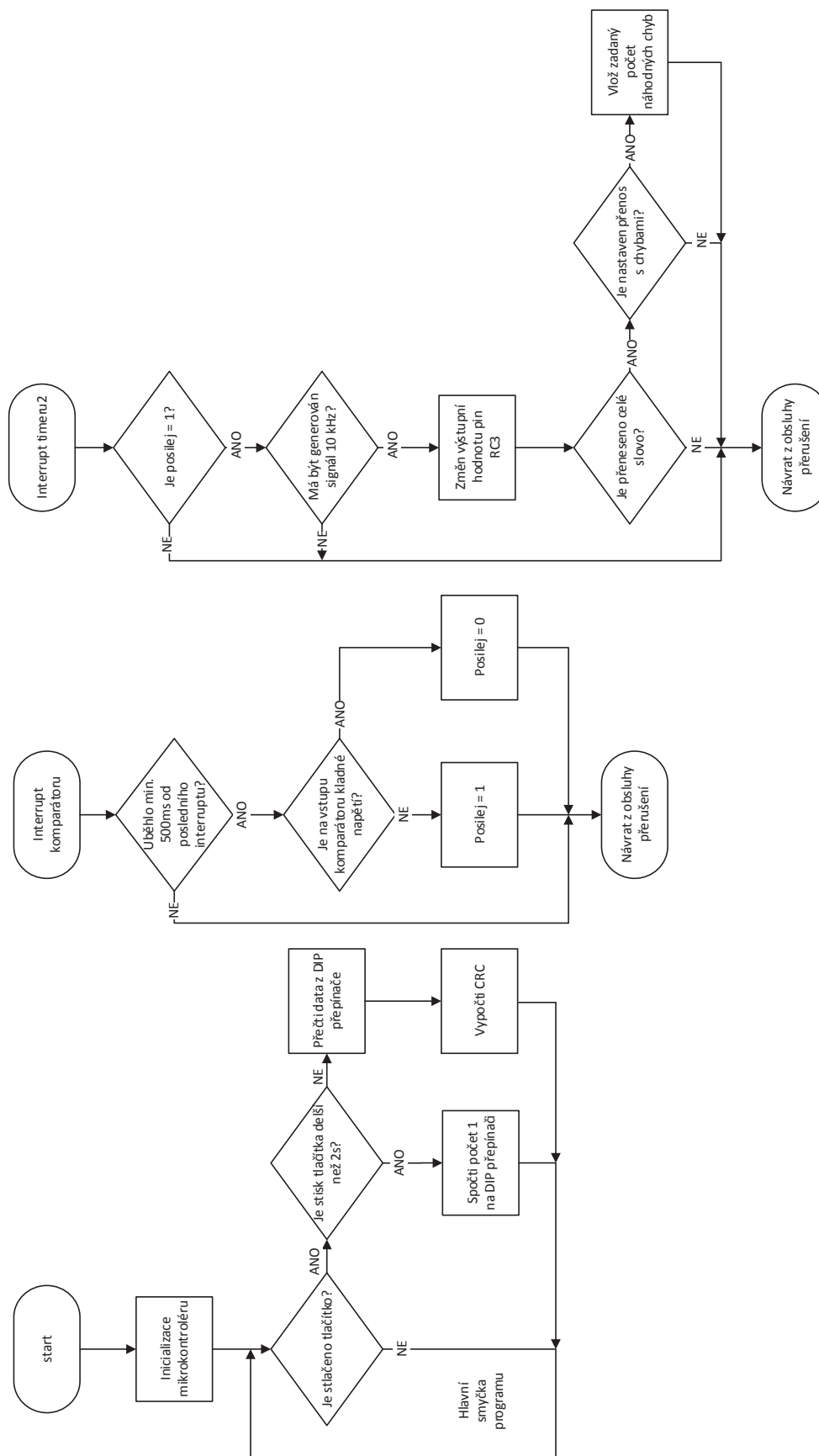
Hlavní smyčka programu slouží pro detekci stisknutého tlačítka (mikrokontrolér neumožňuje přerušení na příslušném pinu). Při krátkém stisku tlačítka jsou přečtena data z DIP přepínače, je spočtena hodnota kontrolního součtu a následně jsou tyto data včetně CRC periodicky odesílána.

Při dlouhém stisknutí tlačítka se podle počtu aktivních bitů na DIP přepínači nastaví počet chyb vložených do přenosu. V tomto případě se rozsvítí červená LED dioda a po každé odeslané zprávě se do nově odesílané vloží nastavený počet náhodných chyb.

### 5.2.3 Přerušení komparátoru

Jak bylo zmíněno výše, komparátor ve vysílacím modulu slouží pro detekci kladné a záporné půlperiody. Při přerušení vyvolaném doběžnou hranou komparátoru se povolí odesílání dat nastavením proměnné **POSILEJ** na hodnotu 1. Při náběžné hraně se naopak do této proměnné uloží hodnota 0 a přenos je zakázán.

Dále je u tohoto přerušení použit jednoduchý softwarový filtr, který umožňuje měnit hodnotu **POSILEJ** nejdříve po 5 ms od její poslední změny. Tím se zamezí tomu, aby drobné zákmity na výstupu komparátoru neznehodnotily celou přenášenou zprávu.



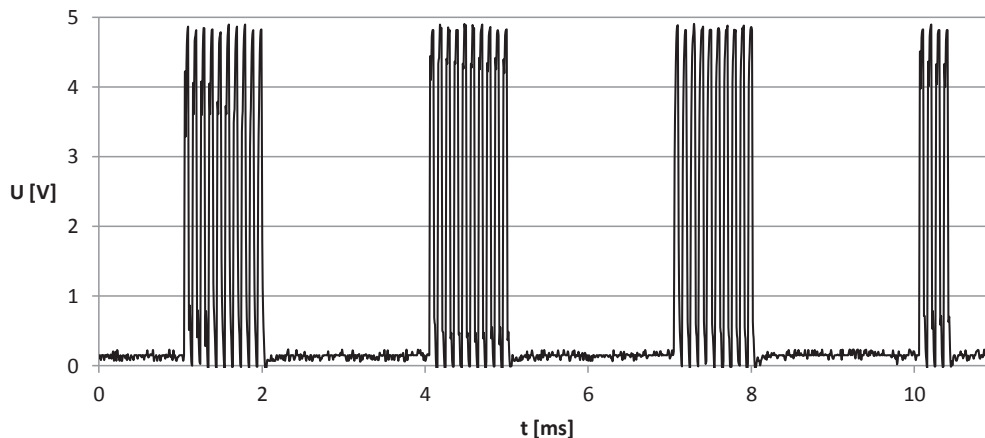
Obr. 5.6: Vývojový diagram vysílacího modulu

### 5.2.4 Přerušení časovače 2

Přerušení od časovače 2 je vyvoláváno po  $50 \mu\text{s}$  a slouží ke generování signálu o frekvenci 10 kHz. Tento signál je generován v případě, že je aktivní proměnná **POSILEJ** a samozřejmě také v závislosti na dané šířce pulsu PWM přenášeného znaku. Za posledním znakem poslaném v dané púlperiodě je také generován signál pro ohraničení vysílaného znaku.

## 5.3 Oživení vysílacího modulu

Oživení vysílacího modulu probíhalo bez výraznějších komplikací. Na obrázku 5.7 je časový průběh signálu, generovaného z výstupního pinu mikrokontroléru, s napěťovými úrovněmi 0 V a 5 V. V tomto případě byla vysílána trojice tří nulových bitů, za kterými následuje ukončovací puls ohraničující poslední bit z této trojice.

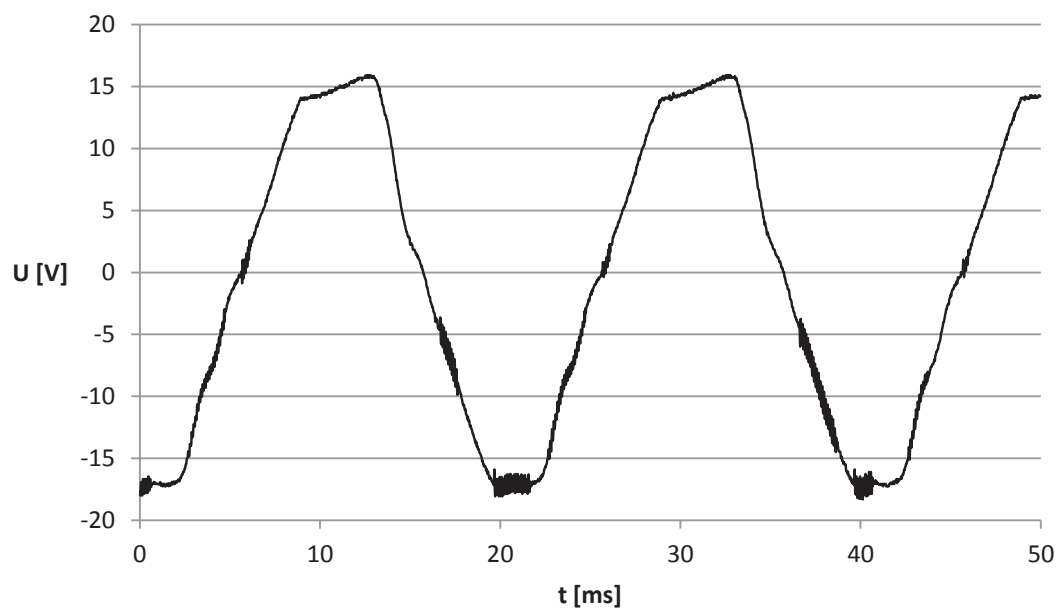


**Obr. 5.7:** Signál generovaný mikrokontrolérem

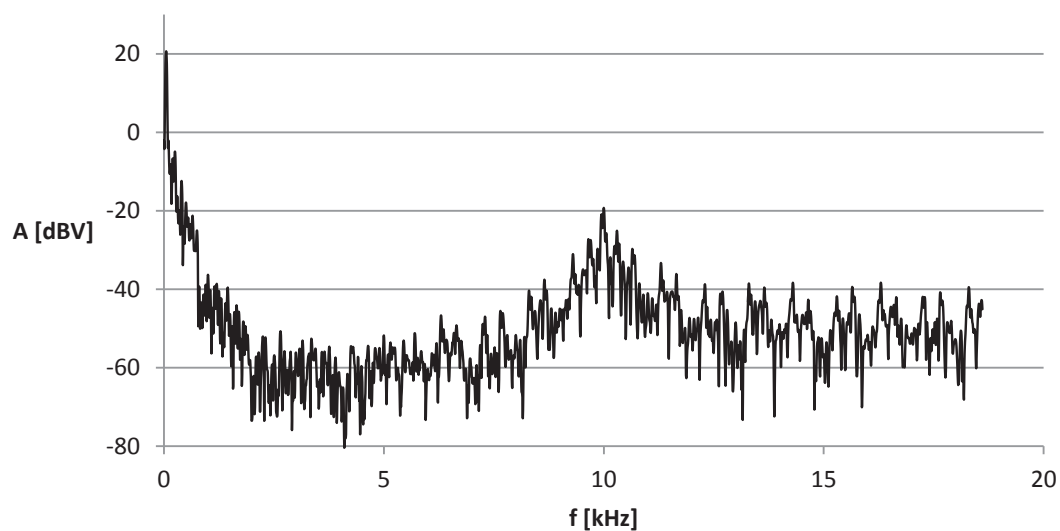
Na dalším obrázku (5.8) je tento signál již navázaný na napájecí napětí o frekvenci 50 Hz. V kladné půlplně napájecího napětí je patrná deformace sinusového průběhu způsobená jednocestným diodovým usměrňovačem.

Obrázek 5.9 zobrazuje frekvenční spektrum napájecího napětí. Nejvýraznější špička je v oblasti 50 Hz, ale je zde patrná i složka generovaného signálu 10 kHz. Frekvenční spektrum bylo vypočítané osciloskopem pomocí rychlé Fourierovy transformace.





Obr. 5.8: Naměřený průběh napětí na napájecích svorkách vysílacího modulu



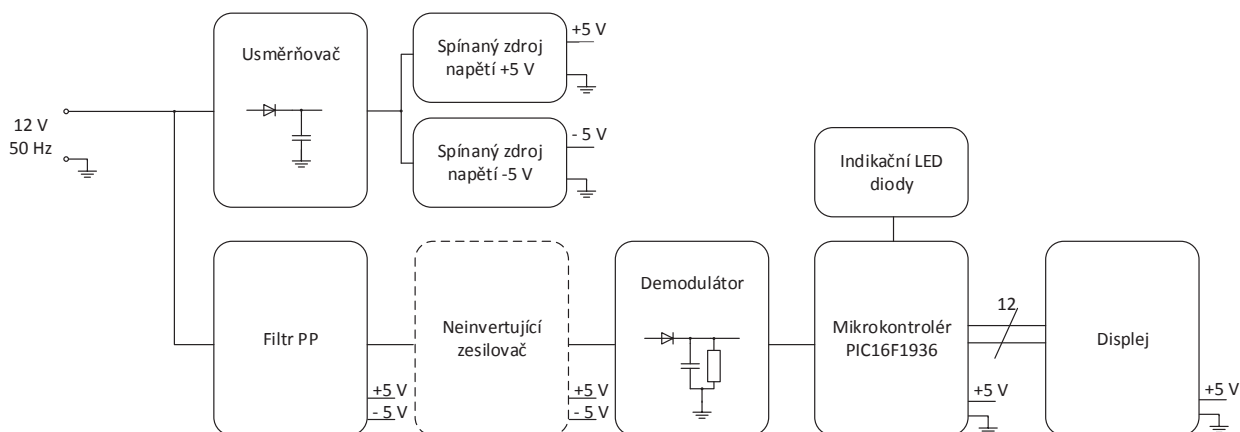
Obr. 5.9: Frekvenční spektrum napětí na napájecích svorkách vysílacího modulu

# 6

## Přijímací modul

Tato kapitola se zabývá přijímacím komunikačním modulem, jehož schématický diagram je na obrázku 6.1. Stejně jako u vysílacího modulu je na vstupní svorky připojeno napětí 12 V/ 50 Hz, ze kterého se v kladné půlčlenně napájí elektronické obvody modulu. Napájecí napětí obstarávají dva spínané zdroje, které mají na výstupu +5 V a -5 V.

V záporné půlperiodě je přijímán modulovaný signál, který je přefiltrován přes filtr typu pásmová propust, kde je i zesílen. Signál z filtru je ještě zesílen v neinvertujícím zesilovači, který se nachází mimo DPS přijímacího modulu, a následně demodulován na diodovém AM demodulátoru. Dále je signál veden na analogový vstup mikrokontroléru, kde je v komparátoru porovnáván s nastavitelným komparačním napětím (pomocí DA převodníku) a následně jsou z délky pulsů PWM vyhodnoceny jednotlivé bity. U přijatých dat se zkontroluje jejich správnost pomocí CRC a správně přijatá slova jsou zobrazena na LCD displeji spolu s dalšími diagnostickými informacemi (viz. 6.1.5).



**Obr. 6.1:** Schématický diagram přijímací části

## 6.1 Hardwarové řešení

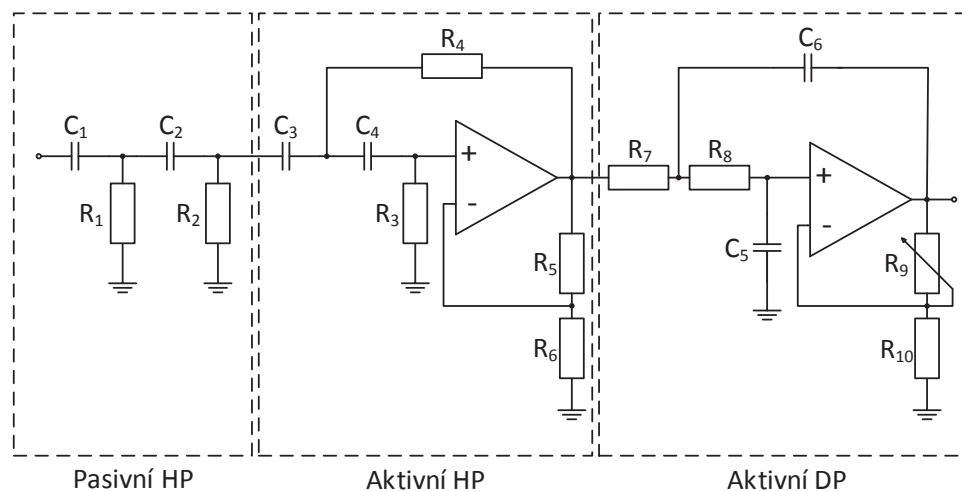
### 6.1.1 Spínaný zdroj MC34063A

Pro napájení tohoto přípravku byl využit spínaný zdroj napětí **MC34063A**. Spínané zdroje se vyznačují vysokou účinností a také možností inverze napětí, právě toho bylo využito pro napájení aktivního filtru napětím  $\pm 5$  V.

Spínací frekvence těchto měničů byla volena tak, aby se nepřekrývala se spektrem přenášeného signálu, konkrétně byla tato hodnota stanovena na 50 kHz.

### 6.1.2 Pásmová propust

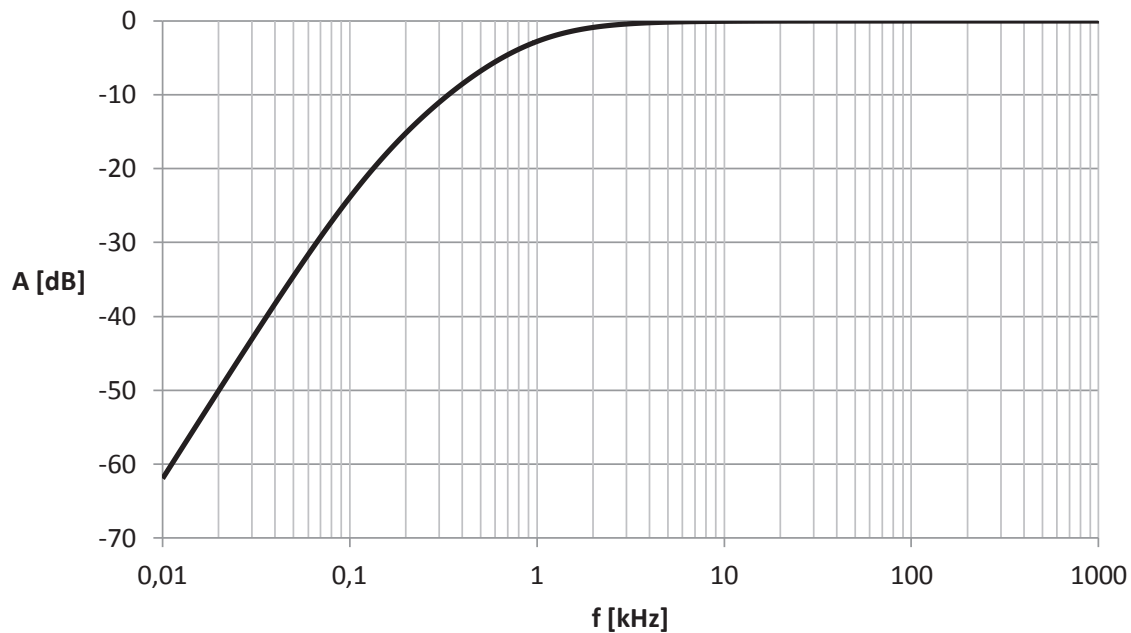
Důležitou součástí je pásmová propust, která zajišťuje výběr potřebných frekvencí nesoucích informací. Filtr se skládá ze tří částí a jeho schéma je na obrázku 6.2. První část je tvořena pasivní horní propustí, která odděluje síťovou frekvenci 50 Hz. Dalšími stupni jsou aktivní filtry horní propust a dolní propust, které zajišťují vysokou selektivitu a zesílení přenášeného signálu. Aktivní filtry byly navrženy v topologii Sallen–Key, která umožňuje dodatečné upravení zesílení odporovým trimrem  $R_9$  ve zpětné vazbě. Toto zesílení je voleno v závislosti na útlumu vedení. Při návrhu aktivních filtrů byl použit postup uvedený v [8].



Obr. 6.2: Schéma komplexního filtru PP

#### 6.1.2.1 Pasivní horní propust

Protože aktivní filtry mohou pracovat pouze s napětím v mezích napájecího rozsahu operačních zesilovačů, bylo nutné oddělit síťovou složku 12 V/ 50 Hz tímto pasivním filtrem, jehož frekvenční charakteristika je na obrázku 6.3



**Obr. 6.3:** Frekvenční charakteristika pasivní horní propusti

### 6.1.2.2 Aktivní horní propust

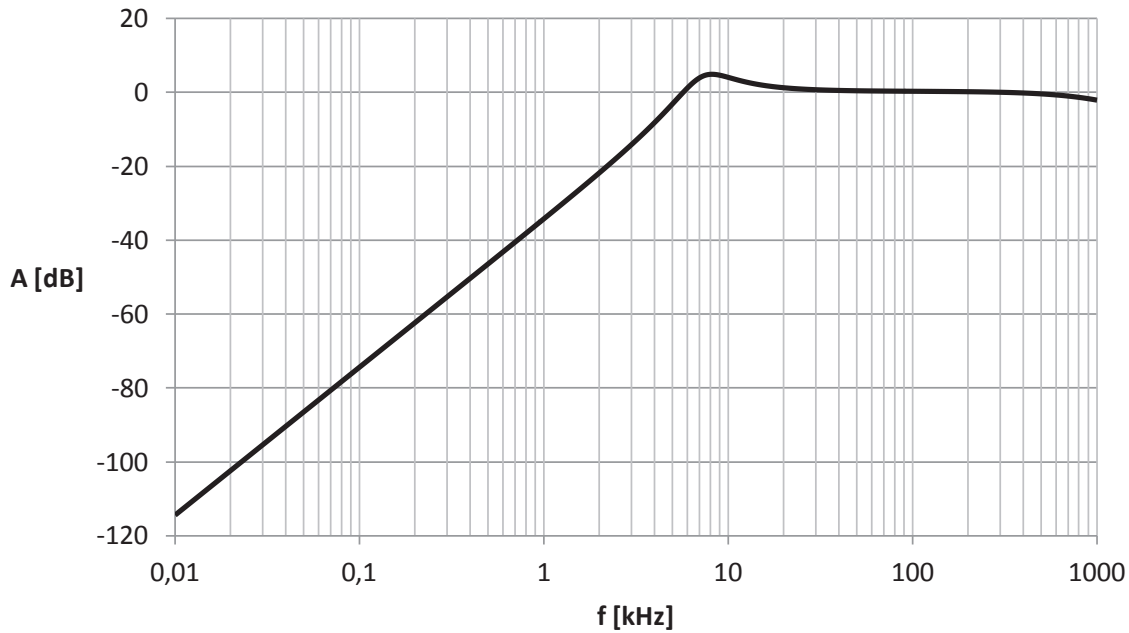
Aktivní filtr typu horní propust je druhým článkem výsledného filtru. Použit zde byl operační zesilovač **NE5532** se symetrickým napájením  $\pm 5$  V. Při návrhu byla zvolena Čebyševova aproximace, která je charakterizována nejstrmějším přechodem do nepropustného pásma a zvlněním v propustném pásmu, zde bylo konkrétně zvoleno zvlnění 3 dB. Pro tuto aproximaci byly odečteny koeficienty  $a_1 = 1,065$  a  $b_1 = 1,9305$ , dále byla zvolena mezní frekvence  $f_c = 5$  kHz a hodnoty kondenzátorů  $C_3 = C_4 = 1$  nF.

Tyto hodnoty byly následně dosazeny do rovnic 6.1 a 6.2 a byly vypočteny hodnoty rezistorů  $R_3$  a  $R_4$ .

$$\begin{aligned}
 R_3 &= \frac{1}{\pi f_c C_3 a_1} \\
 &= \frac{1}{\pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 1,065} \\
 &= 59,8 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

$$\begin{aligned}
 R_4 &= \frac{1}{4\pi f_c C_3 b_1} \\
 &= \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 1,9305} \\
 &= 8,24 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}
 \tag{6.2}$$

Následně byly nalezeny nejbližší hodnoty dostupných rezistorů a tento filtr byl nasimulován. Výslednou nasimulovanou frekvenční charakteristiku je vidět na obrázku 6.4.



Obr. 6.4: Frekvenční charakteristika aktivní horní propusti

### 6.1.2.3 Aktivní dolní propust

Při návrhu aktivního filtru dolní propust bylo postupováno podobně jako v předchozím případě. Byl využit druhý operační zesilovač v pouzdře integrovaného obvodu a bylo počítáno se stejnými koeficienty Čebyševova aproximace  $a_1$  a  $b_1$ , mezní frekvence pro tento typ filtr byla zvolena  $f_c = 15$  kHz.

Byla stanovena hodnota kondenzátoru  $C_5 = 1$  nF a dále byla tato hodnota použita k určení minimální kapacity kondenzátoru  $C_6$  dle rovnice 6.3.

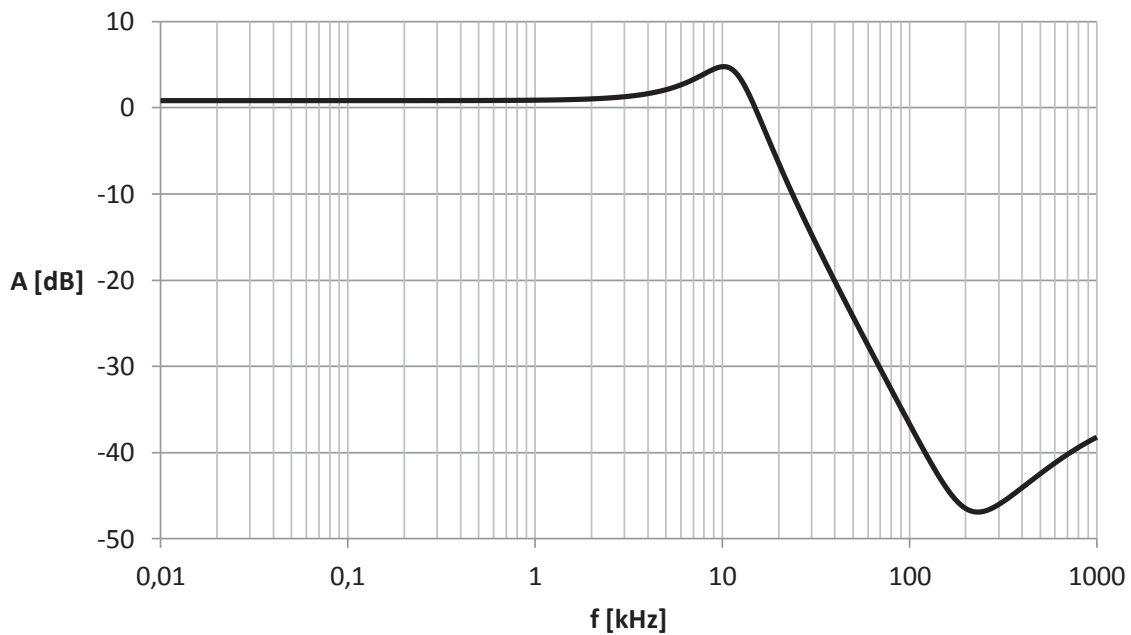
$$\begin{aligned}
 C_6 &\geq C_5 \frac{4b_1}{a_1^2} \\
 &\geq 1 \cdot 10^{-9} \frac{4 \cdot 1,9305}{1,065^2} \\
 &\geq 6,8 \text{ nF}
 \end{aligned} \tag{6.3}$$

Hodnota tohoto kondenzátoru byla zvolena 8,2 nF a následně dosazena do rovnic pro výpočet hodnoty odporů  $R_7$  a  $R_8$ :

$$\begin{aligned}
 R_7 &= \frac{a_1 C_6 - \sqrt{a_1^2 C_6^2 - 4b_1 C_5 C_6}}{4\pi f_c C_5 C_6} \\
 &= \frac{1,065 \cdot 8 \cdot 10^{-9} - \sqrt{1,065 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 10^{-9} - 4 \cdot \pi \cdot 1,9305 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 8,2 \cdot 10^{-9}}}{4 \cdot \pi \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 8,2 \cdot 10^{-9}} \tag{6.4} \\
 &= 3,35 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_8 &= \frac{a_1 C_6 + \sqrt{a_1^2 C_6^2 - 4b_1 C_5 C_6}}{4\pi f_c C_5 C_6} \\
 &= \frac{1,065 \cdot 8,2 \cdot 10^{-9} + \sqrt{1,065 \cdot 8,2 \cdot 10^{-9} - 4 \cdot \pi \cdot 1,9305 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 8,2 \cdot 10^{-9}}}{4 \cdot \pi \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 8,2 \cdot 10^{-9}} \quad (6.5) \\
 &= 7,96 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

Tyto vypočtené hodnoty byly opět vodítkem pro výběr nejbližších hodnot dostupných rezistorů a obrázek 6.5 ukazuje frekvenční charakteristiku filtru s reálně použitými hodnotami.



**Obr. 6.5:** Frekvenční charakteristika aktivní dolní propusti

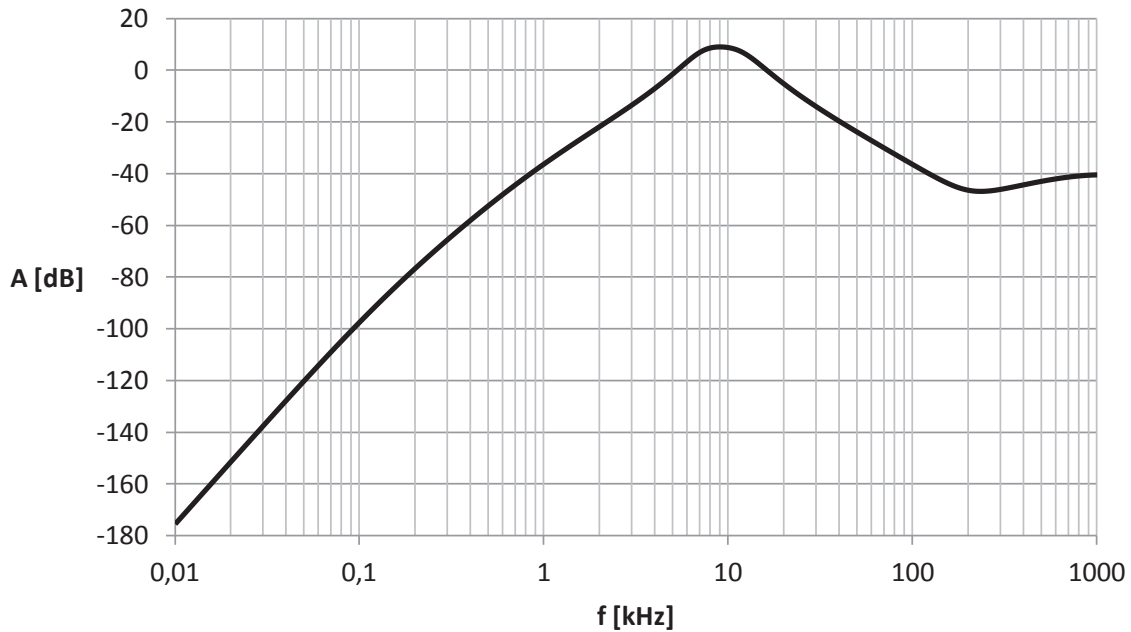
#### 6.1.2.4 Přenos celého filtru

Výsledný filtr složený z těchto třech zmíněných částí má charakter pásmové propusti s frekvenční charakteristikou, která je zobrazena na obrázku 6.6

Frekvenční charakteristiky byly vyexportovány ze simulačního programu PSpice.

#### 6.1.3 Neinvertující zesilovač

Tento zesilovač byl přidán dodatečně, protože operační zesilovač použitý v aktivním filtru při zvyšujícím zesílení nebyl schopný signál dostatečně zesílit a deformoval obálku přijímaných znaků. Proto je zesilovač umístěn mimo DPS přijímacího modulu. Jeho zesílení je nastavitelné pro přizpůsobení útlumu přenosového vedení.



Obr. 6.6: Frekvenční charakteristika celého filtru

### 6.1.4 Demodulátor

Filtrovaný signál dále pokračuje do diodového demodulátoru, který je naznačen ve schématickém diagramu (obr. 6.1). Hodnoty odporu a kondenzátoru se u těchto demodulátorů volí tak, aby jejich časová konstanta  $\tau = RC$  byla mnohem větší než perioda modulačního signálu  $T_m = \frac{1}{f_m} = \frac{1}{10^4} = 100 \mu\text{s}$  a zároveň mnohem menší než nejkratší perioda modulovaného signálu  $T_{s_{min}} = 2 \text{ ms}$ .

Hodnota rezistoru byla tedy zvolena  $5 \text{ k}\Omega$  a hodnota kondenzátoru  $100 \text{ nF}$ . Výsledná časová konstanta je pak rovna  $\tau = 500 \mu\text{s}$ .

### 6.1.5 Displej

U přijímacího modulu byl použit LCD displej **ATM1602B**, který je schopný zobrazit celkem 32 znaků na dvou řádcích. Displej zobrazuje jednak binárně vyjádřený přijímaný znak a dále hodnoty čítačů **CRC\_OK**, který počítá počet přijmutých slov se správně vyhodnoceným kontrolním součtem, **CRC\_NOK**, ten naopak čítá přijatá slova, u kterých kontrolní součet indikuje chybu přenosu, a čítač **E\_t**, který počítá počet slov, která byla přijata po prodlevě větší než 300 ms od posledního přijatého slova. Ukázka zobrazení dat na LCD displeji je na obrázku 6.7.

### 6.1.6 Indikační LED diody

N tomto modulu je opět připojena na výstup mikrokontroléru červená a zelená LED dioda. Zelená LED indikuje, že jsou přijímána data, svítí-li jen tato dioda, pak jsou přijímána data v pořádku. Obě rozsvícené LED pak indikují příjem dat s nesprávným kontrolním



Obr. 6.7: Ukázka zobrazení dat na displeji přijímacího modulu

součtem. Samostatně svítící červená LED upozorňuje na to, že v poslední vteřině bylo přijato méně než 5 zpráv.

## 6.2 Softwarové řešení

Stejně jako u vysílacího modulu byl program pro mikrokontrolér vytvořen pomocí aplikace MPLab X od společnosti Microchip v programovacím jazyce C, jeho vývojový diagram je znázorněn na obrázku 6.8.

### 6.2.1 Inicializace mikrokontroléru

Inicializace mikrokontroléru přijímacího modulu je velmi podobná jako u vysílacího. Frekvence hodinových pulsů je nastavena na 16 MHz, u časovače 2 je nastavena perioda přerušování na  $50 \mu\text{s}$  a je povoleno přerušování komparátoru na náběžnou hranu. Komparační napětí je nastaveno výstupem DA převodníku na hodnotu 2 V.

### 6.2.2 Inicializace displeje

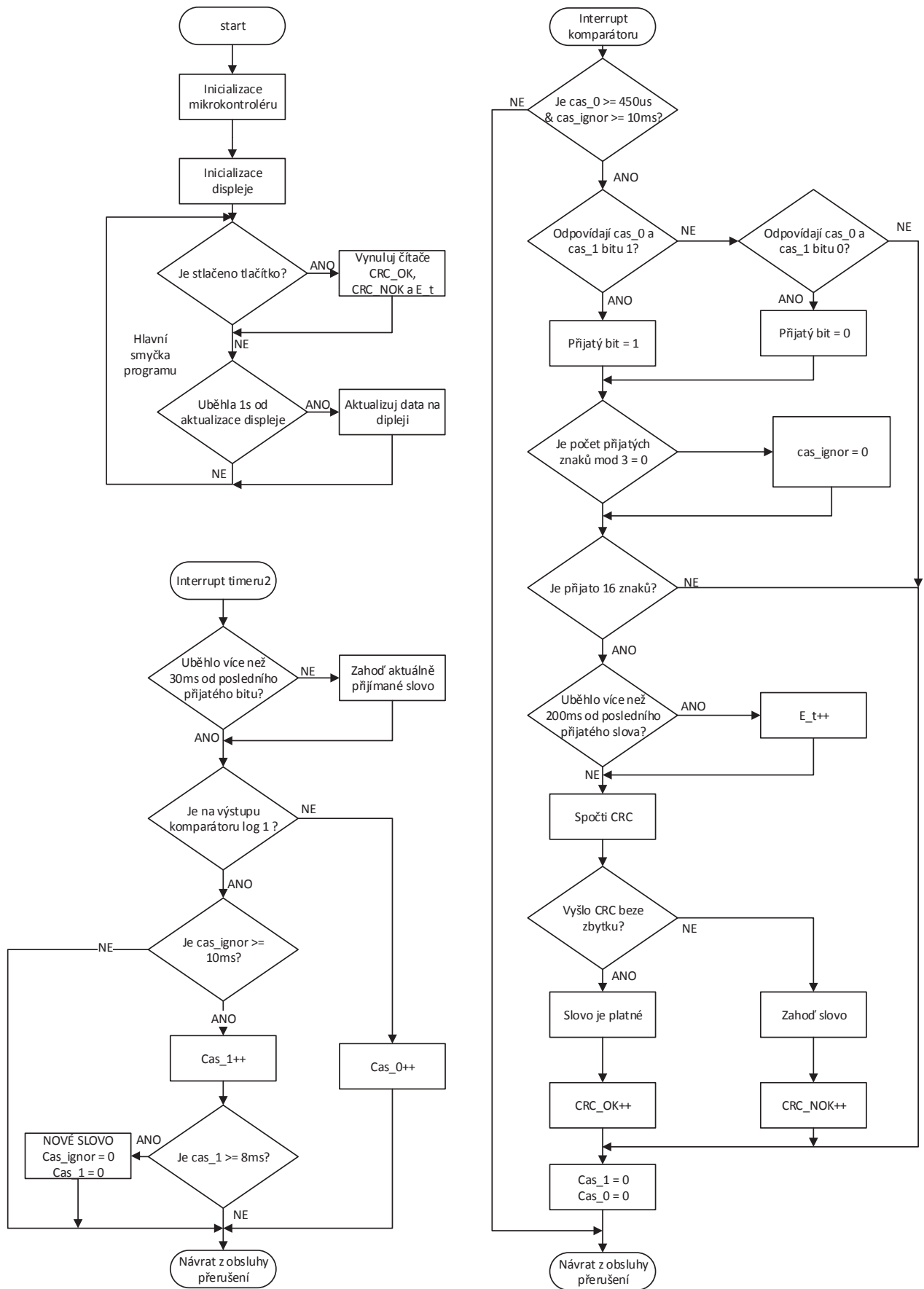
V dalším kroku probíhá inicializace LCD displeje, při které jsou smazána předchozí zobrazená data, je zapnuto zobrazení na obou řádcích, vypnut kurzor a nastavena velikost znaků na 5x8 pixelů.

### 6.2.3 Hlavní smyčka programu

V hlavní smyčce programu je kontrolováno, zda je stisknuto tlačítko určené k nulování čítačů pro správně přijaté zprávy **CRC\_OK**, nesprávně přijaté zprávy **CRC\_NOK** a zprávy přijaté s prodlevou větší než 300 ms **E.t.**

Dále jsou v intervalu 1 s obnovována data na LCD displeji.





Obr. 6.8: Vývojový diagram přijímacího modulu

## 6.2.4 Přerušení časovače 2

Při vyvolaném přerušení časovačem 2 se v závislosti na výstupu komparátoru inkrementují čítače **cas\_0** nebo **cas\_1**. Čítač **cas\_1** je inkrementován pouze v časovém rozmezí, kdy jsou očekávána přijímaná data, tedy pouze v záporné půlperiodě napájecího napětí. To bylo softwarově vyřešeno tak, že od třetího přijatého znaku v dané trojici bitů či od konce úvodního znaku jsou následujících 10 ms ignorovány logické 1 na výstupu komparátoru. Tím se eliminuje vliv rušení v době, kdy nejsou data vysílána a také je omezen vliv transienčních jevů, které v tomto časovém rozmezí nastávají (viz. obrázek 6.11).

V případě překročení čítače **cas\_1** hodnoty 600, odpovídající času 8 ms je vyhodnocen úvodní znak a je indikován začátek přijímaného slova.

Dále je kontrolováno, zda od posledního přijímaného znaku neuběhlo více než 30 ms. Při překročení této doby je přijímané slovo ignorováno.

## 6.2.5 Přerušení komparátoru

Komparátor vyvolá přerušení při náběžné hraně a nejprve se zkontroluje, zda od předchozího přijatého znaku byla mezera alespoň 750  $\mu$ s, tím se eliminují krátké překmity, které mohou nastat na výstupu komparátoru. Dále se kontroluje, zda nebylo přerušení vyvoláno v kladné půlperiodě napájecího napětí. Při splnění obou těchto podmínek se dále vyhodnocuje, zda hodnoty čítačů **cas\_0** a **cas\_1** odpovídají bitu 1 či 0 a jsou tyto čítače vynulovány.

V případě, že bylo přijato očekávaných 16 bitů, ověří se správnost slova pomocí kontrolního součtu a podle výsledku je inkrementován čítač **CRC\_OK** případně **CRC\_NOK**. Jestliže od posledního přijatého slova uběhlo více než 200 ms, inkrementuje se také čítač **E\_t**.

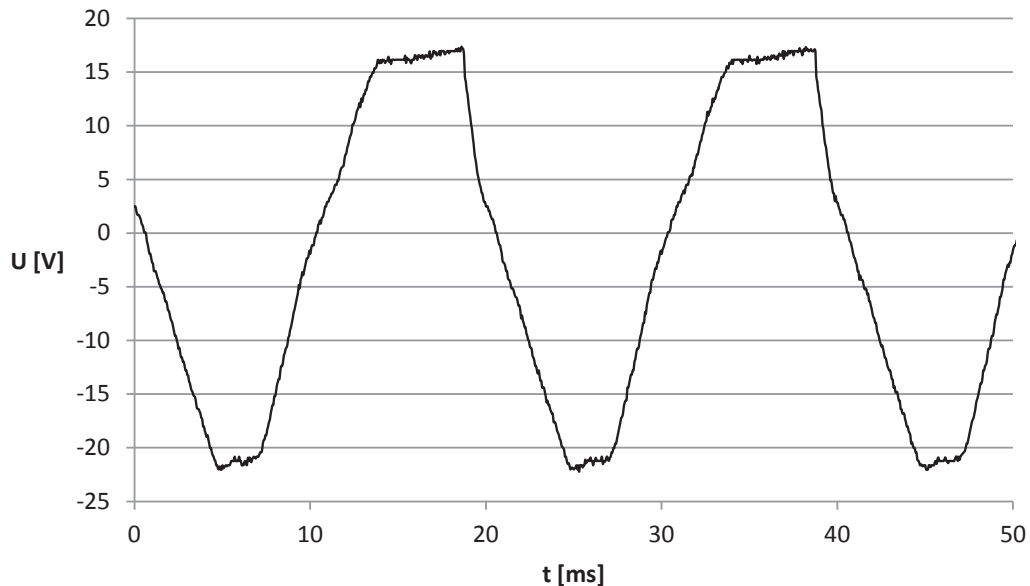
## 6.3 Oživení přijímacího modulu

Zprovoznění přijímacího modulu probíhalo zprvu bez vloženého napájecího vedení a přenos fungoval dle předpokladů. Následně byl přenos testován na čtyřžilovém metalickém kabelu o délce 530 m. Nejednalo se však o typ kabelu požívaný pro napájení návštěvidel. Přes tento kabel byl útlum vysokofrekvenčního signálu natolik silný, že jej nedokázal operační zesilovač použitý v aktivním filtru dostatečně zesílit, proto byl přidán neinvertující zesilovač, díky kterému se tento neduh podařilo odstranit.

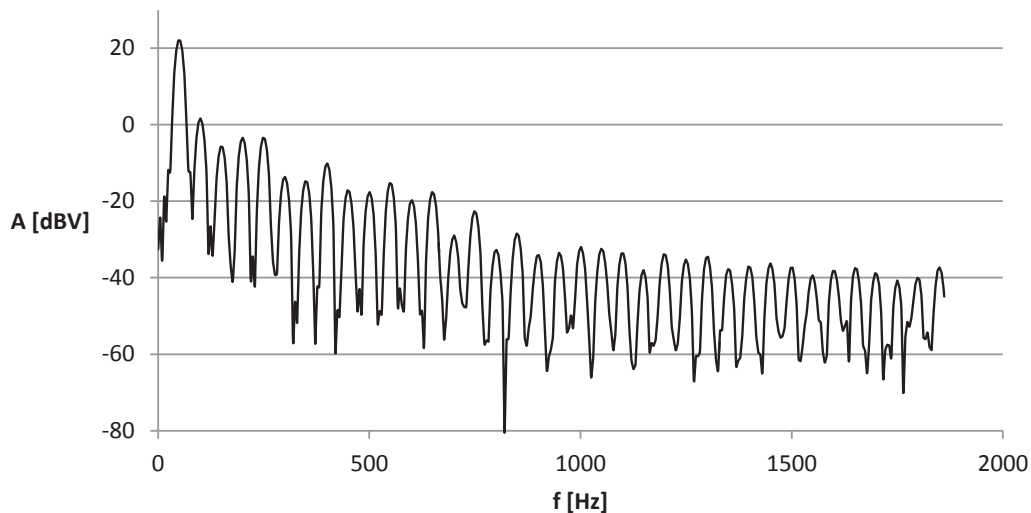
Následně byly dvojice žil metalického kabelu spojeny sériově a po nastavení příslušného zesílení vysokofrekvenčního signálu odporovými trimry byl úspěšně otestován přenos přes 1060 m tohoto kabelu. Na obrázku 6.9 je časový průběh napájecího napětí přijímacího modulu, naměřený při tomto testování, z kterého přenášený signál není téměř patrný. Ve frekvenčním spektru vynikaly hlavně harmonické složky deformovaného sinusového

signálu o frekvenci 50 Hz, to ilustruje obrázek 6.10, na kterém je osciloskopem vypočítané frekvenční spektrum pomocí rychlé Fourierovy transformace.

Další problém, který bylo třeba vyřešit, byl periodicky se opakující vysokofrekvenční puls vzniklý přechodovými jevy v okamžiku, kdy přestává téct proud diodovým usměrňovačem. Tento puls byl softwarově ignorován (viz kapitola 6.2.4). Na obrázku 6.11 je ilustrován tento rušivý puls a jeho softwarová eliminace.

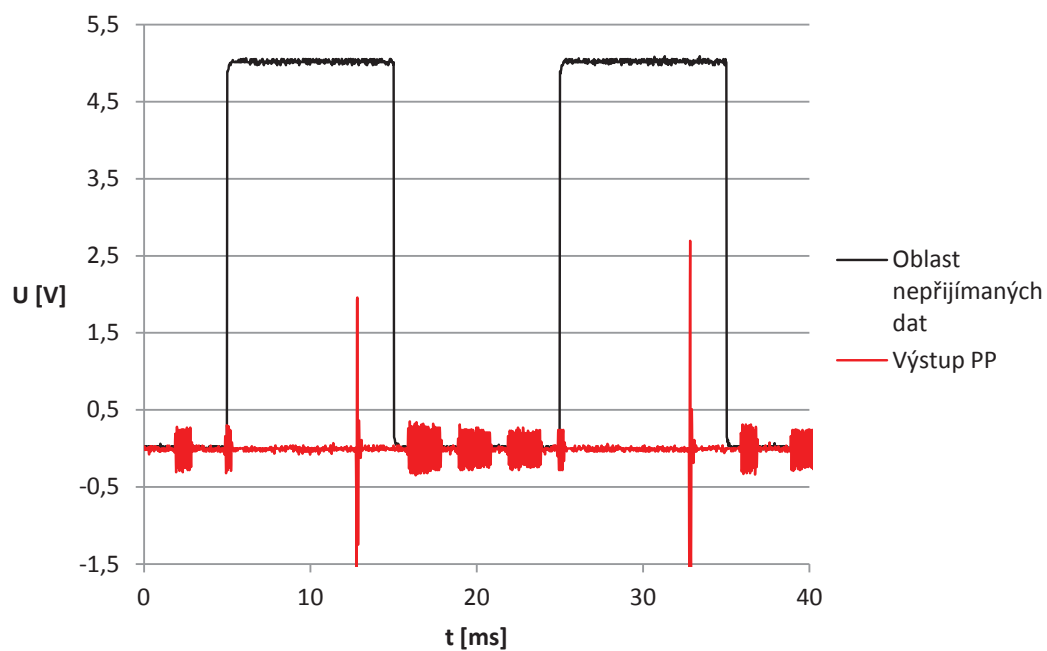


**Obr. 6.9:** Naměřený průběh napětí na napájecích svorkách přijímacího modulu

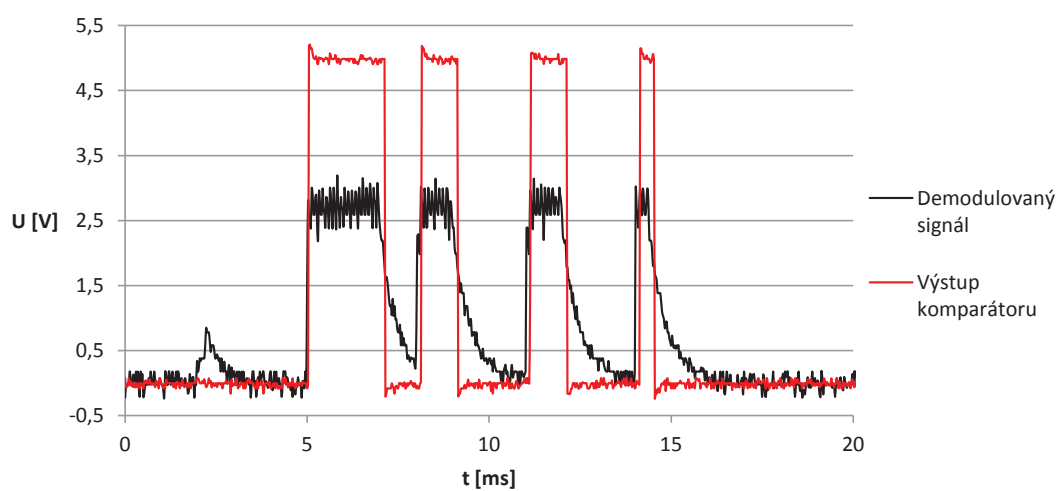


**Obr. 6.10:** Frekvenční spektrum napětí na napájecích svorkách přijímacího modulu

Na dalším obrázku (6.12) je znázorněn průběh napětí demodulovaného signálu a průběh napětí na výstupu komparátoru. Zde je poměrně dobře patrný rozdíl střídá PWM bitu 1 a bitu 0, v tomto případě je přijata trojice bitů 1 0 0 zakončena krátkým impulsem ohraničující poslední bit v této skupině.

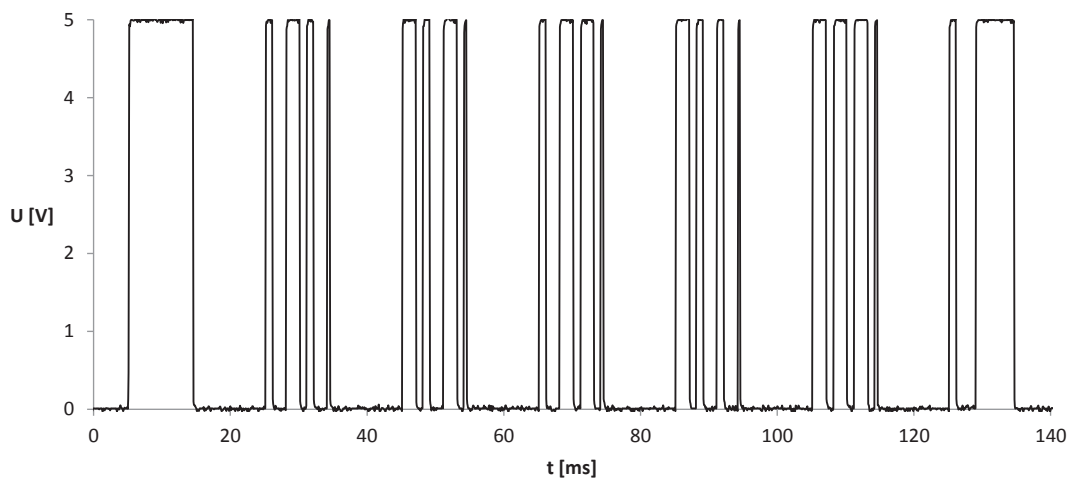


Obr. 6.11: Ukázka rozmezí ignorování přijímaných dat



Obr. 6.12: Naměřený průběh napětí na výstupu demodulátoru a na výstupu komparátoru

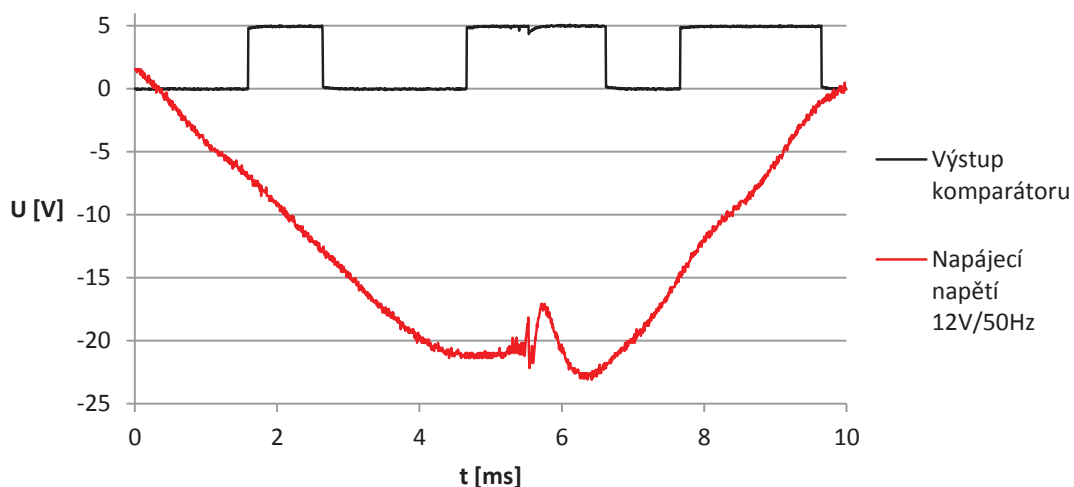
Ukázka celé přenesené zprávy na výstupu komparátoru je na obrázku 6.13. První puls o šířce 10 ms je úvodní znak signalizující začátek přenosu zprávy, za kterým následuje 8 informačních bitů a 8 bitů kontrolního součtu.



**Obr. 6.13:** Podoba celé zprávy na výstupu komparátoru

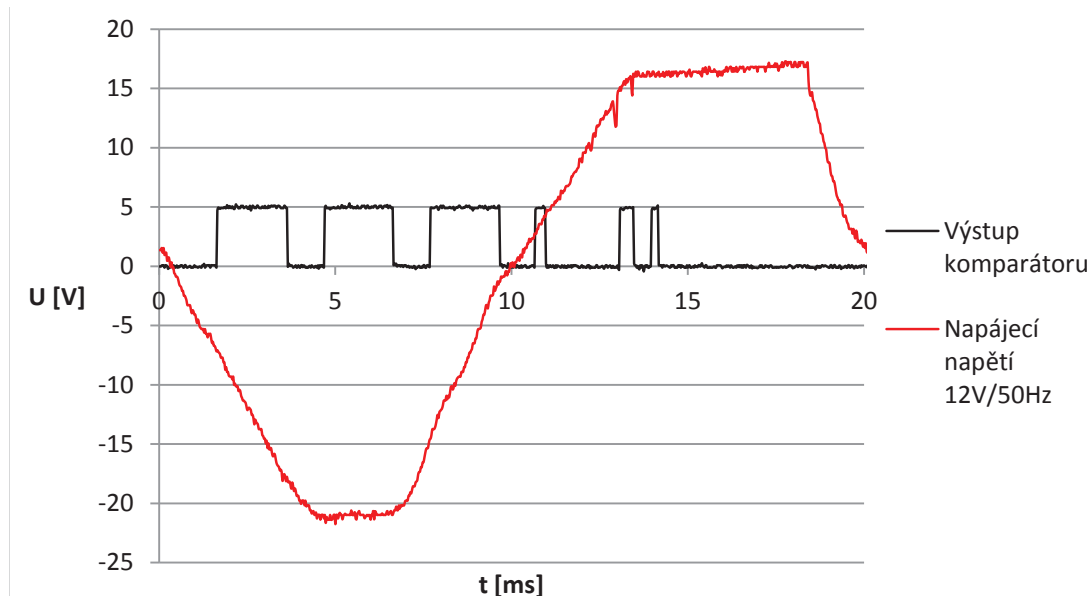
### 6.3.1 Odolnost přenosu dat vůči rušení

Dále byla na zmíněném kabelu testována odolnost přenosu dat vůči rušení od spínání žárovky, kdy byl z jednoho páru kabelových žil napájen vysílací modul a z druhého páru klasická návěstní žárovka. Tato žárovka byla ručně spínána a rozpínána a bylo sledováno, jak bude ovlivněn přenos dat. Ne vždy byla přenášená zpráva ohrožena, to záviselo hlavně na tom, v jakém okamžiku rušivý impulz vznikl. Na obrázku 6.14 je zachycen tento rušivý puls v době, kdy byl vysílán signál o frekvenci 10 kHz. V tomto případě by přenášená zpráva nebyla rušením znehodnocena.



**Obr. 6.14:** Ukázka ovlivnění přenosu spínáním žárovky

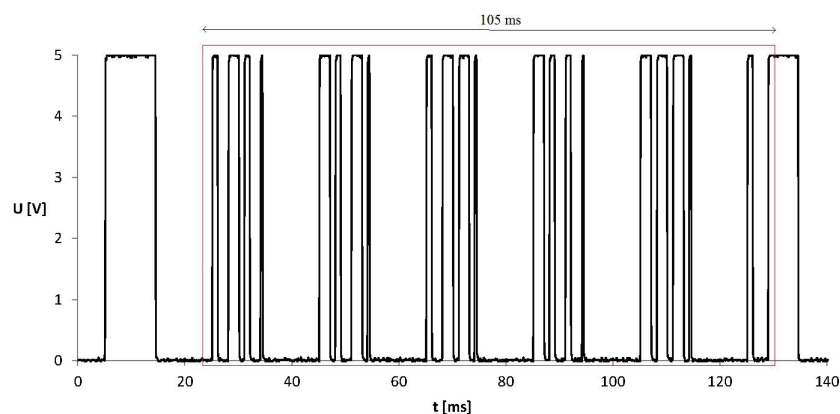
Na dalším obrázku (6.15) je zachycen rušivý puls v kladné půlperiodě napájecího napětí. To se projevilo kladnými pulsy na výstupu komparátoru, toto rušení je však eliminováno softwarově (viz. 6.2.4). Zpráva tedy bude nejvíce ohrožena v případě, že rušivý puls přijde v záporné půlperiodě napájecího napětí v mezeře mezi přijímanými znaky.



Obr. 6.15: Ukázka ovlivnění přenosu spínáním žárovky

### 6.3.2 Rozbor ztráty zpráv v důsledku spínání návěstní žárovky

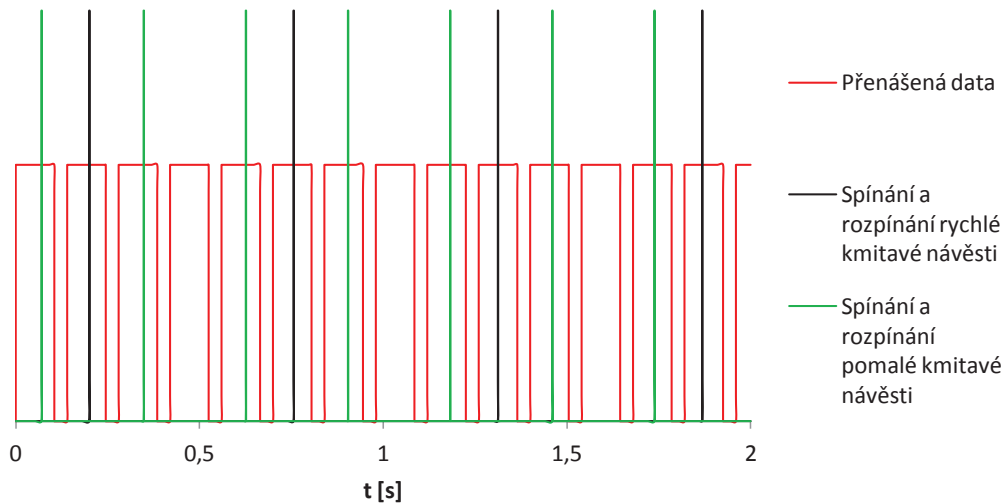
Při rozboru ztráty zprávy v důsledku rušení bylo uvažováno, že data nebudou ohrožena při vzniklém rušivém pulsu v oblasti úvodního znaku a dalších 10 ms, kdy jsou přijímaná data softwarově ignorována. Nejcitlivější oblast tedy bude od tohoto okamžiku až do přijetí celé zprávy, tedy přibližně 105 ms, to ilustruje obrázek 6.16.



Obr. 6.16: Uvažovaná citlivá oblast na rušení

Z této úvahy vycházel graf na obrázku 6.17, kde jsou znázorněny pulsy vznikající rozpínáním a spínáním návěstní žárovky rychlé (1,8 Hz) a pomalé (0,9 Hz) kmitavé návěsti.

V případě, že bude aktivní rychlá kmitavá návěst napájena ze stejného kabelového svazku jako vysílací modul, je možné, že bude každá druhá zpráva znehodnocena rušením. Při aktivní pomalé kmitavé návěsti je pak ohrožena každá čtvrtá zpráva. Kombinace obou kmitavých návěstí není v návěstní soustavě na české železniční síti možná.



**Obr. 6.17:** Rozbor ztráty zpráv v důsledku spínání návěstní žárovky

Perioda posílání zpráv (140 ms) a perioda kmitavých návěstí (555 ms a 1,111 s) nejsou soudělné, proto se bude výskyt rušivých pulsů od spínání a rozpínání v pozici přijímaných zpráv měnit. Je tedy pravděpodobné, že ne všechny ohrožené zprávy budou rušením nesprávně vyhodnoceny.

Dále je třeba uvažovat neperiodické rušivé jevy od spínání relé ve stavědle či rušení z trakční soustavy. Tyto rušivé jevy mají širokopásmový charakter a nemohou být zcela eliminovány filtrem PP na vstupu přijímacího modulu.

# 7

## Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat přenosový systém přenášející diagnostickou informaci o svitu návěstní svítilny mezi železničním návěstidlem a stavědlem po napájecím vedení. Pro přenos této informace bylo využito amplitudového klíčování v kombinaci s pulsně šířkovou modulací s nosnou frekvencí 10 kHz. Tato frekvence byla zvolena v závislosti na frekvenční charakteristice napájecího vedení. Přenášená data obsahují 8 informačních bitů jsou zabezpečena cyklickým kódem osmého řádu, díky kterému je systém schopný detekovat všechny trojnásobné chyby. Tato data jsou přenášena pouze v záporné periodě napájecího napětí o frekvenci 50 Hz, z kladné půlperiody jsou napájeny komunikační moduly.

Rychlost přenosu diagnostické informace není z důvodu využití pouze poloviny napájecí periody a poměrně nízké modulační frekvence příliš vysoká. Perioda odeslání celé zprávy je 140 ms, to umožní při rychle kmitající návěsti (1,8 Hz) odeslat informaci o svitu návěstní svítilny dvakrát.

Přenos byl úspěšně laboratorně ověřen na vedení o délce 1060 m a dále byla testována odolnost vůči rušení způsobeném spínáním žárovky napájené ze stejného kabelového svazku. V tomto případě docházelo k občasným ztrátám zpráv, v závislosti na poloze rušivého signálu vůči přenášené zprávě. Ukázalo se však, že přenos není proti širokopásmovému rušení stoprocentně odolný a při uvažovaném rušení i z jiných zdrojů by se nemusel u rychle kmitající návěsti přenos informace vždy zdařit. Proto by tento přenosový systém mohl najít uplatnění spíše u nekmitavých návěstí.

Tento systém byl navržen pouze pro přenos diagnostické informace, proto by dalším krokem mohlo být jeho zabezpečení, díky kterému by mohl být včleněn do logiky návěstních systémů. Dale by bylo možné systém vylepšit zvýšením přenosové rychlosti například tím, že by byly informace přenášeny po celou periodu napájecího napětí za použití filtrů, které by znemožňovaly průnik modulační frekvence do usměrňovačů, ze kterých jsou přípravky napájeny. Případně by bylo možné snížit počet potřebných informačních bitů.

Závěrem lze konstatovat, že se úspěšně podařilo splnit všechny body zadání.

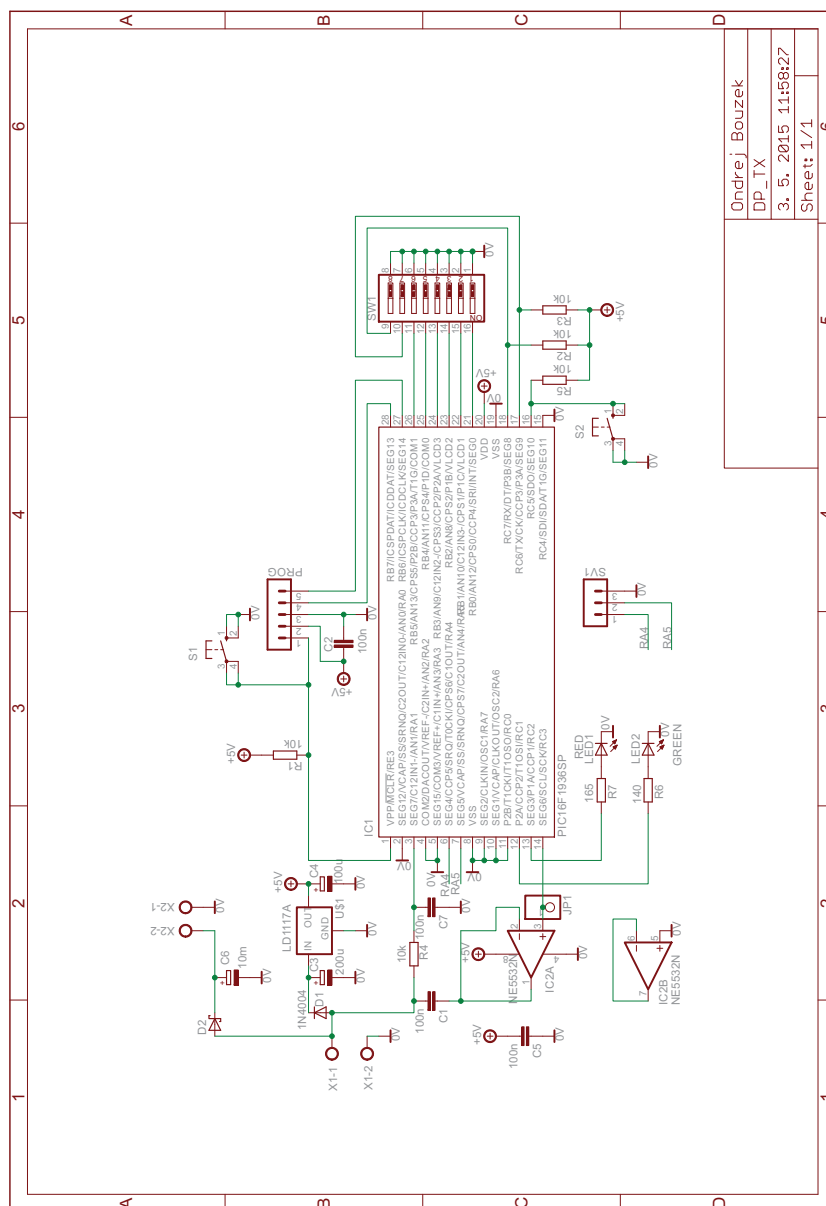


# Literatura

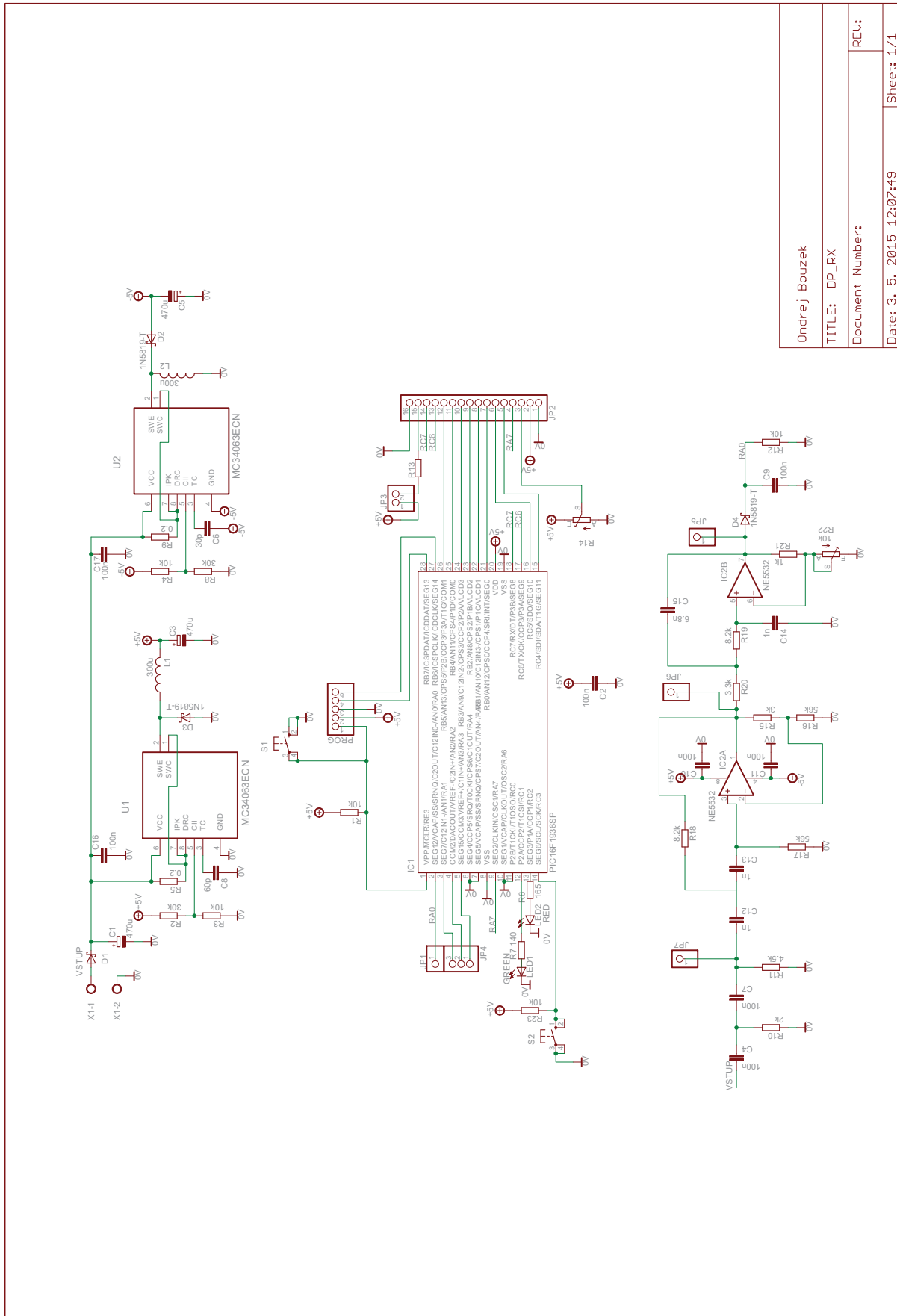
- [1] CHUDÁČEK, V.; POUPĚ, O.: *Zabezpečovací technika v železniční dopravě II* 1. vyd. Praha: Nadas, 1972. 552 s.
- [2] HAVEL, L.: „Inovace relé typu NMS“ In: *K aktuálním problémům zabezpečovací techniky v dopravě IX*, Plzeň 21. V. 2014
- [3] HLOUŠEK, P.; KONEČNÝ, I.; POUCHA, J.: „Koncept bezpečnosti bezpečného elektrooptického dohlížecího obvodu železničního návěstidla s výkonovými svítivými diodami“, In: *K aktuálním problémům zabezpečovací techniky v dopravě VII*, Plzeň 22. V. 2012
- [4] Zelisko GmbH. *LED Signal EU* [online]. Mödling, 2012.[cit. 13. 4. 2015]. Dostupné z [http://www.zelisko.at/media/documents/sigsys\\_1/LED\\_Signal\\_EU\\_P\\_1273\\_EN.pdf](http://www.zelisko.at/media/documents/sigsys_1/LED_Signal_EU_P_1273_EN.pdf).
- [5] VLČEK, Karel. *Kompresa a kódová zabezpečení v multimediálních komunikacích*. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004. 258 s. ISBN 80-7300-134-9.
- [6] S. ALI, A. BHATTACHARYA, D. PODDAR. Design of Bidirectional Coupling Circuit for Broadband Power-Line Communications *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*. 2012, vol. 4, no. 4 , s. 162-166. ISSN 1942-0749
- [7] *PIC16F1934 - Katalogový list*. [online]. Chandler (Arizona): Microchip Technology Inc., 2011. 384s., [cit. 13. 4. 2015]. ISBN: 978-1-61341-013-4. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41364E.pdf>
- [8] MANCINI, Ron. *Op amps for everyone: design reference*. 2. vyd. Amsterdam: Newnes, 2003, 472 s. ISBN 0-7506-7701-5.

# Příloha A

## Schémata zapojení



Obr. A.1: Schéma zapojení vysílačho modulu

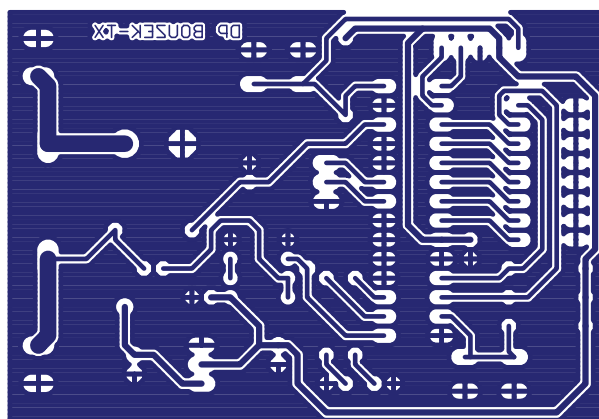


Ondřej Bouzek
TITLE: DP_RX
Document Number:
REU:
Date: 3. 2015 12:07:49
Sheet: 1/1

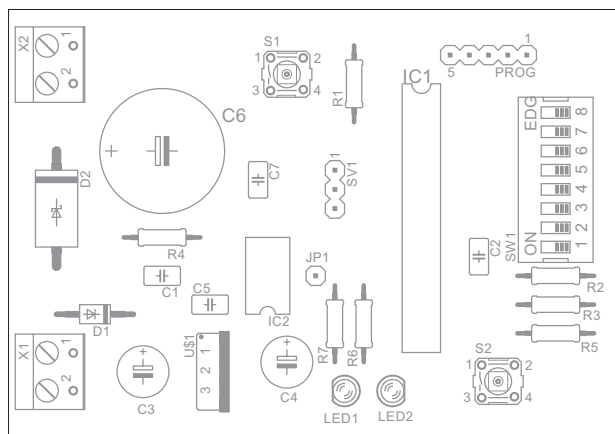
Obr. A.2: Schéma zapojení přijímacího modulu

# Příloha B

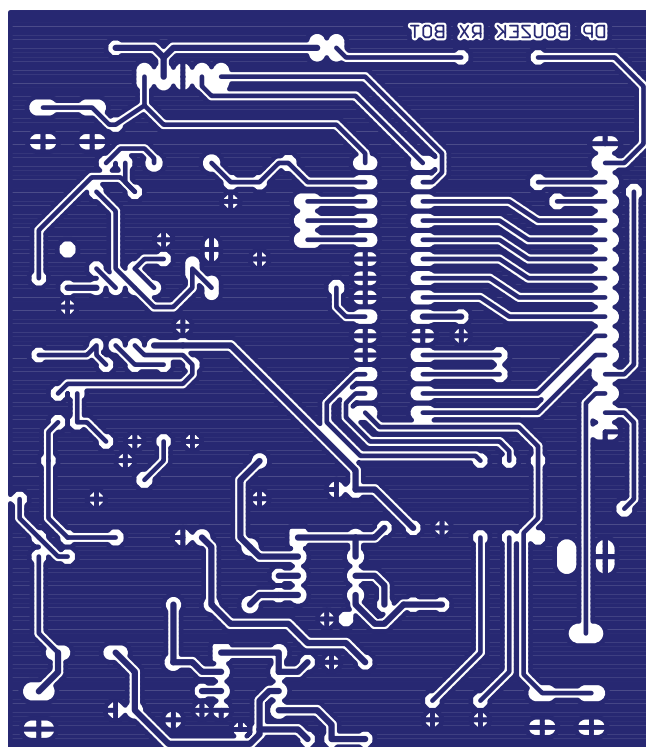
## Desky plošných spojů



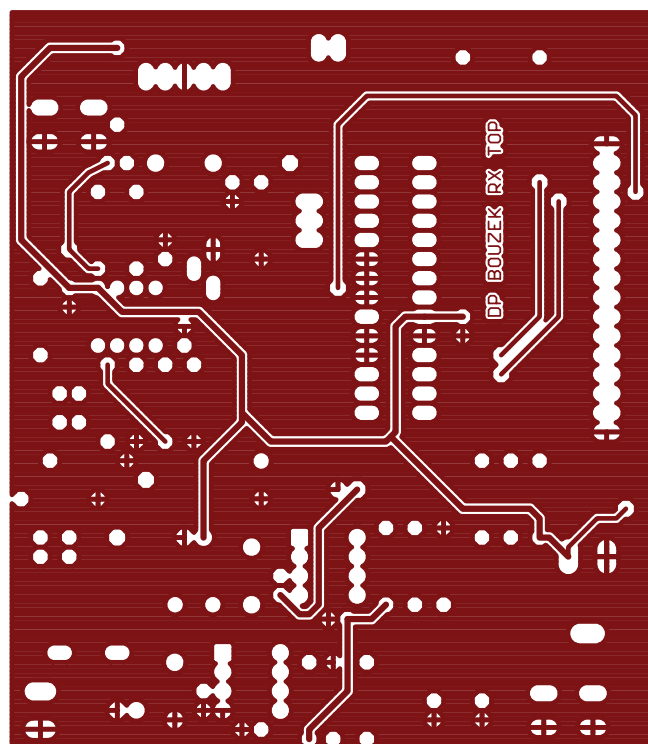
Obr. B.1: Navržená DPS vysílacího modulu



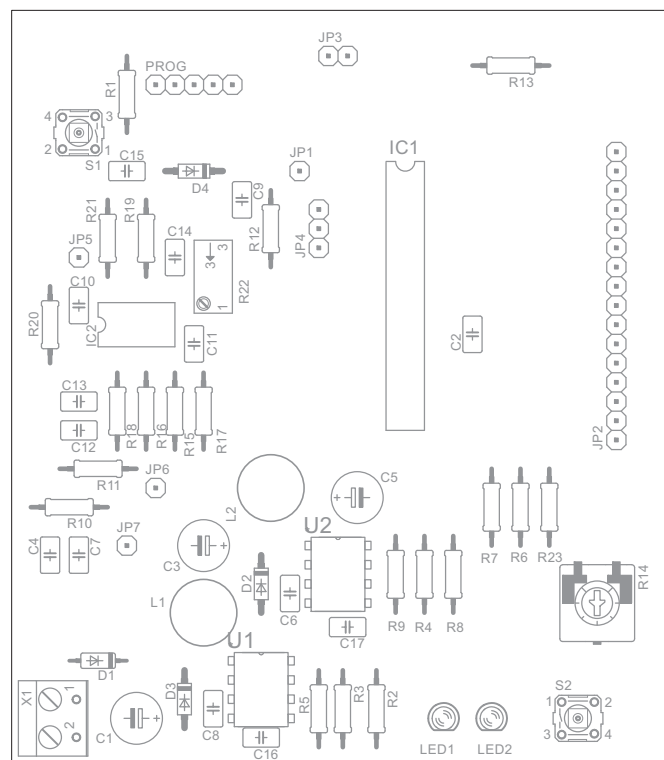
Obr. B.2: Navržená DPS vysílacího modulu - rozložení součástek



Obr. B.3: Navržená DPS přijímacího modulu - strana spojů



Obr. B.4: Navržená DPS přijímacího modulu - strana součástek



Obr. B.5: Navržená DPS přijímacího modulu - rozložení součástek

# Příloha C

## Zdrojové kódy

### C.1 Zdrojový kód mikrokontroléru vysílacího modulu

```
1 function difference = synchronizace(referencename,soundname,Nstart,Nstop,vykresleni)
2 #include <stdio.h>
3 #include <stdlib.h>
4 #include <pic.h>
5 #define PO CET_BITU 16
6 #define CRC_POLY 0x11D
7
8 unsigned int filtr_50us = 50, t_50us = 0, cas_50us = 0, n = 0, znak = 0x0000;
9 unsigned int znak_posilany = 0, CNT_Err = 0,znak_chybny;
10 char POSILEJ = 0, START = 0, pocet_chyb = 0;
11
12
13 void CRC (void) // pocita CRC
14 {
15     unsigned int slovo = ((0x0000 | (PORTB & 0x3F) | (PORTC & 0xC0)) << 8),CRC_pom;
16     unsigned int offset_x, offset_poly, offset_i = 0x8000;
17     unsigned char i, x, z;
18     for (i = 15; i >= 8; i--)
19     {
20         if (slovo & offset_i)
21         {
22             CRC_pom = 0x00;
23             offset_x = offset_i;
24             offset_poly = 0x100;
25             for (x = i; x >= 0 && offset_poly != 0; x--)
26             {
27                 if (((slovo & offset_x) && !(CRC_POLY & offset_poly)) || (!(slovo & offset_x) && (CRC_POLY & offset_poly)))
28                 {
29                     CRC_pom |= (1 << x);
30                 }
31                 offset_x >>= 1;
32                 offset_poly >>= 1;
33             }
34             slovo = CRC_pom;
35         }
36         offset_i >>= 1;
37     }
38     znak = 0x0000 | ((PORTB & 0x3F) | (PORTC & 0xC0) | (slovo << 8));
39 }
40
41 void chyba_znaku (void) // vlozi pozadovany pocet chybnych znaku
42 {
43     char nahodny_cislo;
44     unsigned int chybny_znak = znak, chybny_znak_pom;
45     for (int i = 0; i < pocet_chyb; i++)
46     {
47         nahodny_cislo = rand() & 0x0F;
48         if (znak & (1 << nahodny_cislo))
49         {
```

```

50     chybny_znak_pom = 0x00;
51     for (int x = 0; x < 16; x++)
52     {
53         if (x != nahodny_cislo) chybny_znak_pom |= (1 << x);
54     }
55     chybny_znak &= chybny_znak_pom;
56 }
57 else chybny_znak |= (1 << nahodny_cislo);
58 }
59 znak_chybny = chybny_znak;
60 }
61 void chyby(void)          // spočte počet 1 na DIP prepínací
62 {
63     char chyby_pom = 0x00 | (PORTB & 0x3F) | (PORTC & 0xC0), offset = 0x01;
64     pocet_chyb = 0;
65     for (int i = 0; i < 8; i++)
66     {
67         if (chyby_pom & offset)
68         {
69             pocet_chyb++;
70         }
71         offset <<= 1;
72     }
73     chyba_znaku();
74 }
75
76 void interrupt ISR()
77 {
78     if(TMR2IF)
79     {
80         if (filtr_50us <= 10000) filtr_50us++;
81         if(POSILEJ)
82         {
83             t_50us++;
84             cas_50us++;
85             if(cas_50us >= 200) POSILEJ = 0;
86             if (n == 0)                // uvodni znak
87             {
88                 RC3 = !LATC3;
89             }
90             else
91             {
92                 if (((znak_posilany & 0x01) && t_50us <= 40) || (!(znak_posilany & 0x01)) && t_50us <= 20))
93                 {
94                     RC3 = !LATC3;
95                 }
96                 if (t_50us >= 60 && START)    // konec periody 3 ms
97                 {
98                     t_50us = 0;
99                     znak_posilany >>= 1;
100                    n++;
101                    if (n > POCET_BITU)        // jestli je odeslano cele slovo
102                    {
103                        n = 0;
104                        if(pocet_chyb == 0) znak_posilany = znak;
105                        else {znak_posilany = znak_chybny;}
106                    }
107                }
108            }
109        }
110        else
111        {
112            t_50us = 0;
113            cas_50us = 0;
114        }
115        TMR2IF = 0;
116    }
117    if(C1IF)
118    {
119        if (filtr_50us >= 100)    //5ms - filtr proti prekritum
120        {
121            if (!C1OUT)
122            {

```



```

123         if (n == 0)
124         {
125             if (START) START = 0;
126             else
127             {
128                 START = 1;
129                 n = 1;
130             }
131         }
132         POSILEJ = 1;
133         TMR2 = 0;
134     }
135     else
136     {
137         POSILEJ = 0;
138         if (pocet_chyb > 0) chyba_znaku();
139     }
140     filtr_50us = 0;
141 }
142 C1IF = 0;
143 }
144 }
145
146 int main(int argc, char** argv) {
147
148     OSCCON = 0b01111011; //16MHz
149     T2CON = 0b01001101; //timer 2, presc 4 - 1MHz poscaler 10
150     PR2 = 4; //5us -> 50us
151     TMR2IE = 1; //tmr2 interrupt
152     TRISA = 0xFF;
153     TRISB = 0xFF;
154     ANSELB = 0x00;
155     OPTION_REG &= 0x7F; // povolení pull-up
156     WPUB = 0x3F; // pull-upy
157     TRISC = 0xF1;
158     ANSA1 = 1;
159     CM1CON0 = 0b10110100; //povolení comp1, invert polarita, high speed mode
160     CM1CON1 = 0b11110001; // int na nabežnou i dobežnou, ref vss, pin C12IN0
161     INTCON = 0b11000000; //povolení int
162     C1IE = 1; //povolení int comp1
163     LATC3 = 0;
164     LATC1 = 1;
165     while(1)
166     {
167         if (pocet_chyb > 0) LATC2 = 1;
168         else LATC2 = 0;
169         if(!RC5)
170         {
171             if(CNT_Err <= 64000) CNT_Err++;
172             if (CNT_Err >= 64000) // kontroluje, zda je tlačítko stlačeno dlouze
173             {
174                 chyby();
175             }
176         }
177         else
178         {
179             if (CNT_Err < 64000 && CNT_Err > 10) CRC();
180             CNT_Err = 0;
181         }
182     }
183 }

```

## C.2 Zdrojový kód mikrokontroléru přijímacího modulu

```

1 function diference = synchronizace(referencename, soundname, Nstart, Nstop, vykresleni)
2 #include <stdio.h>
3 #include <stdlib.h>
4 #include <pic.h>

```

```

5 #include <string.h>
6
7 #define POCET_BITU 16
8 #define DLOUHA_INSTR 0
9 #define KRATKA_INSTR 1
10 #define RS RA7
11 #define RW RC4
12 #define EN RC5
13 #define CRC_POLY 0x11D
14
15 unsigned int cas_50us = 0, n = 0, cas_1[2] = {0,0}, cas_disp = 0, cas1s = 0, cas_0[2] = {0,0}, E_t = 0, znak_pom;
16 unsigned int znak = 0, CRC_NOK = 0, CRC_OK, cas_znak = 0;
17 unsigned int cas_E[20], pocet_zprav = 0;
18 char LCD_ready = 0, instrukce = KRATKA_INSTR, radka1[16], radka2[16], CRC_Err = 0;
19 int cas_ignor = 0;
20
21 void LCD_DB (char data) // prirazeni dat displeje na správné piny
22 {
23     PORTB = (data & 0x3F);
24     RC6 = (data & 0x40) >> 6;
25     RC7 = (data & 0x80) >> 7;
26 }
27 void LCD_instr (char data) // zapise instrukci na displej
28 {
29     RS = 0;
30     RW = 0;
31     while (!LCD_ready);
32     EN = 1;
33     LCD_DB(data);
34     EN = 0;
35     LCD_ready = 0;
36     cas_disp = 0;
37     TMR4 = 0;
38 }
39 void LCD_data (char data) // zapise data na displej
40 {
41     RS = 1;
42     RW = 0;
43     while (!LCD_ready);
44     EN = 1;
45     LCD_DB(data);
46     EN = 0;
47     LCD_ready = 0;
48     cas_disp = 0;
49     TMR4 = 0;
50 }
51 void LCD_zapis(void) // vypise na displej stringy radka1 a radka2
52 {
53     char i;
54     instrukce = KRATKA_INSTR;
55     LCD_instr(0x80);
56     for(i = 0; i < strlen(radka1); i++) LCD_data(radka1[i]);
57     LCD_instr(0xC0);
58     for(i = 0; i < strlen(radka2); i++) LCD_data(radka2[i]);
59 }
60 void do_radky (char text[], char radka, char adr) // zaradi do stringu radka1 nebo radka2 text na prislusnou adresu
61 {
62     if (radka == 1)
63     {
64         for(int i = 0; i < strlen(text); i++)
65             radka1[adr + i] = text[i];
66     }
67     else if (radka == 2)
68     {
69         for(int i = 0; i < strlen(text); i++)
70             radka2[adr + i] = text[i];
71     }
72 }
73 void LCD_init (void) // inicializace displeje
74 {
75     instrukce = DLOUHA_INSTR;
76     for(int i = 0; i < 16; i++)
77     {

```

```

78     radka1[i] = ' ';
79     radka2[i] = ' ';
80 }
81 LCD_instr(0x01); //smaze LCD, nastavi kurzor na zacatek
82 LCD_instr(0x38); //inicializace - 2radky, 8bit, font5x8
83 LCD_instr(0x0C); //vypnutí LCD,kurzoru
84 LCD_instr(0x06); //posuv kurzoru doprava
85 }
86
87 void vypis_znak (void) // obnovy data citacu CRC_OK, CRC_NOK a E_t ve stringu radka1 a radka2
88 {
89     if (!CRC_Err)
90     {
91         for (int i = 0; i < 8; i++)
92         {
93             radka2[7-i] = (znak_pom & 0x01) + 48;
94             znak_pom >>= 1;
95         }
96     }
97     else do_radky("CRC Err ",2,0);
98     radka1[13] = (CRC_OK % 10) + 48;
99     if (CRC_OK >= 10) radka1[12] = ((CRC_OK % 100)/10) + 48;
100    else radka1[12] = ' ';
101    if (CRC_OK >= 100) radka1[11] = ((CRC_OK % 1000)/100) + 48;
102    else radka1[11] = ' ';
103    if (CRC_OK >= 1000) radka1[10] = ((CRC_OK % 10000)/1000) + 48;
104    else radka1[10] = ' ';
105    if (CRC_OK >= 10000) radka1[9] = ((CRC_OK % 100000)/10000) + 48;
106    else radka1[9] = ' ';
107    radka1[5] = (CRC_NOK % 10) + 48;
108    if (CRC_NOK >= 10) radka1[4] = ((CRC_NOK % 100)/10) + 48;
109    else radka1[4] = ' ';
110    if (CRC_NOK >= 100) radka1[3] = ((CRC_NOK % 1000)/100) + 48;
111    else radka1[3] = ' ';
112    radka2[15] = (E_t % 10) + 48;
113    if (E_t >= 10) radka2[14] = ((E_t % 100)/10) + 48;
114    else radka2[14] = ' ';
115    if (E_t >= 100) radka2[13] = ((E_t % 1000)/100) + 48;
116    else radka2[13] = ' ';
117    LCD_zapis();
118 }
119
120 void CRC (void) // kontroluje, zda sedi CRC
121 {
122     unsigned int slovo = ((znak_pom & 0xFF) << 8),CRC_pom, offset_i = 0x8000, offset_x, offset_poly;
123     unsigned char i, x, z;
124     for (i = 15; i >= 8; i--)
125     {
126         if (slovo & offset_i)
127         {
128             CRC_pom = 0x00;
129             offset_x = offset_i;
130             offset_poly = 0x100;
131             for (x = i; x >= 0 && offset_poly != 0; x--)
132             {
133                 if (((slovo & offset_x) && !(CRC_POLY & offset_poly)) || (!(slovo & offset_x) && (CRC_POLY & offset_poly)))
134                 {
135                     CRC_pom |= (1 << x);
136                 }
137                 offset_x >>= 1;
138                 offset_poly >>= 1;
139             }
140             slovo = CRC_pom;
141         }
142         offset_i >>= 1;
143     }
144     if (slovo == ((znak_pom & 0xFF00) >> 8))
145     {
146         CRC_OK++;
147         CRC_Err = 0;
148         LATC2 = 0;
149         LATC1 = 1;
150         pocet_zprav++;

```

```

151     }
152     else
153     {
154         CRC_NOK++;
155         CRC_Err = 1;
156         LATC2 = 1;
157         LATC1 = 1;
158         pocet_zprav++;
159     }
160 }
161
162 void interrupt tc_int(void)
163 {
164     if(TMR4IF)          // interrupt timeru 4 - slouží pouze pro displej
165     {
166         TMR4IF = 0;
167         if (cas_disp <= 20000) cas_disp++;          //1s
168         if ((instrukce == KRATKA_INSTR && cas_disp >= 1) || (instrukce == DLOUHA_INSTR && cas_disp >= 40))
169             LCD_ready = 1;
170         if (cas1s <= 20000) cas1s++;
171     }
172     if(TMR2IF)          // interrupt timeru 4 - slouzi pro vyhodnocení prijimanych
173     {
174         if (cas_50us <= 20000) cas_50us++;          // nepreteceni 1s
175         if (cas_0[0] <= 20000 && !C1OUT) cas_0[0]++;
176         if (cas_1[0] <= 20000 && C1OUT && cas_ignor >= 200)
177         {
178             cas_1[0]++;
179             if (cas_1[0] >= 160)          // detekce uvodniho znaku
180             {
181                 cas_1[0] = 0;
182                 znak = 0x00;
183                 n = 0;
184                 cas_znak = 0;
185                 cas_ignor = -10;
186             }
187         }
188         if (cas_ignor <= 400) cas_ignor++;          // nepreteceni 20ms
189
190         cas_znak++;
191         if (cas_znak >= 600)          // je-li prijimano slovo moc dlouho dobu, tak ho zahodi
192         {
193             znak = 0x00;
194             n = 0;
195         }
196         TMR2IF = 0;
197     }
198     if(C1IF)            // interrupt komparátoru
199     {
200         if (cas_0[0] >= 14 && cas_ignor >= 200)          // proti drobným překmitům, cas_ignor filtruje transienční jevy
201         {
202             cas_0[1] = cas_0[0];
203             cas_1[1] = cas_1[0];
204             cas_0[0] = 0;
205             cas_1[0] = 0;
206             if (cas_1[1] >= 37 && cas_1[1] <= 46 && cas_0[1] <= 23) // kontroluje, zda je přijímán znak 1
207             {
208                 znak |= (1<<n);
209                 n++;
210                 if ( n == 3 || n == 6 || n == 9 || n == 12 || n == 15) cas_ignor = 0;
211                 else if (n == 16) cas_ignor = -100;
212                 cas_znak = 0;
213             }
214             else if (cas_1[1] >= 17 && cas_1[1] <= 26 && cas_0[1] >= 34 && cas_0[1] <= 44) // kontroluje, zda je znak 0
215             {
216                 znak |= (0<<n);
217                 n++;
218                 if ( n == 3 || n == 6 || n == 9 || n == 12 || n == 15) cas_ignor = 0;
219                 else if (n == 16) cas_ignor = -100;
220                 cas_znak = 0;
221             }
222             if (n == POCET_BITU)          // jestli je přijatý očekávaný počet znaků
223             {

```

```

224         n = 0;
225         znak_pom = znak;
226         znak = 0x00;
227         CRC();
228         if (cas_50us >= 4000)          // kontroluje, zda bylo slovo prijato nejdele 200ms po predchozim
229         {
230             E_t++;
231         }
232         cas_50us = 0;
233     }
234
235     }
236     C1IF = 0;
237 }
238 }
239
240 int main(int argc, char** argv) {
241
242     OSCCON = 0b01111011;    //16MHz
243     INTCON |= 0b11000000;   //povolení int
244     T2CON = 0b01001101;    //timer 2, presc 4 - 1MHz poscaler 10
245     PR2 = 4;               //5us -> 50us
246     TMR2IE = 1;           //tmr2 interrupt
247     T4CON = 0b01001101;    //timer 4, presc 4 - 1MHz poscaler 10
248     PR4 = 4;              //5us -> 50us
249     TMR4IE = 1;           //tmr4 interrupt
250     TRISA = 0x01;         // IO portu A
251     ANSAO = 1;           // analog vstup RAO
252     TRISB = 0xC0;
253     ANSELB = 0xC0;
254     TRISC = 0xF9;
255     FVRCON = 0b100001100;  // na DAC 4,125 V
256     DACCON0 = 0b10001000;  // EN, neni na pinu vystup, FVR reference, Vref- Vss
257     DACCON1 = 0b01111;    // cca 2V
258     CM1CON0 = 0b10110110; //povolení comp1, invert polarita,high speed mode, asynchr
259     CM1CON1 = 0b10010000; // int na nabeznou, ref DAC, pin C12IN1- to jest RA1
260     C1IE = 1;             //povolení int comp1
261     while (cas_disp <= 1000); // cekani, nez nabehne displej
262     LCD_init();
263     do_radky("CRC", 1, 0);
264     do_radky("NOK", 1, 6);
265     do_radky("OK", 1, 14);
266     do_radky("00000000 E_t", 2, 0);
267     E_t = 0;
268     cas_50us = 0;
269     while(1)
270     {
271         if (cas_ignor <= 200) LATA1 = 1;    // diagnosticky vystup, kdy se neprijimaji data
272         else LATA1 = 0;
273         LATA3 = C1OUT;                       // diagnosticky vystup - vystup komparatoru
274         if (cas1s >= 20000) {                // obnovení displeje po 1s
275             cas1s = 0;
276             vypis_znak();
277             if (pocet_zprav <= 5) // je-li pocet zprav za posledni vterinu mensi nez 5 rozsviti jen červenou LED
278             {
279                 LATC1 = 0;
280                 LATC2 = 1;
281             }
282             pocet_zprav = 0;
283         }
284         if (!RC3) // nulovani citacu
285         {
286             CRC_NOK = 0x00;
287             CRC_OK = 0x00;
288             E_t = 0;
289         }
290     }
291 }

```