

Bezdrátový optický spoj pro LAN Ethernet

Libor Štěpán

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav aplikované informatiky
akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří URBAN**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Návrh a realizace projektu pro podporu výzkumného grantu: Dopravní obslužnost a technologie ve vztahu k regionálnímu rozvoji.**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se z výzkumným grantem a jeho cíly.
2. Návrh řešení výsledné aplikace včetně analýzy struktury databáze.
3. Vytvoření datové části aplikace dle požadavků zadavatele.
4. Implementace vhodného uživatelského rozhraní v Microsoft .NET a jeho napojení na datovou část.
5. Testování aplikace z hlediska funkčnosti a správnosti zobrazovaných výstupů.
6. Sestavení podrobné dokumentace, seznámení zadavatele s programem.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] PUŽMANOVÁ, R. Širokopásmový Internet – Přístupové a domácí sítě.

Brno: Computer Press, 2004. ISBN 80-251-0139-8.

[2] BIGELOW, J. S. Mistrovství v počítačových sítích. 1.vyd. Brno: Computer Press, 2004.

ISBN 80-251-0178-9.

[3] David, A. J. Příručka optické komunikace vzduchem. Dostupný z URL:

<<http://www.imagineeringezine.com/ttaoc/intro.html>>

[4] Projekt Ronja – optické datové spoje. Dostupný z URL:

<<http://ronja.twibright.com/>>.

[5] Optické datové spoje vedené vzduchem – firma MRV. Dostupný z URL:

<<http://www.mrv.com/technology/fso.php>>.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miroslav Matýsek, Ph.D.

Ústav aplikované informatiky

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2006

Termín odevzdání bakalářské práce:

16. června 2006

Ve Zlíně dne 14. února 2006



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
pověřený děkan



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá popisem funkce a výroby kompletního PtoP (Point to Point) bezdrátového optického spoje pracujícím v infra spektru pro přímé připojení do LAN (Local Area Network) Ethernet. Podrobně popisuje funkci všech částí, elektrických zapojení a zjednodušený náhled mechanického uložení.

ABSTRACT

My thesis deals with description of function of all parts and building complete Point to Point infra optical wireless data link for direct connection with LAN Ethernet. It describes function of all parts, electric circuits and mechanics.

Děkuji Ing. Miroslavu Matýskovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce.

V neposlední řadě chci poděkovat také panu Radku Valovi za krátkou, ale velmi účinnou konstrukční spolupráci.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce, ředitele ústavu a institutu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 12. 06. 2006

.....

podpis

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 8 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 9 |
| 1 SVĚTELNÉ OPTICKÉ PŘENOSY | 10 |
| 1.1 IRDA (INFRARED DATA ASSOCIATION) | 10 |
| 1.1.1 Standardy..... | 10 |
| 1.1.2 Vlastnosti IrDa | 10 |
| 1.1.3 Komunikace | 11 |
| 1.2 PŘÍSTUP PŘES PROSTOROVOU OPTIKU – FSO | 11 |
| 1.2.1 Bezpečnost provozu a přenosu dat..... | 11 |
| 1.2.2 Konfigurace bezdrátových optických sítí | 12 |
| 1.3 RONJA | 15 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 16 |
| 2 RONJA INFERNO | 17 |
| 2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE..... | 17 |
| 2.1.1 Blokové schéma | 18 |
| 2.2 POPIS ZAŘÍZENÍ | 19 |
| 2.2.1 INTERFACE (Ronja Twister) | 19 |
| 2.2.1.1 Napájecí obvody | 20 |
| 2.2.1.2 1 MHz ochranný signál..... | 20 |
| 2.2.1.3 Vysílací sekce | 21 |
| 2.2.1.4 Přijímací sekce..... | 21 |
| 2.2.1.5 Vlastní provedení interfacu..... | 22 |
| 2.2.2 VYSÍLAČ | 24 |
| 2.2.2.1 Napájecí obvody | 24 |
| 2.2.2.2 Zpracování signálu..... | 24 |
| 2.2.2.3 Vysílací součástka | 24 |
| 2.2.2.4 Vlastní provedení vysílače..... | 25 |
| 2.2.3 PŘIJÍMAČ (Ronja Inferno Receiver) | 26 |
| 2.2.3.1 Napájecí obvody | 26 |
| 2.2.3.2 Přijímací sekce..... | 26 |
| 2.2.3.3 Úprava signálu | 26 |
| 2.2.3.4 Vlastní provedení přijímače..... | 27 |
| 2.3 ELEKTRICKÁ SCHÉMATA JEDNOTLIVÝCH MODULŮ | 28 |
| 2.3.1 Elektrické schéma vysílače | 28 |
| 2.3.2 Elektrické schéma přijímače | 29 |
| 2.3.3 Elektrické schéma Interfacu | 30 |
| 2.4 ROZPIS POUŽITÝCH SOUČÁSTEK | 31 |
| 2.5 MECHANICKÉ PŘÍJÍMAČI KOMPLETNÍHO SPOJE | 31 |
| 2.6 TESTOVÁNÍ RONJI INFERNO..... | 32 |
| ZÁVĚR | 33 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 34 |

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 35 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 38 |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | 39 |

ÚVOD

Rychlý rozvoj bezdrátových, radiových, telekomunikačních technologií v poslední době je velmi příznivý, co se týká cen koncových zařízení. Dnes již není prakticky pro nikoho problém vytvořit si svou vlastní domácí bezdrátovou síť, případně rozsáhlejší infrastrukturu v blízkém okolí. Na druhou stranu právě díky takovému rozšíření, se stalo volné frekvenční pásmo 2,4GHz podléhající všeobecnému oprávnění č. VO-R/12/08.2005-34 k využívání radiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat na principu rozprostřeného spektra nebo OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) v pásmech 2,4GHz a 5GHz na mnoha hustěji osídlených místech naší republiky nepoužitelným. Je jen otázkou času, kdy zařízení pro pásmo 5GHz, uvolněné v srpnu 2005, budou stejně masově rozšířena jako ta stávající pro 2,4GHz. [1]

Optická bezdrátová zařízení nevyužívají pro svou funkci radiové vlny, jsou spolehlivá a přes svou relativně pomalou přenosovou rychlost 10Mbit/s (týká se neprofesionálních domácích výrobků, jakým je např. projekt Ronja [2]) se vyznačují velmi malou latencí (zpoždění), podobně jako kabelové spoje. Nevýhodou jsou kratší dosažitelné vzdálenosti a náchylnost na nepříznivé počasí. Mlha či husté sněžení jsou zkrátka mechanickými překážkami se kterými si světlo neporadí. Při použití na krátké vzdálenosti však přestávají být tyto aspekty problémem a lze tak naplno využít všech výhod tohoto levného bezdrátového pojítka. Právě proto byla Ronja Inferno nejvhodnějším kandidátem na splnění požadavků a to překonání vzdálenosti 200 m v zarušeném prostředí, kde není možné provést položení kabeláže s důrazem na minimální latenci při vytížení spoje.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SVĚTELNÉ OPTICKÉ PŘENOSY

1.1 IrDa (Infrared Data Association)

IrDA je zkratka pro datovou komunikaci mezi zařízeními prostřednictvím infračerveného záření, tedy vzduchem, bezdrátově mezi dvěma matnými čidly na vzdálenost pár desítek centimetrů. Pro upřesnění je IrDA zkratka odvozená z Infrared Data Association, názvu neziskové mezinárodní organizace založené v roce 1993, která vytváří a spravuje standardy pro infračervenou komunikaci.

1.1.1 Standardy

- IrDA Data je určený pro zpravidla jednorázový, rozhodně však rychlý přenos dat mezi dvěma zařízeními. Těmi mohou být notebooky, tiskárny, příruční počítače (H/PC), mobilní telefony, pagery či digitální fotoaparáty.
- IrDA Control vznikl v roce 1999 a je podobný nám důvěrně známé infračervené komunikaci, tedy dálkovému ovládaní televizoru. Maximální přenosová rychlost je pouze 75 kb/s, zato dosah je garantovaný minimálně pět metrů a na rozdíl od dálkového ovládaní může být komunikace obousměrná. To je využitelné u bezdrátových klávesnic, myší, joysticků a jiných polohových zařízení pro ovládaní nejen počítačů, ale i herních konzolí či televizních boxů pro připojení k Internetu.

1.1.2 Vlastnosti IrDa

Standard IrDA Data definuje obousměrnou komunikaci chráněnou kontrolním součtem CRC, a to od přenosové rychlosti 9 600 b/s až do maximálních 4 Mb/s. Minimální vzdálenost mezi dvěma čidly, kdy si budou obě zařízení bez problémů předávat data, je odvozená od výkonu daných zařízení. Zatímco notebooky a tiskárny komunikují do vzdálenosti jednoho až dvou metrů, mobilní telefony a elektronické diáře musí být přiblíženy aspoň na 20 cm, aby neměly příliš velký odběr elektrické energie.

Tyto dosahy počítají s vhodným počasím a přímou viditelností mezi čidly; na přímém slunci, v hustém dešti či s jinými překážkami v cestě se mohou výrazně zkrátit. Kromě vzdálenosti je třeba hlídat ještě správnou vzájemnou polohu čidel – infračervené záření je totiž od vysílače šířené přímo, s maximální odchylkou 15 stupňů.

1.1.3 Komunikace

K využití je potřeba použít alespoň dva přístroje, mezi kterými chceme přenášet data. Druhým krokem ke komunikaci jsou nejnovější ovladače (eventuelně firmware) infračerveného portu v obou zařízeních – napříč tomu, že standard je na světě relativně dlouho, stále se jedná o technologii, která se musí pořádně prověřit.

Ne zřídka se první modely zařízení s IrDA dorozuměla pouze mezi sebou samotnými (mobil s mobilem apod.); upgradem je možné naučit je i jiným komunikačním protokolům IrDA, díky kterým se domluví i odlišná zařízení např. elektronický diář s notebookem.

Navázání komunikace pomocí IrDA je nutné aktivovat u obou zařízení, bez testovacího vysílání se nejsou schopny o sobě dozvědět. Počítač nebo tiskárna umožňují hledání ostatních zařízení v pravidelných intervalech automaticky, u menších zařízení, kde je nutné myslet na spotřebu energie, by se jednalo o plýtvání, a proto vysílání infračervených vln musíme zapnout ručně.

1.2 Přístup přes prostorovou optiku – FSO

Prostorová bezdrátová optika umožňuje spojení míst s přímou viditelností na menší vzdálenosti (tzv. Free-Space Optics, FSO). Výhodou je, že realizaci neomezuje správa frekvenčního spektra. Nevýhodou je možný vliv nepříznivého počasí na kvalitu spojení (včetně nekontrolovatelných přerušování spojení např. Letícím ptactvem).

Bezdrátové optické spoje (FSO, Free-Space Optics) a sítě můžeme využít jak v metropolitních sítích, tak při řešení první míle nebo pro privátní propojení budov. Nabízené přenosové rychlosti a bezpečnost činí z bezdrátové optiky velmi zajímavou síťovou technologii odpovídající mnoha požadavkům.

1.2.1 Bezpečnost provozu a přenosu dat

FSO pracuje na vlnových délkách blízkých infračervenému spektru. Bezpečnost laserového přenosu pro člověka je u výrobců garantovaná testy a certifikáty na konformitu s normou IEC 60825-1. Některé produkty nabízejí také automatické snížení výkonu laseru, jakmile se někdo dostane do vysílacího paprsku. (APR, Automatic Power Reduction). La-

sery pro delší vlnové délky (1550 nm) umožňují vyšší výkon při stejně bezpečném provozu vůči lidskému zraku, proto dosahují většího dosahu a vyšší modulační rychlosti 2,5 Gbit/s, testuje se i 10 Gbit/s. Systémy FSO pracují s laserovými zářiči ve dvou kategoriích: se zářením o vlnové délce okolo 800 nm, které jsou pro lidské oko sice neviditelné, ale pronikají do oka až na sítnici, zatímco systémy se zářením s vlnovou délkou 1550 nm se absorbují čočkou a rohovkou.

V porovnání s bezdrátovými technologiemi, např. Wifi, je přenos v optické bezdrátové síti velmi bezpečný. Zatímco rádiové nebo mikrovlnné přenosy se dají jednoduše zachytit a odposlouchávat, u bezdrátových optických přenosů toto nehrozí. Optický signál přenášený vzduchem je velmi těžce zachytitelný a narušitelný. Potenciální narušitel by musel mít přístup přímo k laserovému zářiči. Optické záření je neviditelné, velmi úzké a většinou se nachází vysoko nad zemí. To znamená, že potenciální narušitel má pouze minimální pole působnosti, které je navíc omezené fyzickým zabezpečením přístupu k optickým zařízením v oknech nebo na střechách.

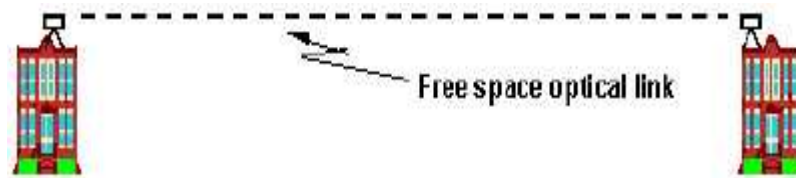
Paprsek u FSO je velmi úzký, např. při vysílání na vzdálenost 300 m je průměr paprsku u cíle okolo 1,3 metru, na jeden kilometr pouze okolo čtyř metrů, přičemž v okolí jsou pouze rozptýlené fotony, které nemohou nijak posloužit potenciálním narušitelům. (Správné dimenzování průměru přijímače také výrazně omezuje ovlivnění přenosu atmosférou.) Vysoká bezpečnost optického bezdrátového přenosu je jedním z důvodů, proč jej už delší dobu využívá armáda a tajné služby. Navíc protokoly vyšších vrstev mohou ještě více zabezpečit vlastní obsah přenosu.

1.2.2 Konfigurace bezdrátových optických sítí

Bezdrátová optická síť (WON, Wireless Optical Network) je postavena právě s využitím optických spojů založených na technologii FSO. Bezdrátový optický spoj se skládá z dvou jednotek FSO sestavených z optických transceiverů přesně nastavených proti sobě v přímé přímce viditelnosti. Transceivery obsahují laserový vysílač a detektor signálu pro zajištění režimu provozu v plném duplexu. Optické transceivery jsou většinou umístěny na střeše domu, ale mohou být i před/za oknem.

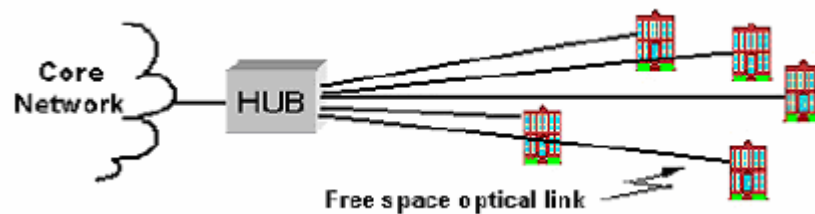
Bezdrátové optické sítě jsou založené na spojích na bázi optiky ve volném prostoru (WOL, Wireless Optical Link) a mohou používat několik typů topologií:

- Dvoubodový spoj (Point-to-Point; Obr. 1) - spoj poskytuje určenou kapacitu mezi dvěma přepojenými terminály v plném duplexu, se symetrickou kapacitou příjmu i vysílání.



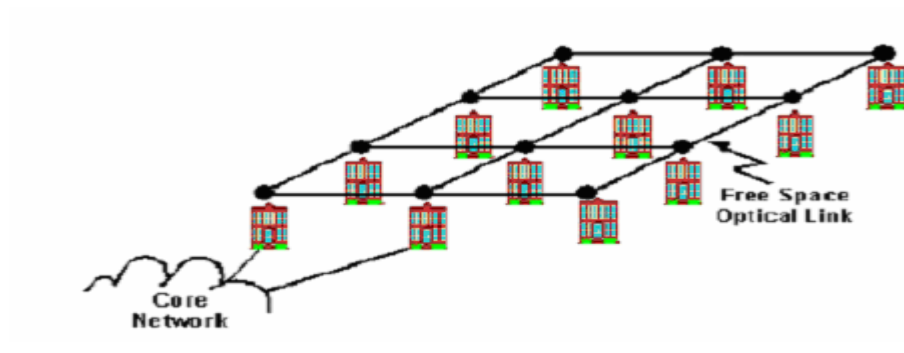
Obr. 1 WOL, dvoubodový spoj

- Vícebodový spoj (point-to-multipoint; Obr. 2) - zahrnuje stanice rozbočovače a zařízení u zákazníka (CPE, customer premises equipment). Rozbočovač se umístí na vysoké budově a laserové signály se vysílají hvězdicově na okolní budovy, kde jsou přijímače/vysílače umístěny na střeách nebo v oknech



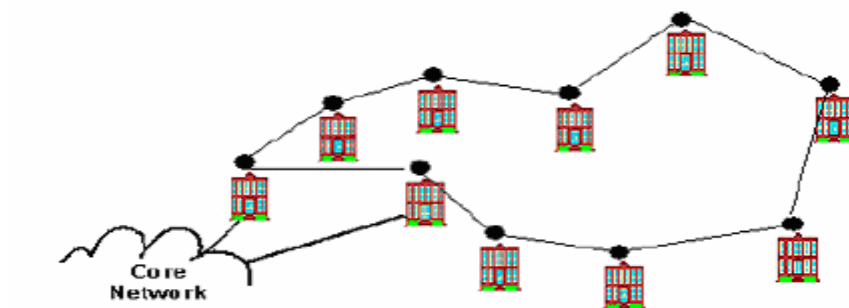
Obr. 2 WOL, vícebodový spoj

- (Plně) přepojovaná síť (mesh network; Obr. 3) - nejspolehlivější typ konfigurace založený na krátkých dvoubodových spoji s dostatečnou redundancí pro řešení případných výpadků v síti. Krátké spoje jsou spolehlivé i v případě obávané mlhy.



Obr. 3 WOL, plně přepojovaná síť

- Kruhová topologie sítě (Obr. 4) - poskytuje omezenou redundanci a vystačí i s menším počtem optických spojů než v plně přepojované síti.

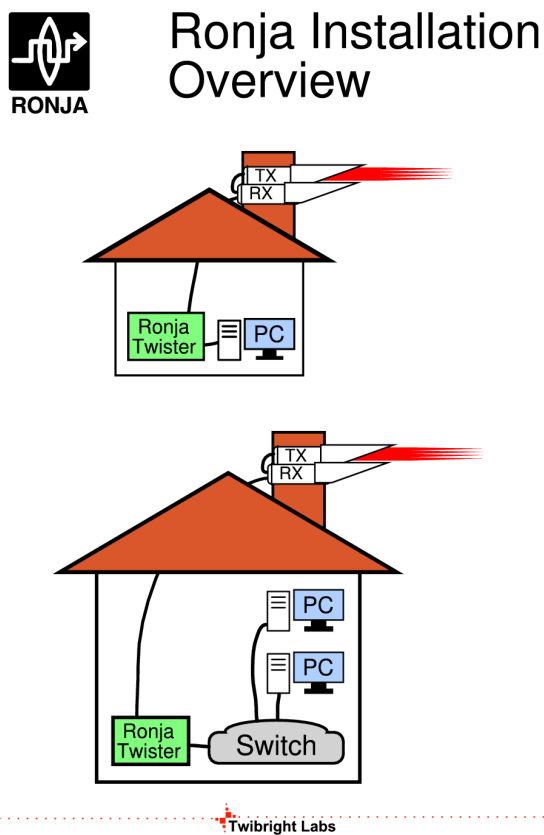


Obr. 4 WOL, kruhová topologie sítě

1.3 Ronja

(Reasonable Optical Near Joint Acces) je uživatelsky kontrolovaný technologický projekt (podobně jako software s volnou licenci) optického pojitka. Zařízení má dosah 1.4 km se stabilní datovou propustností 10Mbit/s Full Duplex. Ronja je optoelektrické zařízení umístěné na domě připojitelné k PC, domácí, kancelářské nebo firemní síti, sloužící jako bezdrátové propojení dvou bodů (pro budovy nebo jiný síťový projekt).

Design je vyvíjen pod GNU volnou dokumentační licenci, tzn. že veškerá dokumentace k výrobě, návody a doporučené postupy jsou zdarma. Materiálově je zařízení velmi levné, přibližně 3000 Kč,-. Provoz zařízení nezpůsobuje elektromagnetické ani rádiové rušení a stejně tak je proti takovému rušení imunní. Naproti tomu však může být kvalita přenosu snížena v důsledku ztráty přímé viditelnosti, silné mlhy nebo sněžení. Pomocí tohoto zařízení lze realizovat všechny typy zmíněných konfigurací optických bezdrátových sítí. Příklad realizace dvoubodového spoje:



Obr. 5 WOL,

dvoubodový

spoj pomocí Ronji

II. PRAKTICKÁ ČÁST

2 RONJA INFERNO

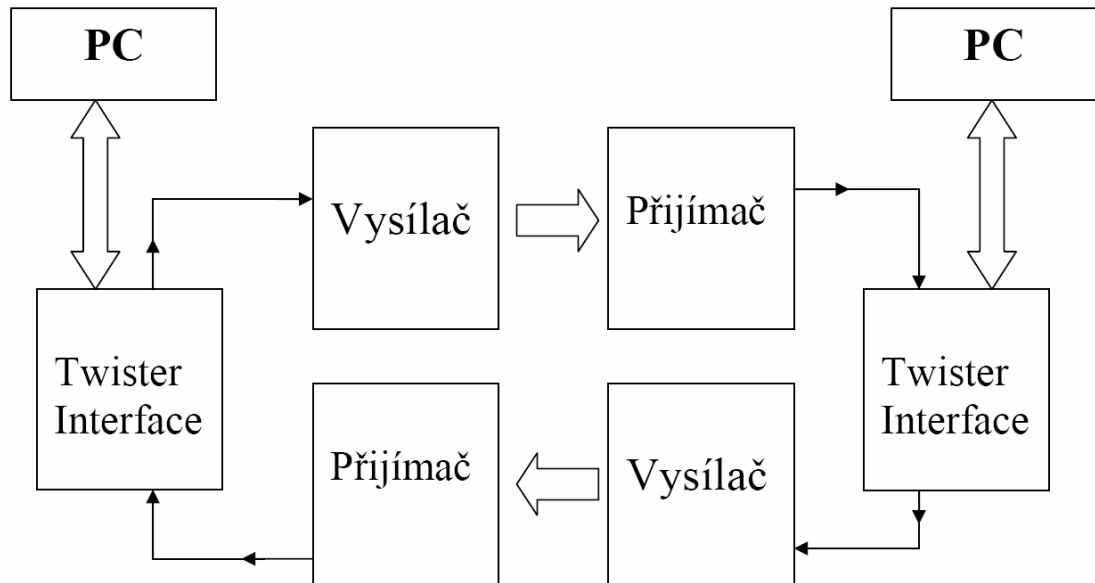
Vychází z dřívějšího zapojení Ronja Tetrapolis. Změnami v Tx modulu bylo umožněno použít jako vysílací prvek relativně pomalou Infra diodu HSDL-4220. Toto zařízení je výborným příkladem FSO, které je určeno pro domácí výrobu. Od profesionálních zařízení se liší zejména pořizovacími náklady, ale také svým výkonem. Dosavadní uvolněná verze disponuje přenosovými rychlostmi 10Mbit/s bez autonegotiation. Což v praxi umožňuje využití FD (full duplex) režimu jen v přímém propojení s PC s nastaveným FD, popř. managovatelnými switchi. S ostatními zařízeními jede pouze v HD (Half Duplex) režimu.

2.1 Základní informace

- Rychlost přenosu: 10 Mbit/s, half-duplex/full-duplex
- Maximální pracovní vzdálenost: 1km s 100 mm optikou
- Vstupní datové rozhraní: 10BaseT
- Minimální pracovní vzdálenost: 1/4 maximální pracovní vzdálenosti
- Autonegotiation: ne, běží v half-duplexu se zařízeními, které nemohou být manuálně nastaveny na full-duplex
- Příkon: 260mA @ 12V (3.1 W) z externího zdroje
- Operační vlnová délka: neviditelná, 875 nm, (infra)
- Odhadovaný optický výkon: max 30 mW
- Operační vlhkost: 100 % s vyhříváním čoček výkonem 1 W
- Viditelnost: musí být zajištěna přímá optická viditelnost
- Měření systému: vizuálně pomocí digitální kamery, intenzita signálu se monitoruje na rssi (Received Signal Strength Indication) v přijímači

2.1.1 Blokové schéma

Blokové schéma Ronji Inferno, které je znázorněno na Obr. 6 je následující :



Obr. 6 Blokové schéma Ronji Inferno

2.2 Popis zařízení

Celé zařízení RONJA 10Mb/s se skládá ze dvou totožných zařízení a každé z nich je možné rozložit na tři moduly: Interface, vysílač a přijímač.

2.2.1 INTERFACE (Ronja Twister)

Toto zařízení má za úlohu upravit signálové úrovně a impedanci pro optický přenos. Navíc generovat přídatný signál nutný pro bezchybnou funkci zařízení s okolními rušivými vlivy. Indikace funkčnosti datového spojení pro obsluhu pomocí LED diod.

Tento interface je určen pro připojení Ronji 10M do switche, nebo síťové ethernetové karty vybavené konektorem RJ-45.

Výstupem jsou pak svorky pro připojení Rx a Tx optických modulů pomocí stíněné dvojlinky (do vzdálenosti 10m od interface) nebo koaxiálních kabelů (do 100m od interface)

Celý Interface je možné rozdělit do čtyř bloků, které jsou znázorněny na Obr. 7



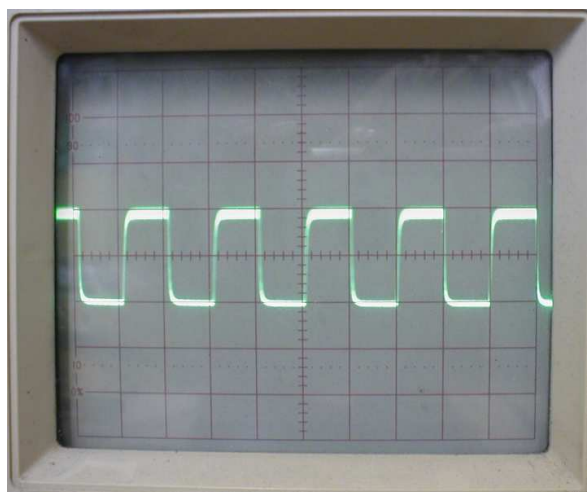
Obr. 7 Blokové schéma Interfacu

2.2.1.1 Napájecí obvody

Celé zařízení je napájeno dvanácti volty z externího zdroje. Vstupních 12V je filtrováno cívkou L51 o hodnotě cca 1mH, navinutou deseti závity z klasického drátu. Cívka filtruje šum okolo 50Hz. Elektrolytický kondenzátor C57 spolu s kondenzátory C58 a C59 filtrují nežádoucí kmity napětí, dioda D55 chrání zařízení proti přepólování. Stabilizátor 7805 U68 mění 12V na 5V, soustava kondenzátorů C111, C53 a C54 jsou opět filtry proti ztrátovému odporu a nežádoucích kmitů z výstupu stabilizátoru. Interface potřebuje pouze 5 V napájení. Každé napájení integrovaného obvodu je ošetřeno dvěma blokujícími kondenzátory, ty slouží k tomu, aby nedocházelo k poklesu napětí během překlápění hradel, ve kterých vznikají napěťové špičky.

2.2.1.2 1 MHz ochranný signál

V obvodu je zapojen 16 MHz krystalový oscilátor. Oscilátor je ihned invertován obvodem U57 a využíván jako hodiny v dvanáctibitovém binárním čítači U60, dále v sérioparalelních převodnicích U51, 53, 63, 64, 65 a čtyřbitovém binárním čítači U59, ze kterého vychází ochranný 1MHz signál. 1 MHz signál se využívá, když RONJOU neprochází data. Zajišťuje, aby se optické spojení nerozpadlo a aby přijímač nepřijímal šумы z okolního prostředí, které by mohl vyhodnotit jako data. Tato frekvence prochází všemi logickými obvody ve vysílači a přijímači, takže se nemůže stát, aby přijímač ovlivnilo sluneční světlo, které má „stejnoseměrný“ charakter.



Obr. 8 - 1 MHz signál z interfacu

2.2.1.3 Vysílací sekce

Signál ze síťové karty je ihned převeden na TTL logiku, to znamená, že jeho signálové úrovně jsou transformovány na cca 0 a 5V pomocí integrovaného obvodu s komparátory DS26LS32 U62 na pinech 9 a 10. Poté je signál přiveden na derivační článek tvořící kondenzátor C101 a rezistor R62, a pak na soustavu tří sérioparalelních převodníků 74HC164 U63, 64, 65, které plní funkci natahování pulsů. Pokud procházejí data, tak tento signál resetuje U59, který generuje 1MHz ochranný signál, takže se nemůže stát, že do vysílače současně půjde 1 MHz signál a data o frekvenci 10 MHz. Dále je tento natažený signál přiveden na piny 1 a 2 2NANDU U56. Výsledný signál se využívá pro indikaci procházejících dat na kontrolní červené LED diodě D59 a pro otevření cesty pro signál přes pin 13 ORu U54, potřebného pro průchod dat vyslaných ze síťové karty na pin 12 U54. Pokud neprocházejí data, vysílací signál nahrazuje ochranný 1 MHz signál přivedený na pin 5 NANDu U56. Rezistory R67 a R68 jsou děliče napětí zajišťující amplitudu napětí maximálně 700mV. Na vazebním kondenzátoru C106 je odstraněna nežádoucí ss složka, poté je už hotový signál přiveden na pin 2 konektoru CONN53 pro další zpracování vysílačem.

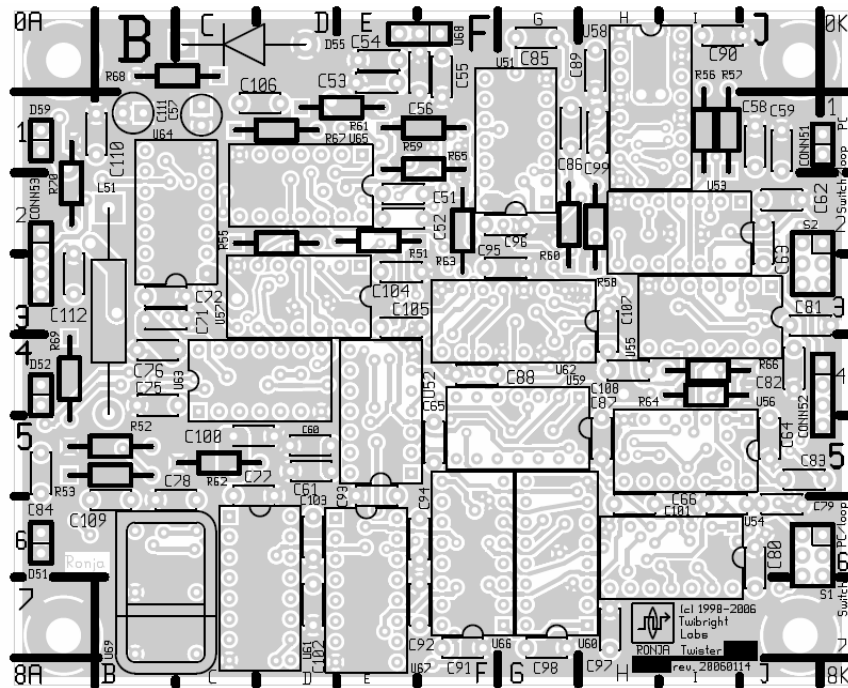
2.2.1.4 Přijímací sekce

Signál přicházející z přijímače je ihned transformován na TTL logiku na portu 7 na DS26LS32 U62. Poté jde přes soustavu invertorů U52 na pinech 1, 3 a derivačního článku C65 a R52 do soustavy dvou sérioparalelních převodníků 74HC164 U51 a U53. Ty plní funkci natahování pulsů 10 MHz signálu a zároveň odstraní ochranný 1 MHz signál. Takže ethernetová karta přijímá pouze data. Při procházejících datech svítí zelená LED dioda D51 a zároveň se resetují dva 12-ti stupňové čítače U60 a U61, které když běží, nedovolí průchodu jakýchkoliv dat do síťové karty. Samotný průchod dat vytváří soustava tří 2NANDů U55 na pinech 1, 2, 4, 5, 12, 13 a ORU U54 na pinech 9 a 10. Signál se poté transformuje pomocí integrovaného obvodu s komparátory U58 na hodnoty napětí kompatibilní s ethernetovou kartou. Ethernetová karta využívá pouze čtyři vodiče, vysílání, příjem a jejich negace. Ostatní vodiče RONJA nepotřebuje a jsou uzemněny. Jumperovací přepínače S1 a S2 slouží pro nastavení tří režimů (obr. 14): PC slouží pro připojení do ethernetové karty v počítači, najumperování na SWITCH se využívá pro připojení na síťo-

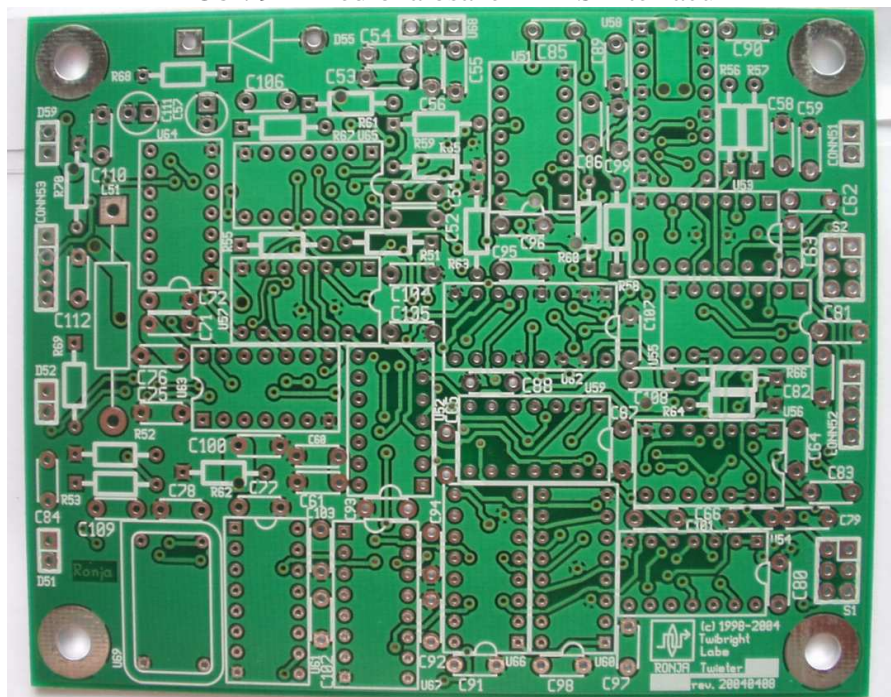
vé rozbočovače typu switch nebo hub, poslední režim LOOPBACK je testovací pro ověření správného zapojení UTP kabelu.

2.2.1.5 Vlastní provedení interfacu

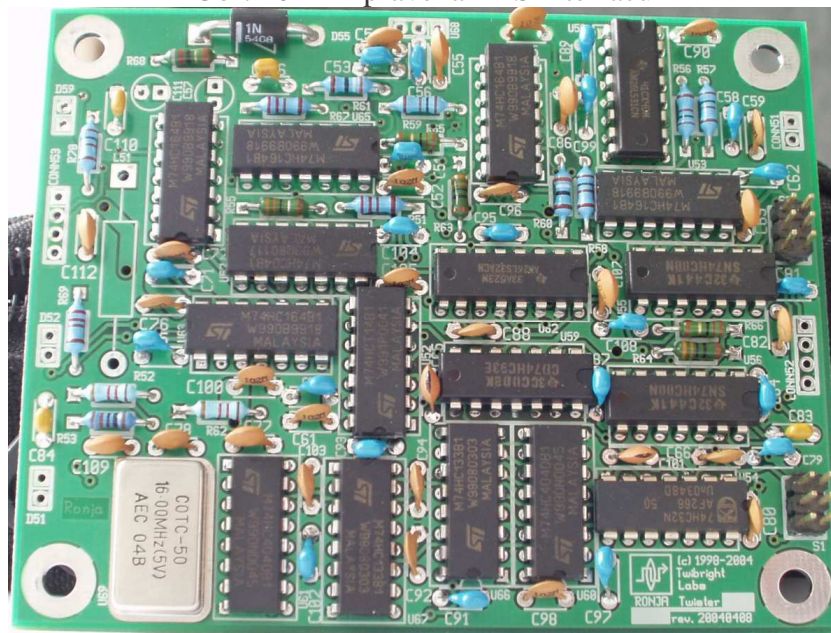
Interface, nazvaný autorem projektu jako Twister, byl vyhotoven na DPS (desce plošných spojů).



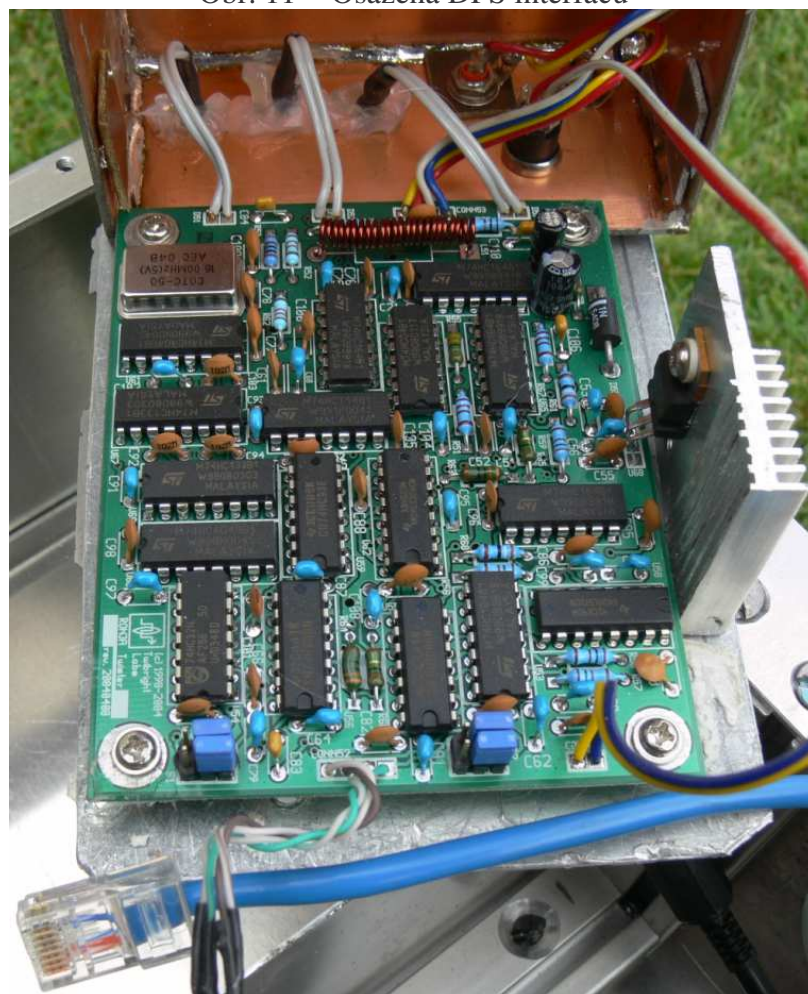
Obr. 9 - Předloha osazení DPS interfacu



Obr. 10 - Připravená DPS interfacu



Obr. 11 - Osazená DPS interfacu



Obr. 12 - Hotový interface

2.2.2 VYSÍLAČ

2.2.2.1 Napájecí obvody

Napětí je přivedeno přes stínění na obou koaxiálních kabelech vedoucích k přijímači a vysílači, ty jsou navzájem propojeny. 12V je hned na začátku filtrováno proti vysokofrekvenčnímu šumu dvojicí kondenzátorů C1, C2. Dioda D1 chrání zařízení proti přepólování. Dále je napájecí napětí filtrováno kondenzátory C8, 9, 10, 11 a rezistorem R7. Rezistor R7 také plní funkci zmenšení vstupního napětí do stabilizátoru, který je tvořen tranzistory Q3, Q4 a 7.5V Zenerovou diodou D2.

2.2.2.2 Zpracování signálu

Rezistor R1 impedančně přizpůsobuje koaxiální kabel, přejímá funkci terminátoru v koaxiálních sítích. Signál vstupuje do obvodu přes kondenzátor C3, jež filtruje ss složku na bázi tranzistoru Q1. Soustava 2 tranzistoru Q1 a Q2 je zesilovač s velkým zesílením pod názvem Limiter. Jeho vlastností je, že při velkém vstupním signálu "rovně" ořízne amplitudu výstupního. Podobně jako zapojení s operačním zesilovačem. Nenastane tedy zkreslení signálu v čase jako na jedno-tranzistorovém zesilovači v zapojení se společným emitorem (v důsledku saturace). Dvojice rezistorů R8, R9 nastavují pracovní bod preemfáze u tranzistoru. C16 a R10 zabraňují průchodu napětí, neprochází-li žádný signál (ani 1 MHz). Aby bylo možno přivést do vysílací LED diody o velkém odběru strmé pulsy, signál se zesiluje patnácti paralelně zapojenými invertory. Procházející proud se nastaví rezistorem R11. Paralelně spojené invertory U1, 2, 3 jsou napájeny 5V s filtrovacími kondenzátory C12, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 29 a blokující kondenzátory C18, 19, slouží k tomu, aby nedocházelo k poklesu napětí během překlápění hradel, ve kterých vznikají proudové špičky.

2.2.2.3 Vysílací součástka

Vysílací LED dioda je speciální, rychlá, výkonná infra dioda HSDL - 4220 nebo HSDL - 4230. Vyžaduje proud cca 50 mA, proto se jako budící člen použilo paralelní spojení tří integrovaných obvodů U1, 2, 3 74HC04, které takto mohou bez problémů potřebný proud dodat. IR (Infra Red) záření není schopno lidské oko zachytit. Při konečné kalibraci zařízení a následném zaměřování kompletního spoje je tedy nutné použít prostředky, které

jsou alespoň z části schopné toto záření zachytit. Jsou jimi například digitální fotoaparáty a kamery s CCD snímači.



Obr. 13 Vysílací infra dioda



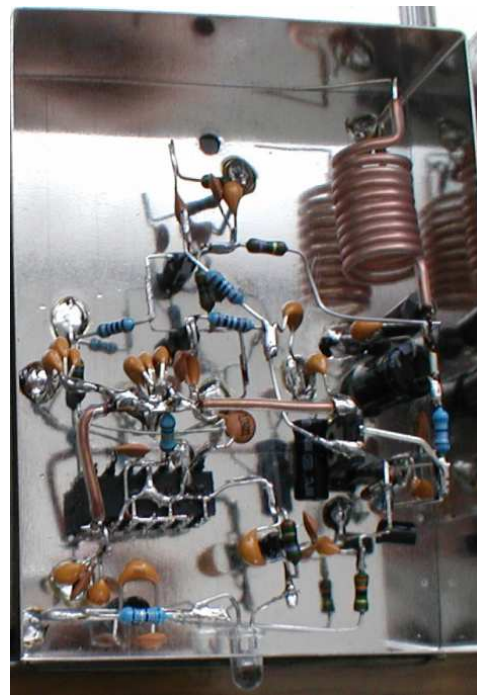
Obr. 14 Vysílací infra dioda - svit

2.2.2.4 Vlastní provedení vysílače

Výroba elektroniky infra vysílače, nazvané autorem jako Ronja Nebulus, byla provedena metodou vzdušné konstrukce, známé spíše pod pojmem „vrabčí hnízdo“. Pro tento typ vysílače totiž nebyla doposud předloha pro DPS vytvořena a bylo proto snazší a časově méně náročné použít ověřenou a funkční verzi.



Obr. 15 Kompletní uzavřený vysílač



Obr. 16 Vzdušná konstrukce vysílače

2.2.3 PŘIJÍMAČ (Ronja Inferno Receiver)

2.2.3.1 Napájecí obvody

Napájení země je přivedeno stíněním koaxiálního kabelu, 12V je přivedeno z přijímače. Dioda D101 zabrání přepólování napětí a následné destrukci. Cívka L101 filtruje nežádoucí šum okolo 50 Hz, tvořící se v napájecích cestách. Oproti ostatním modulům, v přijímači není potřeba stabilizátoru, vystačí si s 12V. Kondenzátory C152, 155, 159, 162, 163, 164, 165, 168, 174, 177, 178 jsou blokuující filtry, ty odstraňují nežádoucí střídavou složku v napájecích cestách. Možná se zdá použití tolika filtrů jako zbytečné, ale celý přijímač je extrémně náchylný k okolním šumům. Bez plechových přepážek, které jsou naznačeny ve schématu, by se jeho citlivost výrazně zhoršila, protože již samotné součástky vyzařují do blízkého okolí rušení.

2.2.3.2 Přijímací sekce

Přijímací součástkou je PIN fotodiody SFH 203F PD101 pracující ve zdrojovém režimu s velmi krátkou reakční dobou 5 ns. To dovoluje její použití i při signálech okolo 10 MHz. Na výstupu diody vzniká bez procházejících dat pilový průběh o frekvenci 1 MHz, který je veden přes horní RC propust C151, R103 a zesílen na nízkošumovém zesilovači Q101 s tranzistorem BF908 (nebo BF988, FET). Pracovní bod se na něm nastavuje na G2 pomocí rezistorů R104, R102 a kondenzátorů C153, 154.

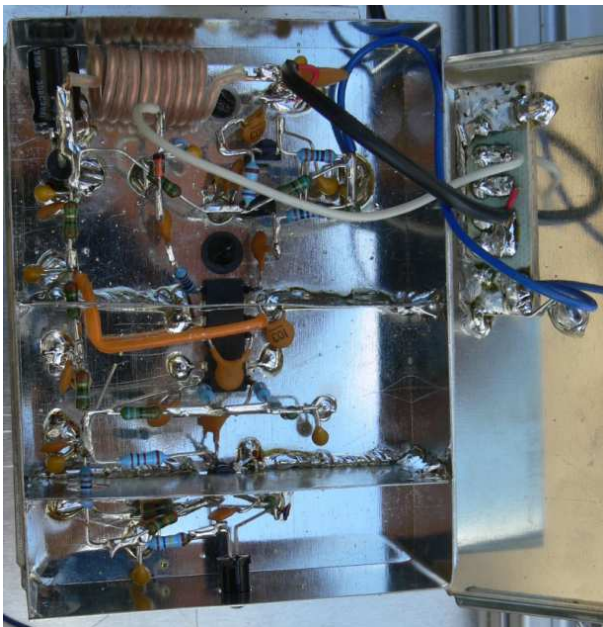
2.2.3.3 Úprava signálu

Výstup ze zesilovače je kondenzátory C156 a C157 připraven o možnou rušivou ss složku a přiveden do videozesilovače NE592 DIL14. Zde je signál zesílen. Jeho nezapojené vývody jsou uzemněny pro lepší stabilitu. Kondenzátor C161 plní funkci přizpůsobení videozesilovače frekvenční charakteristice signálu. Z výstupu na pinu 7 je signálové napětí usměrněno a zdvojeno diodami D102 a D103 pro využití měření kvality signálu rssi, to se pohybuje v rozmezí 0-4V v závislosti na intenzitě signálu. Výstup na pinu 8 jde na bázi tranzistoru Q102 přes kondenzátor C167, který filtruje nežádoucí ss složku. Soustava 2 tranzistoru Q102 a Q103 je zesilovač s velkým zesílením pod názvem Limiter. Jeho vlastností je, že při velkém vstupním signálu "rovně" ořízne amplitudu výstupního. Podobně jako zapojení s operačním zesilovačem. Nenastane tedy zkreslení signálu v čase jako na

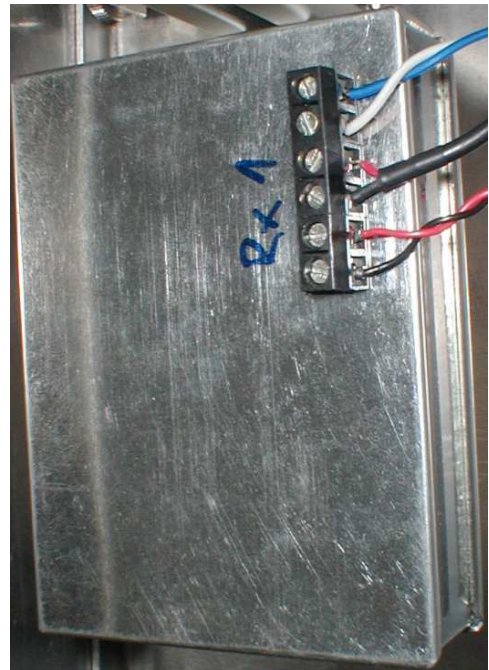
jednotranzistorovém zesilovači v zapojení se společným emitorem (v důsledku saturace). Výstup prochází přes filtr paralelně spojených kondenzátorů C175, C176, který odstraní v signálové cestě rušivé ss složky.

2.2.3.4 Vlastní provedení přijímače

Výroba elektroniky přijímače byla opět provedena vzdušnou konstrukcí, nikoli však z důvodu nedostupnosti předloh pro DPS, ale kvůli horší citlivosti takto osazených přijímačů. Svou citlivostí k „vrabčímu hnízdu“ se na DPS přibližuje pouze verze v SMD provedení.



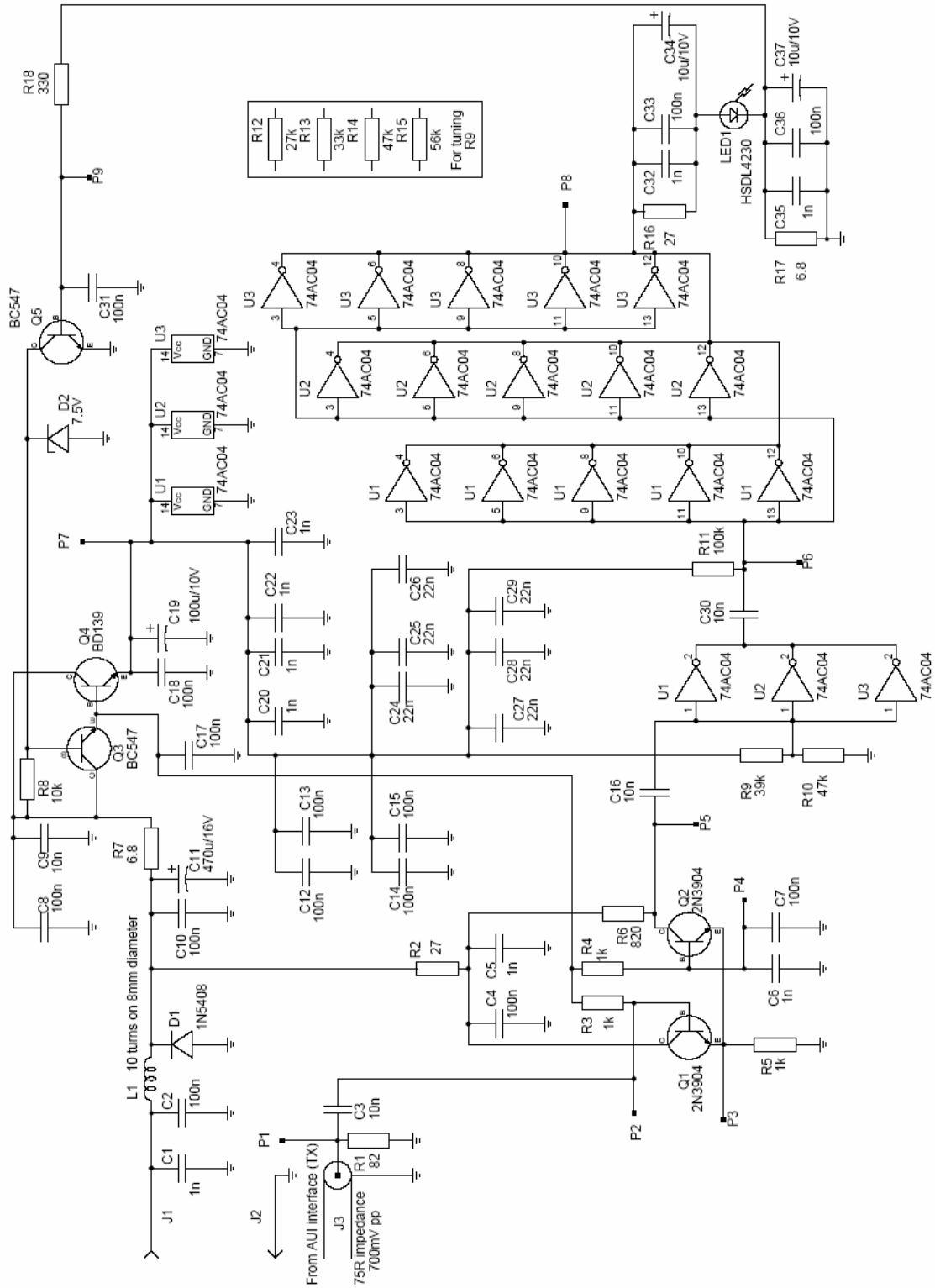
Obr. 17 Vzdušná konstrukce přijímače



Obr. 18 Kompletní uzavřený přijímač

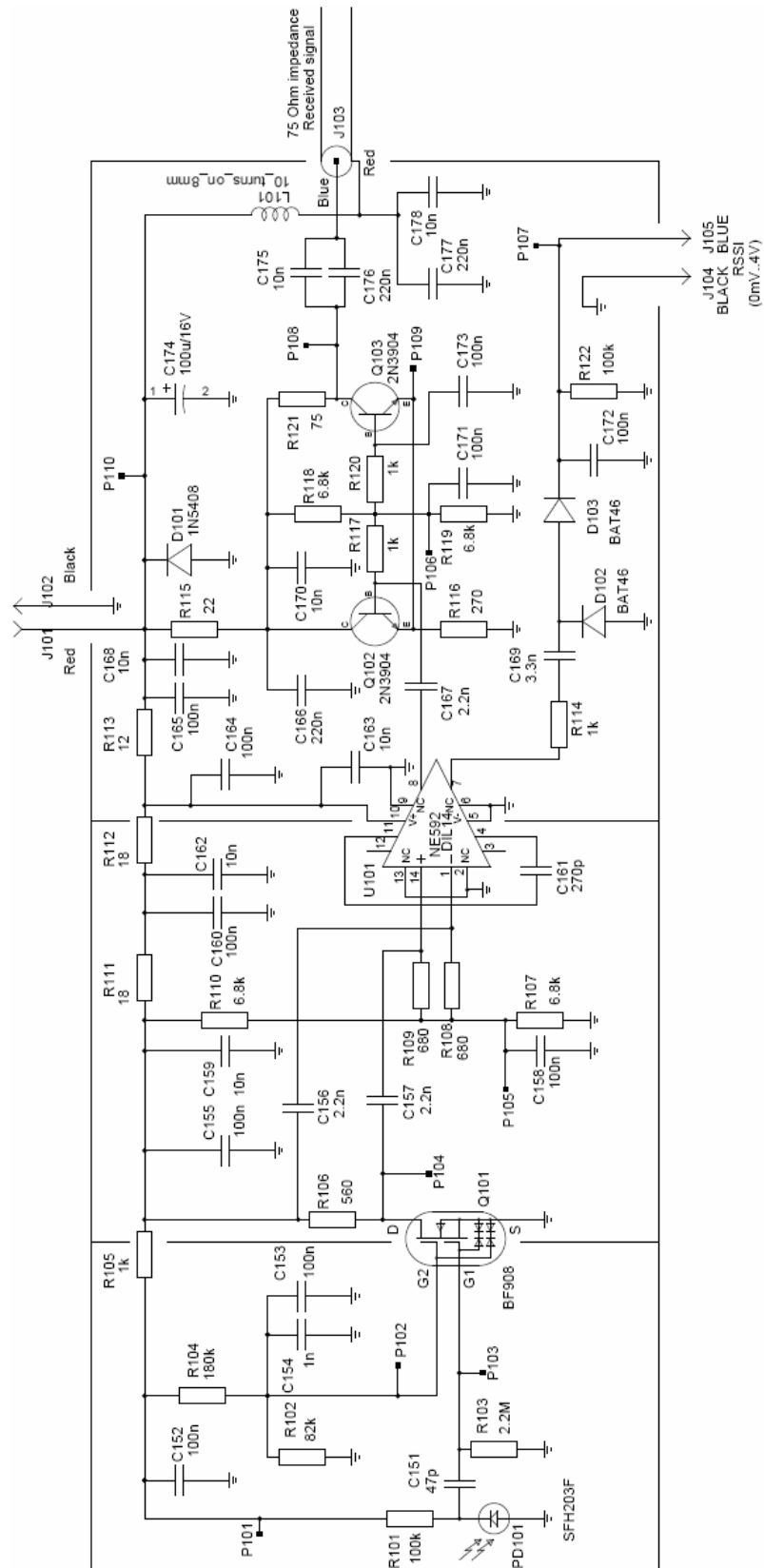
2.3 Elektrická schémata jednotlivých modulů

2.3.1 Elektrické schéma vysílače



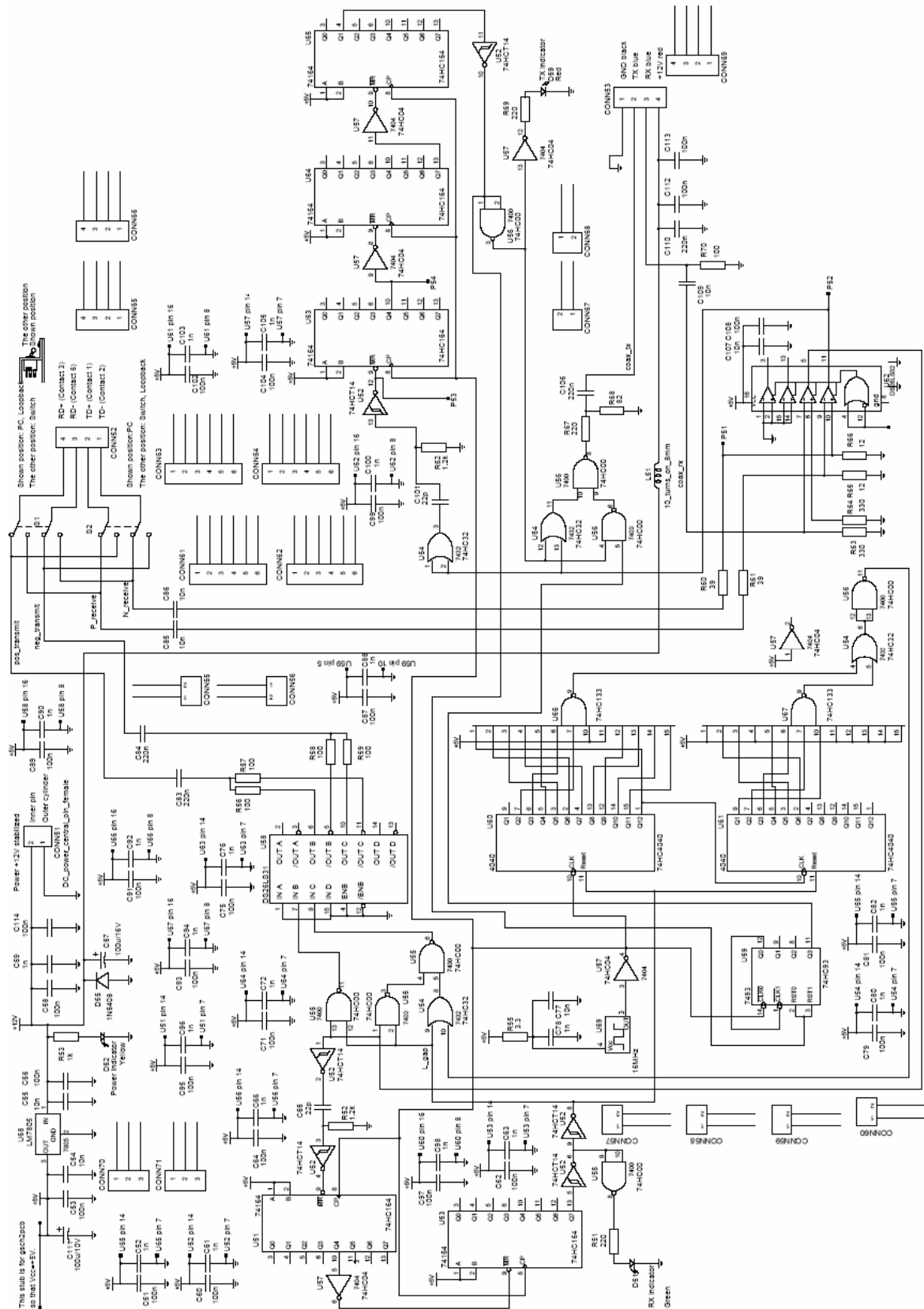
Obr. 19 Schéma Ronja Nebulus (Tx - vysílač)

2.3.2 Elektrické schéma přijímače



Obr. 20 Schéma Ronja Inferno Receiver (RX - přijímač)

2.3.3 Elektrické schéma Interfacu

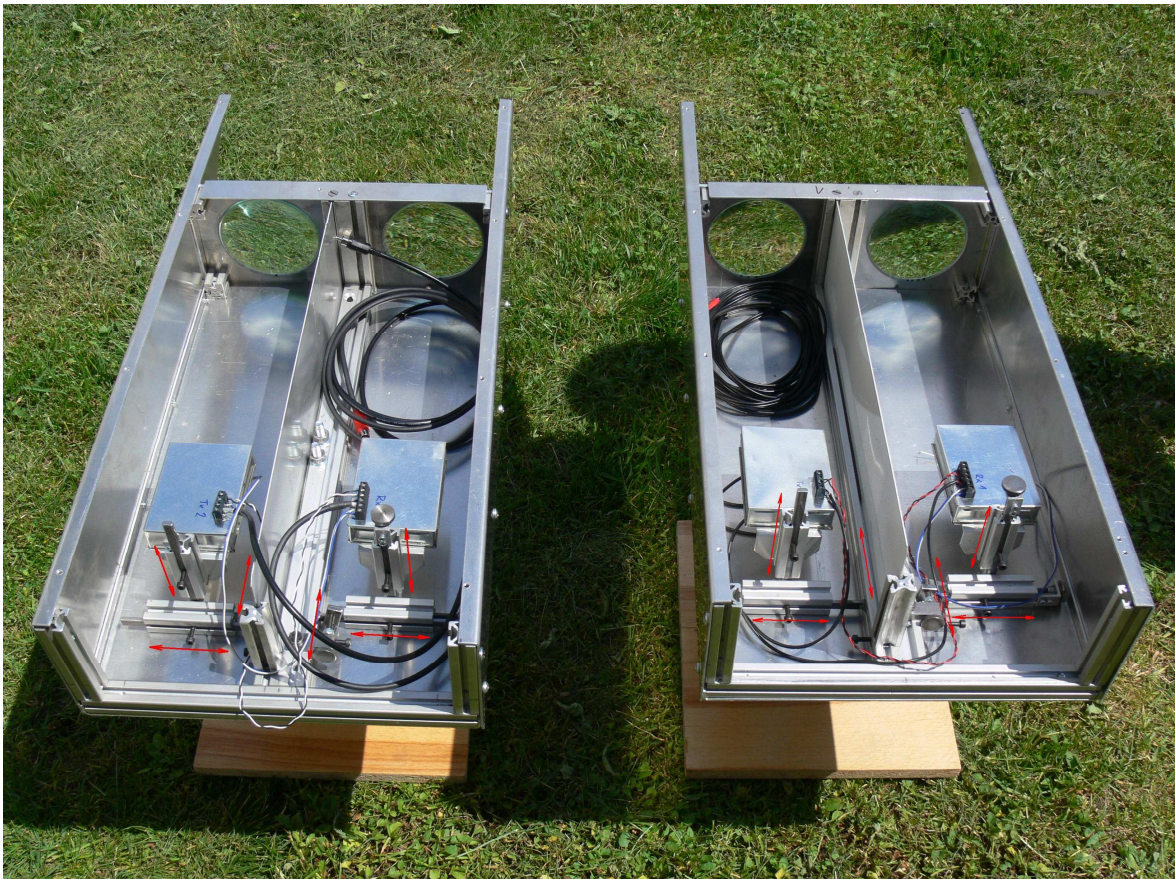


2.4 Rozpis použitých součástí

Z důvodu obsáhlosti seznamu součástí pro jednotlivé moduly, jsou kompletní seznamy v přílohách. Uvedené součástky je třeba k sestavení jednoho vysílače, přijímače a interfacu. Ke kompletnímu spoji je tedy nutné zakoupit dvojnásobek.

2.5 Mechanické provedení kompletního spoje

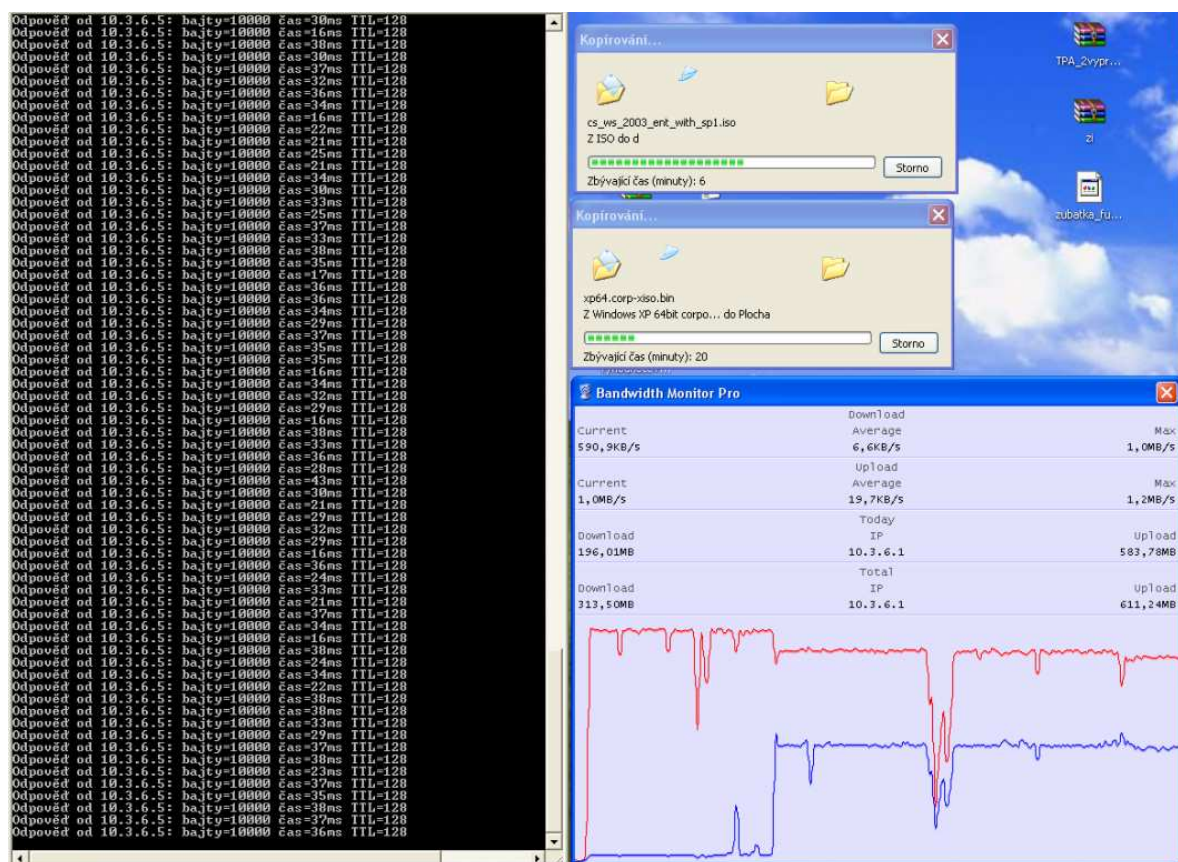
Hotové optické spojení se skládá z dvou stejných zařízení. Každé obsahuje vysílač(Tx), přijímač(Rx) a interface. Vysílač a přijímač byly umístěny do připravené vlastní hliníkové konstrukce tak, aby bylo možné měnit jejich polohu vůči čočce. To je nutné ke konečné kalibraci celého spoje. Interface je umístěn do své vlastní krabičky. Propojení mezi Tx,Rx a interfacem je provedeno dvěma koaxiálními kabely s maximální dosažitelnou vzdáleností 100m. Použitím stíněné dvojlinky je tato vzdálenost zkrácena na několik metrů. Interface je pak přímo připojen přes UTP (Unshielded Twisted Pair) do Ethernetové karty či switche.



Obr. 22 Vlastní konstrukční provedení

2.6 Testování Ronji Inferno

Před umístěním pojítka na určené místo, což může být na střeších, komínech apod. je nutné pořádně prověřit správnou funkčnost. První testy proběhly hned po dokončení veškeré elektroniky. Test probíhal mezi dvěma PC (jeden stolní a druhý pomalejší notebook, oba s OS Win XP) s integrovanými ethernetovými adaptéry nastavenými manuálně na 10Mbit/s FD. Testována byla rychlost v obou směrech, délka prodlevy pingu o velikosti 10000 Bajtů a současně reakce celého systému na zastínění jednoho s paprsků přenosové trasy. Maximální dosažená vzdálenost bez optiky byla 180cm při naměřeném rssi 0,08V.



Obr. 23 Výsledek testu přenosu dat

Z grafu lze názorně vidět chování optického spoje. První část je odesílání dat z PC do notebooku, první dvě zakolísání jsou způsobeny mávnutím rukou a zacloněním optiky, druhé větší zakolísání způsobilo oddalování snímačů od sebe až k poklesu rssi < 0,08V a následné vrácení. Následuje spuštění stahování z notebooku. Zde dochází k menšímu problému. Notebook odmítá v FD plném zatížení odesílat více než 590kB/s. Při samostatném stahování byla rychlost již 1,2MB/s (není v grafu). Další test oddálení a zpět.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo podrobně popsat funkci a principy bezdrátových optických spojů, jejich využití v dnešních podmínkách a dále vytvořit plně funkční spoj dle zadaných kritérií a vyhodnotit dosažené výsledky.

V úvodu teoretické části byly popsány principy, možnosti konfigurací FSO (Free-Space Optics) zařízení včetně jejich výhod a omezení.

V praktické části následoval popis jednotlivých elektronických částí (modulů), jejich funkce, nastínění postupu výroby a praktické ukázky samotných výrobků. Výsledkem funkčnosti je pak testovací graf, který ukazuje jednak maximální propustnost celého systému, náchylnost na krátkodobou ztrátu přímé viditelnosti a také postupnou ztrátu kvality signálu, simulovanou postupným oddalováním snímačů bez použití optiky. Výsledkem je spokojenost s odvedenou prací, protože celé zařízení fungovalo podle očekávání a nepřišlo s sebou ani během konstruování nebo měření žádné problémy.

V přílohách je uveden kompletní seznam použitých součástek potřebných pro výrobu všech elektronických komponent a detailnější fotografie hotové práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] David, A. J. Příručka optické komunikace vzduchem. Dostupný u URL:
<http://www.imagineeringezine.com/ttaoc/intro.html>.
- [2] Projekt Ronja – optické datové spoje. Dostupný z URL:
<http://ronja.twibright.com/>.
- [3] Optické datové spoje vedené vzduchem – firma MRV. Dostupný u URL:
<http://www.mrv.com/technology/fso.php/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

APR Automatic

P Power

R Reduction

CPE Customer

P Premise

E Equipment

FD Full

D Duplex

FSO Free

S Space

O Optics

HD Half

D Duplex

IrDA Infrared
D Data
A Association

OFDM Orthogonal
F Frequency
D Division
M Multiplexing

PtoP Point
to To
P Point

LAN Local
A Area
N Network

RSSI Received
S Signal
S Strength
I Indication

RONJA Reasonable

O Optical

N Near

J Joint

A Access

UTP Unshielded

T Twisted

P Paie

WOL Wireless

O Optical

N Link

WON Wireless

O Optical

N Network

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1 WOL, dvoubodový spoj | 13 |
| Obr. 2 WOL, vícebodový spoj..... | 13 |
| Obr. 3 WOL, plně přepojovaná síť | 14 |
| Obr. 4 WOL, kruhová topologie sítě | 14 |
| Obr. 5 WOL, dvoubodový spoj pomocí Ronji..... | 15 |
| Obr. 6 Blokové schéma Ronji Inferno | 18 |
| Obr. 7 Blokové schéma Interfacu | 19 |
| Obr. 8 - 1 MHz signál z interfacu | 20 |
| Obr. 9 - Předloha osazení DPS interfacu | 22 |
| Obr. 10 - Připravená DPS interfacu | 23 |
| Obr. 11 - Osazená DPS interfacu..... | 23 |
| Obr. 12 - Hotový interface | 23 |
| Obr. 13 Vysílací infra dioda | 25 |
| Obr. 14 Vysílací infra dioda - svit | 25 |
| Obr. 15 Kompletní uzavřený vysílač | 25 |
| Obr. 16 Vzdušná konstrukce vysílače | 25 |
| Obr. 17 Vzdušná konstrukce přijímače..... | 27 |
| Obr. 18 Kompletní uzavřený přijímač | 27 |
| Obr. 19 Schéma Ronja Nebulus (vysílač)..... | 28 |
| Obr. 20 Schéma Ronja Inferno Receiver (přijímač)..... | 29 |
| Obr. 21 Schéma Ronja Twister (interface) | 30 |
| Obr. 22 Vlastní konstrukční provedení..... | 31 |
| Obr. 23 Výsledek testu přenosu dat | 32 |

SEZNAM PŘÍLOH

- PI SEZNAM SOUČÁSTEK PRO INTERFACE
- PII SEZNAM SOUČÁSTEK PRO PŘIJÍMAČ
- PIII SEZNAM SOUČÁSTEK PRO VYSÍLAČ
- PIV CD-ROM - DETAILNÍ FOTOGRAFIE

PŘÍLOHA P I: SEZNAM SOUČÁSTEK PRO INTERFACE

Kompletní seznam potřebných součástek pro Ronja Twister je v tabulce

| Druh | Hodnota | Pouzdro | Počet | Klíč -> PCB sector |
|-------------|---------|------------------|-------|--|
| 1N5408 | | | 1 | D55 -> 0C |
| 74HC00 | | DIL | 2 | U55 -> 3I U56 -> 5I |
| 74HC04 | | DIL | 1 | U57 -> 3D |
| 74HC133 | | DIL | 2 | U66 -> 6F U67 -> 7E |
| 74HC164 | | DIL | 5 | U51 -> 1G U53 -> 2I U63 -> 4D U64 -> 2C U65 -> 2D |
| 74HC32 | | DIL | 1 | U54 -> 6I |
| 74HC4040 | | DIL | 2 | U60 -> 6G U61 -> 7D |
| 74HC93 | | DIL | 1 | U59 -> 5G |
| 74HCT14 | | DIL | 1 | U52 -> 4E |
| KONDENZÁTOR | 22p | keramický 50V | 2 | C65 -> 5F C101 -> 6H |
| KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V | 19 | C52 -> 2E C59 -> 1J C61 -> 5D C63 -> 2J C66 -> 6I C72 -> 3B C76 -> 4B C78 -> 6C C80 -> 6J C82 -> 4J C88 -> 4F C90 -> 0I C92 -> 7F C94 -> 6F C96 -> 2G C98 -> 7G C100 -> 5C C103 -> 6D C105 -> 3E |
| KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V | 7 | C54 -> 0E C55 -> 0F |

| | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|---------------------|----|--|
| | | | | C77 -> 5C C85 -> 0G C86 -> 1G C107 -> 3H C109 -> 6B |
| KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V | 24 | C51 -> 2E C53 -> 0E C56 -> 0F C58 -> 1J C60 -> 5D C62 -> 2J C64 -> 5J C71 -> 3B C75 -> 4B C79 -> 6J C81 -> 3J C87 -> 5H C89 -> 0H C91 -> 7F C93 -> 5E C95 -> 3G C97 -> 7H C99 -> 1H C102 -> 7D C104 -> 3E C108 -> 4H C112 -> 3A C113 - not on PCB C114 - not on PCB |
| KONDENZÁTOR | 220n | keramický 50V | 4 | C83 -> 5J C84 -> 5A C106 -> 1D C110 -> 1B |
| CÍVKA | 10 závitů na prům. 8mm | vlastní | 1 | L51 -> 3B |
| KRYSTALOVÝ OSCILÁTOR | 16MHz | DIL 14 | 1 | U69 -> 7B |
| Zásuvka napájecí s kolíkem samice | 2.5mm | panel | 1 | CONN51 -> 1K |
| DS26LS31 | | DIL | 1 | U58 -> 1H |
| DS26LS32 | | DIL | 1 | U62 -> 3G |
| DUTINKOVÁ ZÁSUVKA | 2.54mm 3 piny | zlacený s klíčem | 1 | CONN71 - not on PCB |
| DUTINKOVÁ ZÁSUVKA | 2.54mm 2 piny | zlacený s klíčem | 4 | CONN56 - not on PCB |

| | | | | |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|---|--|
| | | | | CONN59 - not on PCB CONN60 - not on PCB CONN68 - not on PCB |
| DUTINKOVÁ ZÁSUVKA | 2.54mm 6 piny 2 řady | zlacený | 2 | CONN63 - not on PCB CONN64 - not on PCB |
| DUTINKOVÁ ZÁSUVKA | 2.54mm 4 piny 1 řada | zlacený s klíčem | 2 | CONN65 - not on PCB CONN69 - not on PCB |
| LÁMACÍ LIŠTA-PINY | 2.54mm 3 piny | zlacený s klíčem | 1 | CONN70 - not on PCB |
| LÁMACÍ LIŠTA-PINY | 2.54mm 4 piny 1 řada | zlacený s klíčem | 2 | CONN52 -> 4K CONN53 -> 3A |
| LÁMACÍ LIŠTA-PINY | 2.54mm 2 piny | zlacený s klíčem | 4 | CONN55 - not on PCB CONN57 - not on PCB CONN58 - not on PCB CONN67 - not on PCB |
| LÁMACÍ LIŠTA-PINY | 2.54mm 6 piny 2 řady | zlacený | 2 | CONN61 - not on PCB CONN62 - not on PCB |
| LED | Zelená | 5mm matná | 1 | D51 -> 6A |
| LED | Žlutá | 5mm matná | 1 | D52 -> 4A |
| LED | Červená | 5mm matná | 1 | D59 -> 1A |
| LM7805 | | | 1 | U68 -> 0F |
| ELEKTROLYTICKÝ_KONDENZÁTOR | 100u/16V | miniaturní | 1 | C57 -> 1C |
| ELEKTROLYTICKÝ_KONDENZÁTOR | 100u/10V | miniaturní | 1 | C111 -> 1B |
| ODPOR | 3.3 | 250mW předn. metalický | 1 | R55 -> 2D |
| ODPOR | 12 | 250mW | 2 | R65 -> 1F |

| | | | | |
|-------------------|---------|---------------------------|---|---|
| | | předn. metalický | | R66 -> 4I |
| ODPOR | 39 | 250mW předn. metalický | 2 | R60 -> 2G R61 -> 1E |
| ODPOR | 82 | 250mW předn. metalický | 1 | R68 -> 0C |
| ODPOR | 100 | 250mW předn. metalický | 5 | R56 -> 1I R57 -> 1I R58 -> 2H R59 -> 1F R70 -> 2A |
| ODPOR | 220 | 250mW předn. metalický | 3 | R51 -> 2E R67 -> 1D R69 -> 4A |
| ODPOR | 330 | 250mW předn. metalický | 2 | R63 -> 2F R64 -> 4I |
| ODPOR | 1k | 250mW předn. metalický | 1 | R53 -> 5B |
| ODPOR | 1.2k | 250mW předn. metalický | 2 | R52 -> 5B R62 -> 5C |
| RJ45 | | jack with jacket | 1 | CONN66 - not on PCB |
| Přepínač 2x ON-ON | zlacený | 6mm hole | 2 | S1 -> 6J S2 -> 3J |

PŘÍLOHA P II: SEZNAM SOUČÁSTEK PRO PŘIJÍMAČ

| Klíč | Druh | Hodnota | Pouzdro |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------------|
| C151 | KONDENZÁTOR | 47p | keramický 50V |
| C152 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C153 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C154 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C155 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C156 | KONDENZÁTOR | 2.2n | keramický 50V |
| C157 | KONDENZÁTOR | 2.2n | keramický 50V |
| C158 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C159 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C160 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C161 | KONDENZÁTOR | 270p | keramický 50V |
| C162 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C163 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C164 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C165 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C166 | KONDENZÁTOR | 220n | keramický 50V |
| C167 | KONDENZÁTOR | 2.2n | keramický 50V |
| C168 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C169 | KONDENZÁTOR | 3.3n | keramický 50V |
| C170 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C171 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C172 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C173 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C174 | ELEKTROLYTICKÝ_KONDENZÁTOR | 100u/16V | |
| C175 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C176 | KONDENZÁTOR | 220n | keramický 50V |
| C177 | KONDENZÁTOR | 220n | keramický 50V |
| C178 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| PD10 1 | BPW43 | - | |
| D101 | 1N5408 | - | |
| D102 | BAT46 | - | |
| D103 | BAT46 | - | |
| J101 | VSTUP | - | žádné |
| J102 | VÝSTUP | - | žádné |
| J104 | VÝSTUP | - | žádné |
| J105 | VÝSTUP | - | žádné |
| J106 | VÝSTUP | - | žádné |
| L101 | CÍVKA | 10 závitů na prům. 8mm | vlastní |

| | | | |
|------|--------|------|------------------------|
| Q101 | BF908 | - | |
| Q102 | 2N3904 | - | |
| Q103 | 2N3904 | - | |
| R101 | ODPOR | 100k | 250mW předn. metalický |
| R102 | ODPOR | 82k | 250mW předn. metalický |
| R103 | ODPOR | 2.2M | 250mW předn. metalický |
| R104 | ODPOR | 180k | 250mW předn. metalický |
| R105 | ODPOR | 1k | 250mW předn. metalický |
| R106 | ODPOR | 560 | 250mW předn. metalický |
| R107 | ODPOR | 6.8k | 250mW předn. metalický |
| R108 | ODPOR | 680 | 250mW předn. metalický |
| R109 | ODPOR | 680 | 250mW předn. metalický |
| R110 | ODPOR | 6.8k | 250mW předn. metalický |
| R111 | ODPOR | 18 | 250mW předn. metalický |
| R112 | ODPOR | 18 | 250mW předn. metalický |
| R113 | ODPOR | 12 | 250mW předn. metalický |
| R114 | ODPOR | 1k | 250mW předn. metalický |
| R115 | ODPOR | 22 | 250mW předn. metalický |
| R116 | ODPOR | 270 | 250mW předn. metalický |
| R117 | ODPOR | 1k | 250mW předn. metalický |
| R118 | ODPOR | 6.8k | 250mW předn. metalický |
| R119 | ODPOR | 6.8k | 250mW předn. metalický |
| R120 | ODPOR | 1k | 250mW předn. metalický |
| R121 | ODPOR | 75 | 250mW předn. metalický |
| R122 | ODPOR | 100k | 250mW předn. metalický |
| R123 | ODPOR | 82k | 250mW předn. metalický |
| R124 | ODPOR | 100k | 250mW předn. metalický |
| R125 | ODPOR | 120k | 250mW předn. metalický |
| R126 | ODPOR | 180 | 250mW předn. metalický |
| R127 | ODPOR | 220 | 250mW předn. metalický |
| R128 | ODPOR | 270 | 250mW předn. metalický |
| R129 | ODPOR | 330 | 250mW předn. metalický |
| R130 | ODPOR | 390 | 250mW předn. metalický |
| R131 | ODPOR | 470 | 250mW předn. metalický |
| R132 | ODPOR | 560 | 250mW předn. metalický |
| R133 | ODPOR | 680 | 250mW předn. metalický |
| R134 | ODPOR | 820 | 250mW předn. metalický |
| R135 | ODPOR | 1k | 250mW předn. metalický |
| R136 | ODPOR | 1.2k | 250mW předn. metalický |
| R137 | ODPOR | 1.5k | 250mW předn. metalický |
| R138 | ODPOR | 1.8k | 250mW předn. metalický |
| U101 | NE592 | - | DIL14 |

PŘÍLOHA P III: SEZNAM SOUČÁSTEK PRO VYSÍLAČ

Kompletní seznam součástek pro Ronja Nebulus je v tab

| Klíč | Druh | Hodnota | pouzdro |
|------|----------------------------|----------|---------------|
| C1 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C2 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C3 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C4 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C5 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C6 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C7 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C8 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C9 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C10 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C11 | ELEKTROLYTICKÝ_KONDENZÁTOR | 470u/16V | |
| C12 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C13 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C14 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C15 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C16 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C17 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C18 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C19 | ELEKTROLYTICKÝ_KONDENZÁTOR | 100u/10V | |
| C20 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C21 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C22 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C23 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C24 | KONDENZÁTOR | 22n | keramický 50V |
| C25 | KONDENZÁTOR | 22n | keramický 50V |
| C26 | KONDENZÁTOR | 22n | keramický 50V |
| C27 | KONDENZÁTOR | 22n | keramický 50V |
| C28 | KONDENZÁTOR | 22n | keramický 50V |
| C29 | KONDENZÁTOR | 22n | keramický 50V |
| C30 | KONDENZÁTOR | 10n | keramický 50V |
| C31 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C32 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C33 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C34 | ELEKTROLYTICKÝ_KONDENZÁTOR | 10u/10V | |
| C35 | KONDENZÁTOR | 1n | keramický 50V |
| C36 | KONDENZÁTOR | 100n | keramický 50V |
| C37 | ELEKTROLYTICKÝ_KONDENZÁTOR | 10u/10V | |
| LED1 | HSDL4220 | - | |

| | | | |
|-----|----------------|-------------------------|------------------------|
| D1 | 1N5408 | - | |
| D2 | ZENEROVA DIODA | 7.5V | |
| L1 | CIVKA | 10 závitů na 8mm průměr | custom |
| Q1 | 2N3904 | - | |
| Q2 | 2N3904 | - | |
| Q3 | BC547 | - | |
| Q4 | BD139 | - | |
| Q5 | BC547 | - | |
| R1 | ODPOR | 82 | 250mW předn. metalický |
| R2 | ODPOR | 27 | 250mW předn. metalický |
| R3 | ODPOR | 1k | 250mW předn. metalický |
| R4 | ODPOR | 1k | 250mW předn. metalický |
| R5 | ODPOR | 1k | 250mW předn. metalický |
| R6 | ODPOR | 820 | 250mW předn. metalický |
| R7 | ODPOR | 6.8 | 250mW předn. metalický |
| R8 | ODPOR | 10k | 250mW předn. metalický |
| R9 | ODPOR | 39k | 250mW předn. metalický |
| R10 | ODPOR | 47k | 250mW předn. metalický |
| R11 | ODPOR | 100k | 250mW předn. metalický |
| R12 | ODPOR | 27k | 250mW předn. metalický |
| R13 | ODPOR | 33k | 250mW předn. metalický |
| R14 | ODPOR | 47k | 250mW předn. metalický |
| R15 | ODPOR | 56k | 250mW předn. metalický |
| R16 | ODPOR | 27 | 250mW předn. metalický |
| R17 | ODPOR | 6.8 | 250mW předn. metalický |
| R18 | ODPOR | 330 | 250mW předn. metalický |
| U1 | 74AC04 | - | DIL |
| U2 | 74AC04 | - | DIL |
| U3 | 74AC04 | - | DIL |

PŘÍLOHA P IV: DETAILNÍ FOTOGRAFIE

