


# **Inovace laboratorní úlohy v předmětu Informační systémy**

Innovation lab tasks in the subject Information Systems

Bc. Vladimír Kašík

---

Diplomová práce  
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vladimír KAŠÍK**  
Osobní číslo: **A09688**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Inovace laboratorní úlohy v předmětu Informační systémy**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární průzkum z oblasti digitálních modulací a demodulací.
2. Seznamte se s laboratorní komunikační sestavou Promax EF-976 a jejími anglickými manuály.
3. Provedte všechna měření na sestavě, která jsou popsána v anglickém návodu.
4. Vytvořte český učitelský manuál k dané sestavě, popište česky všechny laboratorní úlohy anglického manuálu měřené na této sestavě, jejich zapojení, to lze realizovat formou obrázků, dále zaznamenejte všechny výsledky a uveďte závěry k úlohám.
5. Vytvořte studentský manuál, který nebude obsahovat výsledky.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. VLČEK, Jiří. **Modulace a přenos signálu. [s.l.] : [s.n.], 2002. 76 s. Dostupné z WWW:**  
<http://shop.ben.cz/cz/121080-modulace-a-prenos-signalu.aspx> .
2. Promaxprolink [online]. **99 Washington Stree : 1996–2011, 2010 [cit. 2011-01-26]. Promaxprolink. Dostupné z WWW:**  
<http://www.promaxprolink.com/pdf/training-system-catalog.pdf>.
3. Promaxprolink [online]. **Promax. 1996 [cit. 2011-01-26]. DIGITAL COMMUNICATION STRAINING SYSTEM. Dostupné z WWW:**  
<http://www.promaxprolink.com/pdf/ec796.pdf>.
4. **Introduction to Open Systems : Přehled modulačních metod. SVOBODA, J. A KOLEKTIV [online]. 2008, 1, [cit. 2011-01-27]. Dostupný z WWW:**  
<http://ucitel.spsbv.cz/zavodny/Prezentace/Modulace.ppt>.
5. **Digitální modulace, modulátory a demodulátory. Komunikační Technika [online]. 1999, 1, [cit. 2011-01-27]. Dostupný z WWW:**  
[http://radio.feld.cvut.cz/courses/X37KTR/oldv/3\\_Digitalni\\_modulace.pdf](http://radio.feld.cvut.cz/courses/X37KTR/oldv/3_Digitalni_modulace.pdf).

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Karel Perůtka, Ph.D.**

Ústav řízení procesů

Datum zadání diplomové práce:

**25. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce:

**27. května 2011**

Ve Zlíně dne 25. února 2011

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



  
doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je zpracování problematiky Promax EC- 796. Ve své práci popisuji různé druhy modulací, demodulací a části bloků na soustavě. V praktické části jsem vytvořil učitelský manuál k dané soustavě a popsal česky všechny laboratorní úlohy anglického manuálu. Následně provedl všechna měření na sestavě, která je popsána v anglickém manuálu. Dále jsem vytvořil studentský manuál, který neobsahuje výsledky.

Klíčová slova: Modulace, učitelský manuál, EC-796, studentský manuál

## **ABSTRACT**

The aim of this work is a problem processing Promax EC- 796. In my thesis I describe different types of modulation, demodulation and of blocks the systém. In practical work, I created a teaching manual for that systém and described all the laboratory exercises English manual. Subsequently carried out all measurements on the system, which is described in the English manual. Next, I created a student manual that contains the results.

Keywords: Modulation, teachers manual, EC-796, student manual

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Karlovi Perůtkovi, Ph.D. za pomoc a usměřování této práce. Dále chci poděkovat své přítelkyni a rodině za podporu při studiu.

Motto:

Není důležité, jak svou práci děláš ani kolik jí stihneš. Důležité je, jestli do ní vkládáš srdce.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>14</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>15</b>
<b>1 ANALÝZA MODULACE</b> .....	<b>16</b>
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY MODULACE .....	17
1.1.1 Modem .....	18
1.1.2 Analogový a digitální signál.....	18
1.1.3 Digitální modulace na kontinuálním nositeli .....	18
1.2 ROZDĚLENÍ MODULACÍ.....	19
1.2.1 Spojité modulace .....	19
1.2.1.1 Amplitudová modulace AM .....	19
1.2.1.2 Frekvenční modulace FM .....	20
1.2.1.3 Fázová modulace (PM).....	20
1.2.2 Analogové modulace.....	20
1.2.3 Digitální modulace .....	20
1.2.3.1 ASK modulace.....	21
1.2.3.2 FSK modulace.....	22
1.2.3.3 PSK modulace.....	23
1.2.4 Diskrétní modulace .....	24
1.2.4.1 Pulzně amplitudová modulace PAM .....	25
1.2.4.2 Pulzně šířková modulace PWM.....	26
1.2.4.3 Pulzně polohová modulace PPM .....	26
1.2.4.4 Pulzně kódová modulace PCM.....	27
1.2.4.5 Delta modulace DM.....	28
1.2.4.6 Adaptivní Delta modulace ADM .....	28
1.2.4.7 Diferenciální pulzně kódová modulace DPCM .....	28
1.2.4.8 Adaptivní diferenciální pulzně kódová modulace ADPCM.....	28
1.2.5 Složené modulace.....	29
1.2.5.1 Modulace QAM (Quadrature Amplitude modulation) .....	29
1.3 POROVNÁNÍ MODULACÍ .....	29
1.3.1 Modulace šířky pásma.....	29
1.4 KVANTOVÁNÍ .....	31
1.5 VZORKOVÁNÍ .....	32
<b>2 DEMODULACE</b> .....	<b>33</b>
2.1 DEMODULACE FREKVENČNĚ MODULOVANÝCH SIGNÁLŮ .....	33
2.2 ANTIALIASING A RECONSTRUCTOR FILTRY (VYHLAZOVACÍ A REKONSTRUKČNÍ FILTRY) .....	34
2.3 KOMPRESOR A EXPANDÉR.....	34
2.4 UART (UNIVERZÁLNÍ ASYNCHRONNÍ PŘIJÍMAČ A VYSÍLAČ).....	34
2.5 PŘENOSOVÝ KANÁL.....	35
2.5.1 Dvojlinka.....	35
2.5.2 Koaxiální vedení .....	35

2.5.3	Optické vlákno .....	35
2.5.4	Infračervené spojení .....	36
2.5.5	Radiové spojení .....	36
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>TEORIE DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE EC-796 .....</b>	<b>38</b>
3.1	SPECIFIKACE .....	38
3.1.1	Specifikace vysílacího modulu .....	38
3.1.2	Specifikace přijímacího modulu .....	41
3.2	INSTALACE .....	44
3.3	POPIS OVLÁDÁNÍ .....	45
3.3.1	Příslušenství .....	46
3.3.2	Popis kontrolek .....	46
3.4	VYSÍLAČ .....	46
3.4.1	Přední panel .....	46
3.4.2	Levá strana vysílače .....	48
3.4.3	Pravá strana vysílače .....	48
3.4.4	Blokové schéma modulu vysílače .....	49
3.4.5	Přenos po optických vláknech .....	50
3.4.6	Infračervený vysílač .....	50
3.4.7	Rádio - frekvenční vysílač .....	50
3.5	PŘIJÍMAČ .....	51
3.5.1	Přední panel .....	51
3.5.2	Levá strana přijímače .....	52
3.5.3	Pravá strana přijímače .....	53
3.5.4	Blokové schéma modulu přijímače .....	53
3.5.5	Optické přijímače .....	54
3.5.6	Infračervený přijímač .....	55
3.5.7	Rádiofrekvenční přijímač .....	55
3.6	POPIS OBVODŮ .....	55
3.6.1	Napájení .....	55
3.6.2	Vstupy .....	55
3.6.3	Výstupy .....	55
3.6.4	Simulátor kanálu .....	55
3.6.5	Dolní propust .....	56
3.6.6	Interference .....	56
3.6.7	Šum .....	56
3.7	ZÁSADY PŘÍSTROJE EC- 796 .....	56
<b>4</b>	<b>MANUÁL PRO UČITELE .....</b>	<b>58</b>
4.1	A/D A D/A PŘEVOD, VZORKOVÁNÍ A KVANTOVÁNÍ .....	58
4.1.1	Cíl cvičení .....	58
4.1.2	Teoretické základy .....	58
4.1.3	Požadované vybavení .....	58
4.1.4	Stanovení vzorkovací frekvence .....	59
4.1.5	Filtr obnovy .....	62



4.1.6	Účinky antialiasingového filtru .....	62
4.1.7	Zvukové signály .....	63
4.1.8	PCM signál (v přenosovém pásmu) .....	64
4.2	MODULACE A DEMODULACE V ASK.....	64
4.2.1	Cíl cvičení .....	64
4.2.2	Teoretické základy .....	64
4.2.3	Požadované vybavení .....	64
4.2.4	Operace s modulátorem a demodulátorem.....	65
4.3	FSK MODULACE, DVOJÍ FILTROVÁ DEMODULACE (DFD).....	67
4.3.1	Cíl cvičení .....	67
4.3.2	Teoretické základy .....	68
4.3.3	Požadované vybavení.....	68
4.3.4	Modulátorové a demodulátorové operace .....	68
4.3.5	Měření přenosového pásma filtru šířky pásma pro vysoké frekvence .....	70
4.4	POROVNÁNÍ ASK A FSK.....	71
4.4.1	Cíle cvičení.....	71
4.4.2	Teoretické základy .....	71
4.4.3	Požadované vybavení.....	71
4.4.4	Porovnání pravděpodobnosti chyb .....	72
4.4.5	Komunikační kanály.....	74
4.4.6	Zvukové signály .....	77
4.5	POSUZOVÁNÍ PLL .....	78
4.5.1	Cíl cvičení .....	78
4.5.2	Teoretické základy .....	79
4.5.3	Požadované vybavení.....	79
4.5.4	Činnost v otevřené smyčce.....	79
4.5.5	Činnost v uzavřené smyčce .....	81
4.6	FSK DEMODULACE S POUŽITÍM PLL .....	82
4.6.1	Cíle cvičení.....	82
4.6.2	Teoretické základy .....	82
4.6.3	Požadované vybavení.....	82
4.6.4	Demodulace FSK signálu.....	82
4.7	SROVNÁNÍ MEZI FSK (DFD) A MEZI PLL.....	85
4.7.1	Cíl cvičení .....	85
4.7.2	Teoretické základy .....	85
4.7.3	Požadované vybavení.....	85
4.7.4	Porovnání pravděpodobnosti chyb .....	86
4.7.5	Porovnání citlivosti .....	87
4.8	OBNOVA NOSITELE .....	88
4.8.1	Cíl cvičení .....	88
4.8.2	Teoretické základy .....	88
4.8.3	Požadované vybavení.....	88
4.8.4	Obnovení nositele – nastavení PLL.....	88
4.9	BPSK MODULACE A DEMODULACE .....	92
4.9.1	Cíl cvičení .....	92
4.9.2	Teoretické základy .....	92

4.9.3	Požadované vybavení .....	92
4.9.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	93
4.10	DPSK MODULACE A DEMODULACE .....	98
4.10.1	Cíl cvičení .....	98
4.10.2	Teoretické základy .....	98
4.10.3	Požadované vybavení .....	98
4.10.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	99
4.11	QPSK MODULACE A DEMODULACE .....	103
4.11.1	Cíl cvičení .....	103
4.11.2	Teoretické základy .....	103
4.11.3	Požadované vybavení .....	104
4.11.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	104
4.12	DQPSK MODULACE A DEMODULACE .....	110
4.12.1	Cíl cvičení .....	110
4.12.2	Teoretické základy .....	111
4.12.3	Požadované vybavení .....	111
4.12.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	111
4.13	QAM MODULACE A DEMODULACE .....	117
4.13.1	Cíl cvičení .....	117
4.13.2	Teoretické základy .....	117
4.13.3	Požadované vybavení .....	117
4.13.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	117
4.14	POROVNÁVÁNÍ FÁZE MODULACE .....	123
4.14.1	Cíl cvičení .....	123
4.14.2	Teoretické základy .....	123
4.14.3	Požadované vybavení .....	123
4.14.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	123
4.14.5	Porovnání pravděpodobnosti chyby .....	125
4.15	OČNÍ DIAGRAMY .....	125
4.15.1	Cíl cvičení .....	125
4.15.2	Teoretické základy .....	126
4.15.3	Požadované vybavení .....	126
4.15.4	Oční diagramy (základní pásma přenosu) .....	126
4.15.5	Oční diagramy s poruchami kanálu .....	128
4.15.6	Diagram oka v různých komunikačních kanálech .....	129
4.16	SCHÉMA MODULAČNÍCH FÁZÍ .....	130
4.16.1	Cíl cvičení .....	130
4.16.2	Teoretické základy .....	130
4.16.3	Požadované vybavení .....	131
4.16.4	Sestava .....	131
4.17	POROVNÁNÍ MODULAČNÍCH PŘENOSOVÝCH RYCHLOSTÍ .....	133
4.17.1	Cíl cvičení .....	133
4.17.2	Teoretické základy .....	133
4.17.3	Požadované vybavení .....	133
4.17.4	Porovnání přenosových rychlostí dat pro TTL vstup .....	134

<b>5</b>	<b>MANUÁL PRO STUDENTY</b> .....	<b>137</b>
5.1	A/D A D/A PŘEVOD, VZORKOVÁNÍ A KVANTOVÁNÍ.....	137
5.1.1	Cíl cvičení .....	137
5.1.2	Teoretické základy .....	137
5.1.3	Požadované vybavení.....	137
5.1.4	Stanovení vzorkovací frekvence .....	138
5.1.5	Filtr obnovy .....	138
5.1.6	Účinky antialiasingového filtru .....	139
5.1.7	Zvukové signály .....	139
5.1.8	PCM signál (v přenosovém pásmu) .....	139
5.2	MODULACE A DEMODULACE V ASK.....	139
5.2.1	Cíl cvičení .....	139
5.2.2	Teoretické základy .....	139
5.2.3	Požadované vybavení.....	140
5.2.4	Operace s modulátorem a demodulátorem.....	140
5.3	FSK MODULACE, DVOJÍ FILTROVÁ DEMODULACE (DFD).....	142
5.3.1	Cíl cvičení .....	142
5.3.2	Teoretické základy .....	142
5.3.3	Požadované vybavení.....	142
5.3.4	Modulátorové a demodulátorové operace .....	142
5.3.5	Měření přenosového pásma filtru šířky pásma pro vysoké frekvence .....	144
5.4	POROVNÁNÍ ASK A FSK.....	144
5.4.1	Cíle cvičení.....	144
5.4.2	Teoretické základy .....	144
5.4.3	Požadované vybavení.....	145
5.4.4	Porovnání pravděpodobnosti chyb .....	145
5.4.5	Komunikační kanály.....	146
5.4.6	Zvukové signály .....	146
5.5	POSUZOVÁNÍ PLL .....	147
5.5.1	Cíl cvičení .....	147
5.5.2	Teoretické základy .....	147
5.5.3	Požadované vybavení.....	147
5.5.4	Činnost v otevřené smyčce.....	147
5.5.5	Činnost v uzavřené smyčce .....	148
5.6	FSK DEMODULACE S POUŽITÍM PLL .....	149
5.6.1	Cíle cvičení.....	149
5.6.2	Teoretické základy .....	149
5.6.3	Požadované vybavení.....	150
5.6.4	Demodulace FSK signálu.....	150
5.7	SROVNÁNÍ MEZI FSK (DFD) A MEZI PLL.....	152
5.7.1	Cíl cvičení .....	152
5.7.2	Teoretické základy .....	152
5.7.3	Požadované vybavení.....	152
5.7.4	Porovnání pravděpodobnosti chyb .....	153
5.7.5	Porovnání citlivosti .....	153

5.8	OBNOVA NOSITELE .....	154
5.8.1	Cíl cvičení .....	154
5.8.2	Teoretické základy .....	154
5.8.3	Požadované vybavení .....	154
5.8.4	Obnovení nositele – nastavení PLL.....	155
5.9	BPSK MODULACE A DEMODULACE .....	156
5.9.1	Cíl cvičení .....	156
5.9.2	Teoretické základy .....	157
5.9.3	Požadované vybavení .....	157
5.9.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	157
5.10	DPSK MODULACE A DEMODULACE .....	160
5.10.1	Cíl cvičení .....	160
5.10.2	Teoretické základy .....	160
5.10.3	Požadované vybavení .....	160
5.10.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	160
5.11	QPSK MODULACE A DEMODULACE .....	163
5.11.1	Cíl cvičení .....	163
5.11.2	Teoretické základy .....	163
5.11.3	Požadované vybavení .....	163
5.11.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	164
5.12	DQPSK MODULACE A DEMODULACE .....	167
5.12.1	Cíl cvičení .....	167
5.12.2	Teoretické základy .....	167
5.12.3	Požadované vybavení .....	167
5.12.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	167
5.13	QAM MODULACE A DEMODULACE .....	169
5.13.1	Cíl cvičení .....	169
5.13.2	Teoretické základy .....	170
5.13.3	Požadované vybavení .....	170
5.13.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	170
5.14	POROVNÁVÁNÍ FÁZE MODULACE .....	172
5.14.1	Cíl cvičení .....	172
5.14.2	Teoretické základy .....	172
5.14.3	Požadované vybavení .....	173
5.14.4	Provoz modulátoru a demodulátoru .....	173
5.14.5	Porovnání pravděpodobnosti chyby .....	174
5.15	OČNÍ DIAGRAMY .....	174
5.15.1	Cíl cvičení .....	174
5.15.2	Teoretické základy .....	175
5.15.3	Požadované vybavení .....	175
5.15.4	Oční diagramy (základní pásma přenosu) .....	175
5.15.5	Oční diagramy s poruchami kanálu .....	176
5.15.6	Diagram oka v různých komunikačních kanálech.....	176
5.16	SCHÉMA MODULAČNÍCH FÁZÍ .....	177
5.16.1	Cíl cvičení .....	177

5.16.2	Teoretické základy .....	177
5.16.3	Požadované vybavení .....	177
5.16.4	Sestava.....	177
5.17	POROVNÁNÍ MODULAČNÍCH PŘENOSOVÝCH RYCHLOSTÍ.....	179
5.17.1	Cíl cvičení .....	179
5.17.2	Teoretické základy .....	179
5.17.3	Požadované vybavení .....	179
5.17.4	Porovnání přenosových rychlostí dat pro TTL vstup .....	179
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>182</b>
<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>		<b>183</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>184</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>		<b>185</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>186</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>		<b>191</b>

## ÚVOD

V průběhu svého studia jsem zjistil, že studenti mají k měření na přístroji EC-796 omezený limit času a navíc manuál k tomuto měření je k dispozici pouze v angličtině. Z vlastní zkušenosti i z vyprávění svých spolužáků jsem se přesvědčil o tom, že jsme se mnohdy potýkali s materiály v angličtině přesto, že jsme anglický jazyk všichni povinně studovali. Překlady z angličtiny nás zdržovaly, a proto mnohdy zůstávalo málo času na vlastní měření, kterým jsme se chtěli věnovat poctivě, aby hodnoty byly správné a hlavně přesné. Uvedené argumenty přispěly k tomu, že mně z vypsaných témat pro magisterskou práci zaujalo právě toto zvolené téma.

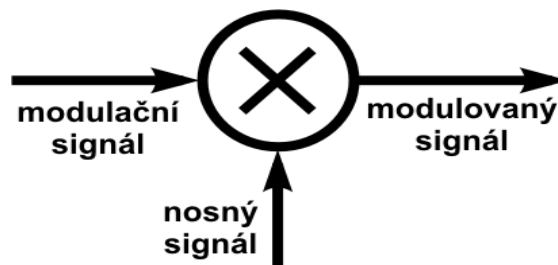
Věřím, že moje diplomová práce studentům na naší fakultě pomůže a zefektivní v dalších letech jejich přípravu k vlastnímu měření. Zároveň doufám, že studenti, kteří můj manuál dostanou do rukou ocení přínos této pomůcky pro své další studium. Mně by taková pomůcka v minulých letech určitě pomohla a přivítal bych možnost věnovat více času přesným měřením na přístrojových modulech, které jsou nezbytným doplňkem teoretických vědomostí a znalostí.

Tato práce se stala velkým přínosem i pro moje vlastní studium, protože jsem měl možnost si při praktických měřeních na odborných, specializovaných přístrojích ověřit, prohloubit a doplnit své teoretické znalosti. Čas, který jsem strávil při těchto měřeních, mi pomohl mnohé technické znalosti z odborných publikací ověřit přímo v praxi. Věřím, že poznatky a zkušenosti, které jsem získal při zpracování mé diplomové práce budou přínosem i pro moje budoucí povolání a zároveň budou nezbytným doplněním všech vědomostí a dovedností, které jsem získal při studiu na této fakultě.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ANALÝZA MODULACE

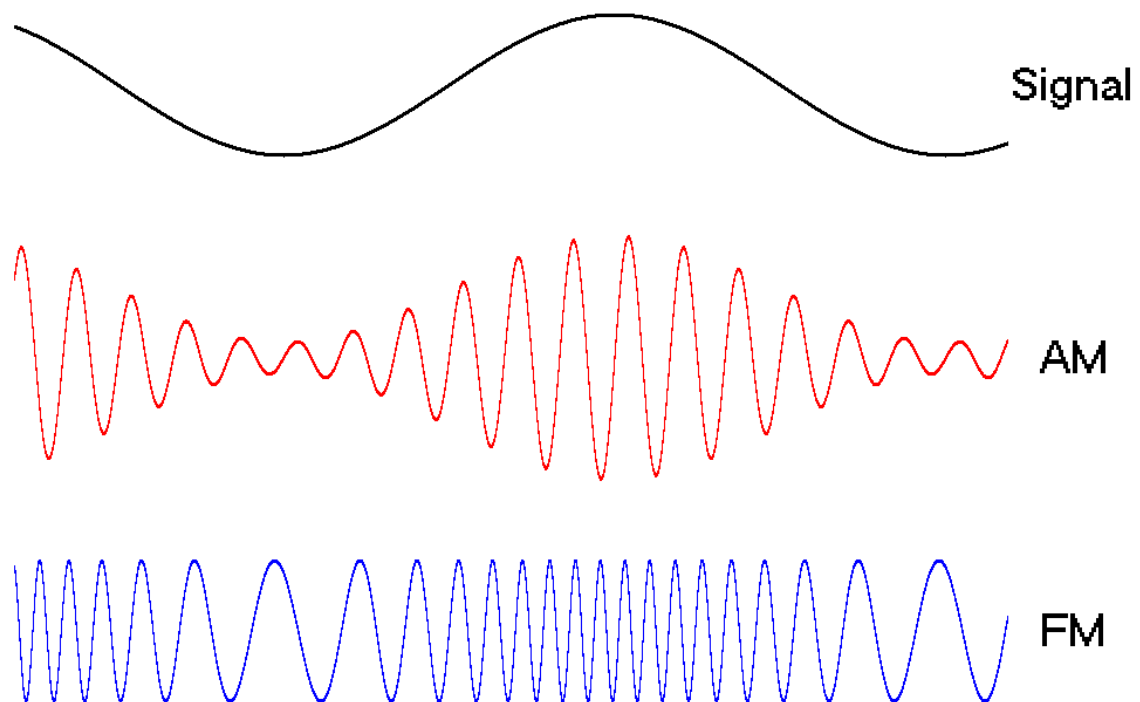
Modulace je nelineární proces, kterým se mění charakter vhodného nosného signálu pomocí modulujícího signálu. Zařízení, které provádí modulaci se nazývá modulátor. Musí ale vždy obsahovat libovolný nelineární prvek, jinak nemůže k modulaci dojít. Platí to i naopak. Jakmile se jakékoliv dva signály potkají na nějakém nelineárním prvku nebo v nelinearitě s chovajícím prostředím, dojde k jejich vzájemné modulaci tzv. intermodulaci. Modulační signál se v modulátoru namoduluje na vysokofrekvenční složku, která zajistí uložení signálu do vyšší kmitočtové oblasti tzv. (přeložené pásmo). Tato vysokofrekvenční složka je značena jako nosný signál (nosná vlna). Výstupem modulátoru je modulovaný signál. Velmi často je použita při přenosu nebo záznamu elektrických nebo optických signálů. Nejběžnějšími příklady zařízení spotřební elektroniky, využívající tento proces, jsou například rozhlasový a televizní přijímač, mobilní telefon, různé druhy modemů, satelitní přijímače atd. Nejstarší jsou Analogové modulace a charakteristický je pro ně analogový modulační signál, který ovlivňuje jeden ze tří parametrů nosné vlny. Může to být amplituda, kmitočet nebo fáze nosné vlny. Vývojově mladší jsou modulace digitální, jejichž signál je diskrétní.



*Obrázek 1: Schematická značka jednoduchého modulátoru*

Modulačním signálem se ovlivňuje kmitočet, amplituda, fáze nebo kombinace zmíněných parametrů vysokofrekvenční nosné vlny. Opakem modulace je demodulace, kterou provádí modulátor.





Obrázek 2: Modulovaný signál (nahore) modulující amplitudu (AM) nebo frekvenci (FM) nosné vlny.[1]

## 1.1 Základní pojmy modulace

- **Modulační signál** - signál, který chceme modulovat na nosný signál nebo také vstupní signál
- **Modulovaný signál** – signál po procesu modulace nebo také výstupní signál
- **Modulační produkty** – složky modulovaného signálu (zpravidla z pohledu jeho frekvenční analýzy)
- **Nosný signál** – většinou stálý signál, který modulujeme (neboli k němu přidáváme přenášenou informaci)
- **Jednoduché modulace** – modulace zpracovávající jeden modulační signál
- **Složené modulace** – modulace zpracovávající několik modulačních signálů najednou [1]

### 1.1.1 Modem

Slovo modem vzniklo složením dvou výrazů - modulátor a demodulátor. Je to zařízení, které umožňuje pomocí telefonních linek zprostředkovat komunikaci mezi vzdálenými počítači. Modem konvertuje (převádí) data z digitálních počítačových signálů na signály analogové, které lze posílat přes telefonní linku. Tomuto se říká **modulace**. Jakmile jsou data převedena na analogový signál, můžeme je poslat jinému modemu. Pokud je linka stabilní, pak se signál dostane až ke zvolenému vzdálenému modemu a tento signál se pak zpětně převádí na signál digitální, resp. na digitální data. Tento proces se nazývá **demodulace**. [3]

### 1.1.2 Analogový a digitální signál

Co to vlastně znamená „analogový“ a „digitální“? Analogový signál je charakterizovaný tím, že data, která se přenáší, jsou odevzdávána spojitě. Je to v podstatě zvuk. Proto např. při připojení na internet pomocí modemu slyšíte pisklavý zvuk. To jsou právě ta data, která si modemy navzájem vyměňují. Oproti tomu digitální data se skládají jenom z jedniček a nul (1 = zapnuto tedy ON, 0 = vypnuto, tedy OFF) a jsou posílána po určitých celcích. Za sebou tedy proudí sled jedniček a nul.

Výhoda analogového signálu je ta, že umožňuje naprosto plynulý tok dat, ale naopak velkou nevýhodou je jeho nestabilita. Digitální data jsou rozhodně lepší, respektive odolnější proti různým rušivým vlivům, nepříznivým vnějším zásahům atd. Jednoduše řečeno při toku jedniček a nul v případě digitálních dat se při ztrátě vedení dá jednoduše navázat tam, kde se tok dat přerušil a v případě analogového signálu je to prakticky nemožné (myšlené samozřejmě v reálném čase). Při přerušení analogového spojení např. na internetu se po přerušení musí navázat znovu. [3]

### 1.1.3 Digitální modulace na kontinuálním nositeli

Digitální informace mohou být přenášeny různými způsoby: působící na amplitudu ASK, působící na frekvenci FSK, působící na fázi PSK nebo působením v jejich kombinaci. ASK modulace kvůli jejich jednoduchosti, byl jedním z prvních modulací použit. FSK modulace byl široce používán v digitální radiové komunikaci, základních modemech a dálkových ovládáních. Konečně FSK modulace jsou dnes velmi časté v satelitním spojení, v modemech a specifických aplikacích, jako je teletext.

## 1.2 Rozdělení modulací

Existuje celá řada různých typů jednoduchých a složených modulací.

Podle typu modulace nosného signálu je rozdělujeme na :

- **Spojité analogové modulace** – nosným signálem je signál s harmonickým průběhem v čase (sinusoida nebo cosinusoida) a modulačním signálem je analogový signál.
- **Spojité digitální modulace** – nosným signálem je signál s harmonickým průběhem v čase (sinusoida nebo cosinusoida) a modulačním signálem je digitální signál.
- **Diskrétní modulace** – nosným signálem těchto modulací je signál s nespojitým průběhem často také nazývaný taktovací signál.

### 1.2.1 Spojité modulace

Libovolný harmonický průběh je definovaný třemi parametry:

- **A** – amplituda průběhu, argumentem sinusovky je úhel, jehož okamžitá hodnota se skládá ze dvou složek:
- **$\Omega$**  – je úhlová frekvence
- **$\Phi$**  – je fázový posuv

Podle toho, který z výše uvedených parametrů je ovlivňován modulačním signálem, jsou spojité modulace rozděleny na:

- Amplitudovou – AM
- Úhlové
  - Frekvenční – FM
  - Fázovou – PM (z anglického phase)

#### 1.2.1.1 Amplitudová modulace AM

U této modulace se mění amplituda (velikost) nosné vlny v závislosti na změnách okamžité hodnoty modulačního signálu. Představuje nejjednodušší a nejrozšířenější způsob modulace (rozhlasové vysílání, přenos obrazu u TV...). Nevýhodou je malá energetická

účinnost a dále i to, že modulovaná nosná vlna je značně ovlivňována rušivými signály zvláště při dálkovém přenosu.[1]

### **1.2.1.2 Frekvenční modulace FM**

U tohoto druhu modulace se frekvence nosné vlny mění úměrně se změnou okamžité hodnoty modulačního signálu. Amplituda nosné vlny zůstává konstantní. Informace je tedy přenášena změnou kmitočtu nosné vlny. Výhodou této modulace je, že umožňuje využít celé frekvenční pásmo bez ohledu na modulační frekvenci. Další výhodou je malá poruchovost a potřeba menšího vysílačového výkonu vzhledem k větší účinnosti než u amplitudové modulace. Nevýhodou je však potřeba velkého postranního pásma a také to, že jak vysílač, tak přijímač jsou daleko složitější oproti AM. [4]

### **1.2.1.3 Fázová modulace (PM)**

U této modulace se informace přenáší změnou fáze nosného signálu. Čím větší je amplituda modulačního signálu, tím větší je fázový zdvih (fázový rozdíl). Amplituda nosné vlny zůstává stálá. V praxi se používá velice málo, používá se většinou jen jako prostředek k dosažení frekvenční modulace. [4]

## **1.2.2 Analogové modulace**

Pokud je modulačním signálem typický analogový signál, nabývající nekonečného počtu hodnot, nabývá také fáze výsledného modulovaného signálu nekonečného množství hodnot. Amplitudová modulace a jejich varianty se používají spíše u jednoduchých systémů jako je například rozhlas AM nebo radioamatérské stanice atd. Těmto modulacím je věnována menší pozornost, protože už dnes jsou ve většině oblastí rychle nahrazovány digitálními modulacemi.

## **1.2.3 Digitální modulace**

Patří mezi impulzové modulace a slouží k přenosu vzorkovaného signálu. Signály s diskrétními modulacemi je možné přenášet po optických nebo metalických přenosových cestách. Z důvodu optimalizace se tyto signály modulují na vysokofrekvenční složku pomocí těchto digitálních modulací s nosnými vlnami. Tento způsob umožňuje přenášet

více informačních signálů po jednom komunikačním kanálu. Tato modulace již dnes skoro úplně vytlačila analogovou modulaci. Diskrétní signály lze přenášet radiovým přenosem. A toto je právě další důvod, proč se používají digitální modulace. Diskrétní signál se namoduluje na vysokofrekvenční nosnou vlnu a takto vytvořený signál již lze přenášet radiovým přenosem. Digitální modulace s nosnými vlnami jsou dvojitě modulace, neboť diskrétní signál je tvořen nějakou diskrétní modulací v základním pásmu. Nejčastěji se používá pro dobré vlastnosti binární modulační signál PCM a DM a jejich varianty. Ty je pak možné namodulovat sinusovou nosnou vlnu amplitudově, frekvenčně nebo fázově, případně kombinací těchto uvedených způsobů.

Digitální modulace se rozdělují na dvoustavové, kdy se nosný signál mění mezi dvěma diskrétními stavy, čtyřstavové se mění mezi čtyřmi stavy a vícestavové, kde se signál nabývá  $2^m$  stavů a  $m = 1,2,3\dots$ . Signál se může měnit v amplitudě, frekvenci nebo fázi. Ovlivňování nosné vlny se nazývá klíčování. Je-li modulačním signálem digitální signál nabývajícího konečného počtu stavů, nabývá i fáze modulovaného signálu konečného počtu poloh. Digitální obvody šířky pásma digitálních modulací není jednoznačně daná, proto se využívá posouzení šířky pásma podle poklesu úrovně modulovaného signálu o 3dB.[2]

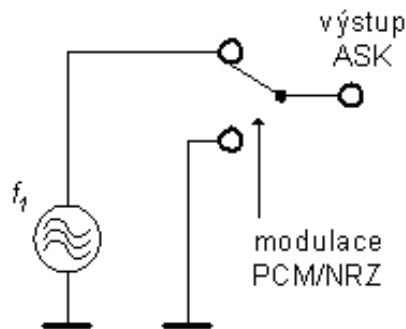
Mezi jednoduché typy těchto modulací patří:

- **ASK** – Amplitude - Shift Keying (odpovídá AM)
- **FSK** – Frequency-Shift Keying (odpovídá FM) a její speciální případ **MSK**- Minimum- Shift Keying
- **PSK** – Phase-Shift Keying (odpovídá PM), typičtí představitelé:
  - BPSK – Binary Phase Shift Keying (dvoustavová),
  - QPSK – Quadrature Phase Shift Keying (čtyřstavová), 8PSK, 16PSK vícestavové
  - DPSK – Differential Phase Shift Keying [1]

### **1.2.3.1 ASK modulace**

Modulace ASK (Amplitude Shift Keying) je nejjednodušší způsob digitálních modulací. Modulační binární signál se převede přes filtr, který odstraní nežádoucí vysokofrekvenční

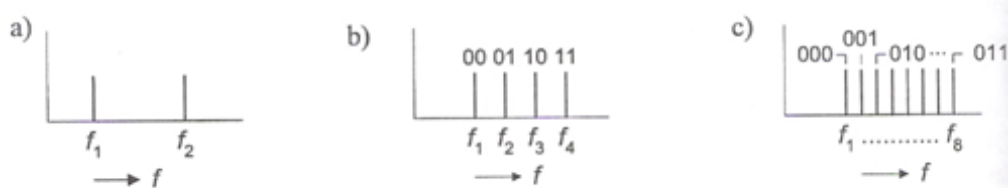
složky na vstup modulátoru. Na výstupu vysokofrekvenční nosný signál je přítomen nebo není, tzv. na výstupu je nulová napěťová úroveň v závislosti na modulačním diskretním signálu.[2]



Obrázek 3: Modulace ASK

### 1.2.3.2 FSK modulace

Dvě frekvence  $f_0$  a  $f_1$  reprezentují odpovídající binární stavy na vstupu modulátoru. Existují dvě formy této modulace. Při nekoherentní dochází ke skokovým změnám ve fázi výstupního signálu při změně vstupního stavu mezi 0 a 1, oproti tomu koherentní se vyznačuje plynulou změnou fáze výstupního signálu. Digitální modulace FSK zobrazené v kmitočtové oblasti:



Obrázek 4: Modulace a) 2FSK; b) 4FSK; c) 8FSK [8]

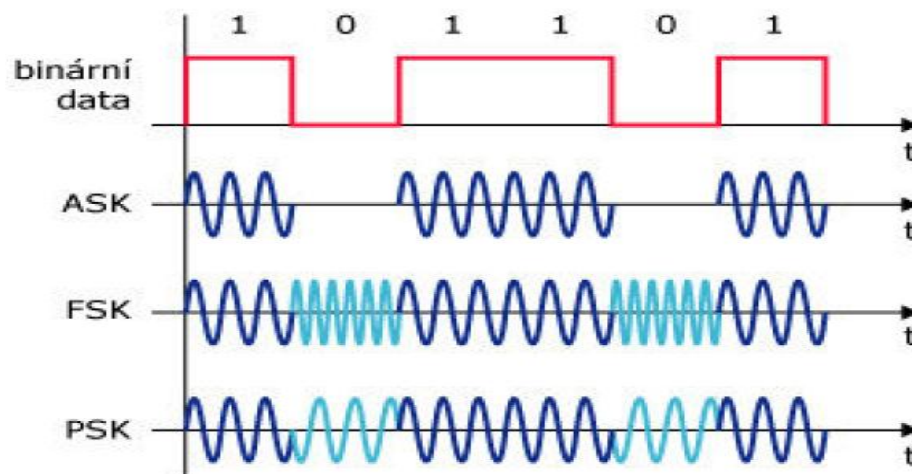
#### 1.2.3.2.1 MSK modulace

Signál modulovaný metodou MSK zaujímá relativně malé kmitočtové pásmo, zůstává však nepříjemné vyzařování do sousedních pásem, které lze odstranit filtrací. Provádí se tedy předfiltrace datového signálu pomocí gaučovské dolní propusti, odkud pochází název této modulace. Upravená varianta modulace je GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

Využívá se pro radiotelefonní systém GSM a byla jako nejvhodnější modulační metoda vybrána gaučovská modulace s minimálním zdvihem. Lepší využití modulace má však 8-PSK (osmistavová fázová modulace), která dovoluje přenést tři informační bity pomocí jednoho symbolu na radiové vrstvě. Naproti tomu modulace GMSK, která je použita jak už jsme zmínili u GSM/GPRS, dovoluje přenést pouze jeden informační bit na jeden symbol na radiové vrstvě.

### 1.2.3.3 PSK modulace

Symbole "0" a "1" na vstupu modulátoru jsou na jeho výstupu reprezentovány určitou změnou fáze. Základní formou je BPSK ( Binary PSK), která využívá pro "0" změnu fáze o  $0^\circ$ , zatímco pro "1" mění fázi o  $180^\circ$  oproti stávající fázi signálu (diferenciální varianta DPSK), nebo oproti referenčnímu signálu (prostě PSK).



Obrázek 5: Modulace ASK, PSK, FSK [5]

#### 1.2.3.3.1 BPSK modulace

Binární - fázové klíčování (Binary-Phase Shift Keying "BPSK") je digitální modulací založenou na posunutí fáze harmonické nosné pro  $0^\circ$  nebo  $180^\circ$  s unipolárním binárním signálem. Modulace BPSK je ekvivalentní s PM modulací digitálního signálu a také s modulací DSB-SC pásmového signálu s polárním digitálním signálem. Modulace DSB-SC (Dual Side Band Supressed Carrier) obsahuje sice obě postranní pásma, ale nosná je zcela potlačena, tohoto se dosahuje použitím tzv. kruhového modulátoru. Použitím předmodulačního filtru pro modulovaný BPSK signál vzniká DSB-SC modulovaný signál.

### 1.2.3.3.2 QPSK modulace

Je to čtyřstavová modulace a využívá se u přenosových systémů. Přenosové systémy se dělí na pozemní DVB-T, satelitní DVB-S a kabelové DVB-C. Pro každé z nich je použito jiného typu modulace (QAM). DVB-T může být modulováno QPSK, 16QAM a 64 QAM. Nově schválená norma DVB-T2 je modulována stejně jako starší norma a přidává se k nim i 256QAM. Změna je v tomto systému více proti starší normě. Satelitní DVB-S používá modulaci QPSK, novější systém DVB-S2 používá modulaci 8PSK. U kabelového vysílání DVB-C je použito 16, 32, 64, 128 nebo 256QAM. Čím větší je počet stavů v modulaci, tím je přenosová rychlost větší. Nejméně odolné je satelitní vysílání, používají se tedy jen robustní modulace QPSK (někdy označena 4PSK) a 8PSK. U těchto modulací se mění jen fáze nosné vlny, na rozdíl od QAM modulací, kde se mění i amplituda. Také se velmi často používá u koaxiálních kabelů z důvodu vysoké odolnosti proti šumu. [7]

### 1.2.3.3.3 DPSK modulace (diferenciální modulace změnou fáze)

Základním modulačním signálem u DSSS (Direct Sequence Spread Spektrum) je tzv. klíčování změnou fáze PSK. To pracuje tak, že vždy se změnou dat z 1 na 0 nebo naopak se změni fáze signálu o 180 stupňů oproti referenčnímu signálu. V DSSS je využita modifikace PSK, tzv. Diferenciální PSK (DPSK), kde se mění fáze signálu vždy proti minulé hodnotě, nikoliv proti referenčnímu signálu. Tím odpadá nutnost referenčního signálu.

## 1.2.4 Diskrétní modulace

U klasických modulací se používá k přenosu vlna sinusová nosná vlna, která je modulována analogovým modulačním signálem. Oba tyto průběhy jsou spojitě v čase, v amplitudě, kmitočtu nebo také ve fázi. Dále na rozdíl od předešlých modulací, kdy bylo přenášeno celé frekvenční pásmo, jsou u impulsových modulací přenášeny zprávy pomocí sledu impulzů neboli vzorků. Diskrétní modulace byly nejprve realizovány v základním pásmu. U těchto modulací se převádí analogový modulační signál, ležící v základním pásmu, na diskretní (impulsový) signál, který je taky realizován v základním pásmu. V případě, že tyto signály jsou přenášeny bezdrátově, musí se nejprve namodulovat na vysokofrekvenční



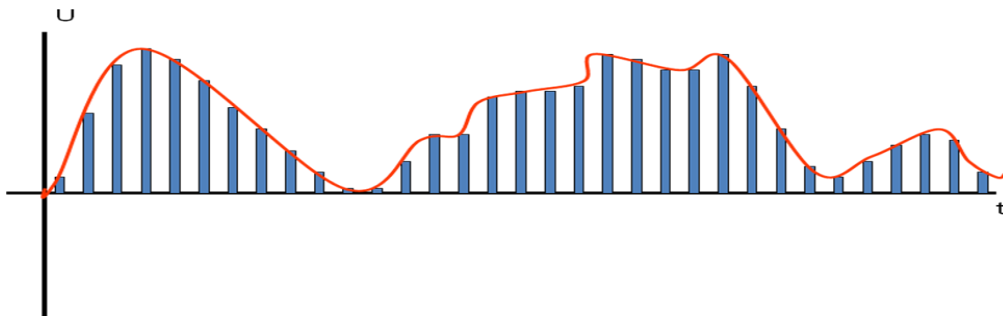
nebo mikrovlnnou vlnu. Pak dostaneme diskrétní modulaci s nosnými vlnami, které označujeme také jako digitální modulace.

Tyto modulace lze rozdělit na spojitý (nekvantovaný) nebo diskrétní kvantovaný signál modulační.

- Nekvantované
  - Pulzně amplitudová modulace – **PAM**
  - Pulzně šířková modulace – **PWM** (W z anglického width)
  - Pulzně polohová modulace – **PPM** (P z anglického position)
- Kvantované
  - Pulzně kodová modulace – **PCM** (C z anglického code)
  - Delta modulace – **DM**
  - Adaptivní delta modulace – **ADM**
  - Diferenciální pulzně kodová modulace – **DPCM**
  - Adaptivní diferenciální pulzně kodová modulace – **ADPCM** [1]
- Nekvantované

#### ***1.2.4.1 Pulzně amplitudová modulace PAM***

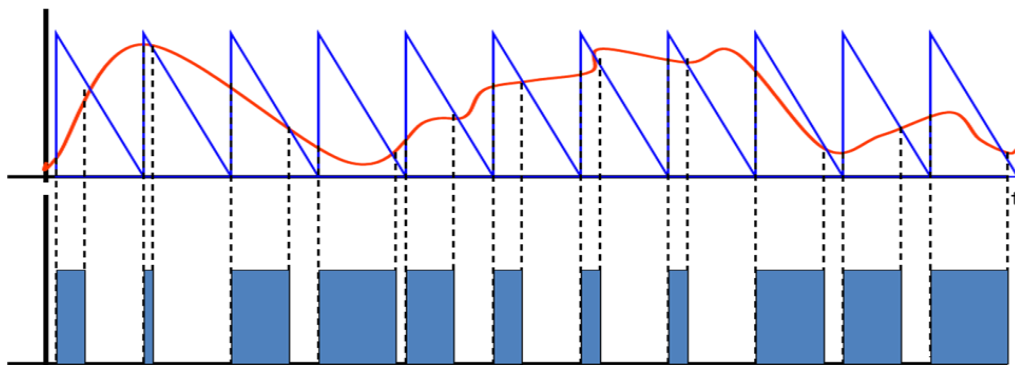
U PAM modulace vznikají modulované signály s nekonečně velkou šířkou pásma. Toto je způsobeno modulovaným signálem, jenž má tvar obdélníkových impulzů. Při přenosu střídavých audiosignálů modulací pulzně amplitudové modulace je analogový nízkofrekvenční signál v modulátoru změněn na impulzy s proměnnou amplitudou a s frekvencí nosného (modulačního) napětí. Zkreslení závisí na poměru frekvencí modulovaného audiosignálu a modulačního pulzního napětí. PAM vysílá ve stejných časových intervalech impulzy stejné šířky, ale s amplitudou úměrnou amplitudě přenášeného signálu. [6]



Obrázek 6: Pulzně amplitudová modulace

#### 1.2.4.2 Pulzně šířková modulace PWM

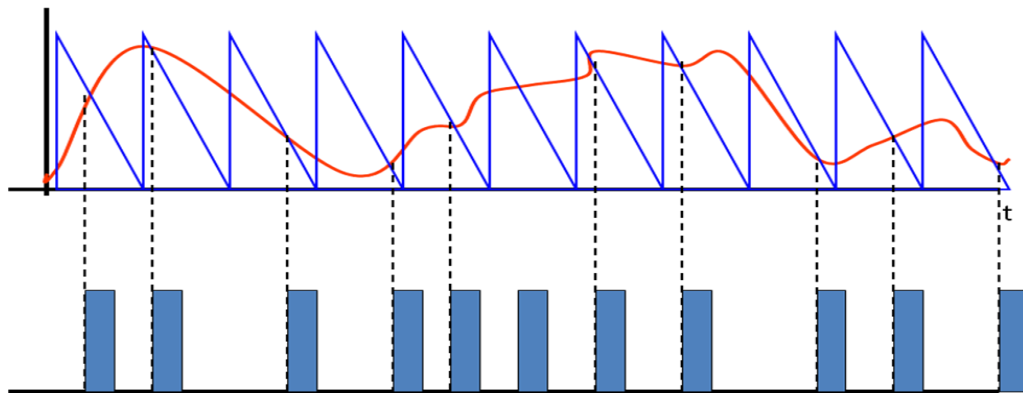
U tohoto druhu impulzové modulace je nositelem informace, jak už napovídá název, šířka impulzu – tzn. rozdíl mezi náběžovou a dobřehovou hranou. Čím je vzorek větší, tím je větší i šířka impulzu. Středů impulzů jsou od sebe vzdálené rovnoměrně a amplituda je stejně vysoká.



Obrázek 7: Pulzně šířková modulace [6]

#### 1.2.4.3 Pulzně polohová modulace PPM

U tohoto typu modulace je informace přenášena pomocí impulzů, které jsou posunuty od svého pomyslného středu. Čím je větší výška vzorku – tím je posunutí větší. Všechny impulzy jsou stejně široké, jejich amplitudy stejně vysoké a pomyslné středy jsou od sebe vzdáleny 125  $\mu$ s. [6]



Obrázek 8: Pulzně polohová modulace [6]

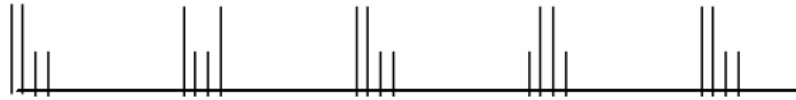
## ➤ Kvantované

### 1.2.4.4 Pulzně kódová modulace PCM

PCM je možné namodulovat buď amplitudově, frekvenčně nebo fázově na vysokofrekvenční nosnou vlnu. V základní variantě se vlna mění mezi dvěma diskrétními stavy – dvoustavové (diskrétní) modulace. Princip PCM spočívá v pravidelném odečítání hodnoty signálu pomocí A/D převodníku a jejím záznamu v binární podobě. Signál vzniká tak, že analogový modulační signál teprve přeměníme na PAM a ten pak podrobíme kvantování, při němž se jeho dynamický rozsah rozdělí na konečný počet diskrétních úrovní a každé skutečné úrovni impulsu PAM se přiřadí nejbližší diskrétní úroveň. Kvantovaný signál pulzně amplitudové modulace se dále kóduje a převede na binární soustavu.

Určující parametry jsou vzorkovací frekvence a jemnost rozlišení jednotlivých hodnot. Vzorkovací frekvence se pohybuje od 8 kHz u digitálních telefonních linek ISDN přes 44 kHz u zvukového CD po ještě vyšší hodnoty u profesionálních záznamových zařízení a ovlivňuje kvalitu (kostrbatost) reprodukováného záznamu. Při příliš nízké vzorkovací frekvenci nestačí zaznamenané hodnoty k rekonstrukci průběhu signálu a dochází ke ztrátě kvality. Podle Nyquistovy vzorkovací věty (Shannon-Kotělnikovův teorém) by měla být vzorkovací frekvence alespoň dvojnásobná oproti frekvenci zaznamenaného signálu. Při nesplnění této podmínky vzniká efekt zvaný **aliasing**. Rozlišení hodnot určuje přesnost hodnot v jednotlivých bodech, určení této hodnoty je nazýváno kvantování. Každé

kvantování zanáší do signálu kvantizační šum, jehož úroveň s rostoucím rozlišením klesá. Při příliš nízkém rozlišení digitalizovaného zvukového signálu je kvantizační šum slyšitelný.



Obrázek 9: Pulzně kódová modulace

#### **1.2.4.5 Delta modulace DM**

Je to kvantová modulace, která se přenáší v binárním stavu a to pouze rozdíl mezi současným a předešlým stavem - malá velikost. Delta modulace může být lineární nebo adaptabilní. Při lineární je rozdíl mezi po sobě následujícími impulzy (jeden skok) pořád stejný. U adaptabilní se při opakovaném přijímání stejných impulzů, např. pro zvýšení se rozdíl mezi dvěma po sobě jdoucími impulzy na výstupu postupně zdvojnásobuje.

#### **1.2.4.6 Adaptivní Delta modulace ADM**

U ADM se naopak velikost nebo strmost kvantizačních kroků mění v jednotlivých okamžicích vzorkování podle daného řídicího algoritmu. Velikost kvantizačních kroků se mění podle kritérií přetížení kodérů odvozených z vysílané posloupnosti, kdy po sobě následuje několik shodných symbolů. Do kodeků ADM jsou tedy zařazeny obvody, které podle daného řídicího algoritmu řídí v průběhu kódování velikosti kvantizačních kroků.

#### **1.2.4.7 Diferenciální pulzně kódová modulace DPCM**

Tato modulace využívá predikce vzorku (předpověď velikosti dalšího vzorku). Poté se odešle rozdíl mezi skutečnou a predikovanou velikostí. Musíme přenést i znaménko rozdílu (jestli byl signál větší nebo menší než predikovaný).

#### **1.2.4.8 Adaptivní diferenciální pulzně kódová modulace ADPCM**

Je to vylepšený DPCM, kodek se přizpůsobuje krátkodobým vlastnostem signálu. U této modulace využíváme buď adaptivní predátor (předpověď) nebo adaptivní kvantizér.

Používáme zde nelineární kódování. Telefonní kanál můžeme přenést s přenosovou rychlostí 32kb/s o kvalitě PCM 64kb/s.

### 1.2.5 Složené modulace

Mezi nejpoužívanější složené modulace patří:

- Kvadrurní amplitudová modulace – **QAM** (Q z anglického quadrature)
- Amplitudově fázová modulace – **APSK** podobná jako QAM, jiný konstelační diagram.[1]

#### 1.2.5.1 Modulace QAM (*Quadrature Amplitude modulation*)

Představuje běžně používanou a propracovanou modulační techniku, používanou ve velké míře v modemech pracujících v hovorovém pásmu a v mikrovlnných radiových systémech.

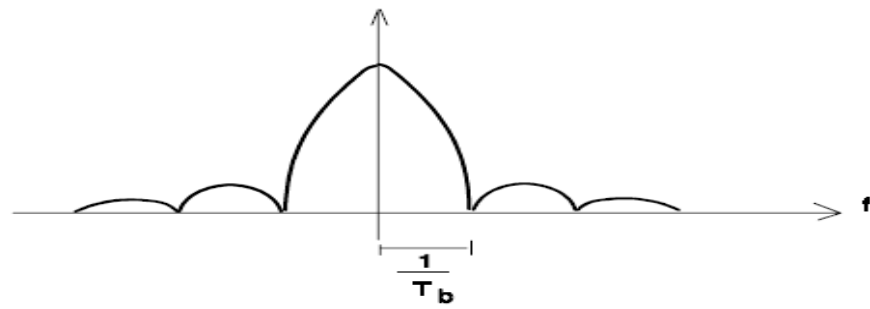
Modulaci QAM si lze představit jako dvojrozměrnou PAM (Pulzně amplitudová modulace), kde každá z jednotlivých nosných vln (vzájemně posunutě o 90°) je modulována jednosměrnou PAM. QAM symbol může být popsán jako dvourozměrné uspořádání signálových bodů, kde rozsah v každé dimenzi závisí na počtu úrovní signálu jednodimenzionální PAM.

## 1.3 Porovnání modulací

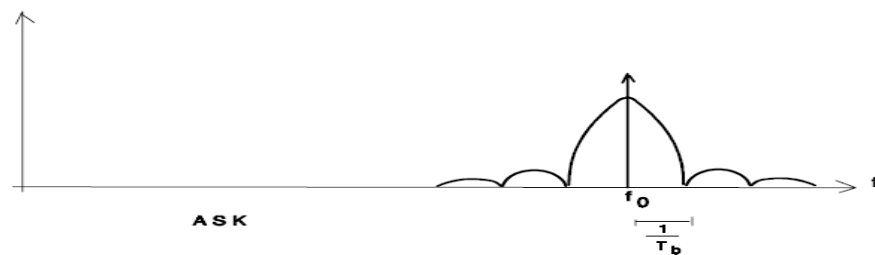
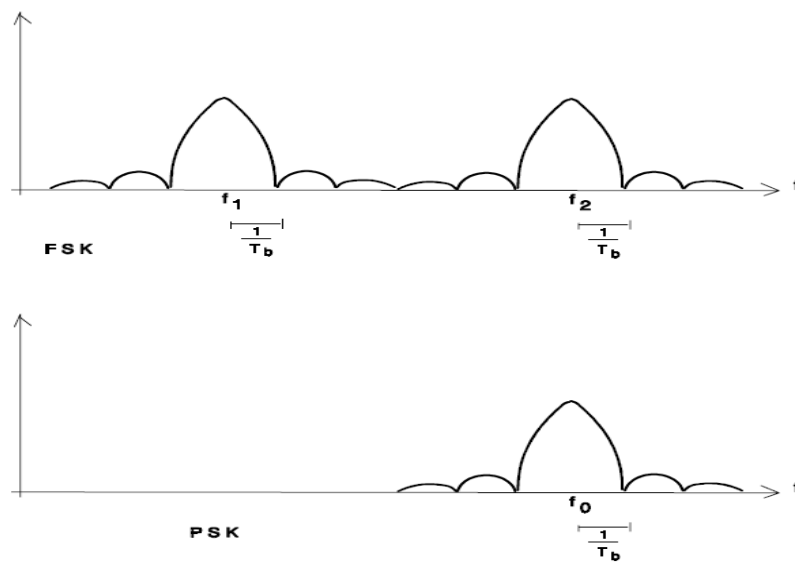
Tato sekce porovnává různé modulace. Některé z nejdůležitějších faktorů je třeba mít na paměti, v oblasti digitální komunikace jsou to: modulace šířky pásma, jak to určuje maximální bitová rychlost přenosu z kanálu a pravděpodobnost chyby, což svědčí o kvalitě signálu.

### 1.3.1 Modulace šířky pásma

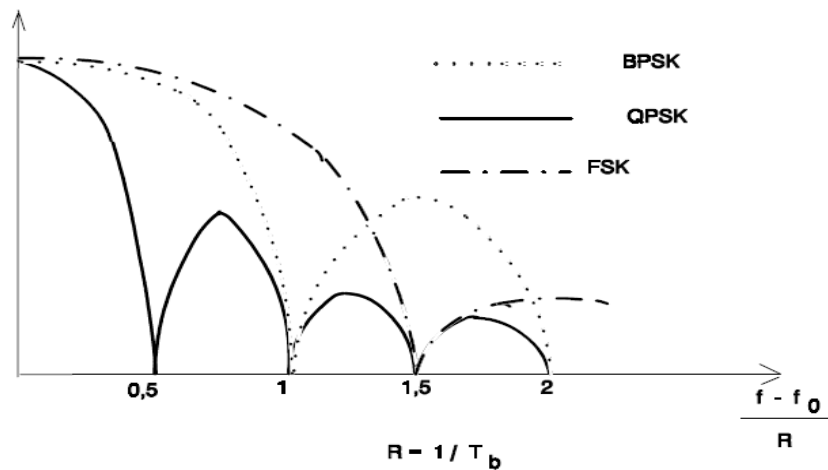
Následující grafy ukazují šířky pásma modulací používaných v komunikaci školitele. Je založen na základním signálu, jehož spektrum je zobrazeno níže, kde  $T_b$  je čas na jeden bit a  $R=1/T_b$  je rychlost v bitech za sekundu.



Obrázek 10: Spektrum signálu

Obrázek 11: Spektrum signálů modulovaného s dopravcem  $f_0$  v ASKObrázek 12: Spektrum signálu FSK, PSK s dopravci  $f_1$  a  $f_2$ 

Jak můžeme vidět, modulovaný signál FSK zabírá větší šířku pásma. Nejdůležitější faktorem je spektrální účinnost, která je ukazatelem toho, jak dobře každý používá modulaci šířky pásma.

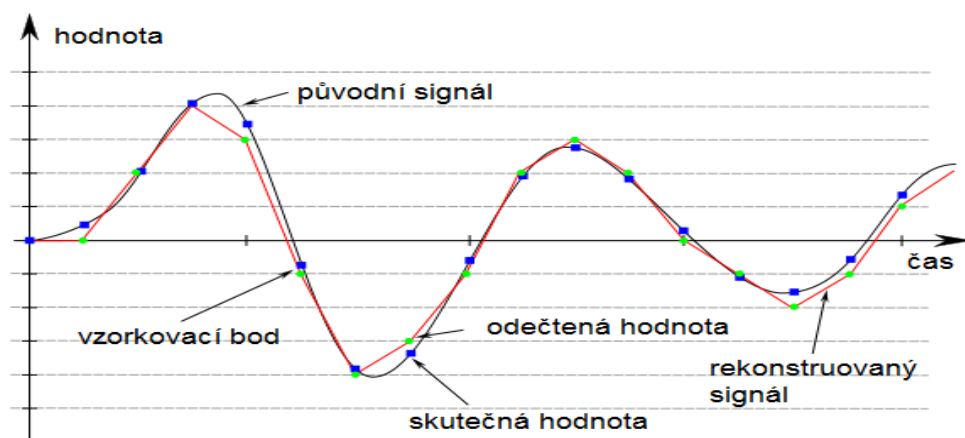


Obrázek 13: Zobrazení šířky pásma vztažené k  $f_0$  (nosné frekvenci)

Pokud se podíváme na hlavní část, uvidíme, že QPSK lze použít ke komunikaci kanálů, který zabírá polovinu šířky pásma BPSK.

## 1.4 Kvantování

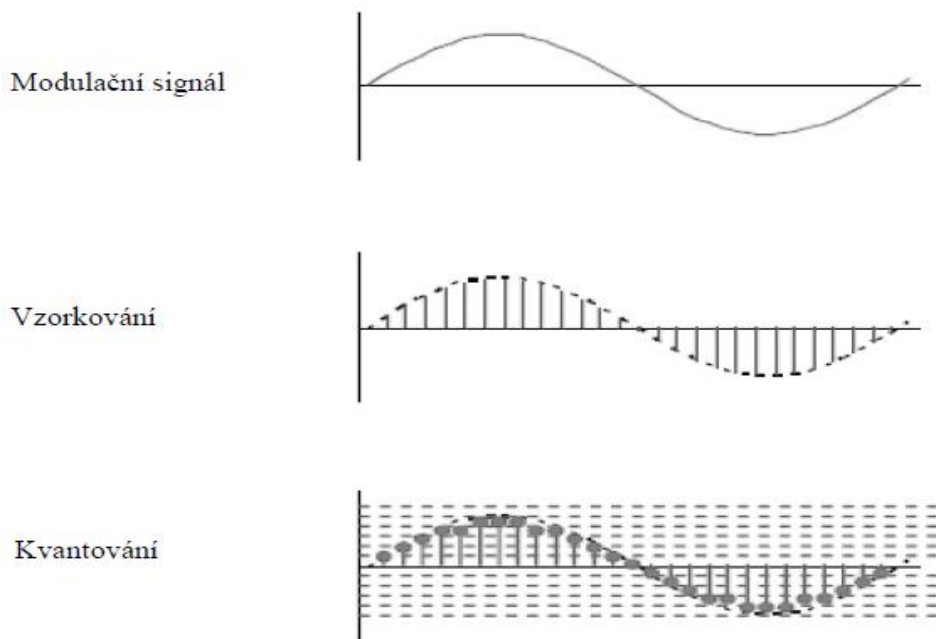
Kvantováním se mění signál se spojitou množinou hodnot na signál s diskrétní množinou hodnot. Každý vzorek je pak vyjádřeným  $N$ -bitovým slovem v některém z dvojkových kódů. Nejmenší možný skok kvantovaného signálu se nazývá kvantovací krok a rozdíl mezi vstupním a výstupním signálem kvantizačního obvodu je kvantizační šum. Při kvantování tedy dochází ke ztrátě informace.



Obrázek 14: Rekonstruovaný signál

## 1.5 Vzorkování

Vzorkování je proces, při němž je analogový signál převeden na diskrétní, tzn. je nahrazován jeho částmi – vzorky.



Obrázek 15: Vzorkovaný a kvantovaný modulační signál

Vzorky jsou od sebe zpravidla rovnoměrně vzdáleny o vzorkovací periodu, tzv. vzorkovací frekvenci (rychlost vzorkování), která je pak převrácenou hodnotou vzorkovací periody. Rovnoměrné vzorkování lze chápat jako násobení signálu souvislého času periodickým vzorkovacím signálem.



## 2 DEMODULACE

Demodulace se uskutečňuje pomocí nelineárních obvodových prvků, jako jsou diody a tranzistory. Elektrické obvody používané pro demodulaci se nazývají demodulátory nebo detektory. Demodulátor je zařízení určené k demodulaci modulovaného signálu, který je přenášen analogovým přenosovým prostředkem, např. elektromagnetické vlny, elektrický signál v koaxiálním kabelu, kroucené dvojice atd. Demodulace se používá v přijímačích pro demodulaci přenášeného signálu a získání původního užitečného (modulačního) signálu. Charakter demodulátoru se liší podle typu modulace a typu přenášeného prostředku. U modemu se používá číslicový demodulátor, u obyčejné krystalky nebo superhetu to je analogový elektrický obvod. U moderních televizních, rozhlasových přijímačů pro příjem analogového vysílání a moderních radioamatérských přijímačů se stále častěji používá číslicová demodulace přijímaného signálu, kdy se signál v mezifrekvenčním obvodu vzorkuje analogově - číslicovým převodníkem a dál se signál zpracovává v číslicových obvodech. Rozlišují se podle toho, zda se jedná o demodulaci amplitudové modulace nebo kmitočtově modulovaných signálů.[4]

### 2.1 Demodulace frekvenčně modulovaných signálů

K demodulaci frekvenčně modulovaných signálů nemůžeme použít takové detektory, jaké se používají k demodulaci amplitudově, protože bychom po detekci dostali na výstupu stejnosměrný signál. Při frekvenční modulaci je totiž amplituda nosného signálu konstantní. Při demodulaci frekvenčně modulovaných signálů se postupuje tak, že frekvenčně modulovaný signál se pomocí diskriminátoru přemění na amplitudově a frekvenčně modulovaný signál.

ASK signály jsou demodulovány tím, že rozlišujeme mezi nízkou a vysokou amplitudou úrovně. Demodulace FSK-DFD musí tyto dva přenášené kmitočty oddělit. Je složena ze dvou různých detektorů podobných jednomu, který je použitý u ASK, jeden pro každý jiný kmitočet (390 kHz a 560 kHz). Alternativní způsob odhalování podle frekvence, používaný ve vzdálených systémech je pomocí PLL.[4]

## **2.2 Antialiasing a Reconstructor filtry (vyhlazovací a rekonstrukční filtry)**

Antialiasing a reconstructor filtry lze zvolit na vysílači u vstupu. Vysílač má antialiasing filtr s mezním kmitočtem 300 Hz, tento filtr předchází A/D převodník. Tam je Reconstructor filtr uvnitř přijímacího modulu, který má stejný mezní kmitočet pro odstranění vyšších frekvencí vytvořených jako výsledek vzorkování. Před mezním kmitočtem tohoto filtru má rezonance k vyrovnání útlumu vliv na vysoké frekvence zavedené D/A převodníkem.

## **2.3 Kompresor a Expandér**

Modul vysílače obsahuje Kompresor, který je ve spojení s příjemcem expandéru a používá se ke zlepšení kvality přenosu signálu mikrofону. Vzhledem k tomu, že hlas má statisticky nízkou úroveň než ty vysoké, můžete dosáhnout lepší kvality signálu k poměru hluku. Konfigurace kompresoru vstupního signálu je zesílena nepřímo úměrně k její střední hodnotě, takže velké signály jsou redukovány a malé se zvětšují. V případě přijímače zesílení přímo úměrně střední hodnotě jeho vstupu získáme inverzní účinek kompresoru.

## **2.4 UART (univerzální asynchronní přijímač a vysílač)**

UART umožňuje asynchronní sérii přenosu, kousky každého vzorku signálu mezi startem a stopem bitů. Kromě toho používá paritní bit, takže je tam chyba kontroly. UART v tomto nástroji, HD- 6402, přenosu režim, převádí paralelní údaje poskytnuté A/D do série formátu automaticky včetně start, parity a stop bitů. Příjemce převádí bity, které přejdou v sérii do osmi paralelních bitů, které jsou dodávány do A/D převodníku, ověření parity bit a aktivace PE (parity error (chyba)) výstup UART, pokud je nalezena chyba. Tyto chyby lze pozorovat vizuálně na přístroji pomocí LED diody. Použití externí konfigurace můžeme vybrat slovo délky 5, 6, 7 nebo 8 bitů, sudá, lichá nebo žádná parita bit, jeden nebo dva stop bity.

Pro vybraný znak formátu:

- Jeden start bit
- Osm bitů slovo-délka

- Jeden dokonce i paritní bit
- Jeden stop bit

Výstupní rychlost bitů z UART je hodinová frekvence používaná dělená 16. Taktovací frekvence UART je 1.33 MHz, rychlost 83 kb/s.

## **2.5 Přenosový kanál**

Je chápán jako spojení mezi vysílačem a přijímačem. Používané zařízení má pět přenosových kanálů, kterými jsou: dvojlinka, koaxiální vedení, optické vlákno, infračervené spojení a radiové spojení.

### **2.5.1 Dvojlinka**

Přenos elektrické komunikace přes dvojlinku je nejstarší způsob přenosu analogového signálu prostřednictvím telefonu nebo telegrafu. Je tvořena dvěma paralelními dráty vedení, jehož největší předností je cena. Jednou z nevýhod je jeho citlivost vůči elektromagnetickému rušení (elektrické a magnetické pole). Rušení může být sníženo, pokud vedení tvořené dvěma kabely je malé, je tam malý prostor mezi nimi a nebo kabely umístěné vedle sebe.

### **2.5.2 Koaxiální vedení**

Na rozdíl od symetrické dvojlinky, které jsou v zásadě používány v systému s malou přenosovou kapacitou, je koaxiální kabel používán v systémech, vyžadujících větší kapacitu (větší počet kanálů pro přenos), neboť šířka pásma je mnohem větší než jeho cena. Skládá se ze dvou soustředných vodičů oddělených izolátorem. Vnitřní vodič nese informaci a ten vnější je obvykle připojen k referenčnímu napětí obvodu a tvoří elektrostatické stínění kolem vnitřního jádra. Je citlivý na magnetické rušení, ačkoliv je to sníženo kvůli blízkosti těchto dvou vodičů.

### **2.5.3 Optické vlákno**

Přenos elektrooptické komunikace pomocí optických vláken nabízí mnoho technických a ekonomických výhod. Optické vlákno je vyrobeno z lehkého materiálu, na které se vztahuje přenos s různými neprůhlednými materiály.

#### Výhody optických vláken:

- Nízké ztráty
- Velká šířka pásma, dokonce větší než koaxiální kabel
- Malá velikost
- Nízká cena vláken (vypočteno pro velké instalace)
- Necitlivost vůči elektromagnetickému rušení, protože je založen na optickém přenosu
- Vysoce stabilní v teplotních výkyvech

#### **2.5.4 Infračervené spojení**

Na rozdíl od optického vlákna, kde je vysílací zařízení prováděné uvnitř vlákna, infračervené záření je ve volném prostoru (přes vzduch). Toto produkuje větší útlum a směrový účinek mezi vysílačem a přijímačem. Jedná se o tradiční systém dálkového ovládání. Infračervené záření nemůže přes neprůhledné povrchy. Pro zlepšení účinnosti komunikace je optika často zaměřována ve vysílači nebo v přijímači s cílem soustředit vysílání nebo příjem infračervených paprsků.

#### **2.5.5 Radiové spojení**

Toto je nejčastější používanou metodou v komunikačních a obchodních vysíláních. Přístroj vysílá s nosičem 27 MHz v amplitudové modulaci. Toto médium, jako je infračervené, zavádí také pokles informací. Nepotřebuje žádnou fyzickou podporu, je obecně poměrně levné, obzvláště pro velké vzdálenosti. Je citlivé na elektromagnetické rušení, které spadá do použitého pásma. Rušení může být způsobeno zařízením nebo jiným vysílačem pomocí nedalekého pásma.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 TEORIE DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE EC-796

Digitální komunikační trenažér je ideální nástroj k naučení se o základních digitálních modulacích (ASK, FSK, PSK, DPSK, DQPSK, QAM), stejně jako o vzorkování a kvantování (PCM signálů). Modulace různých typů kanálů jsou studovány takovým způsobem, že výhody a omezení každého lze jednoduše porovnávat. Vzhledem k podstatě vzdělávacího charakteru přístroje, jsou integrované diskrétní obvody použity tak, že modulace a demodulace jsou chápány přímo (okamžitě). Funkce obvodu mohou být kontrolovány z různých testovacích bodů, přístupných pro uživatele. Mezitím se nesmí zapomínat, že zaměření na moderní digitální komunikace je na systémech. Základní rysy jsou zdůrazněny v oblasti vzdělávání, jako například omezení každého typu odlišení podle kanálu, komparativní výhody mezi nimi a jak jsou modulátorové a demodulátorové obvody zhotovené. Záměr je poskytnout v podstatě experimentální školení, které následně umožní, aby student pochopil základy aplikací, jako jsou telemetrické, modemy, některé satelitní přijímače, soukromé komunikační sítě atd. a pomocí nich, aby byl student schopen ovládat složitější modulace, které jsou základem systémů jako GSM, ERMES, DECT.

#### 3.1 Specifikace

##### 3.1.1 Specifikace vysílacího modulu

Digitální vstupy:

➤ Coax.1. **Funkční vstupní generátor**

Maximální limit:  $\pm 2V$

Pásmová propust (s vyhlazovacím filtrem): 250 Hz – 3400 Hz

Vstupní impedance: 5 k $\Omega$  - 1 kHz

Konektor: BNC samice

➤ Coax.1. **TTL digitální vstup**

Maximální limit: 0 – 5 V

Maximální přenosové pásmo: DC – 300 kHz

Vstupní impedance: > 100 k $\Omega$  na 1 kHz

Konektor: BNC samice

➤ **Mic.1: Vstup pro externí mikrofon**

Minimální citlivost: 6 m Vpp

Maximální citlivost: (se zhušťovačem): 80 m Vpp

Pásmová propust (s vyhlazovacím filtrem): 280 Hz – 3400 Hz

Vstupní impedance: > 20 kΩ na 1 kHz

Konektor: 3,5 mm Jack

➤ **PCM signál – základní pásmo Vzorkování a Kvantování**

Hodinový impuls: 1.333 MHz (4 MHz/ 3 crystal)

Bit T: 12 μsec

11-bit scan: 1 start, 8 kód, 1 stop a 1 paritní

T scan: 132 μsec (přinejhorším 144)

Vzorkovací kmitočet: 7,575 kHz (6,945 přinejhorším)

Antialiasing filtr:

Šířka pásma při 3 dB: 280 Hz – 3400 Hz

Mikrofonní kompresor a expandér: NE 571 (philips)

➤ **Vlastnosti modulátoru**

ASK modulátor (OOK);

Vzorkovací frekvence: 390 kHz (± 2%)

Space (odstup, doba) frekvence: DC

Modulátor pásma: DC – 60 kHz

➤ **FSK modulátor:**

Vzorkovací frekvence: 390 kHz (± 4%)

Space (odstup, doba) frekvence: 560 kHz (± 3%)

Modulátor pásma: DC – 60 kHz (DFD recepce)

DC – 200 kHz (PLL recepce)

➤ **BPSK a DBPSK modulátor:**

Nosný kmitočet: 333,3 kHz ( $\pm 1\%$ )

Modulátor pásma: DC – 45 kHz

➤ **QPSK a DQPSK modulátor:**

Nosný kmitočet: 166,6 kHz ( $\pm 1\%$ )

Modulátor pásma: DC – 45 kHz

➤ **QAM modulátor (APK Amplitudové klíčování):**

Nosný kmitočet: 166,6 kHz ( $\pm 1\%$ )

Modulátor pásma: DC – 45 kHz

Úrovní: 8

➤ **Vysílací charakteristiky**

Dvojlinka vysílače:

Výstupní úroveň (měřeno na konektoru):

- Přijímač není připojen: 0 V  $\pm$  4 V (podle modulace)

- Přijímač připojen: 0 s přesností  $\pm$  3 V (podle modulace)

Konektor: banán samice adaptér

Koaxiální kabel vysílače:

Výstupní úroveň (měřeno na konektoru):

- Přijímač není připojen: 0 V  $\pm$  4 V (podle modulace)

- Přijímač připojen: 0 s přesností  $\pm$  3 V (podle modulace)

Konektor: BNC samice adaptér

➤ **Vláknový optický vysílač:**

Emise LED

- Emisní vlnové délky: 850 nm (červená)



➤ **Infračervený vysílač**

Emise LED

-Emisní vlnové délky: 950 nm

➤ 25 MHz vysílač:

Výstupní úroveň na 50  $\Omega$ : 10 dBm

Anténní: Unipolární- kabel 5 mm, délka 150 cm

Konektor: BNC samice

Nosný kmitočet: 27 MHz (krystal)

Odlišení AM: Modulační index od 10 do 40 %, v závislosti na zvoleném modulátoru.

➤ Napájení:

Napětí: 110, 125, 220 a 240 V AC

Síťová frekvence: 50 nebo 60 Hz

Stabilizované napájení vnitřní: + 5 V DC, 360 mA – 5 V DC, 240 mA

Spotřeba elektrické energie: 6 W

Pojistky: 220 a 240 V AC, 0.50, 110 a 125 V AC, 0.75

Rozměry: 400 x 100 x 280 mm

Váha: 2.8 kg

### 3.1.2 Specifikace přijímacího modulu

➤ Vlastnosti přijímače

Dvojlinkový kabel přijímače:

Typ: přímý

Konektor: banánový adaptér

Koaxiální kabel přijímače:

Typ: přímý

Konektor: BNC adaptér

Opticky vláknový přijímač:

Typ: foto- dioda

Přijímací pásmo: 400 – 1100 nm (90% efektivita)

➤ **Infračervený přijímač:**

Typ: foto- dioda

Recepce pásmo: 800 – 1000 nm (50% efektivita)

➤ **27 MHz přijímač:**

Typ: krytý detektor

Recepce pásmo: 27 MHz

Anténní: Unipolární – 5 mm kabel, 150 cm

Konektor: BNC samice

**Demodulátor - vlastnosti:**

➤ **Demodulátor ASK (OOK on-off keying):**

Typ: pásmový filtr, kryty detektoru a komparátoru.

Pásmový:

- Odkazem na mikrofon a signálové vstupy (alespoň celý antialiasing filtr)

- S odkazem na vstup TTL: DC – 60 kHz

Pásmový filtr:

Střední frekvence: 380 kHz

Šířka pásma: 40 kHz ( $Q = 9.5$ )

➤ **Demodulátor FSK (duální filtry, DFD):**

Typ: pásmové filtry, kryty detektoru a srovnávací mezi dvěma cykly.

Pásmový:

- Odkazem na mikrofon a signálové vstupy (alespoň celý antialiasing filtr)
- S odkazem na vstup TTL: DC – 60 kHz

Pásmový filtr 1:

Střední frekvence: 380 kHz

Šířka pásma: 40 kHz ( $Q = 9.5$ )

Pásmový filtr 2:

Střední frekvence: 550 kHz

Šířka pásma: 60 kHz ( $Q = 9.2$ )

➤ **Demodulátor FSK (PLL):**

Typ: přímý detektor pro PLL

Pásmová:

- Odkazem na mikrofon a signálové vstupy (alespoň celý antialiasing filtr)
- S odkazem na vstup TTL: DC – 200 kHz

➤ **BPSK DBPSK demodulátory:**

Pásmová:

- Odkazem na mikrofon a signálové vstupy (alespoň celý antialiasing filtr)
- S odkazem na vstup TTL: DC – 45 kHz

➤ **QPSK, DQPSK a QAM (APK) demodulátory:**

Pásmová:

- Odkazem na mikrofon a signálové vstupy (alespoň celý antialiasing filtr)
- S odkazem na vstup TTL: DC – 45 kHz

**VÝSTUPNÍ CHARAKTERISTIKY**

- Sluchátka výstup:

Výstup etapy: Třída AB

Výstupní výkon: 160 mW na 32  $\Omega$

Konektor: samice mono jack

➤ BNC výstupy:

Konektory: BNC samice adaptéry

Výstupní úroveň na S1 (analogový signál): Koax. 1 vstup ( $f = 3$  kHz)

Výstupní úroveň na S2 (TTL signál): 0 – 4 V

➤ **Napájení**

Napětí: 110, 125, 220 a 240 V AC

Síťová frekvence: 50 nebo 60 Hz

Stabilizované napájení (vnitřní): + 5 V DC, 310 mA

-5 V DC, 130 mA

Spotřeba elektrické energie: 6 W

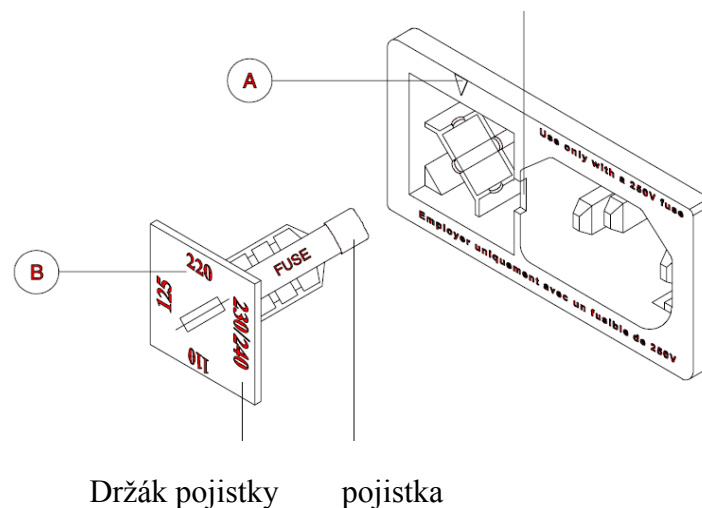
Pojistky: 220 a 240 V AC, 0.50; 110 a 125 V AC, 0.75

### 3.2 Instalace

Z bezpečnostních důvodů jsou oba - vysílač i přijímač uzemněny. Dodržujte kanálovou konfiguraci (nepoužívejte BNC/ banán adaptér, atd). Dodržujte doporučenou vzdálenost 25 cm mezi vysílačem a přijímačem. Buďte opatrní při nastavení potenciometru: nedotýkejte se dalších bodů. Vyvarujte se umístění jakéhokoliv zařízení, které vytváří silné elektromagnetické rušení v bezprostřední blízkosti objektu: motory, transformátory, spínací zdroje, atd. Přídavná zařízení: použijte ochranný vodič pro připojení, který byl k tomu poskytnut. Pozn.: použité části, jiné než ty dodávané s komunikací Trainer, může způsobit poškození přístroje a je potřeba se tomu vyhnout.

Požadavky na napájení: Tento nástroj je připraven pro připojení na napájení napětí 110 – 125 – 220, 230/240 V AC 50 nebo 60 Hz. Napájecí napětí může být vybráno na zadním panelu.

Chcete-li odstranit držák pojistky, trochu zmáčkněte do slotu a vytáhněte



Obrázek 16: Změna napětí

- 1) Odstraňte držák
- 2) Připojte požadované napájecí napětí
- 3) Vyjměte pojistku a slad'te napájení

### 3.3 Popis ovládání

Moduly vysílače a přijímače mají přepínací logický systém, který ovládá aktivaci/deaktivaci každé komponenty v systému. Stav aktivace je zobrazen světelnými diodami LED, které se rozsvítí, když je aktivní odpovídající komponenta. Vnější prvky tohoto ovládacího systému obsahují sérii tlačítek, takže uživatel může konfigurovat pracovní mód pro každý jednotlivý případ.

### 3.3.1 Příslušenství

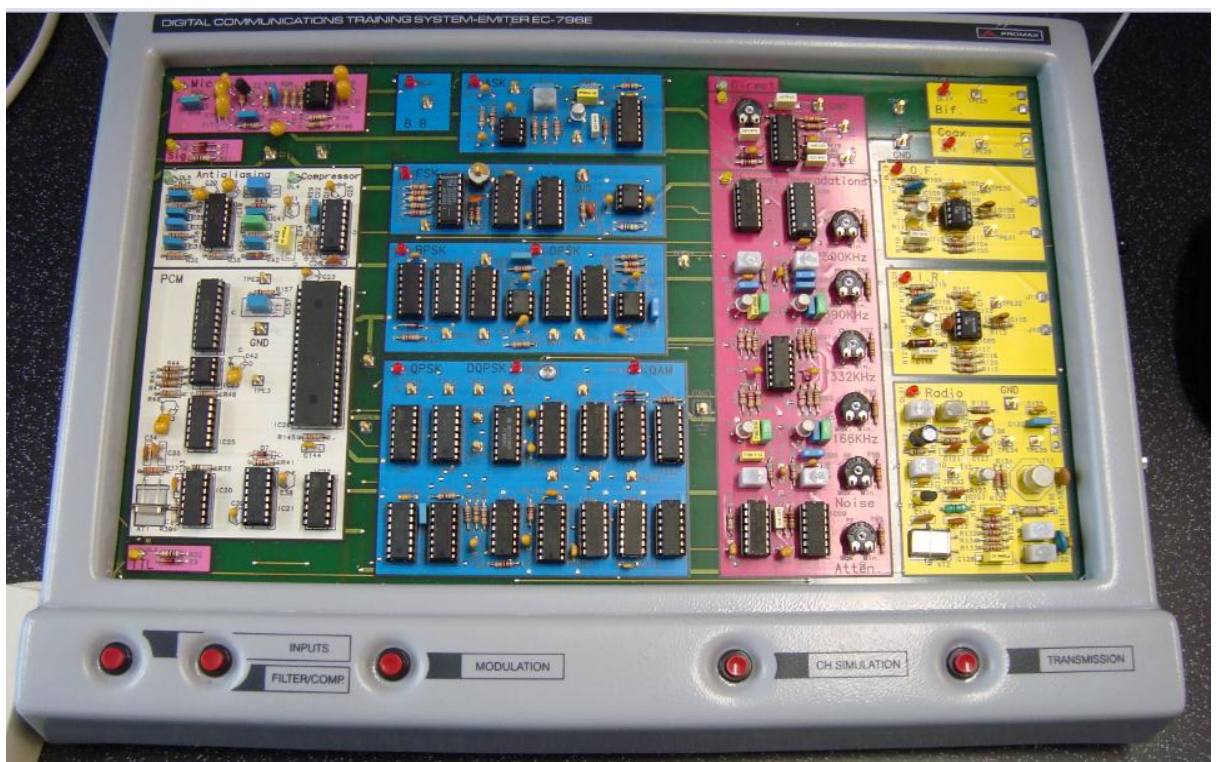
1x manuál, 1x teorie, 1x pracovní kniha, 1x dynamický mikrofon, 1x sluchátka, 2x rádio nadzemní vedení kabelů, 1x optické vlákno, 1x banan kabel- černý banán (Ref. CC – 12), 1x banan kabel – červený banán (Ref. CC – 13), 3x koaxiální kabel BNC/BNC (Ref. CC – 03).

### 3.3.2 Popis kontrolnek

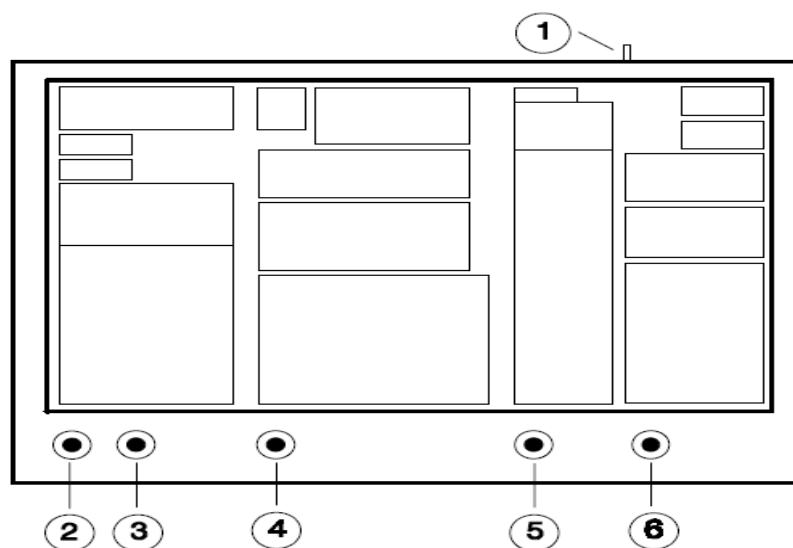
Moduly vysílače i přijímače mají spínat logiku systému, který ovládá aktivace/deaktivace jednotlivých komponent v systému. Stav aktivace je ukazován světelnou diodou LED, která se rozsvítí, když je odpovídající součástka nebo daný blok aktivní. Vnější prvky tohoto systému řízení se skládají z řady tlačítek, kterými uživatel může nastavit vhodný režim provozu pro každý případ.

## 3.4 Vysílač

### 3.4.1 Přední panel



Obrázek 17: Vysílač- EC 796



Obrázek 18: Modul vysílače s popisem tlačítek

**Modul vysílače má pět tlačítek pro nastavení konfigurace:**

- 1) **Hlavní vypínač:** Přepneme ho na nástroji po připojení do sítě.
- 2) **Vstupní tlačítko:** Je možné aktivovat jeden ze tří možných vstupů. Aktivní vstup je indikován žlutou LED diodou.
- 3) **FILTR/COMP tlačítko:** Aktivuje filtr nebo kompresor generátoru a mikrofonní vstupy.
- 4) **Modulační tlačítko:** Tlačítko pro výběr typu modulace.
- 5) **CH. simulační tlačítko:** Toto tlačítko umožňuje vybrat, zda chceme přenos signálu bez zkreslení (přímé), průchod signálu přes pomalý průchod filtru (BW), nebo zavést rušení hluku nebo útlumu (pokles kanálu).
- 6) **Přenosové tlačítko:** Slouží pro vybrání typu kanálu, na němž se předávají informace.

### 3.4.2 Levá strana vysílače



*Obrázek 19: Vstupní strana vysílače*

- 1) **Koax.1:** BNC vstup pro funkční generátor – **FG.** (BNC 1)
- 2) **Koax.2:** BNC vstup pro TTL signál (BNC 2)
- 3) **Mic.1:** 3.5 mm jack, mikrofonní vstup

### 3.4.3 Pravá strana vysílače



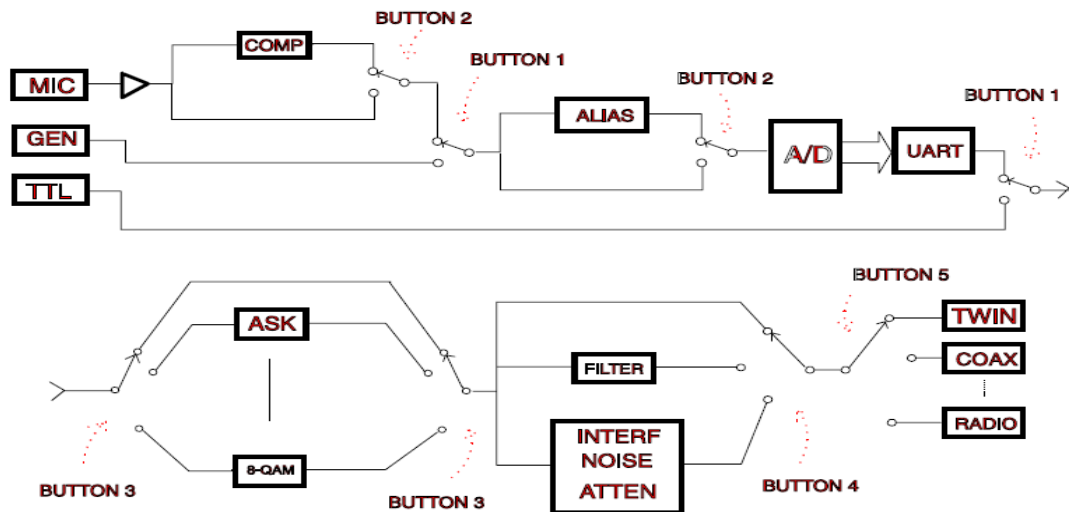
*Obrázek 20: Výstupní strana vysílače*

- 1) **Tx. 27 MHz:** BNC anténní zářič
- 2) **I.R.:** Infračervený vysílač
- 3) **F.O:** Optický výstupní konektor
- 4) **Koax.:** BNC výstup pro koaxiální vedení
- 5) **Dvojče:** Banan výstup pro dvojlinku



### 3.4.4 Blokové schéma modulu vysílače

Modul může být rozdělen do různých snadno rozlišitelných bloků: vstupy, A/D konverzí (analogové, digitální), modulace, kanál simulace a vysílače.



Obrázek 21: blokové schéma vysílače

Existují tři různé vstupy: mikrofon, funkce generátoru a TTL úrovně. Signál z mikrofonu prochází přes předzesilovač pro dosažení správné úrovně. Pro výběr TTL vstupu to jde přímo na modulátor, jak je již digitální signál. Signály poslané do mikrofonu nebo generátoru jdou do A/D konverze bloku. Tento blok zahrnuje vyhlazovací filtr a kompresor. Kompresor (nachází se v přijímači vedle expandéru), je určen pro hlasové signály a umožňuje méně bitů pro použití v A/D konverzi bez ztráty kvality zvuku rekonstrukce mikrofonního signálu. A/D konverze pracuje na vzorkovací frekvenci 7,6 kHz, jak je přístroj stavěn na telefonním signálu kanálu kvality (300 - 3400 Hz). Pokud je zaveden signál vyšší frekvence, dojde k chybě při odebírání vzorků, jak je tam příliš málo vzorků, je potřeba obnovit signál. Tento efekt se nazývá jinak „překrývání“ a dochází při vzorku A/D konverze signál vyšší frekvence, než polovina vzorkovací frekvence (Nyquistovo kritérium). Když k tomu přijde vyhlazovací filtr, dochází ke spouštění, to eliminuje všechny signály o vyšší frekvenci než je přípustné. Vyhlazovací filtr působí jen na mikrofon a generátor vstupu, nikoliv na TTL vstupy.

Signál PCM vytvořený UART ze vzorků získaných z A/D konvertoru je odeslán do modulátoru bloku. Existují různé modulace v tomto bloku kromě toho, že mohl začít v základním pásmu. Jedná se o ASK, FSK, BPSK, DPSK, QPSK, DQPSK a QAM.

V reálném případě modulovaný signál by byl předán k určitému kanálu a při přenosu signálu může být oslaben, upravený vnější interferencí, hlukem nebo šířkou pásma signálu. Můžete si ji zvolit přímo k přenosu signálu, nechat ji projít pomalým průchodem filtru, kde mohou být změněny hranice frekvence nebo přes blok, který vám umožní přidat interference různých frekvencí, náhodný šum nebo dokonce tlumí signál. Odtud signál přechází na vysílač. Mezi nejčastější vysílače pro digitální modulace jsou prostřednictvím rádia, koaxiálním kabelem, nebo optickým vláknem. Kromě toho přístroj nabízí další kanály jako dvojlinka a infračervený port – vhodné pro vzdělávací účely.

### **3.4.5 Přenos po optických vláknech**

T7 je ve fázi, která nabudí optická vlákna vysílače diody. Proud přes diodu je řízen napětím vysílače T7, který je úměrný napětí vysílacího signálu. Vzhledem k tomu, že je to vzdělávací nástroj, používá nízkovýkonový vysílač, vytvářený LED diodou. Je třeba zdůraznit, že v reálných aplikacích je nebezpečné podívat se do vysílače zdroje, zejména, pokud laserový zdroj je v provozu.

### **3.4.6 Infračervený vysílač**

Pracuje stejným způsobem jako přenos po optických vláknech. V tomto případě speciálně konstruovaná dioda se používá pro vyzařování v infračerveném pásmu.

### **3.4.7 Rádio - frekvenční vysílač**

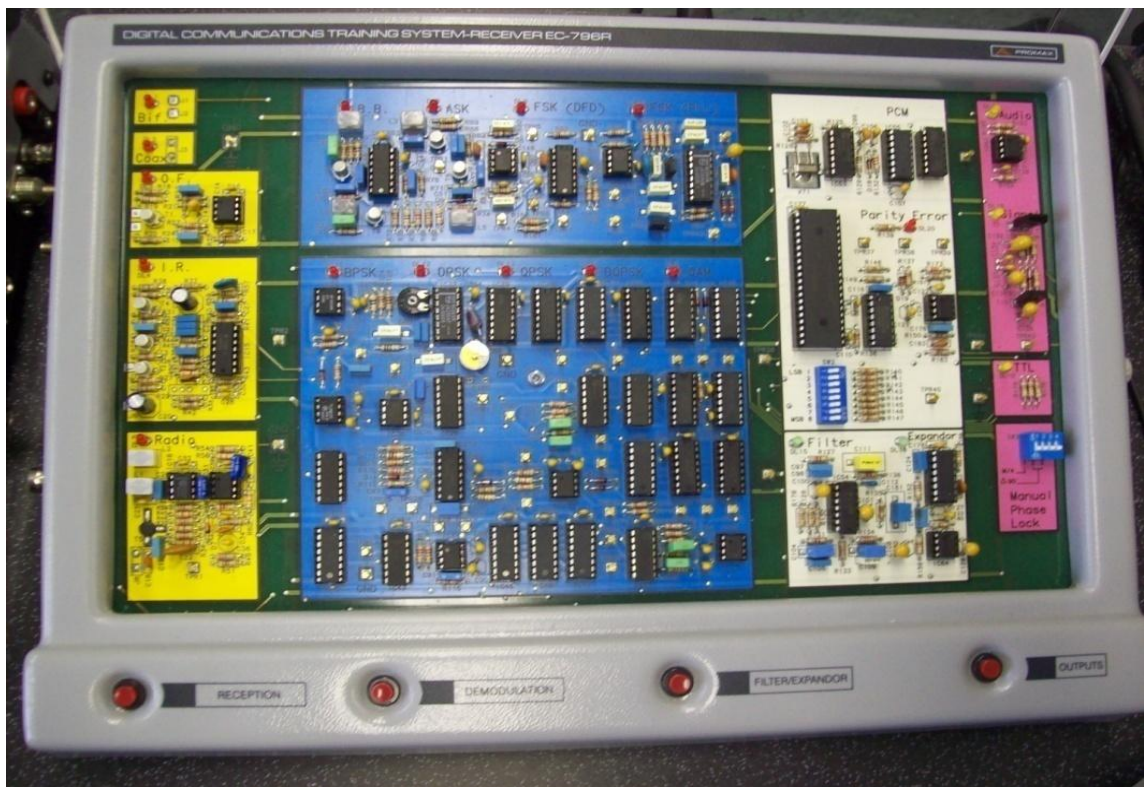
Vysílač je založen na 27 MHz, Colpittův krystalový oscilátor, který moduluje vybraný signál (Základní pásmo, ASK, FSK, BPSK, DPSK, QPSK, DQPSK, QAM), index modulace je závislý na vstupu.

V grafu je násobení dosaženo tím, že moduluje vysílač T10 proud přes T12, který se chová jako řízený zdroj proudu pro modulační signál. Colpittův krystalový oscilátor nabývá účinnost přes T9. Tranzistor T11 zvyšuje výkonovou úroveň modulovaného signálu před tím, než je přenášen anténou. Impedance by měla být upravena tak, aby bylo dosaženo lepšího přenosu energie mezi subsystemy konfigurací vysílače a přijímače. V tomto případě první komponenta, která musí být upravena, je anténa. To znamená, že se musí maximálně využít energie, kterou dostane, musí "vidět" odpor, rovnající se sobě samému. Odpor antény, která se používá pro cvičení, závisí mimo jiné na její vzdálenosti (měřeno ve

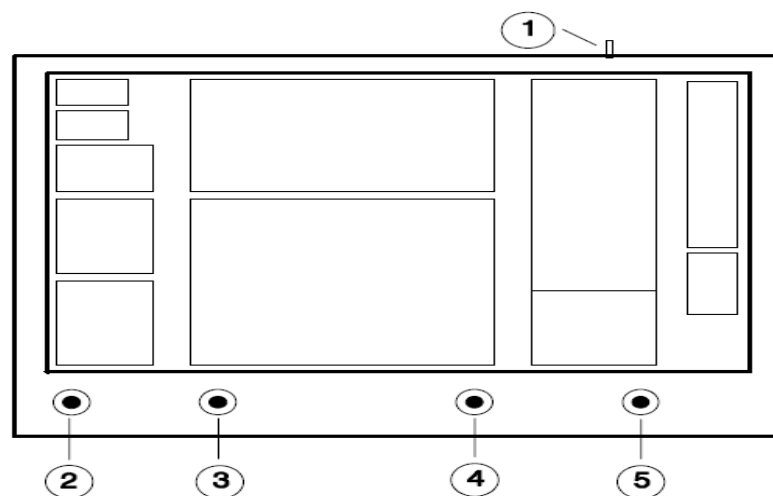
vlnových délkách) od okolních vodičů. Anténa může mít kovovou konstrukci jako jsou laboratorní stoly, pouzdra přístrojů atd., které mohou produkovat znatelné rozdíly v tom, jak přístroj funguje, protože to závisí na jeho prostředí. Když jsou tyto prostředky silné, antény vysílače a přijímače by měly být umístěny blíže k sobě. Pro 27 MHz vlnová délka je přibližně 11 metrů.

## 3.5 Přijímač

### 3.5.1 Přední panel



Obrázek 22: Přijímač EC – 796



Obrázek 23: Modul přijímače s popisem tlačítek

**Modul přijímače má čtyři tlačítka pro ovládání konfigurace:**

- 1) **Hlavní vypínač:** tento spínač na přístroji zapnout po připojení do sítě
- 2) **Vstupní tlačítko:** vybere vstupní kanál
- 3) **Demodulace tlačítko:** vybere různé druhy demodulací
- 4) **Filtr/expandér tlačítko:** vybere použití Rekonstrukce a expandér filtru
- 5) **Výstupní tlačítko:** vybere mezi audio signálem a TTL filtrem, pro TTL výstup rekonstruktor a expandér filtru jsou automaticky odpojeny.

### 3.5.2 Levá strana přijímače



Obrázek 24: Vstupní strana přijímače

- 1) **Dvojlinka:** BANAN vstup pro vedení
- 2) **Koax.:** BNC vstup pro koaxiální vedení
- 3) **F.O.:** optický vstupní konektor
- 4) **IR:** infračervený přijímač
- 5) **Tx. 27 MHz:** BNC přijímač antény

### 3.5.3 Pravá strana přijímače

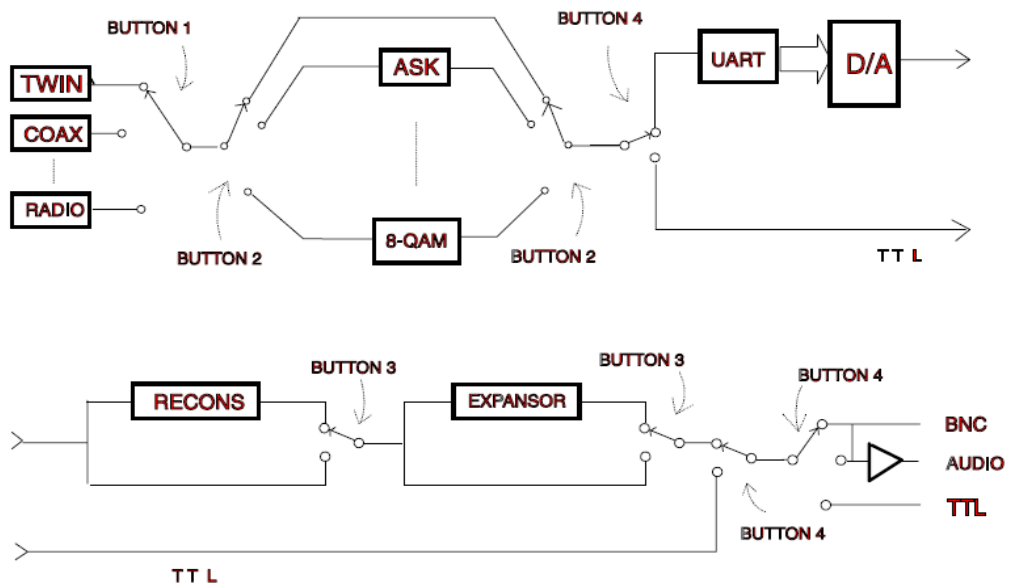


Obrázek 25: Výstupní strana přijímače

- 1) **S2:** BNC TTL výstup (BNC 2).
- 2) **Ovládání hlasitosti pro sluchátka**
- 3) **3.5 mm mono jack pro sluchátka**
- 4) **S1:** BNC osciloskop výstup (BNC 1)

### 3.5.4 Blokové schéma modulu přijímače

Následující obrázek ukazuje, jak modul přijímače je tvořen. Jsou tam přijímače, demodulátory, D/A převodníky a výstupy.



Obrázek 26: Blokové schéma přijímače

Přijímací modul má podobné bloky jako u vysílače, ale jsou uspořádány tak, aby vytvořily inverzní opačnou funkci, kromě kanálu simulátoru. Signál, obdržený z přijímače, jde do demodulátoru. Každý modulátor je spojen v přijímači s jeho demodulátorem. V případě FSK modulace nabízí dva různé způsoby k demodulaci signálu: jeden je s dvojitým filtrem a ostatní pomocí PLL. Obnovení PCM signálu, poslední krok v rekonstrukci vyzařovaného signálu, je projít přes D/A převodník, pokud zvolíte TTL výstup. V případě, že signál, který prochází z demodulátoru, nejde přes D/A převodník, ale jde přímo na výstup. Uvnitř D/A převodníku jsou obnovené a vyhlazovací filtry. Tím, že si hraje s obnoveným filtrem, vidíte účinek na kvantizačním šumu, přítomný v rekonstruovaném signálu. Expandér hraje opačnou roli kompresoru. Modul rovněž nabízí možnost snížit počet bitů v D/A převodníku. To je užitečné například při simulaci chyby příjmu bitů. Pamatovat si, že čím menší počet přenášených bitů, tím rychlejší komunikace bude stanovena. Co se týče výstupů je tam jeden signál zvednutý ve vysílači pomocí funkce generátoru (BNC konektor), další pro sluchátka (konektor typu jack) a další pro TTL (BNC konektor).

### 3.5.5 Optické přijímače

Foto - detektor používaný pro přijímání optických vláken je ekvivalentní proudovému generátoru. T1 pracuje jako proudově - napěťový převodník. Výstupní signál T1 je zesílen na IC14.

### 3.5.6 Infračervený přijímač

Infračervený přijímač je ekvivalentem proudového generátoru. T2, T3 a T4, tvoří stejnosměrný proudově - napěťový převodník. Výstupem této fáze je filtrován na IC15A, IC15B, IC15C a zesílen na IC15D.

### 3.5.7 Rádiofrekvenční přijímač

Je založen na zesilovači, naladěném na pracovní frekvenci (T5). Vstup zesilovače se získává z antény. Výstup dosáhneme integrovaným zesilovačem (IC16), jehož produkce dosáhne vrcholu detektoru, který působí jako amplitudový demodulátor, tvořený D7, C34 a R49. Demodulovaný signál je zesílen IC18.

## 3.6 Popis obvodů

### 3.6.1 Napájení

Přemost'ovací dioda působí jako dvojitá vlna usměrňovače dodávající signál, který filtruje podle kondenzátorů C100 a C102 a + 5V napětí regulátorů IC62 A IC63, vyrábí symetrické stejnosměrné napětí v rozmezí  $\pm 5V$  s maximálním proudem 500 mA.

### 3.6.2 Vstupy

Na vstupu mikrofonu je předzesilovač, schopný zesílit získaný signál. Signál dosáhne fáze společným vysílačem tvořen kolem tranzistoru (BC 547). Konečně signál prochází dolní propustí (R26, C20) a neinvertujícího zesilovače (IC 17). Generátor a TTL vstupy obsahují Zenerovy diody pro omezení vstupu napětí.

### 3.6.3 Výstupy

System je vybaven zesilovačem, přímo přiváděné nízké impedance do sluchátka. Tento zesilovač se skládá z třídy AB, etapu tvoří tranzistory T10- T11.

### 3.6.4 Simulátor kanálu

Charakteristiky, jako šířka pásma, útlum a vliv interference pro každý vysílač, jsou uvedeny v části vysílače. Jelikož kanál není ideální, může to snížit kvalitu signálu, a tak produkovat chyby v poslechu. Aby bylo možné simulovat účinky neideálního kanálu,

simulátor kanálu má být začleněn do přístroje a dává na výběr ze tří možností: odeslat přímý signál, projít přes dolní propust nebo ho narušit (jinými slovy přidat náhodné rušení, šum nebo to zmírnit). Všechny zásahy mohou být generovány nezávisle a přidat se k signálu k požadovanému podílu přes potenciometry.

### 3.6.5 Dolní propust

Filtr je prvního řádu RC sítě (P1, C71), kde byl přidán proměnný odpor, takže můžeme nastavit mezní kmitočet filtru a sledovat účinek na různých modulacích.

### 3.6.6 Interference

Čtyři zásahy mohou být generovány v různých frekvencích. Tyto čtyři sinusoidy oscilátoru se používají, jejich signály jsou přidány a zesíleny použitím neinvertujícího zesilovače (IC54D). Každé rušení má být upraveno potenciometry P2, P3, P4 a P5.

### 3.6.7 Šum

Existují různé způsoby, jak generovat náhodný šum. Metoda, která se zdá nejzřetelnější, je tedy možno začít od hlučného elementu, odporu (tepelný šum), tranzistoru, Zenerova dioda atd. a zesílí hluk. Ve skutečnosti je to metoda k opatření ke snížení hluku ve velmi vysoké frekvenci profesionálního vybavení. Pro nižší frekvence, obvykle řešením je použití pseudo - náhodné posloupnosti (PRBS, pseudo- náhodné binární sekvence). Ačkoliv není zcela náhodné, (jak stejný obvod reprodukuje přesně stejný sled impulzů), jejich statické a frekvenční chování je skoro jako bílý šum, kde je generovaná sekvence dostatečně dlouhá. Instruktor komunikace používá modul hluku, který produkuje pseudo - náhodné binární sekvence a pošle je přes dolní propust.

## 3.7 Zásady přístroje EC- 796

- 1) Vždy byste měli pracovat s vyváženými tlumícími sondami (x10)
- 2) Infračervené omezení způsobené rušícími přenosy a redukce šířkou pásma jsou patrné při práci s fázovou modulací.
- 3) RF vysílač má velkou šířku pásma k řízení všech modulací přístrojů. Takže každá konkrétní modulace dovoluje projít většímu množství šumu než je potřebné, šířka



pásma je větší, jak modulace. Tento jev je zvláště patrný v přechodech v základním pásmu.

- 4) Při připojování přístrojů, vazba mezi A/D převodníkem a UART vysílačem může zastavit postup nového A/D převodu na 12 mikrosekund než UART vyprázdní přenosovou vyrovnávací paměť. Tento jev je způsoben přechody a šumy vstupující do UART, zatímco jsou přístroje připojovány a nemají vliv na provoz. Pouze způsobí delší dobu vzorkování o 12 mikrosekund.
- 5) Pamatujte si, že PARITY ERROR led UART přijímače se rozsvítí na TTL signálu, i když UART není v provozu. Logicky z toho nevyplývá, že tam jsou komunikační chyby. Dále pro fázově modulované TTL signály není automatický fázový demodulátor funkční, protože je založen na UART. Fázovou kompenzaci budete muset najít ručně, jak je uvedeno v každém cvičení, kde je to nezbytné.

## 4 MANUÁL PRO UČITELE

### ➤ Učiteléské poznámky

Omezení infračerveného pásma, způsobené snížením šumu a šířky pásma jsou znatelné při práci s fází modulace. Vysílač RF má velkou šířku pásma pro podporu všech modulací nástroje. Takže každá konkrétní modulace více hluku, než je nezbytné (šířka pásma je větší než modulace). Tento efekt je zvláště patrný v základním pásmu přenosu.

## 4.1 A/D a D/A převod, vzorkování a kvantování

### 4.1.1 Cíl cvičení

Hlavním cílem tohoto cvičení je seznámit se s účinky signálu vzorkovaného a kvantovaného. Nejdříve budeme dělat pokusy na osciloskopu, vizuální dopady správného a nesprávného vzorkování a formy kvantizačního signálu. Za druhé budeme poslouchat účinky kvantování a příznivý účinek komandéru na zvukové signály. Nakonec budeme zkoumat účinky spojené s redukcí šířky pásma kanálu a hluku.

### 4.1.2 Teoretické základy

Teoretické základy nutné k pochopení a správného provádění cvičení:

Kapitola1: Digitální komunikace

Kapitola2: Vzorkování, kvantování a kódování

Kapitola3: Přenosový kanál

### 4.1.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dva BNC - BNC (koaxiální) kabely
- Dvě sondy osciloskopu
- Dva kabely banán- banán
- Optická vlákna

- Dvě antény
- Mikrofon
- Sluchátka

Potřebné nástroje:

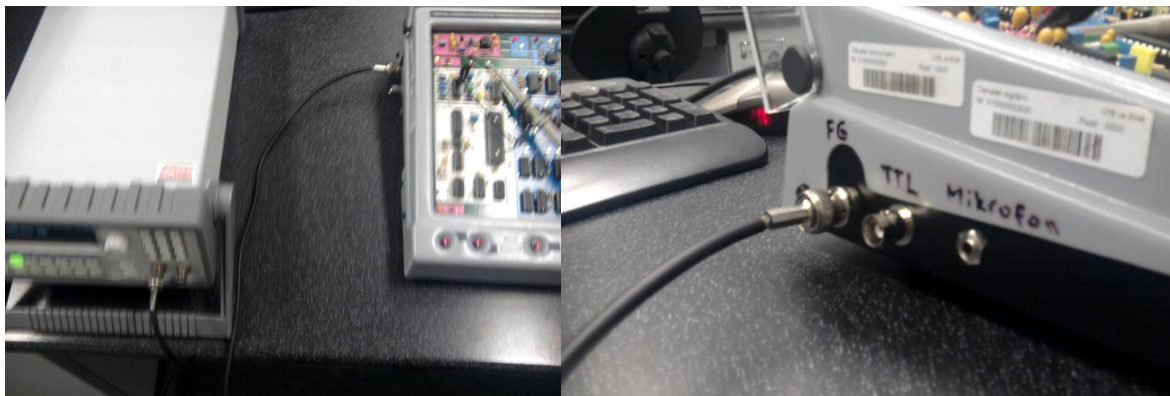
- Osciloskop, funkční generátor

#### 4.1.4 Stanovení vzorkovací frekvence

Po připojení vysílače a přijímače pomocí dvojlinky, koaxiálního kabelu, optického vlákna a radiové antény, zapněte vysílač a přijímač.



Obrázek 27: Zapojení modulů



Obrázek 28: Propojení generátoru na vstup vysílače (BNC1)

**Vyberte následující pozice pomocí tlačítek:**

Vysílač:

- Vstupní signál

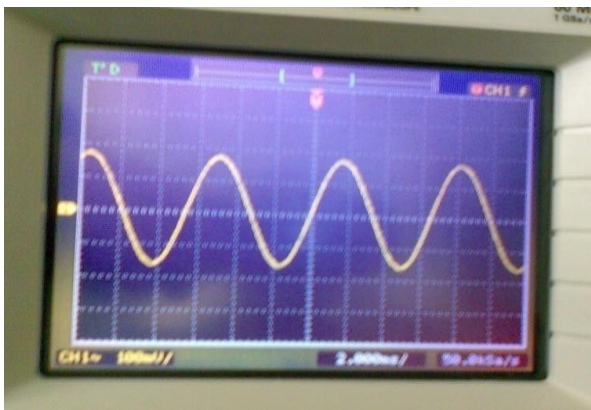
- Antialiasing filtr: **OFF**, Kompresor: **OFF**
- BB (pásmo přenosu)
- Výstupní signál
- Výstup dvojlinky

#### Přijímač:

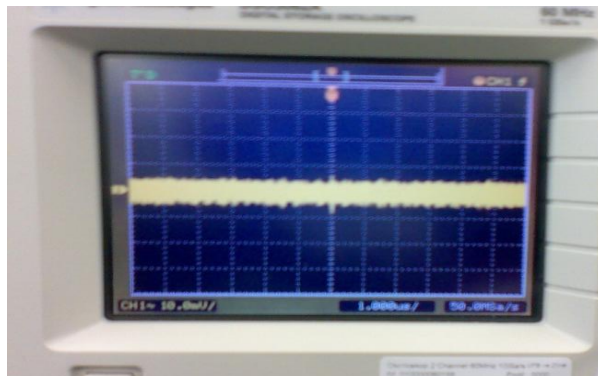
- Vstup dvojlinky
- BB (pásmo příjmu)
- Výstupní signál
- Reconstructor filtr: **OFF**, expandér: **OFF**

#### **Průchod přes dvojlinku**

Funkci generátoru jsme nastavili na sinusovou frekvenci cca 1 kHz a amplitudu 2 V<sub>pp</sub>, AC.



*Obrázek 29: Signál na prvním osciloskopu*



Obrázek 30: Signál na druhém osciloskopu -  
jde vidět šum

- Audiosignál funguje
- Slyšíme zkresleně
- Osciloskop by měl reagovat, ale nic nám nezobrazuje

### **Přímý průchod**

Amplituda = 2 Vpp

f = 1 kHz

čas vzorkování Tclk = 500 μs

fs = 1/Ts = 2000 Hz      fs – vzorkovací frekvence

- Kanál 1 připojit na: TPE13
- Kanál 2 připojit na: TPE4
- Generátor je vypnutý

**Ts = Tclk \* N**

Ts – vzorkovací čas

N = Ts/Tclk

Tclk = 2 μs

N = 500/0,000 002

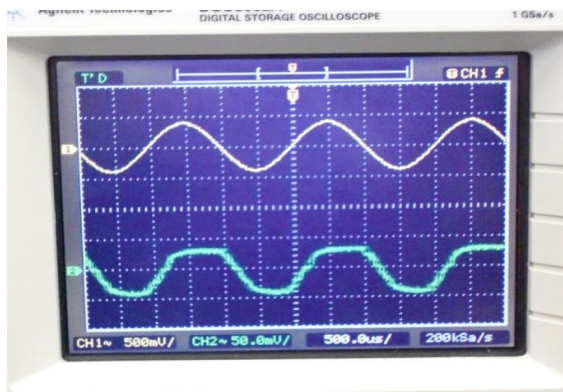
N = 250

N – počet cyklů

- Pokles 0,7

#### 4.1.5 Filtr obnovy

Kanál 1 jsme připojili na TPE1 a kanál 2 na TPR41. Vstup jsme nastavili na TPE1 až na 3.5Vp a na 1kHz. Všechny mikrospínače do polohy **ON**. Spojili jsme je s přijímačem pomocí odpovídajícího tlačítka do polohy **ON**. Dodrželi jsme zpětný signál a opakovali proces snižování počtu komunikačních bitů. Ověřili jsme, že snížením počtu bitů je hluk přidán do obnoveného signálu.



Obrázek 31: Všechny mikrospínače SW2 v poloze ON

#### 4.1.6 Účinky antialiasingového filtru

Nechali jsme sondy tam kde jsou, připojené s rekonstruktor filtr bez antialiasingového filtru a všechny mikrospínače na SW2 v poloze **ON**. Vypočítali jsme rozdíl mezi vstupní frekvencí a získané vzorkovací frekvence.

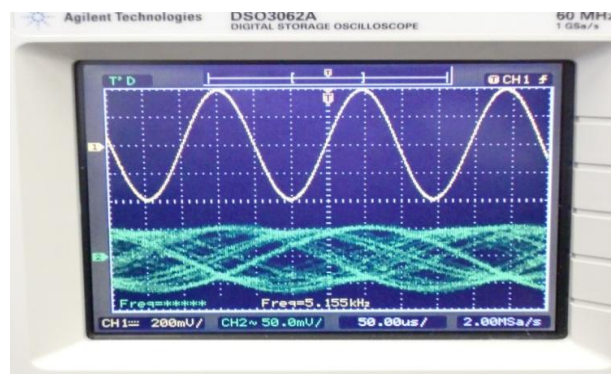
$$f_i = 5 \text{ kHz} \quad f_i - \text{vstupní frekvence}$$

$$\text{výstupní frekvence} = 3,2 \text{ kHz}$$

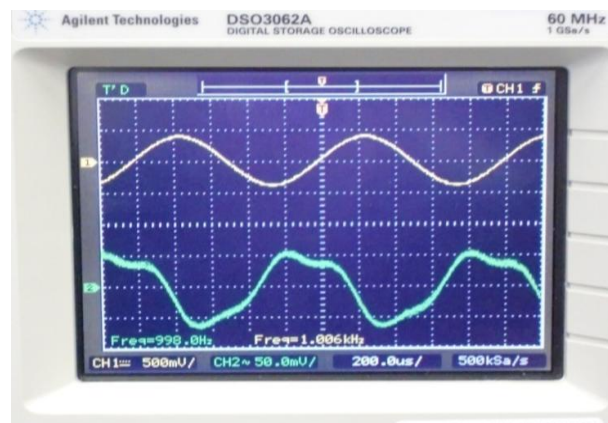
Rozdíl:

$$f_i - f_s = 5000 - 1800 = 3200 \text{ Hz}$$

Rozdíl se shoduje s výstupní frekvencí. Aby nedocházelo k těmto nesprávným frekvencím a nepřesnostem. Připojili jsme antialiasing filtr a generátor jsme nastavili na 1 kHz, zkontrolovali, zda frekvence signálu má šířku pásma 300 – 3400 Hz.



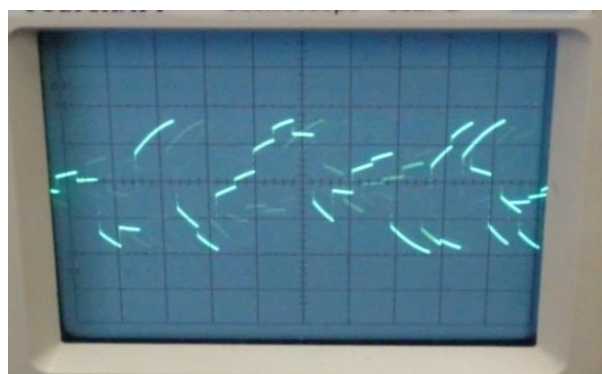
Obrázek 32: Rozdíl mezi vstupní frekvencí a získané vzorkovací frekvence



Obrázek 33: Při připojeném generátoru na 1 kHz

#### 4.1.7 Zvukové signály

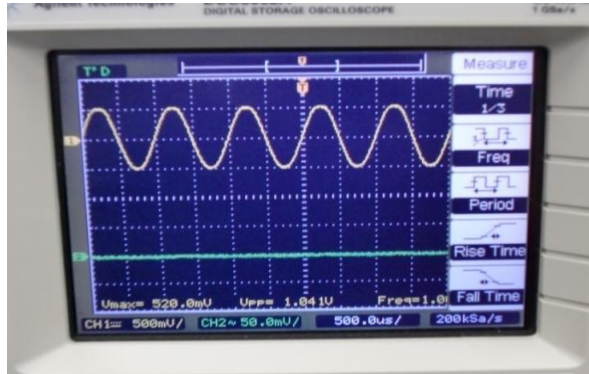
Zapojili jsme mikrofon na vstupní jack a stiskli tlačítko pro vstup mikrofonu. Připojíme sluchátka do konektoru jack přijímače a vybrali jsme zvukový výstup. Upravujeme hlasitost sluchátek do té doby, dokud neuslyšíme jasně partnera mluvícího do mikrofonu. Ideální nastavení se nám podařilo po 4. pokusu.



Obrázek 34: zapojený mikrofon a sluchátka

### 4.1.8 PCM signál (v přenosovém pásmu)

Frekvenci jsme nastavili na 1 kHz, ale i přesto je amplituda 1 Vpp.



Obrázek 35: Frekvence 1 kHz a amplituda 1 Vpp

## 4.2 Modulace a Demodulace v ASK

### 4.2.1 Cíl cvičení

V tomto cvičení budeme experimentovat s nejjednodušším způsobem dělení modulace a demodulace ASK.

### 4.2.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace při souvislé kariéře

- Oddíl 3.1: ASK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.1: ASK

### 4.2.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC - BNC kabel



- Dvě sondy osciloskopu

#### Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

#### 4.2.4 Operace s modulátorem a demodulátorem

Nastavení tlačítek takto:

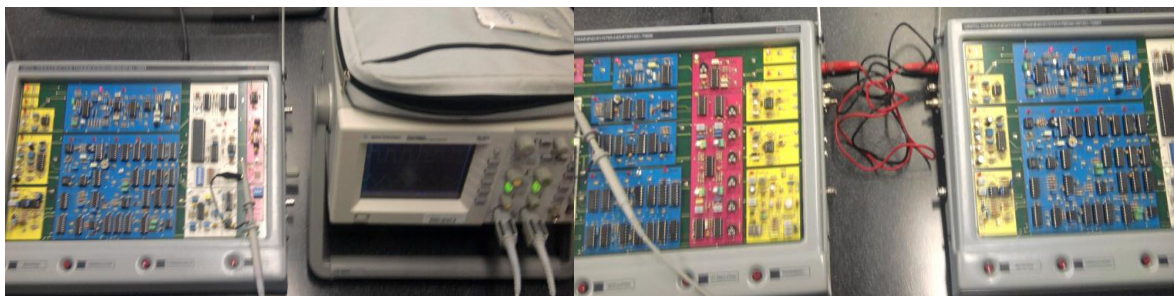
#### Vysílač:

- Vstup signálu (sig.)
- Vyhlažovací filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: ASK
- Simulátor kanálu: přímý
- Výstup dvojlinky

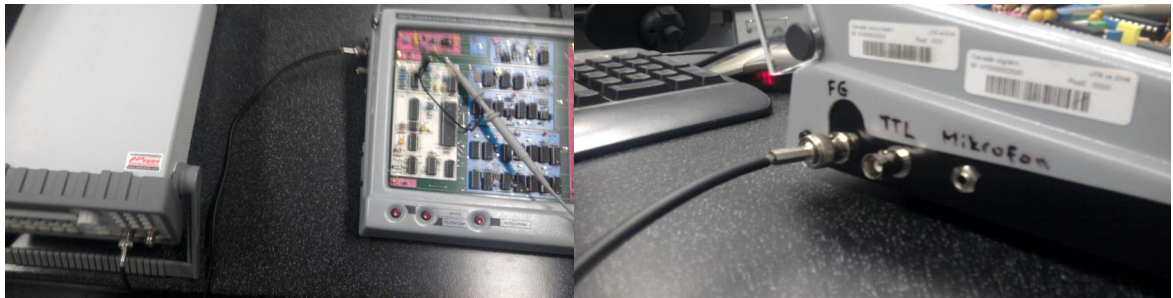
#### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: ASK
- Rekonstrukční filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstup signál

Připojili jsme vysílač a přijímač pomocí dvojlinky a zapnuli jsme oba modely. Nastavte funkci generátoru na 2V a 1 kHz. Pozorujte přenášený signál TPE1 na kanálu 1 z osciloskopu a přijatý signál na TPR41 na kanále 2 osciloskopu.



Obrázek 36: Propojení modulů a sondy osciloskopu

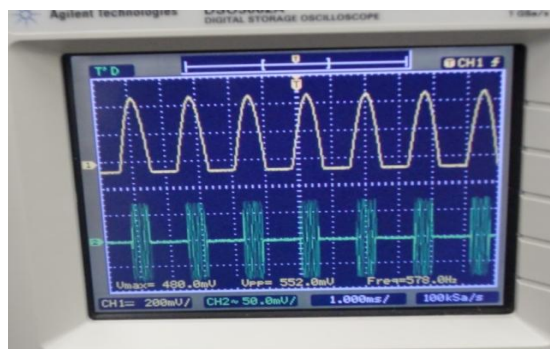


Obrázek 37: Propojení generátoru na vstup vysílače (BNC1)

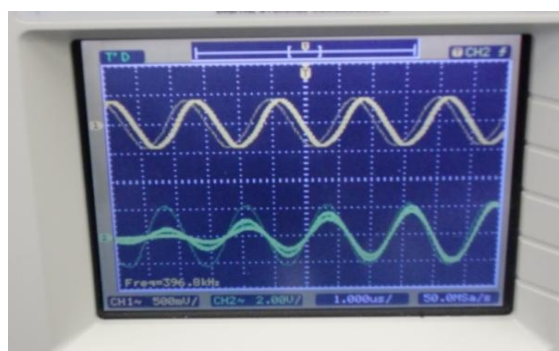
### **Modulátor:**

Jakmile jsme si ověřili, že systém funguje správně, připojili jsme kanál 1 k testovacímu bodu TPE4 a kanál 2 k testovacímu bodu TPE24, oba na vysílači. Uvidíme výstupní UART signál na TPE4 (modulovaný signál) a ASK modulovaný signál na TPE24. Vypneme generátor pro lepší zobrazení dvou kanálů osciloskopu. Všimněte si, že pro 1 nastane kmitání u TPE24, zatímco pro nulu neexistuje. Je pouze v nepřetržité úrovni (OOK modulace). Změřte frekvenci kmitání v bodě TPE7 na vysílači.

- Frekvence kmitání v bodě TPE7:  $f = 400 \text{ kHz}$



Obrázek 38: Modulační signál na TPE1 a TPE4



Obrázek 39: Modulační signál na TPE4 a TPE24

**Demodulátor:**

Měření šířky pásma přijímače dolní propustí. Připojte generátor v režimu TTL na BNC2 vstup a zvolte TTL vstup a základní pásmo (BB) vysílání. Tak generátor pulzů TTL jde přímo na přijímač (je to stejné, jako by byl přímo připojen generátor s přijímacím modulem). Výstup dolní propustí, který doladuje ASK, je na zkušebním bodě TPR3. Změnou frekvence generátoru TTL najdete rezonanční kmitočet filtru (maximální amplituda frekvence). Od tohoto bodu zvyšte a snižte frekvenci za účelem zjištění šířky pásma při 3 dB (snížení faktoru z 0,7 na zesílení s ohledem na hodnotu rezonance). Zapište výsledky:

*Tabulka 1: Rezonanční kmitočet*

Nižší cut-off frekvence (3 dB):	<b>352,1 kHz</b>
Horní cut-off frekvence (3 dB):	<b>420,2 kHz</b>
Filtr šířky pásma (v 3 dB):	<b>68 kHz</b>

**Demodulace signálu:**

Znovu připojte generátor signálu v režimu (BNC1), zvolte vstupní signál (2V a 1 kHz) a ASK modulace. Nyní se dívejte na výstup demodulačního filtru (TPR3) a porovnejte ho s modulovaným signálem na TPE24. Připojte sondy v současné době na vysílač k bodu TPR6 přijímače, který odpovídá výstupu detektoru. Tento signál je později tvořený do impulsů o komparátor, jehož výstup je testový bod na TPR36 (spouštěcí úroveň komparátoru je pevná a mohou být měřené na TPR10). Ověřili jsme, že signál je stejný jako generovaný od vysílače UART na TPE4.

**4.3 FSK modulace, dvojí filtrová demodulace (DFD)****4.3.1 Cíl cvičení**

Toto cvičení experimentuje s DFD signálem modulace a demodulace s využitím základních měřících dovedností (filtrů), které jsme se naučili již v předchozích cvičeních. Demodulace je založena na dvojích filtrech (DFD). V pozdějších cvičeních budeme zkoušet jiné demodulátory a srovnávat některé funkce ASK a FSK modulace, stejně jako demodulace založené na DFD a PLL.

### 4.3.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.2: FSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.2: FSK-DFD

### 4.3.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- Dvě sondy osciloskopu
- BNC-BNC kabel

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 4.3.4 Modulátorové a demodulátorové operace

Připojte přijímací a vysílací moduly pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena takto:

Vysílač:

- Vstupní signál
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor : **OFF**
- Modulace: FSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup dvojlinky

Přijímač:

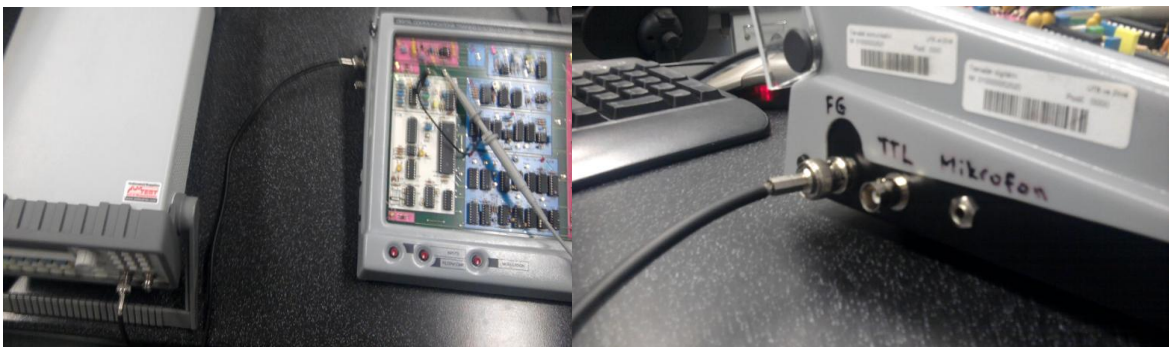
- Vstup dvojlinky

- Demodulace: FSK (DFD)
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

Natavíme sinusoidu na 2 Vpp a 1 kHz na funkčním generátoru. Pozorujte přenos signálu na TPE1 kanál 1 a přijímacího signálu v místě TPR41 na kanálu 2.



Obrázek 40: Propojení modulů dvojlínkou a připojení do sítě



Obrázek 41: Propojení generátoru na vstup vysílače (BNC1)

### **Modulátor:**

Připojte sondu k testovacím bodům TPE4 (UART výstup) a TPR2 (FSK modulovaný signál), vypnutý generátor pomůže k synchronizaci. Ručně upravit synchronizaci na osciloskopu a uvidíte, že tam je vysoká frekvence, když výstup na vysílači UART je na nule a další nižší frekvence (synchronizace s kanálem pro měření TPR2). Všimněte si, že je tam jiná amplituda pro každý kmitočet. To je proto, že zesílení modulu filtru je také jiné pro každou frekvenci. Je obtížné změřit tyto kmitočty bez sofistikovaných osciloskopů. Pokud ho nemáte, připojte generátor v TTL režimu a zvolte velmi nízkou frekvenci řádově

0,1 až 0,2 Hz. Nyní budete schopni měřit nosnou frekvenci pro vstupní signál vysoké a nízké úrovně.



Obrázek 42: Modulátor

### **Demodulátor:**

Jednou ze dvou frekvencí, vytvořených modulem generování FSK, je stejná jako jedna používaná pro ASK, zatímco druhá je mimo filtr přijímače, vztahující se k úloze 2. Ověřte, jestli je ASK demodulátor schopný detekovat FSK modulované signály. Dejte to do modulátoru, FSK mód a demodulátoru v ASK a potom uvidíte signál vysílaný pomocí funkcí generátoru TPE1 (nyní zapněte generátor) a signál vraťte do TPR41.

Ano, je schopný detekovat FSK modulované signály.

### **4.3.5 Měření přenosového pásma filtru šířky pásma pro vysoké frekvence**

Připojte funkci generátoru v režimu TTL na vstupní BNC2, vyberte TTL vstupy a pásmo vysílače. Přenosové pásmo výstupního filtru, které doladuje nejvyšší frekvenci FSK, je testováno v bodě TPR4. Změnou frekvence generátoru TTL najděte rezonanční frekvenci filtru (maximální zesílení frekvence). Na základě snížení a zvýšení frekvence s cílem odhalit šířku pásma ve 3 dB (měli byste znát už postup z předchozího cvičení).

Tabulka 2: Rezonanční frekvence

Nižší cut-off frekvence (3 dB):	<b>412,7 kHz</b>
Horní cut-off frekvence (3 dB):	<b>421,5 kHz</b>
Filtr šířky pásma (v 3 dB):	<b>83 kHz</b>

## 4.4 Porovnání ASK a FSK

### 4.4.1 Cíle cvičení

Experimentujeme s ASK a FSK modulací detekované duálními filtry. Budeme porovnávat obě modulace v podmínkách citlivosti na hluk a šířku pásma.

### 4.4.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace při souvislé kariéře

- Oddíl 3.1: ASK
- Oddíl 3.2: FSK

Kapitola 5: Porovnání modulací

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.1: ASK
- Oddíl 6.2: FSK-DFD

Kapitola 7: Přenosový kanál

### 4.4.3 Požadované vybavení

Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- Dva BNC – BNC kabely
- Kabel s optickými vlákny
- Dvě antény
- Mikrofon
- Sluchátka

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

#### 4.4.4 Porovnání pravděpodobnosti chyb

Zapněte vysílací a přijímací modul a nastavte tlačítka následovně:

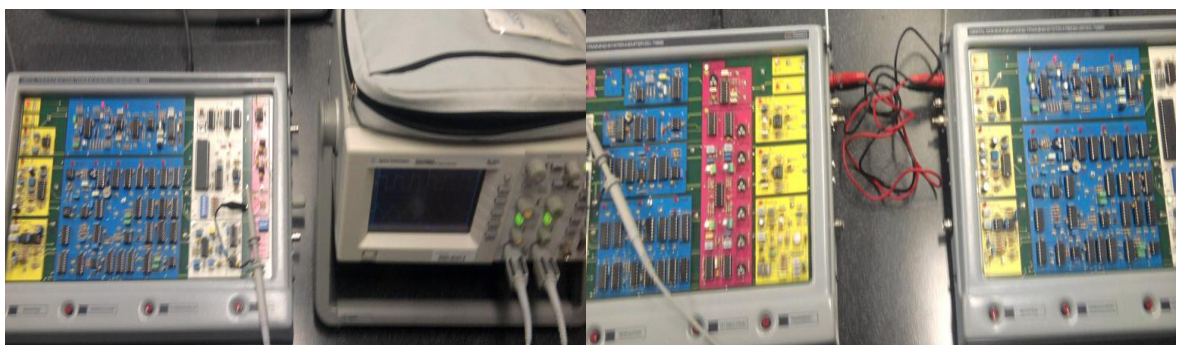
##### Vysílač:

- Vstup signálu (sig)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: ASK
- Simulátor kanálu: zapnuta LED dioda degradace kanálu
- Výstup dvojlinky

##### Přijímač:

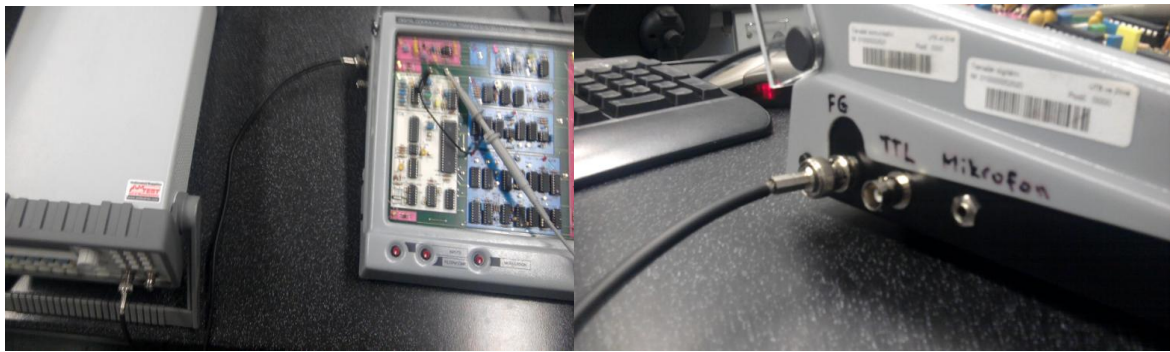
- Vstup dvojlinky
- Demodulace: ASK
- Rekonstruktor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstup signálu

Ujistěte se, že je vypnut hluk a interference (potenciometry zcela vpravo), a že nedochází k zeslabení (potenciometr zcela vlevo). Připojte funkční generátor ke vstupu signálu (BNC1) se sinusovým průběhem o amplitudě 2 V a frekvenci 1 kHz.



Obrázek 43: Propojení modulů dvojlinkou a připojení sondy osciloskopu

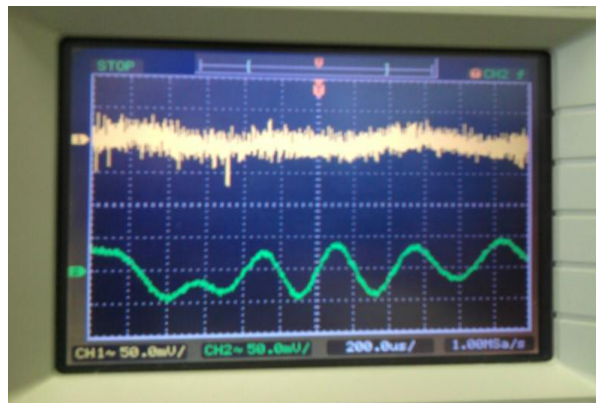




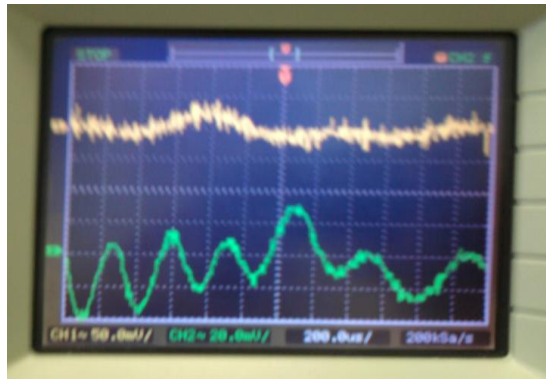
Obrázek 44: Propojení generátoru na vstup vysílače (BNC1)

Pozorujte vstupní signál na TPE1 pomocí jednoho kanálu osciloskopu a signál na TPR41 na kanálu dvě. Pozorujte signál na TPR41 na osciloskopu a zvyšujte potenciometr hluku, dokud nebude jeho efekt vidět na pozorovaném signálu. Změňte na FSK modulaci a demodulaci. Která z těchto modulací je více odolná proti hluku?

Zrušte hluk (potenciometr zcela vpravo) a nastavte modulátor a demodulátor na ASK. Zaveďte interferenci o frekvenci 390 kHz použitím potenciometru (pamatujte, že tato frekvence je používána jak u FSK, tak u ASK modulací), dokud nevidíte čistý pokles signálu pozorovaného na TPR41. Nyní přepněte na FSK modulaci a demodulaci.



Obrázek 45: Po zavedení frekvence 390 kHz u ASK



Obrázek 46: po zavedení frekvence 390 kHz u FSK

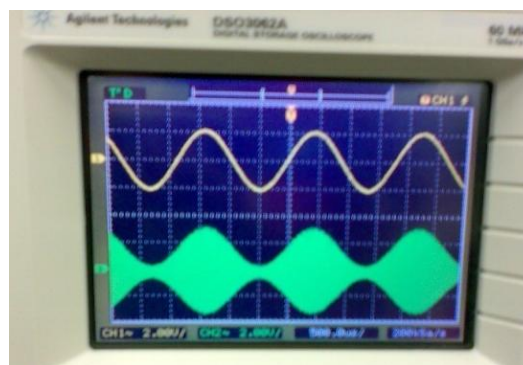
#### Která modulace je méně citlivá na interferenci?

- FSK modulace je velmi odolná proti šumu, ve srovnání s ASK modulací.

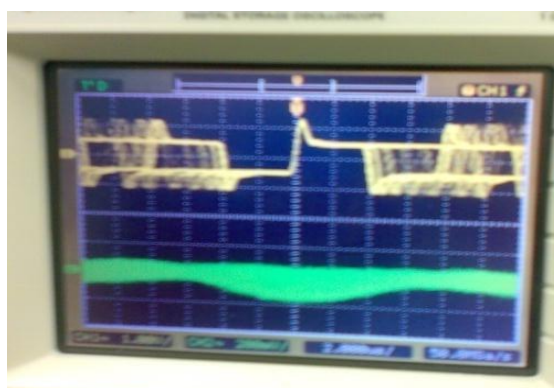
#### 4.4.5 Komunikační kanály

Vyberte přímé připojení vedené z modulu poruch na vysílači. Tímto provedením nebude kanál dále degradován. Při ASK modulaci a demodulaci s jednou sondou na přijímač TPR41 a druhou na TPE1 na vysílači. Porovnejte kvalitu přijatého signálu při změnách na komunikačním kanálu (nezapomeňte vybrat kanál na přijímači podle nastaveného kanálu na vysílači). Věnujte zvýšenou pozornost infračervenému kanálu. V cvičení 1 jsme viděli, že toto byl kanál s největším hlukem. Nicméně pracuje lépe při ASK modulaci než při FSK modulaci, což může vyvrátit experiment, kde bylo prokázáno, že FSK modulace byla nejodolnější proti hluku.

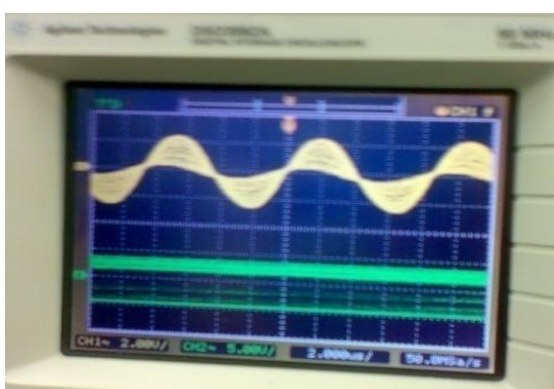
Pro ASK dvojlínku je průběh takový:



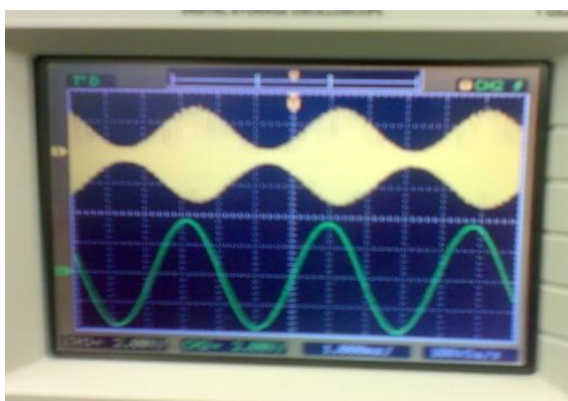
Obrázek 47: průběh ASK dvojlínky



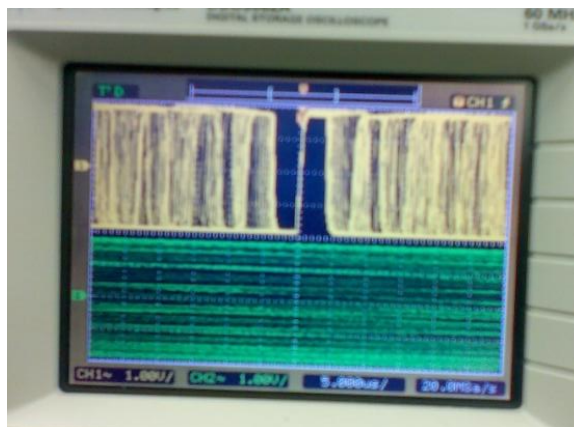
Obrázek 48: IR přenos



Obrázek 49: průběh ASK na koaxiálu

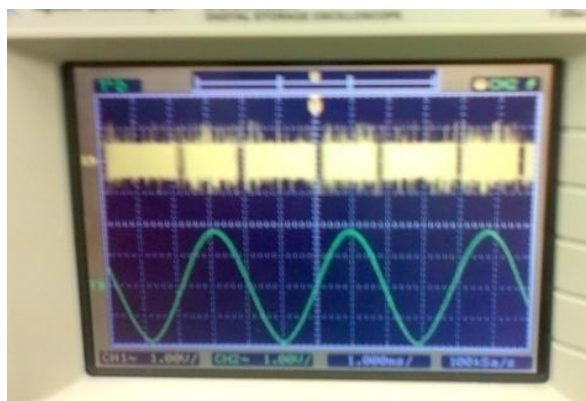


Obrázek 50: průběh ASK na optickém kabelu

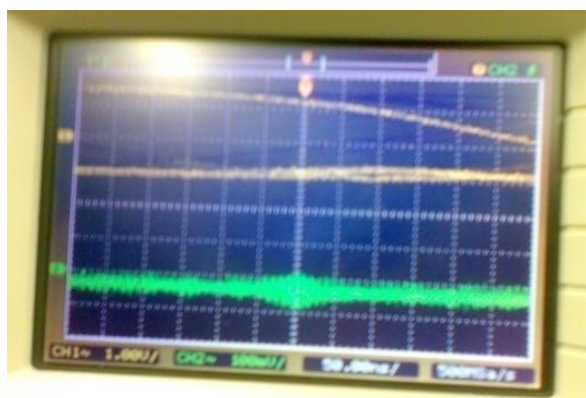


Obrázek 51: průběh ASK radiového přenosu

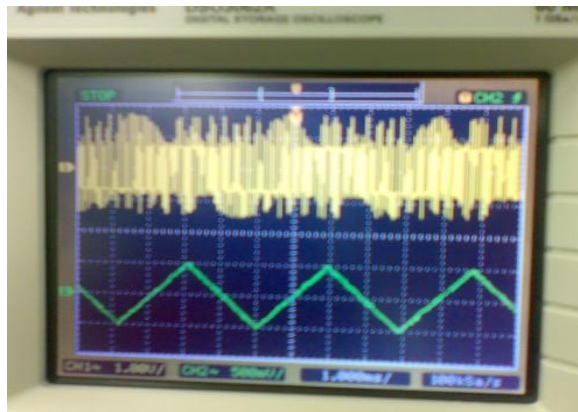
FSK:



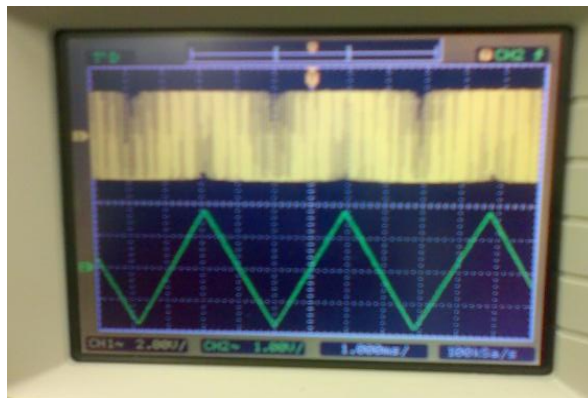
Obrázek 52: průběh FSK dvojlinky



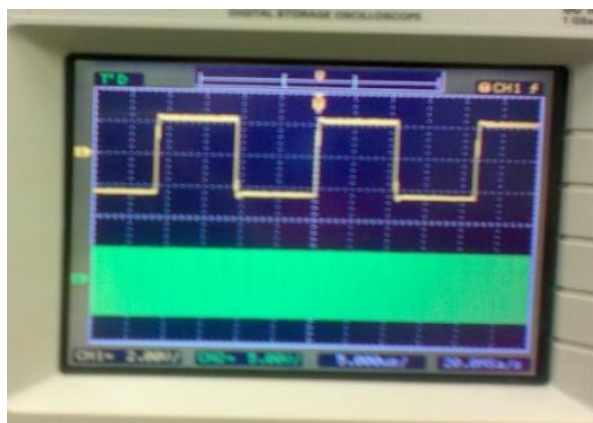
Obrázek 53: průběh FSK infračerveného přenosu



Obrázek 54: průběh FSK na koaxiálním kabelu



Obrázek 55: průběh FSK na optickém kabelu



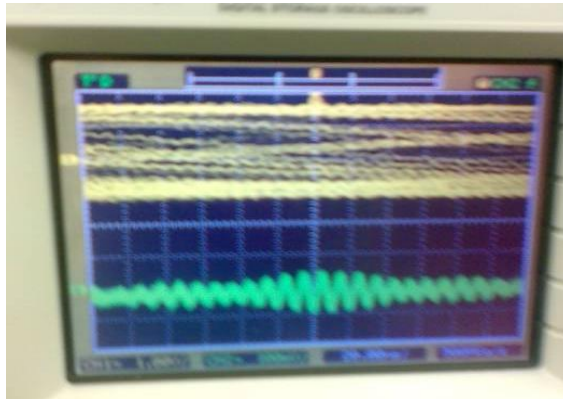
Obrázek 56: průběh FSK radiového přenosu

#### 4.4.6 Zvukové signály

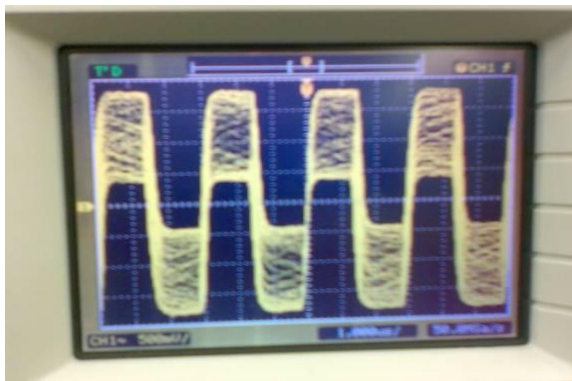
Připojte mikrofon na vstup a sluchátka na výstup pomocí vhodných tlačítek. Pohrajte si s modulem rušení během toho, jak váš partner mluví do mikrofonu a porovnejte kvalitu

audio signálu se signálem zobrazeným osciloskopem (bod přijímač TPR41). Věřte, že oproti analogovému signálu může nastat při digitální modulaci náhlá chyba: modul přestane prakticky pracovat.

Nejlépe bylo slyšet přes direkt se šumem na ostatních. Mluvenou řeč nejvíce ovlivnily degradace signálu v nižších frekvencích.



*Obrázek 57: Signál pomocí rádia a FSK bez zkreslení*



*Obrázek 58: Signál FSK s poruchami*

## 4.5 Posuzování PLL

### 4.5.1 Cíl cvičení

Cílem tohoto cvičení je seznámit se s PLL před jeho použitím při specifických aplikacích. Budeme porovnávat, jak pracují v otevřené a uzavřené smyčce. Dále budete měřit operační napětí.

#### 4.5.2 Teoretické základy

- Příloha F: Operační principy PLL
- Příloha G: Charakteristiky PLL (NE564)

#### 4.5.3 Požadované vybavení

##### Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

##### Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

#### 4.5.4 Činnost v otevřené smyčce

Připojte vysílač a přijímač pomocí dvojlinky, zapněte oba moduly a tlačítka nastavte takto:

##### Vysílač:

- TTL vstup
- Modulace: základní pásmo (BB)
- Simulátor kanálu: přímý
- Výstup dvojlinky

##### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: FSK (PLL)
- Výstupní signál

Propojte funkční generátor pro přijímání TTL signálu (BNC2). Otevřete vypínač u přijímače SW4 (umístěte uzávěrku na dva pravé piny, abychom ponechali PLL bez vstupu) pro odpojení vstupu a otevření vypínače SW1 (umístěte uzávěrku na horní dva piny pro

otevření smyčky VCO) pro ponechání PLL v otevřené smyčce. Nastavte kanál 1 osciloskopu na bod TPE 4 a kanál 2 osciloskopu na TPR43 (přijímač), vždy uzemnit.



Obrázek 59: Propojení modulů pomocí dvojlinky a sondy osciloskopu



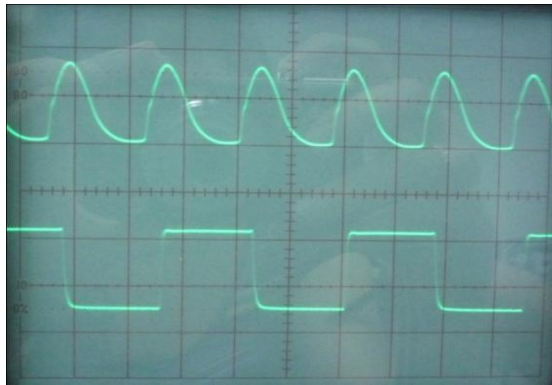
Obrázek 60: Propojení generátoru s vysílačem na vstup (BNC2)

Uvidíte výstupní UART signál na TPE4 a výstupní frekvenci PLL (výstup VCO) na TPR43. Nastavte funkční generátor na 400 kHz a postupnými změnami frekvence generátoru vyhodnoťte, zda nemůže VCO na PLL sledovat vstupní frekvenci.

Synchronizací s kanálem 2 osciloskopu změřte volnou kmitavou frekvenci (střední) na VCO:

Střední frekvence VCO: na horní hranici 1M (málo prokazatelné výsledky kvůli generátoru).





Obrázek 61: signál na TPE4 a na TPR43

#### 4.5.5 Činnost v uzavřené smyčce

##### Měření operačního napětí

Nastavte generátor funkcí na VCO střední frekvenci. Postupně zvyšujte frekvenci generátoru, dokud detekujete VCO signál přichycený na vstupní signál osciloskopu. Zapište hodnotu frekvence. Opakujte operaci se snižováním frekvence. Interval mezi oběma frekvencemi je sledování na PLL.

Tabulka 3: Frekvence na PLL

<b>Horní mezní frekvence</b>	<b>2035 MHz</b>
<b>Dolní mezní frekvence</b>	<b>1075 MHz</b>
<b>Sledované rozpětí na PLL</b>	<b>960 kHz</b>

Sledovací rozpětí je měřítko převzaté na PLL s jejichž přichyceným VCO. Nyní budeme měřit zadržovací napětí, parametr převzatý z PLL při nepřichycené VCO na vstupní signál. Nastavte funkční generátor na 100 kHz: zkontrolujte, že VCO není přichyceno (zablokováno). Pomalu zvyšujte frekvence generátoru, dokud se VCO nepřichytí a zapište hodnotu této frekvence. Opakujte tento proces od frekvence 900 kHz a zapište opět hodnotu, kdy to nastane. Interval mezi těmito frekvencemi je zadržovací rozpětí PLL.

Zadržení frekvence: Od: 295 kHz

Do: 975 kHz

## 4.6 FSK demodulace s použitím PLL

### 4.6.1 Cíle cvičení

Viděli jsme PLL v předchozím cvičení a budete nyní používat demodulaci FSK signálu.

### 4.6.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním dopravci

- Oddíl 3.2: FSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.3: FSK (PLL)

Dodatek F: Provozní zásady PLL

Dodatek G: Charakteristika PLL (NE564)

Dodatek I: Spektrální frekvence

### 4.6.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 4.6.4 Demodulace FSK signálu

Po připojení vysílače a přijímače dvojlinkou můžeme moduly zapnout.

Tlačítka přístrojů by měla být nastavena takto:

Vysílač:

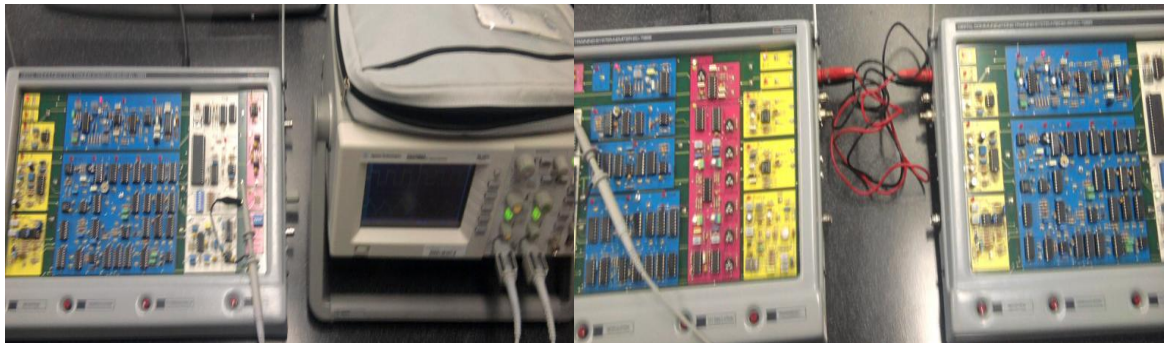
- Vstup signálu (sig.)

- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: FSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup dvojlinky

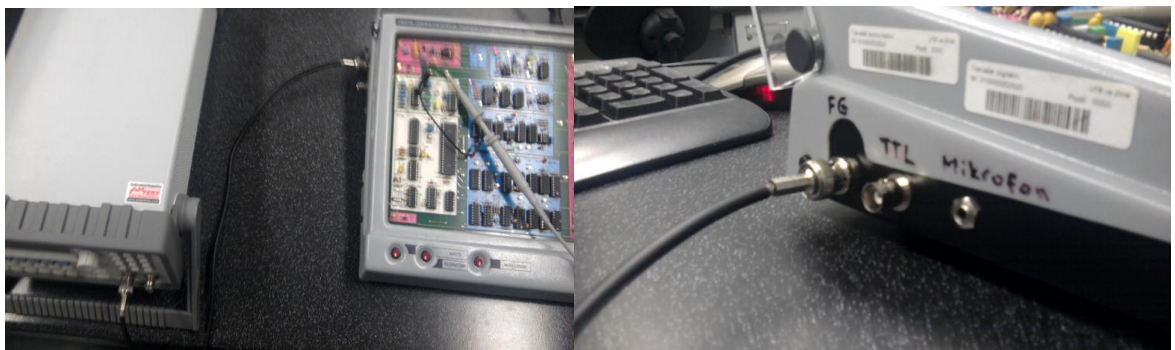
#### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace FSK (PLL)
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

Zapněte funkční generátor a nastavte sinusoidu na 2 V<sub>pp</sub>, frekvenci 1 kHz. Zkontrolujte správnou funkci modulace, přenosu a demodulace pomocí osciloskopu – kanál 1 na TPE1 a kanál 2 na TPR41.

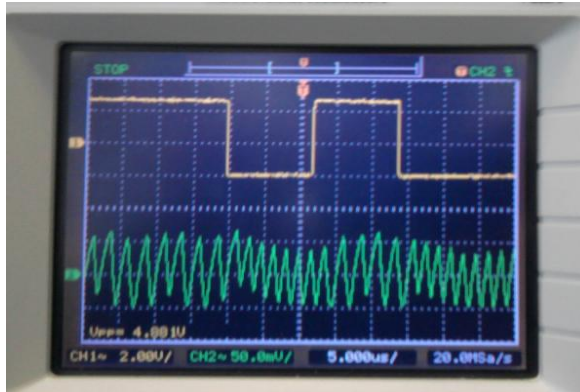


Obrázek 62: Propojení modulů pomocí dvojlinky a sondy osciloskopu



Obrázek 63: Propojení generátoru s vysílačem na vstup (BNCl)

Potom připojte kanál 2 osciloskopu na PLL výstup TPR8 (tento výstup se shoduje s kontrolou VCO vstupu). Připojte kanál 1 na TPE4 (pulzy vyzářené od UART), vypnout generátor pro lepší synchronizaci osciloskopu. Uvidíte, že PLL sleduje vstupní impulzy s možnou změnou polarity. Narušení vlivem kanálu na chvění (skoky fáze signálu).



Obrázek 64: signál na TPE4 a TPR8

Zvolený kanál degradace vedl na vysílač modulu. Zrušit všechny rušení a šum (*hluk*), zeslabení signálu (potenciometry vpravo). Pozorujte, jak se přidáním šumu nebo rušením vytváří falešné uzavření VCO na PLL (chvěním), zobrazení signálu měřené na TPE38. Můžete si všimnout, že účinky frekvence 166 kHz, a to v rámci rozpětí zachycené PLL měření v předchozím měření, jsou rovněž zjištěny. Vysoké hodnoty ze signálu může způsobit sytost v některých zařízeních (nelinearit), generování atd. Přerušovaný signál produkující vyšší harmonické signály jako pro vysoké hodnoty amplitudy rušení 166 kHz, může přinést další z 332 kHz, 498 kHz atd.

### **Vymáhání sinusového signálu**

Připojte funkční generátor a sondy osciloskopu na TPE1 a TPR41, pak se přepnout na rušení kanálu. Je šum, který vidíte na osciloskopu, navrstvený na sinusoidě při změně amplitudy o šumový generátor významný? Připojte sluchátka do konektoru přijímače a vybrat zvukový výstup, s filtrem rekonstruktor aktivován a bez expandéru. Uslyšíte pískání sinusoidy, kdy není hluk přidán. Postupně zvyšujte generátor šumu a budeme moci porovnat to, co vidíte na osciloskopu se zvukovým signálem.

Nyní připojte mikrofon k vysílači a vyberte mikrofonní vstup. Kromě toho ještě aktivujte antialiasing a rekonstruktor filtr, kompresor a expandér. Porovnejte kvalitu příjmu vašeho hlasu s partnerem. Opakujte operaci s tím, že odstraníte expandér a kompresor, ale filtry jsou zapnuté. Nastavte úroveň hluku, dokud to může jen být slyšeno. Nyní stejně jako filtry

připojte kompresor a expandér. Pamatujte si, že komandér účinek je rovnocenný s použitím více bitů a A/D a D/A konverzi a to kvantizační šum je produkován v opačném směru k počtu bitů.

## **4.7 Srovnání mezi FSK (DFD) a mezi PLL**

### **4.7.1 Cíl cvičení**

Budeme porovnávat různé funkce duálního filtru demodulátoru (DFD) s těmi PLL. Konkrétně uvidíte odolnost proti šumu (hluku), rušení a citlivost při přijímaných signálech jsou slabé.

### **4.7.2 Teoretické základy**

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním dopravci

- Oddíl 3.2: FSK

Kapitola 5: Srovnání modulací

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.2: FSK (DFD)

- Oddíl 6.3 : FSK (PLL)

Dodatek F: Provozní zásady PLL

Dodatek G (nepovinné): Charakteristika PLL (NE564)

### **4.7.3 Požadované vybavení**

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor

- Osciloskop

#### 4.7.4 Porovnání pravděpodobnosti chyb

Spojte vysílač a přijímač dvojlínkou a zapněte je. Tlačítka by měla být nastavena na následující konfiguraci:

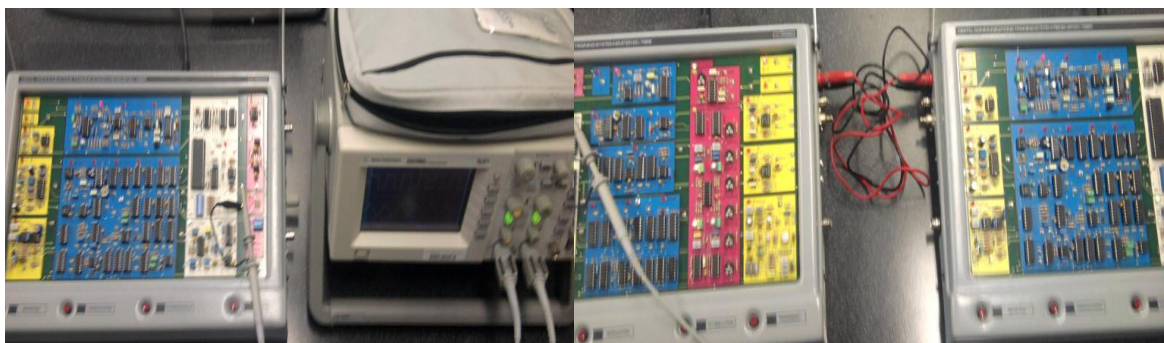
##### Vysílač:

- Vstup signálu (sig.)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor **OFF**
- Modulace: FSK
- Kanál simulátoru: aktivace kanálu degradace LED
- Výstup dvojlínky

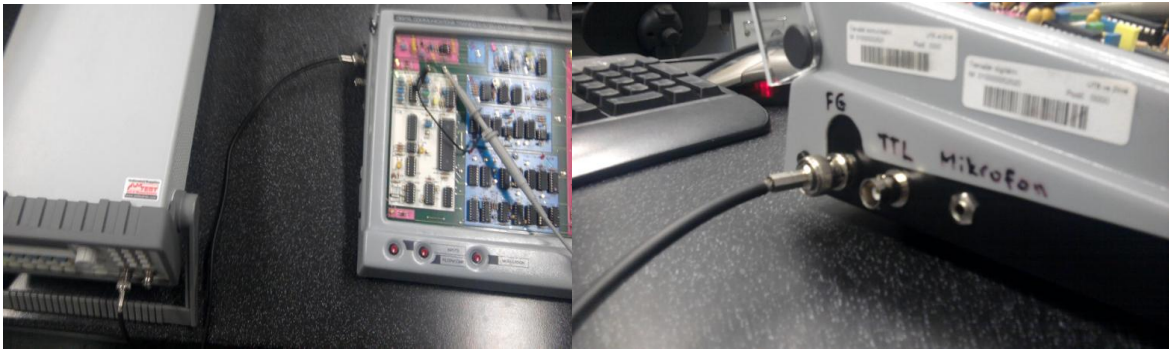
##### Přijímač:

- Vstup dvojlínky
- Demulace: FSK (DFD)
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

Ujistěte se, že všechny šумы a rušení jsou zrušeny a že neexistuje útlum (útlum potenciometru plně ve směru hodinových ručiček). Zapojte funkční generátor na vstup signálu (BNC1), nastavte amplitudu sinusoidy na 2V<sub>pp</sub> a při 1 kHz.

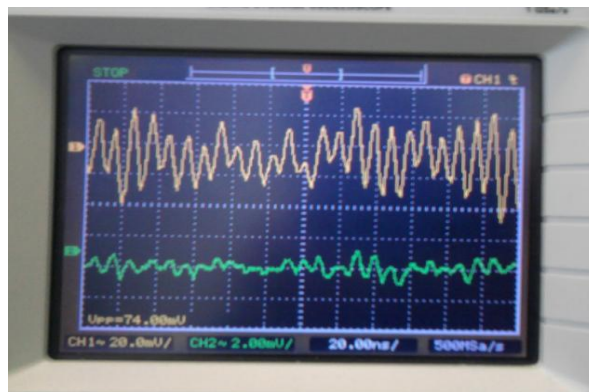


Obrázek 65: Propojení modulů pomocí dvojlínky a sondy osciloskopu



Obrázek 66: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1)

Zobrazte výstupní signál na osciloskopu TPE1 na prvním kanálu a obnovený signál TPR41 na jiném kanálu.



Obrázek 67: Signál na TPE1 a TPR41

Nastavte 500 kHz na maximum. Poznamenejte, že to není nápadné na obnovený signál. Vypněte funkční generátor: výstup na 0 voltů a účinky 500 kHz jsou téměř neznatelné. Přepnout přijímač do FSK (PLL). Vysvětlete, proč PLL je citlivý na rušení 500 kHz s ohledem na jeho zachycení okraje. Připojte funkční generátor, tentokrát ponechá 390 kHz rušení. Zjistěte výsledek, kdy se objeví DFD (pamatovat mimo pásmo).

#### 4.7.5 Porovnání citlivosti

Zrušit všechny rušení a šum, pomocí duálního filtru detekce (DFD) a zeslabení signálu až ztratíme komunikaci. Nyní můžete přejít na PLL detekci. Tu si můžete dokonce pokusit zmírnit na maximum. Při interpretaci výsledku pamatujte, že PLL skupiny jsou vstupní frekvence, amplituda není tak důležitá. Jak dlouho tam přetrvá nějaký druh signálu, tak dlouho to bude fungovat správně.

## 4.8 Obnova nositele

### 4.8.1 Cíl cvičení

Před tímto cvičením byla fázová modulace a demodulace, v tomto cvičení se budeme dívat na subsystém společný pro všechny: využití modulovaného signálu frekvence nosiče, odstraněny s fázovými skoky. Tato funkce je velmi významná pro všechny modulace s ne-diferenciální fází.

### 4.8.2 Teoretické základy

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.4: Obnova nositele

Dodatek F: Provozní zásady PLL

Dodatek G (nepovinné): Charakteristika PLL (NE564)

### 4.8.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 4.8.4 Obnovení nositele – nastavení PLL

Připojte vysílač a přijímač pomocí dvojlinky, přepnout na obou modulech. Pomocí tlačítek nastavíme následující stavy:

Vysílač:



- Vstup signálu (Sig)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: Přímý
- Výstup dvojlinky

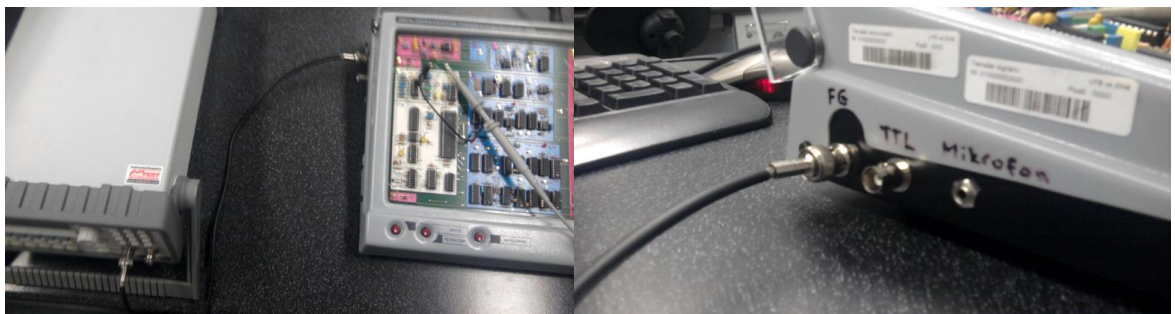
#### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: QPSK
- Reconstructor filtr: ON, Expandér: OFF
- Výstupní signál

Ujistěte se, že všechny mikro-přepínače na SW3 jsou OFF (přepínače dolů). Zapněte funkční generátor a nastavte sinusoidu na 2 Vpp a 1 kHz cca.

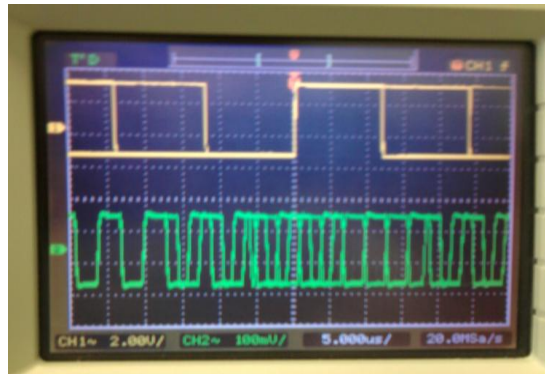


Obrázek 68: Propojení modulů dvojlinkou a SW3 mikro-přepínač OFF



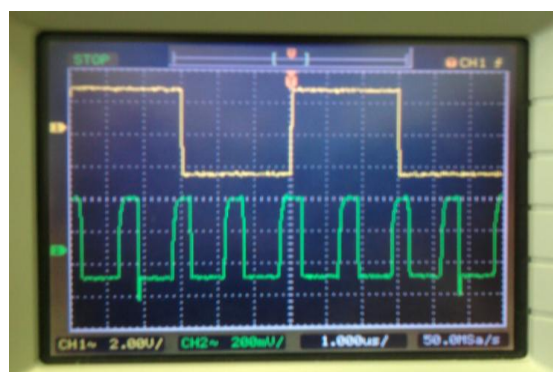
Obrázek 69: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1)

Zobrazit TPE4 na osciloskopu kanál 1 a signál TPR2 na kanálu 2, synchronizovat osciloskop s tímto kanálem. Úpravou časové základny osciloskopu a vypnutí generátoru pro lepší synchronizaci uvidíte, že modulovaný signál na TPR2 je čtvercový signál, jehož doba není pravidelná, v některých okamžicích je kratší, když je signál fázově změněný.



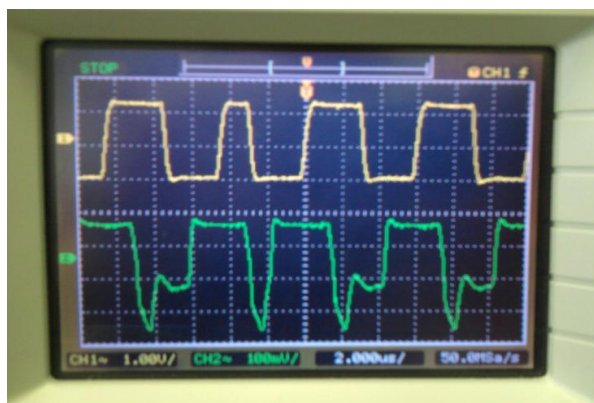
*Obrázek 70: Zobrazení signálu na TPE4 a čtvercového signálu na TPR2*

Nicméně pro tuto chvíli nemusíte mít obavy, QPSK signály budete moci využít k úpravě obnovení nositele. Cílem je získat signál o stejné frekvenci jako pozorované na TPR2, ale bez nesrovnalostí v trvání pulzů (bez skoků fáze). Aby se to povedlo, nastavte kanál osciloskopu 2 na TPR13, což je VCO výstup PLL obnovení nositele a kanál 1 na TPE14, což je vydavatel standardní frekvence, kterou chceme obnovit. Začneme tím, že nastavíme proměnnou kondenzátoru C83 (pomocí plastového šroubováku), který řídí VCO střední frekvenci, dokud signál VCO je synchronizován se signálem na TPE14.



*Obrázek 71: Zobrazení signálu na TPE14 a na TPR13*

*Jako frekvence VCO musí být čtyřikrát větší než obdržený kmitočet k odstranění fáze skoku, musí mít signál na TPR13 čtyři periody, pro každou periodu TPE14. Pokračovat v úpravě potenciometru P1 (PLL pásmo nastavení), dokud se nedosáhne optimální polohy: VCO výstup synchronizovaný (při poměru 1:4) s odkazem frekvencí vysílače na TPE14. Chcete-li obnovit nositele, který odešel z nelineárních prvků signálu došlým TPR2 (zobrazuje na kanálu 1). Na TPR12 budete moci vidět signál (na kanálu 2), který prošel přes nelineární prvky: tento signál obsahuje více harmonických frekvencí se standardní frekvencí (166 kHz při QPSK).*



*Obrázek 72: Zobrazení signálu na TPR2 a TPR12*

Jak QPSK má čtyři fáze, PLL působí jako velmi úzké pásmo propusti filtru, má uzamknout frekvenci  $4 * 166,6 \text{ kHz} = 666,4 \text{ kHz}$ . To je signál, který budeme moci pozorovat na TPR13 na kanálu 2. Čtyřnásobný frekvenční signál na TPR13 je následně rozdělen na čtyři nástroje. Po připojení na kanál 1 bod vysílače TPE15 uvidíte vysílací frekvenci čtyřikrát. Ta bude sloužit k porovnání se signálem zpět na TPR13 na osciloskopu.



*Obrázek 73: Získaný signál na vysílači TPE15 a přijmači TPR13*

Nyní připojte kanál 1 TPR2 na obdržený QPSK signál, budete moci potvrdit, že je zpět frekvence čtyřikrát QPSK nositelem bez fáze skoku na VCO. Vylepšení úprav o PLL, extrémní podmínky budou použity: vizualizace TPE15 vysílače bodu na kanálu 1 a TPR13 na kanálu 2 a aktivaci kanálu degradace na vysílači modulu polehčující signál, dokud neztratí synchronizaci (pokud se to stane, detekce parity chyb LED se rozsvítí).

Seřadit, je-li to nezbytné variabilním kondenzátorem C83 a potenciometrem P1 tak, aby synchronizace mezi TPE15 a TPR13 byla opět správně. Opakujte pro největší kanál útlumu.

Pozn.: Pomocí tohoto nastavení musíte upravit nositele využití pro signály s 332 kHz jako u BPSK. V tomto případě, protože tam jsou jen dvě možné fáze, bude vrácen signál i na 664 kHz.

## **4.9 BPSK modulace a demodulace**

### **4.9.1 Cíl cvičení**

Jedná se o první cvičení na fázi demodulátoru, konkrétně o fázovou binární modulaci (BPSK). Po seznámení s úlohou, jak modulátor a demodulátor funguje, uvidíte, jak správně je důležité obnovit nositele.

### **4.9.2 Teoretické základy**

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.3: BPSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.5: BPSK

### **4.9.3 Požadované vybavení**

Požadované vybavení:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

- Plastový šroubovák

#### Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

#### **4.9.4 Provoz modulátoru a demodulátoru**

Zapněte vysílač i přijímač a propojte je dvojlínkou. Tlačítka modulů by měly být nastaveny takto:

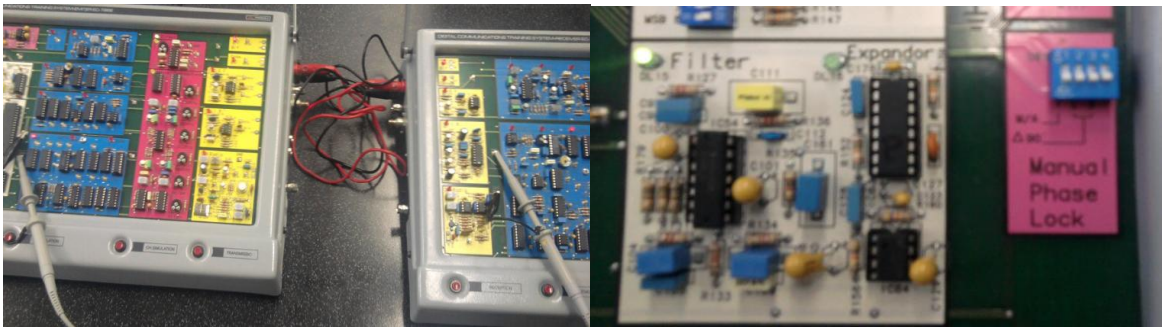
#### Vysílač:

- Vstup signálu (Sig)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: BPSK
- Simulátor kanálu: Přímý
- Výstup dvojlínky

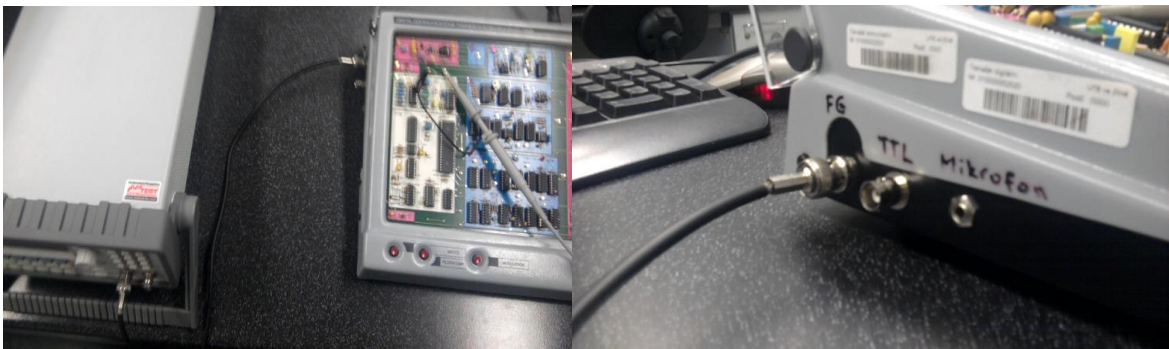
#### Přijímač:

- Vstup dvojlínky
- Demodulace: BPSK
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

Ujistěte se, že všechny SW3 mikro-přepínače jsou vypnuty OFF (směrem dolů). Opusťte nosné využití PLL, jak je stanoveno ve cvičení 8. Nastavte funkční generátor sinusovky na 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz.

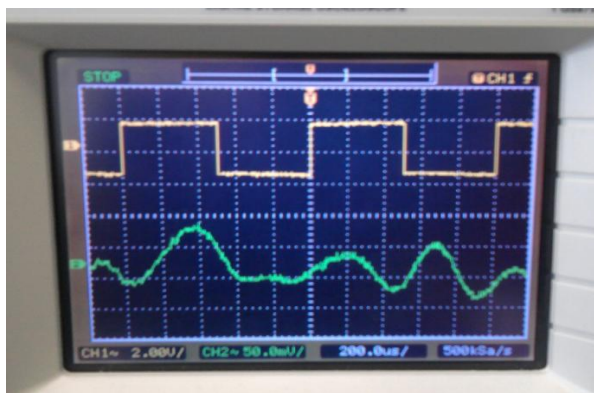


Obrázek 74: Propojení modulů dvojlinkou a SW3 mikro- přepínače OFF



Obrázek 75: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1)

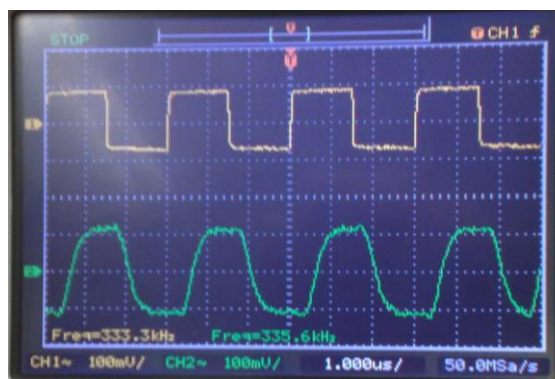
Ukažte si předávání signálu TPE1 na osciloskopu kanálu 1 a obdržení signálu v místě TPR41 na kanálu 2. Pokud to nefunguje správně, opakujte nosnou vlnu s úpravou výkonu tak jako ve cvičení 8 (pokud nemáme čas, po kterém bychom mohli nastavit proměnnou kondenzátoru C83 nebo potenciometru P1, TPR41 ukazuje správné využití funkce generátoru sinusovky, když tato metoda nepřináší nejlepší nastavení).



Obrázek 76: Signál na TPE1 a na TPR41

**Modulátor:**

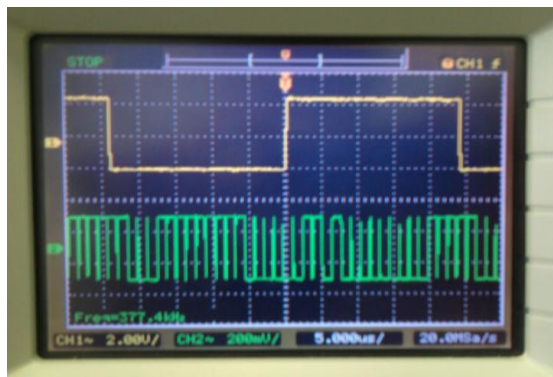
S vypnutým generátorem pomocí synchronizace připojte kanál 1 sondu k vysílači testovacího bodu TPE4 (UART výstup) a kanál 2 na TPR2 přijímače bodu (BPSK modulovaný signál). Uvidíte, že pro každou změnu polarity modulačních signálů se vytváří fázově obrácený modulovaný signál (BPSK). Standardní frekvenci pro generování BPSK je možné měřit na TPE11. Dělá se to s kanálem 1 a vypočtenou dobou tohoto signálu. Zkontrolujte, zda se jedná o stejný průběh jako v TPR2 (BPSK modulovaný signál).

**BPSK nosného kmitočtu: 333,3 kHz**

*Obrázek 77: Frekvence pro generování BPSK, měření v bodě TPE11*

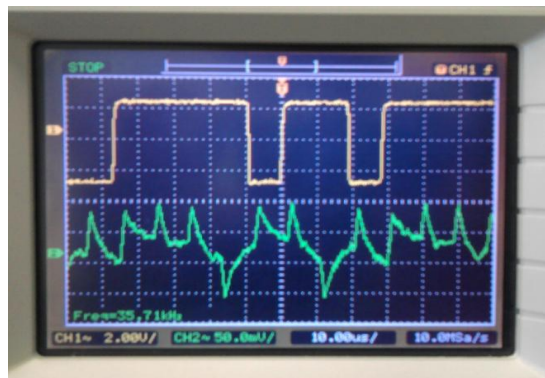
**Demodulátor:**

Připojte kanál 1 k bodu TPE4 (výstup UART vysílače) s vypnutým generátorem a připojíme kanál 2 k bodu TPR16. Jedná se o výstup XOR bloku, který násobí obdržený BPSK signál a vrací nosnou.



*Obrázek 78: Zobrazení signálu na TPE4 a TPR16*

Můžete si všimnout, že signál je zpátky, i když s malými ztrátami kvůli průtahům v digitálních obvodech, k jejichž odstranění je signál z TPR16 poslán přes dolní propust, jehož výstup je na TPR20. Tento výstup zobrazte na kanálu 2. Tento výstup je porovnáván s nepřetržitou úrovní, kterou můžete vidět na TPR21 kanálu 1. Úpravou stopy dvou kanálů osciloskopu (ujistěte se, že obě sondy mají útlum spínače ve stejné poloze), ve stejném zesílení na obou, uvidíte srovnávací práh. Jeho výstup, který je přijímač UART vstupu, může být vidět na TPR38 kanálu 2.



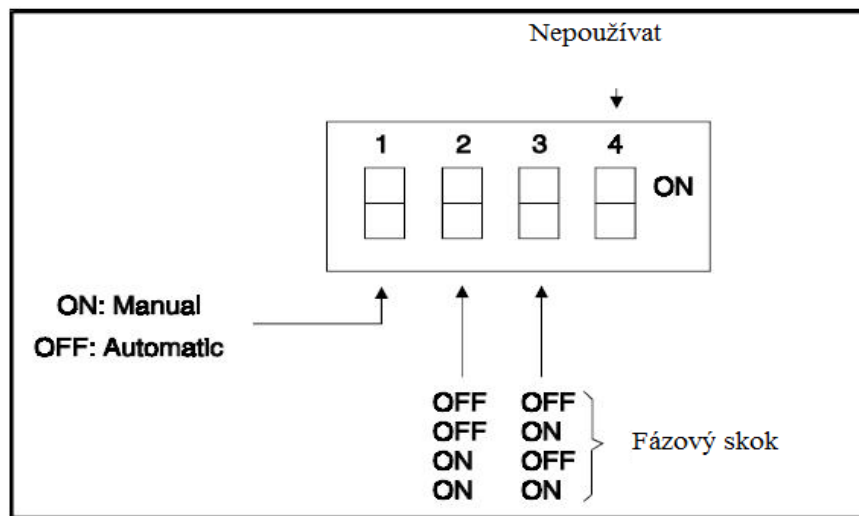
Obrázek 79: Zobrazený signál na TPR21 a TPR38

### Ztráta synchronizace

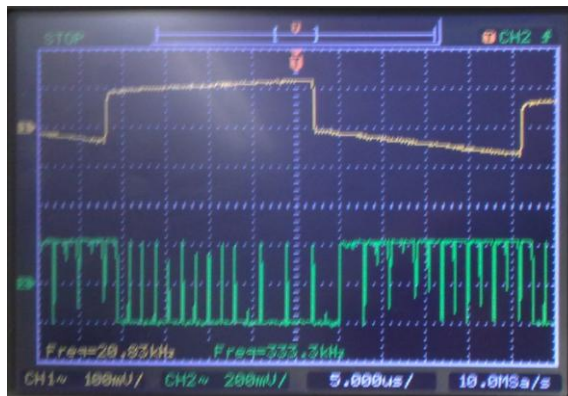
#### **Ruční výběr fáze**

Umístěte znovu sondy na TPE1 a TPR41, připojte funkční generátor. Obnovený signál by měl být v pořádku. Doteď je detektor automatickým řešením fáze nejednoznačnosti pomocí paritního chybového bitu přijímače UART. Neexistuje žádný způsob se dozvědět, která fáze detektoru pracuje první. Tím, že se SW3 mikro-přepínač I1 dostane do polohy ON, automatické nastavení fáze je zrušeno. Detektor začne od jedné počáteční fáze nebo jiné v závislosti na postavení mikrospínače I3. Všimněte si, že v jedné poloze demodulátor pracuje správně a v druhé ne. Můžete zkontrolovat důvod zobrazením TPE4 (UART vysílače výstupu) a TPR16 (XOR výstup) s vypnutým generátorem. Uvidíte, že fázová demodulace se změní o 180 stupňů (změna znaménka) podle polohy I3.



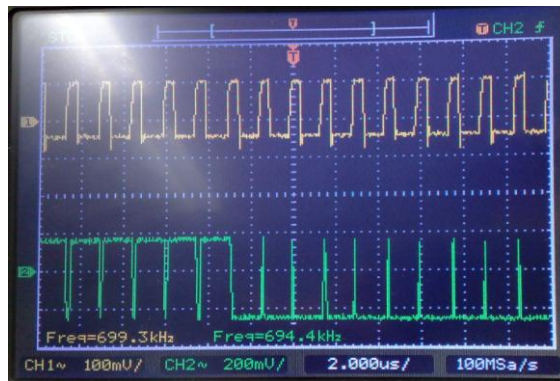


Obrázek 80: Mikro-přepínač SW3



Obrázek 81: Při zapnutí vypínače 1 a 3 u SW3

Všechny SW3 mikropřepínače opět vypneme a demodulátor opět automaticky detekuje fázi. Připojení TPE1 na kanál 1 a TPR41 na kanál 2 pomocí funkčního generátoru, který je zapnutý. Nyní způsobíme ztrátu synchronizace v obnovení nositele tím, že změníme proměnou kondenzátoru C83 plastovým šroubovákem. V tomto bodě představit signály na TPR15 a TPR13 a ověřit, že výstup z VCO (PLL) obnovení nositele není uzavřeno (pokud si nasadíme sluchátka, uslyšíme hluk a chyba parity LED také svítí). Obnovit synchronizace nositele tím, že přednastavíme proměnou kondenzátoru. Zkontrolovat, že sondy na TPE1 a TPR41 fungují správně.



Obrázek 82: Ztráta synchronizace pomocí kondenzátoru C83

## 4.10 DPSK modulace a demodulace

### 4.10.1 Cíl cvičení

Budeme studovat první diferenciální fázovou modulaci se zvláštním důrazem na aspekty, které jej odlišují od předchozích BPSK cvičení: generování a zotavení dabitů.

### 4.10.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.4: DPSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.6: DPSK

### 4.10.3 Požadované vybavení

Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

**4.10.4 Provoz modulátoru a demodulátoru**

Zapneme vysílač i přijímač propojené pomocí dvojlinky. Tlačítka modulů by měly být nastavena takto:

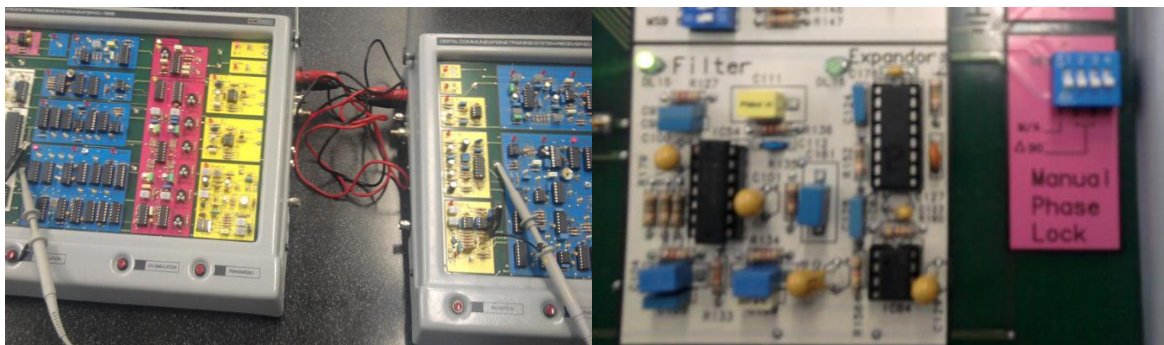
Vysílač:

- Vstup signálu (Sig)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: DPSK
- Simulátor kanálu: Přímý
- Výstup dvojlinky

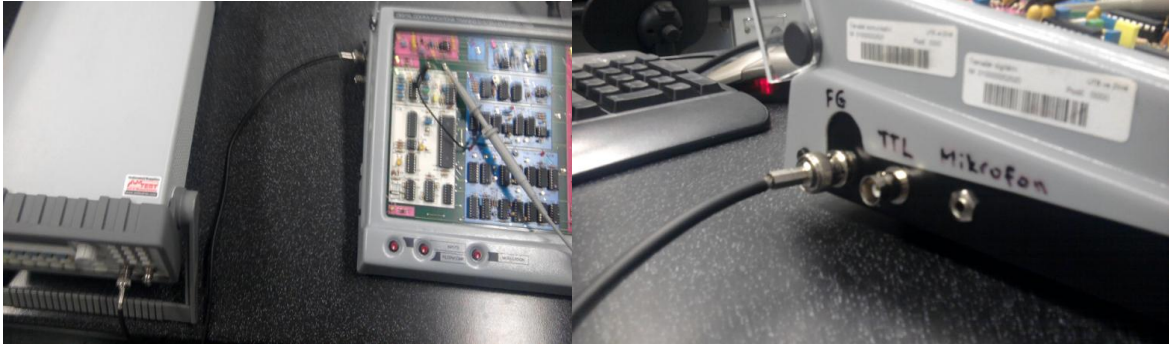
Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: DPSK
- Rekonstrukční filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstup signálu

Ujistěte se, že SW3 mikro- přepínače jsou vypnuty (dolů) a opusťte nosné využití PLL, jak to bylo na konci posledního cvičení.

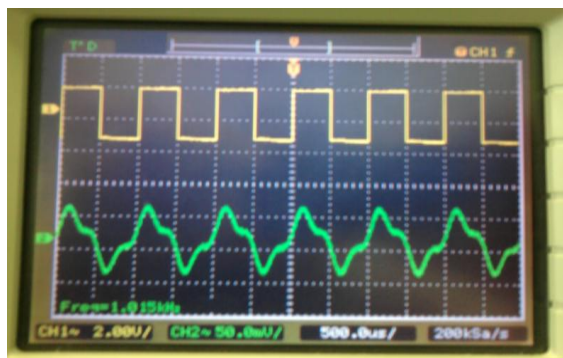


Obrázek 83: Propojení modulů pomocí dvojlinky a SW3 mikro-přepínač v poloze OFF



Obrázek 84: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1)

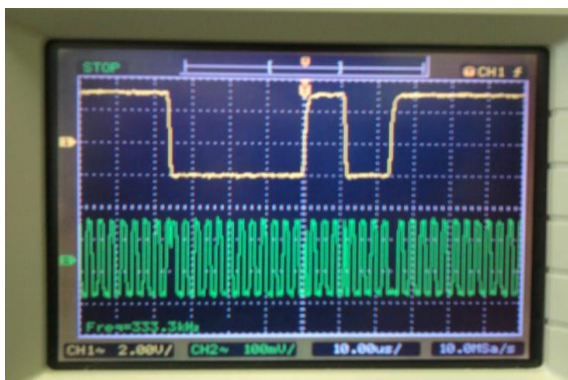
Nastavte funkční generátor sinusovky na 2 Vpp a 1 kHz a podívejte se na vysílaný signál osciloskopu kanálu 1 na TPE1 a přijímaného signálu v místě TPR41 na kanálu 2. Pokud nefunguje správně, nastavte proměnou kondenzátorem C83 a nebo potenciometrem P1, dokud se nezobrazí správné využití funkčního generátoru sinusovky na TPR41.



Obrázek 85: Signál na TPE1 a TPR41

### Modulátor:

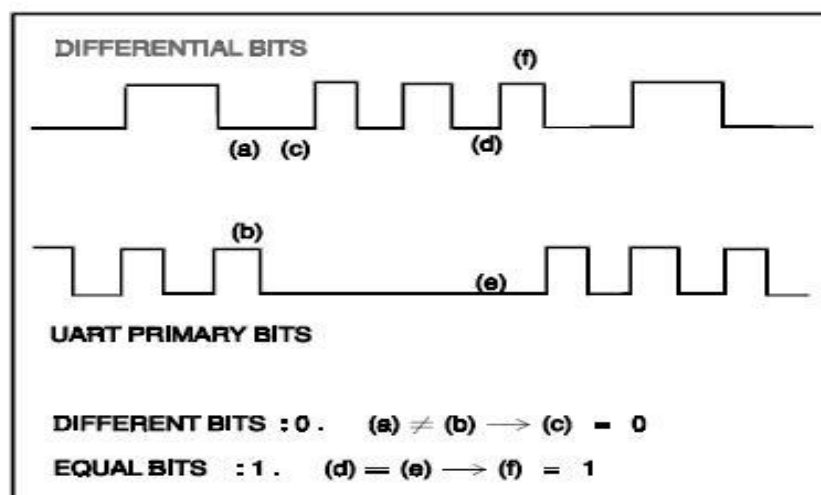
Pomocí vypnutého generátoru připojte pomocí sondy kanál 1 k testovacímu bodu TPE10. To je diferenciální signál (diferenciální bity) vytvořený z vysílače UART výstupních bitů. To je signál, který moduluje BPSK modulátor vytvářený DPSK. Změřte na kanálu 2 bod TPR2 (DPSK modulovaný signál) a uvidíte, že se pro každý modulovaný signál mění polarita, dojde k obrácení fáze modulovaného signálu jako v případě BPSK.



Obrázek 86: Zobrazení signálu na TPE10 a TPR2

### Generace diferenciálních bitů

Můžete vidět rozdíl bitů na TPE10 kanál 1 a na TPE4 kanál 2, kde spatříme primární produkci bitů vysílače UART. Všimněte si, že provedením operací na obrázku níže, můžete rekonstruovat signál na TPE10 obrazovky osciloskopu a TPE4. Použijte režim „chopper“ režim pro toto cvičení.



Obrázek 87: Provedení operací diferenciálních bitů



Obrázek 88: Modulovaný signál pro DPSK

### Demodulátor:

Připojte kanál 1 k bodu TPE4 (vysílač UART výstupu) s vypnutým generátorem. Zobrazte si bod TPR27 na kanálu 2, tento bod je X-NOR blok výstupu, který násobí modulovaný signál s modulovaným signálem zpožděným o jeden bit. Uvidíte, že stejně jako v BPSK existují parazitní změny, které jsou odstraněny dolní propustí (TPR29). Tento signál je srovnán s kontinuální úrovní TPR28, čímž se získá signál na TPR36 na výstupu komparátoru. Obnovení UART bitů z diferenciálních bitů jsou k vidění na kanálu 1 na TPE10. Připojte kanál 2 sondy na TPE13, která je hodinami pro vytváření diferenciálních bitů.



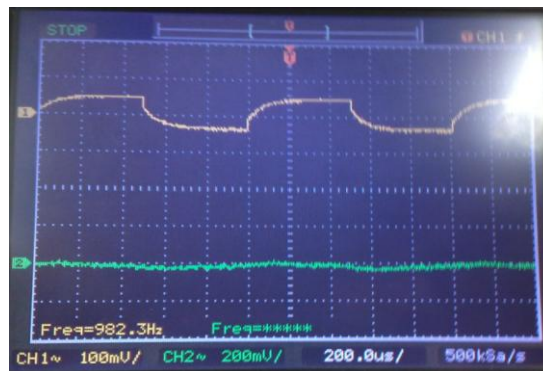
Obrázek 89: Výstup z bloku X-NOR výstup při DPSK

### Ztráta synchronizace

#### Ruční výběr fáze

Znovu připojte sondy k TPE1 a TPR41 a zapněte funkci generátoru. Obnovený signál by měl být v pořádku. Výhodou diferenciální modulace (DPSK) je, že nepotřebuje fáze

reference. Zkontrolujete to tím, že aktivujete manuální řízení fáze, přepínač I1 z SW3 a nastavíte I3 správně. Demodulace by se měla i nadále chovat správně nezávisle na zvolené fázi. Nezapomeňte, že při výkonu BPSK pracoval pro jednu pozici I3.



Obrázek 90: Ztráta synchronizace DPSK

### Nepřízpůsobivost obnovení nositele

Vypněte všechny SW3 mikro-spínače a zapojte sondu TPE1 na kanál 1 a TPR41 na kanál 2 s generátorem ještě zapnutým. Nyní způsobíme ztrátu synchronismu obnovením nositele tím, že změníme proměnou kondenzátoru C83. Příjem bude vadný, protože DPSK používá nositele s využitím jako frekvence odkazu na zpožděný modulovaný signál, který spolu s nezpožděným signálem je aplikován na X-NOR bránu vstupu. Obnovte synchronizace nositele a nastavte kondenzátor. Použijte na kontrolu sondy TPE1 a TPR41 a přesvědčete se, že s funkčním generátorem operační systém funguje znovu správně.

## 4.11 QPSK modulace a demodulace

### 4.11.1 Cíl cvičení

Po použití binární fáze modulace se teď budeme pohybovat na čtyřfázové modulaci.

### 4.11.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.5: QPSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.7: QPSK

### 4.11.3 Požadované vybavení

#### Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

#### Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 4.11.4 Provoz modulátoru a demodulátoru

Připojte vysílač a přijímač moduly dvojlinkou a tlačítka modulů by měla být nastavena takto:

#### Vysílač:

- Vstupní signál (Sig)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup dvojlinka

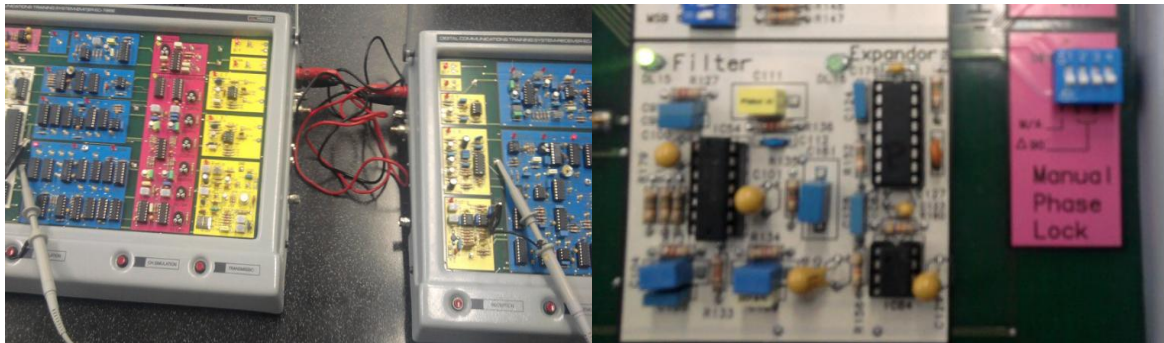
#### Přijímač:

- Vstupní dvojlinka
- Demodulace: QPSK
- Rekonstrukční filtr: ON, expandér: OFF
- Výstupní signál

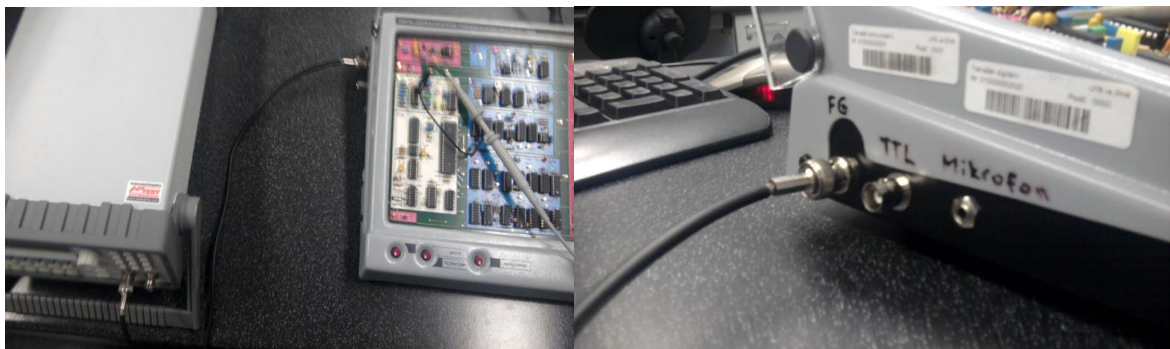
Ujistěte se, že SW3 mikro - spínače jsou všechny OFF. Opusťte nositele s využitím PLL, jak to bylo na konci posledního cvičení. Nastavte funkční generátor v sinusovém režimu na 2 Vpp a 1 kHz, pak pohled vysílaného signálu na osciloskopu TPE1 kanálu 1 a přijímaného



signálu TPR41 kanálu 2. Pokud systém nefunguje správně, opakujte nastavení k obnovení nositele.

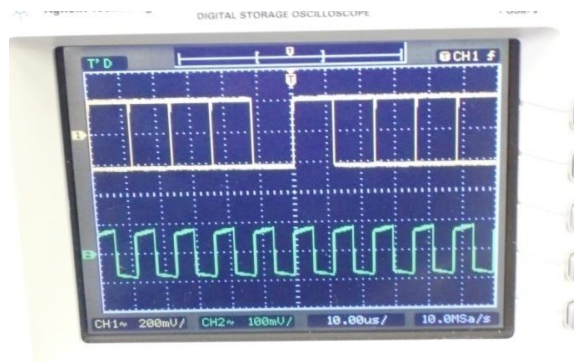


Obrázek 91: Propojení modulů pomocí dvojlinky a SW3 mikro-přepínače OFF



Obrázek 92: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC

### Modulátor:



Obrázek 93: Signál na TPE4 a TPE13

Připojte kanál 1 sondy k výstupu vysílače UART (TPE4) s vypnutým generátorem, pro lepší synchronizaci. Představte referenční hodiny v TPE13 na kanálu 2 a zapište si do následující tabulky hodnoty v TPE4 (“0“ nebo “1“)

Tabulka 4: Bitové hodnoty na TPE4

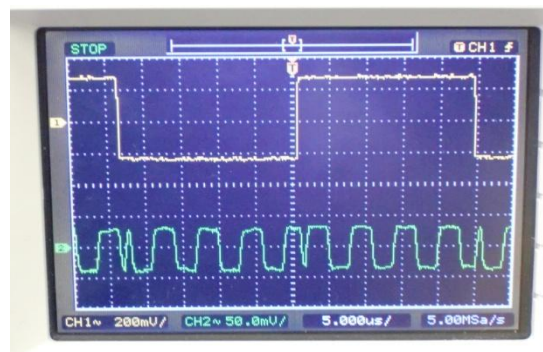
Bitová hodnota na TPE4	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Použijte k tomu výše uvedené tabulky dibits:

Tabulka 5: Hodnoty dvojitých bitů

Dibit 1 hodnota	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
Dibit 2 hodnota	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0

Zkontrolujte, zda dvojitý bit vytvořený na TPE20 a TPE21 souhlasí s tabulkami, které byly vyplněny. Nyní připojte kanál 1 k bodu TPE20 (dibit 1) a kanál 2 na přijímači k bodu TPR2 (QPSK modulovaný signál). Uvidíte fázové skoky modulovaného signálu (QPSK), při každé změně polarity modulace signálu (dibit 1). Fázové skoky, které se neshodují s dibit 1, jsou zásluhou dibit 2 (TPE21). Standardní frekvenci při vytváření QPSK je možné měřit na TPE14.



Obrázek 94: Signál na TPE20 a TPR2

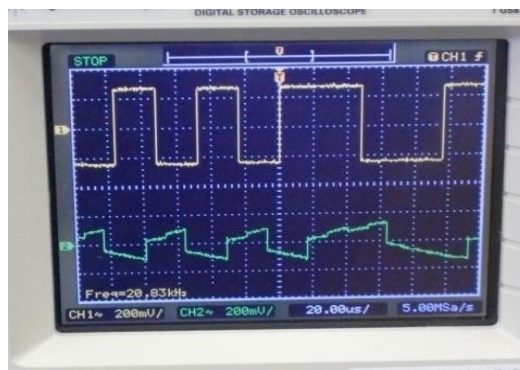
Vzít na vědomí, že:

Tabulka 6: Nosný kmitočet

QPSK nosného kmitočtu:	166,7 kHz
------------------------	-----------

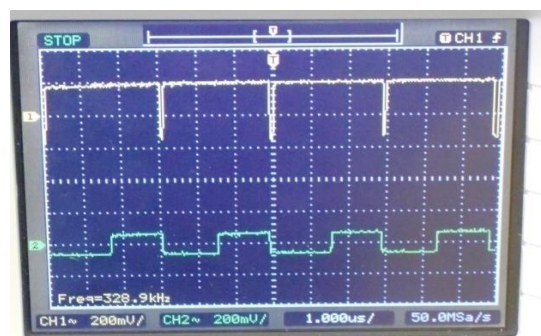
**Demodulátor:**

Zobrazte body na TPE20 (vysílaná dibit 1) a TPR24 (demodulovaný dibit 1) s vypnutým generátorem a zkontrolujte, zda je správně dibit demodulovaný. V opačné případě vypínač generátoru zapnout a vypnout, aby se obnovily automatické fáze řízení přijímačem (v případě, že uvízl na špatné fázi).



Obrázek 95: Měření na TPE20 a TPR24

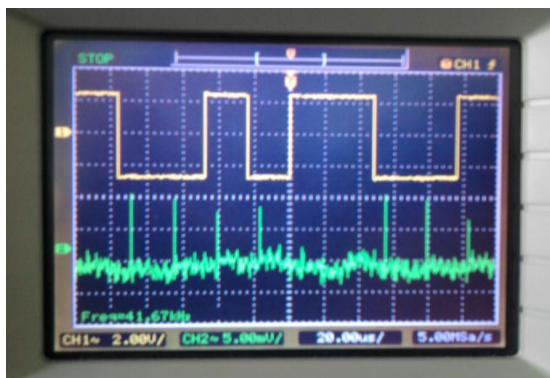
Připojte sondy k TPR14 a TPR16 a budete moci pozorovat XOR výsledky, které násobí vstup přijímače do referenčního nositele. Tento referenční signál vstupuje do dvou XOR brán a je zobrazen fázovým rozdílem  $90^\circ$  k jinému.



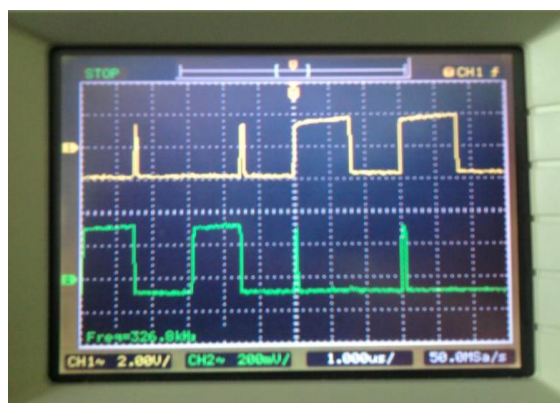
Obrázek 96: XOR

Opakující se proces dibit 2 - použijte osciloskop k zobrazení:

- TPE21 (vysílaný dibit2) a TPR23 (demodulovaný dibit 2)

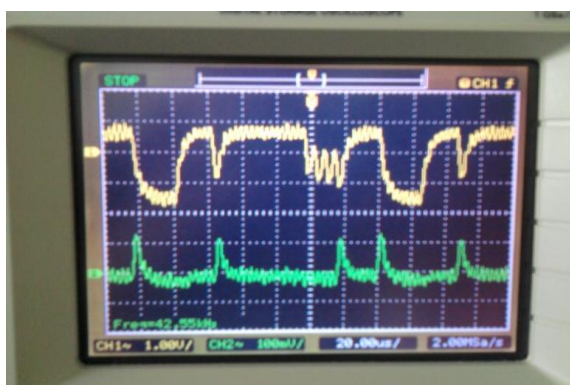


Obrázek 97: vysílaný dibit na TPE21 a TPR23 TPR14 a TPR15 (XOR výstupy)



Obrázek 98: XOR na TPR14 a TPR15

- TPR22 (filtrovaný a přidaný signál) a TPR20 (průběžné srovnávání úrovní)

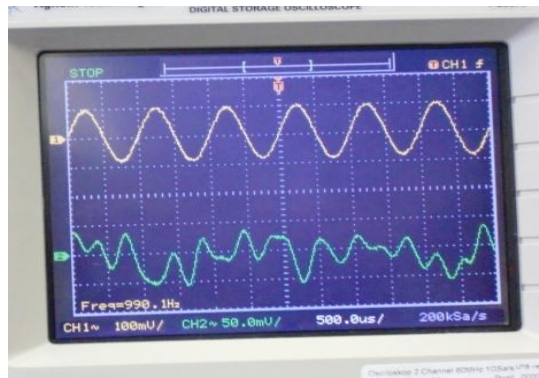


Obrázek 99: Signál na TPR22 a TPR20

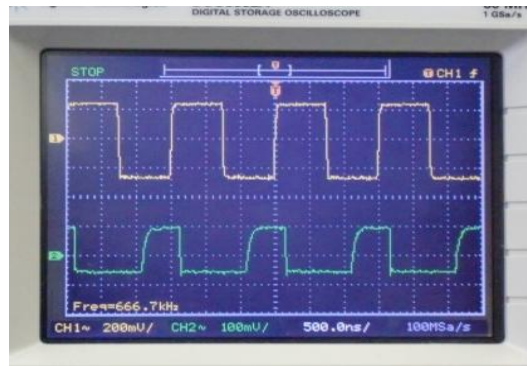
Posledním krokem k získání signálu vysílaného UART je změna dibits z paralelních k sériovým (TPR23 a TPR24). Připojte kanál 1 osciloskopu na TPE4 a kanál 2 na TPR36 a ověřte, že vysílač UART výstupní signál dorazí správně demodulovaný na vstup přijímače UART.

**Ztráta synchronizace:**Ruční výběr fáze:

Umístěte sondy na TPE1 a TPE41 a zapněte generátor. Signál by měl být správně navrácen, jinak upravit kondenzátorem C83).

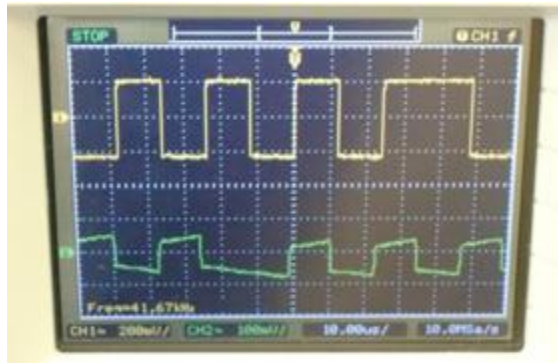


*Obrázek 100: Umístěné sondy na TPE1 a TPE41, demodulátor selhává*



*Obrázek 101: Stejný případ jako v předchozím obrázku, jen tady je to správně*

Zapnutí SW3 mikro - přepínače I1 ruší automatické nastavení fáze a nastartuje manuální výběr fáze. V závislosti na poloze mikro - spínače I2 a I3 bude demodulován vycházející z jedné ze čtyř možných počátečních fází QPSK.



Obrázek 102: QPSK signál

Zkontrolujte, že demodulátor funguje správně pouze v jedné pozici I2 a I3. Porovnáme obrázky osciloskopu s vypnutým generátorem na místech, kde se objevil vydávaný demodulovaný dibit (TPE20, TPE21, TPR23 a TPR24), zkontrolujte, zda jsou výsledkem různé fáze: inverzní fáze demodulovaných bitů nebo ke změně dibit 1 proti dibit 2. Pokud narazíte na problémy s příjmem, použijte tlačítko na výběr všech demodulací, dokud se nevrátí do QPSK.

### Nepřízpůsobivost obnovení nositele

Aktivujte automatické fáze kontroly nastavení všech SW3 mikro - přepínačů do polohy OFF. Zapněte generátor a nastavte sondy osciloskopu na TPE1 a TPR41 s funkčním generátorem stále zapnutým. Točením kondenzátorem C83 způsobí nositeli ztrátu synchronizace. Zobrazte signál TPE15 a TPR13 a zkontrolujte, zda demodulátor neselže, protože VCO využitím PLL není uzamčena ON. Nastavíme zpět nositele synchronizace proměnným kondenzátorem C83. Zkontrolujte sondy na TPE1 a TPR41 s funkčním generátorem, že systém pracuje pořád stejně.

## 4.12 DQPSK modulace a demodulace

### 4.12.1 Cíl cvičení

Budeme experimentovat s DQPSK demodulací a zvýrazníme rozdíly s nediferenciální čtyřfázovou modulací (QPSK).

#### 4.12.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.6: DQPSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.8: DQPSK

#### 4.12.3 Požadované vybavení

Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

#### 4.12.4 Provoz modulátoru a demodulátoru

Připojte vysílač a přijímač pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena na tyto pozice:

Vysílač:

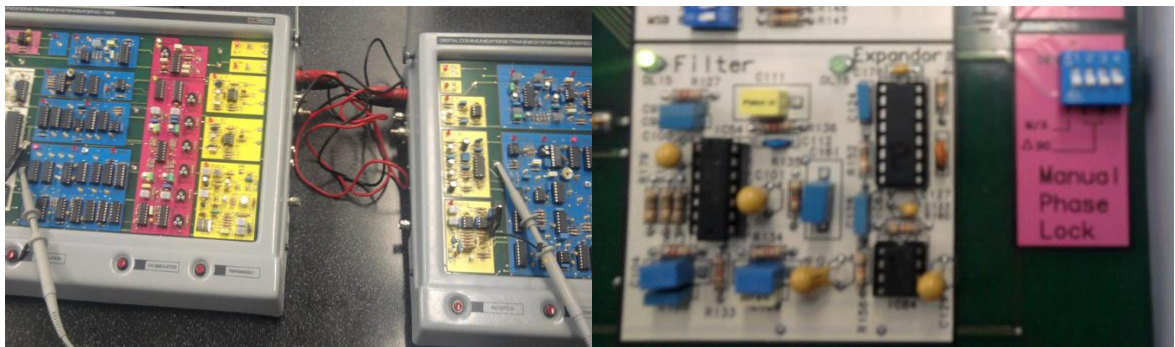
- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup dvojlinka

Přijímač:

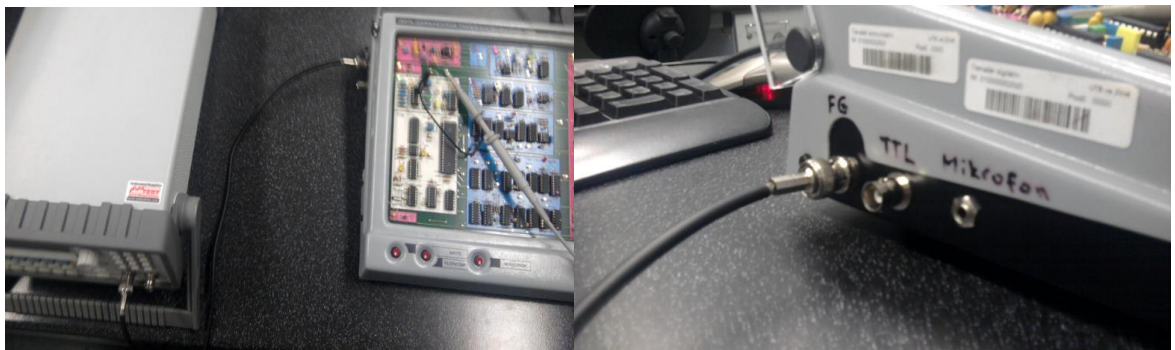
- Vstup dvojlinka

- Demodulace: QPSK
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

SW3 mikro - spínače by všechny měly být vypnuty s dopravcem využití PLL jak to bylo na konci předchozího cvičení. Nastavte funkci generátoru na 2 Vpp a 1 kHz a sondy osciloskopu na TPE1-kanál 1 a na TPR41- kanál 2. Systém by měl správně fungovat.



Obrázek 103: Propojení modulů pomocí dvojlinky a SW3 mikro-přepínač OFF

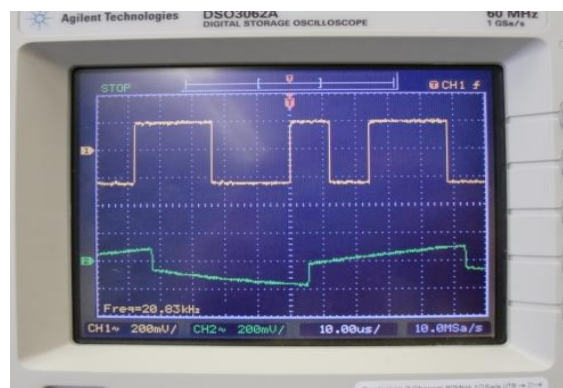


Obrázek 104: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1)

### Modulátor:

Připojte kanál osciloskopu 1 na TPE4 (UART výstup) s vypnutým generátorem. Zkontrolujte, zda máte dibits před diferenciálním kódováním TPE20 a TPE21 jako v případě modulace QPSK (poslední cvičení).





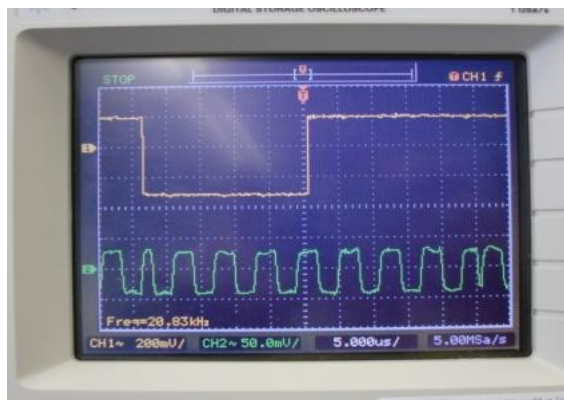
*Obrázek 105: Signál na TPE20 a TPE21*

Představte rozdílně kódované dibits v bodech TPE22 a TPE23, k lepšímu zobrazení vypneme antialiasing filtr, ale nezapomeňte zapnout po modulátoru měření.



*Obrázek 106: Diferenciálně kódovaný dibits na bodech TPE22 a TPE23*

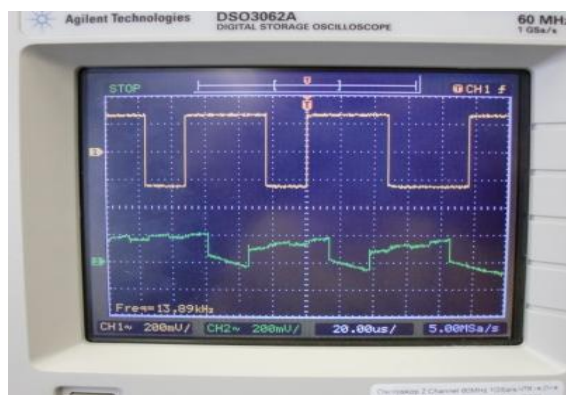
Jako volitelné cvičení můžete zkusit napsat dibit sekvence před kódováním, ruční kód, jak je vysvětleno v sekci modulace DQPSK (manuál teorie) a zkontrolujte výsledky na osciloskopu. Připojte kanál 1 sondy na TPE21 (diferenciální dibit 1) a kanál 2 na bod přijímače TPR2 (DQPSK modulovaný signál). Uvidíte fázové skoky modulovaného signálu (DQPSK), spojené s modulačním signálem (diferenciální dibit 1). Fázové skoky nejsou shodné s diferenciálním dibit 1 a díky diferenciálu dibit 2 (TPE23).



Obrázek 107: Fázové skoky modulovaného signálu

### Demodulátor:

Okruh DQPSK demodulace je velmi podobný QPSK s výjimkou toho, že brány vstupu XOR jsou modulovaný signál a stejný modulovaný signál je odložen o jeden dibit (místo fáze referenčního signálu). Zobrazte body TPE20 (výstupní dibit 1) a TPR24 (demodulovaný dibit 1), zkontrolujte, zda je dibit dobře modulovaný.



Obrázek 108: Sondy osciloskopu na TPE20 a TPR24

Připojte sondy k TPR30 a TPR31 a dodržujte XOR bránu výstupu, která násobí přijímaný signál stejným signálem. Toto zpoždění signálu podle pořadí představuje fázový rozdíl  $90^\circ$  mezi dvěma XOR brány.



Obrázek 109: Sondy osciloskopu na TPR30 a TPR31 (XOR výstup)

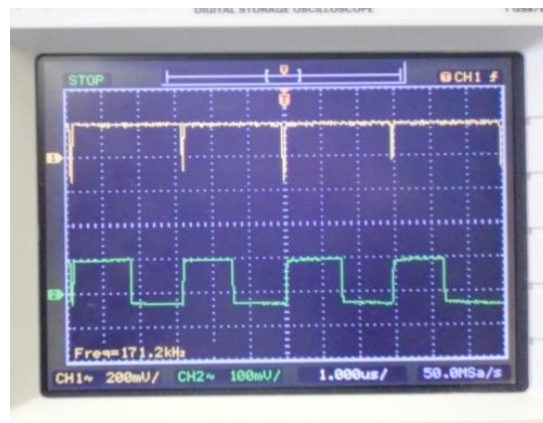
TPR33 je jedním ze vstupů komparátoru spolu s TPR34 (nepřetržitou úroveň ostatních vstupů), výstupem tohoto komparátoru je dibit 1.

Opakující se proces dibit 2, použijte osciloskop k zobrazení:

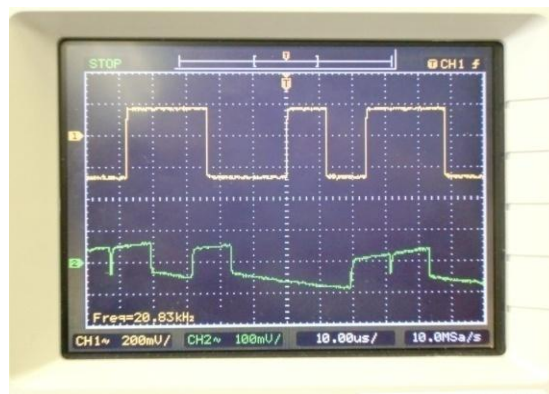
- TPE21 (vyslaný dibit 2) a TPR23 (demodulovaný dibit 2)
- TPR30 a TPR32 (XOR výstupy)
- TPR35 (filtrovaný a přidaný signál) a TPR34 (průběžné srovnávání úrovní)



Obrázek 110: Sondy osciloskopu na TPE21 a TPR23



Obrázek 111: Sondy osciloskopu na TPR30 a TPR32 (XOR výstupy)



Obrázek 112: Sondy na TPE4 a TPR36

Nakonec dibits jsou převedeny na bity. Připojte sondy osciloskopu kanál 1 na TPE4, kanál 2 na TPR36 a ověřte, že UART výstupní signál vysílače dorazí správně demodulovaný na vstup přijímače UART.

Ztráta synchronizace:

### **Ruční výběr fáze**

Umístěte sondy na TPE1 a TPR41 a zapněte generátor. Signál by měl být zpět správně (pokud ne, stejně jako dříve, upravte nositele proměnným kondenzátorem). Mikro-přepínač SW3 zapnout I1 a začít manuální výběr fáze. Změnit mikro-spínače I2 a I3. Všimněte si, že modulace DQPSK nevyžaduje fázový odkaz.

## 4.13 QAM modulace a demodulace

### 4.13.1 Cíl cvičení

Toto cvičení se zabývá jak fází, tak modulací amplitudy. Budete experimentovat s tribity a zvláštní pozornost bude věnována amplitudě modulačního tribitu.

### 4.13.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.7: QAM

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.9: QAM

### 4.13.3 Požadované vybavení

Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 4.13.4 Provoz modulátoru a demodulátoru

Vysílač i přijímač propojte pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena takto:

Vysílač:

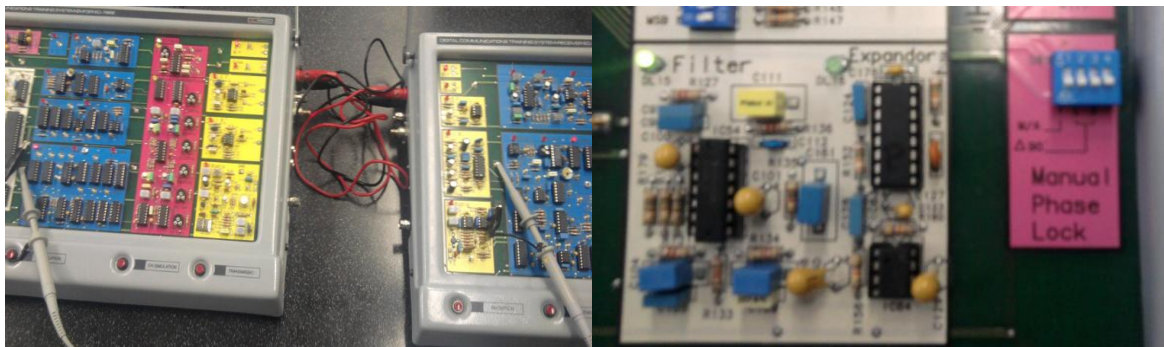
- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF

- Modulační: QAM
- Simulátor kanálu: přímý
- Výstup dvojlinky

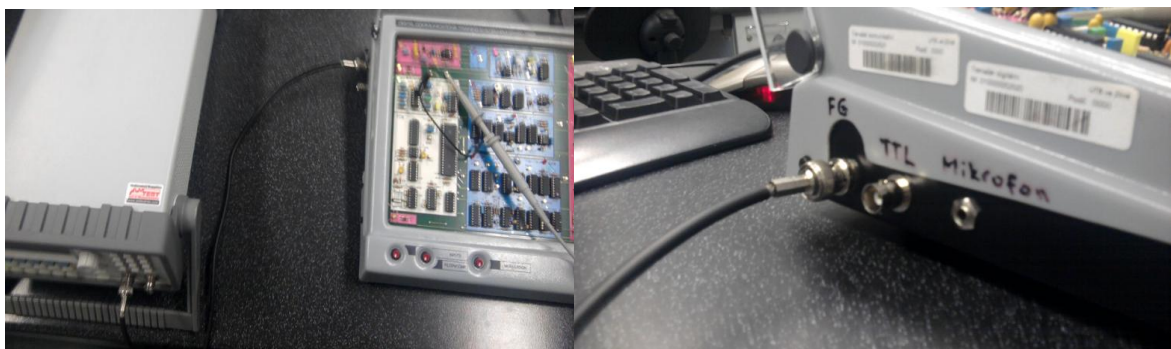
#### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: QAM
- Rekonstruktor filtr: ON, expandér: OFF
- Výstup signál

Ujistěte se, že SW3 mikro-přepínače jsou všechny OFF. Opusťte nosné využití PLL, jak to bylo na konci posledního cvičení. Vyberte sinusoidu a nastavte generátor na 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz a vizualizujte přenášený signál na TPE1 kanál 1, na TPR41 kanál 2. Příjem nemusí být správně, upravte obnovení nositele.



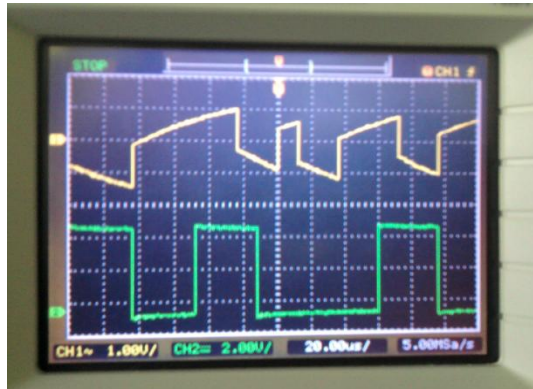
Obrázek 113: Propojení modulů pomocí dvojlinky a SW3 mikro- přepínače do polohy OFF



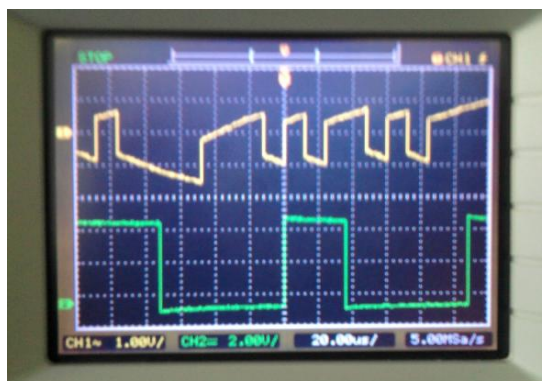
Obrázek 114: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC1

**Modulátor:**

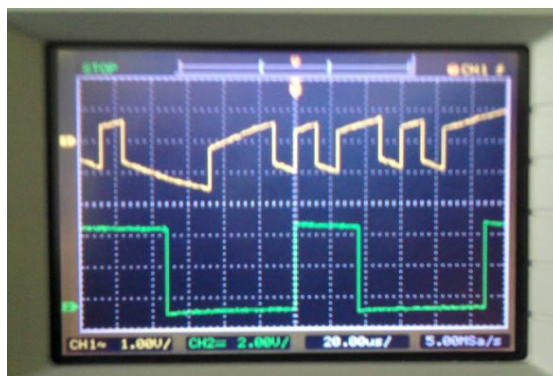
Připojte sondu osciloskopu kanál 1 na TPE4 (UART výstup), s vypnutým generátorem. Změřte generované tribits na kanálu 2 v bodech TPE17, TPE18, TPE19.



*Obrázek 115: TPE4 (UART výstup) a generované tribits na TPE17*



*Obrázek 116: TPE4 (UART výstup) a generované tribits na TPE18*

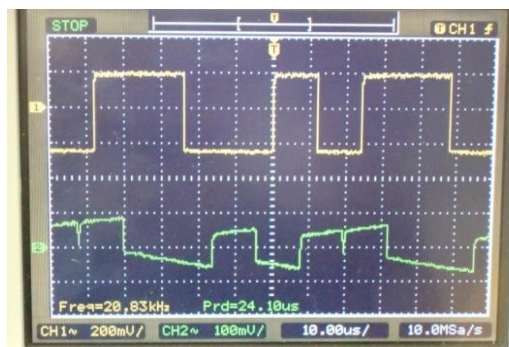


*Obrázek 117: TPE4 (UART výstup) a generované tribits na TPE19*

Jestliže jeden z tribits nemění hodnotu, je to proto, že vstupní kombinace s vypnutým generátorem produkuje konstantní hodnotu tohoto tribitu. Zapněte generátor a uvidíte, že se bude tribit měnit. (Pozn.: Pokud vypnete antialiasing filtr pro zlepšení synchronizace osciloskopu, nezapomeňte je znovu zapnout). Změřte dobu jednoho tribitu. Pokud chcete, připojte na kanál 2 tribit pomocí TPE17 se synchronizací. Využívejte variace jasnosti v osciloskopu paprsku a nastavení intenzity. Doba mezi dvěma, po sobě následujícími kmity na TPE17, vztahující se po dobu jednoho tribitu na dobu jednoho bitu. (Pozn.: Máme zapnutý generátor, aby se zajistilo, že je měření na minimum tribit času.)

### Demodulátor:

Obvod k demulaci fáze tribitů z QAM je stejný jako v QPSK, které jsme již viděli v předchozím cvičení. Ty nyní budou soustředěny na amplitudovou modulaci tribitu. Nastavte generátor do režimu TTL a připojte na odpovídající vstup (BNC2), výběr TTL s tlačítkem vysílače. Tímto způsobem si můžeme zajistit, aby byly všechny tribity vytvořeny a prohlížení bude jednoduché. Před zobrazením tribitů se ujistěte, že je fáze správná: vizualizace TPE4 a TPR36, kde byste měli vidět generátor TTL a zpět signály.

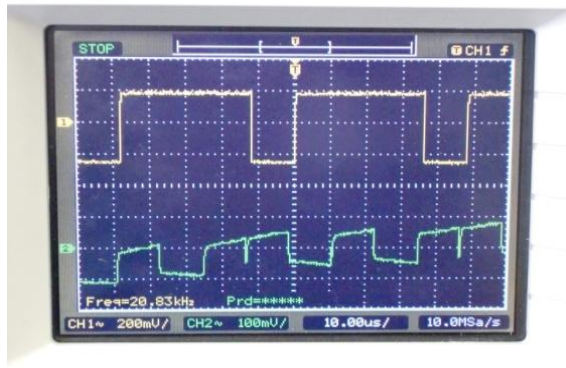


*Obrázek 118: Generátor TTL a zpětné signály*

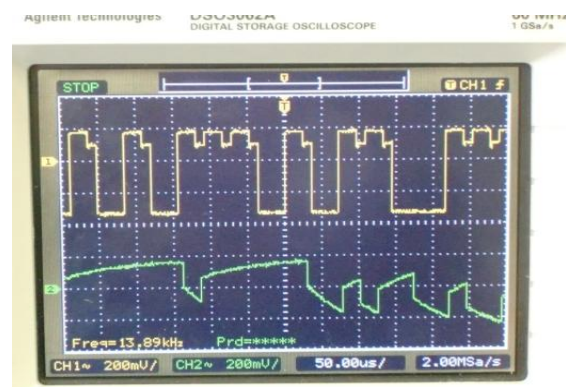
Hledejte ručně fázi pomocí SW3 mikro-spínače. Zkontrolujte, zda je správně tribit demodulován. Dělejte to samé s ostatními fázemi tribitu (tribit2) měřením v TPR18 a TPR24. Body TPR18 a TPR19 jsou v tomto pořadí stejné jako v TPR23 a TPR24 po procházející bistabilní synchronizovaná data. Změřte vyzařované amplitudy tribitu (TPE19) a jeden obdrženy (TPR17) a ověřte správnou demodulaci. Chcete-li demodulovat QAM



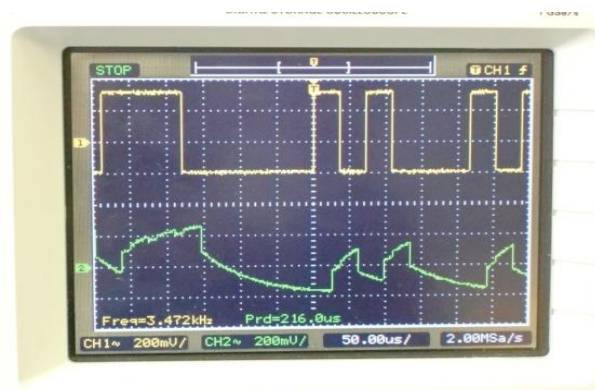
amplitudu, je signál procházející detektorem (TPR26) a srovnáván s průměrnou úrovní (TPR25).



Obrázek 119: Sondy osciloskopu na TPE17 a TPR23



Obrázek 120: Sondy osciloskopu na TPR18 a TPR24



Obrázek 121: Sondy osciloskopu na TPR19 a TPR23

Zobrazte dva body po úpravě váhy dvou kanálů na stejném místě pomocí stejného měřítka. Aktivujte kanál zhoršením bloku bez rušení nebo šumu (potenciometry vpravo) a pomocí odpovídajícího potenciometru postupně zvyšujte útlum signálu při prohlížení na osciloskopu. Jaké výhody má srovnání s průměrnou úrovní více než za použití pevných úrovní? Vyberte přímo režim na vysílači (bez kanálové degradace) a znovu funkci generátoru tak, že poskytuje sinusový signál. Nastavte SW3 mikrospínače do polohy OFF.

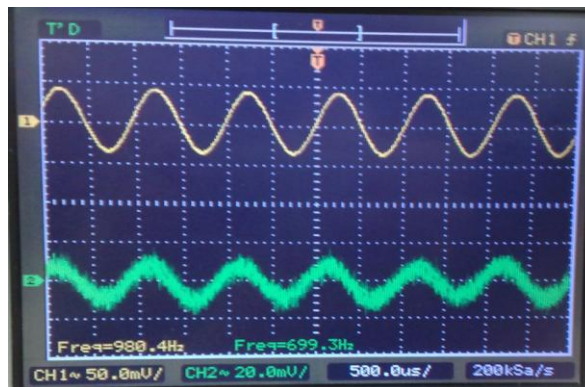
### **Ztráta synchronizace:**

#### **Ruční výběr fáze:**

Znovu připojte sondy na TPE1, TPR41 a zapněte funkci generátoru, signál by měl fungovat správně. Fázová změna ovlivňuje QAM stejným způsobem jako QPSK, protože v obou případech jsou přenášeny čtyři fáze, které vyžadují reference. Ověřte si, že aktivujete SW3 mikro-přepínač I1 a pozměníte pozice mikro-spínače I2 a I3 pouze jednou kombinací je správně demodulován a ten nese správnou fázi reference.

#### **Nepřízpůsobivost nosného signálu**

Zobrazte body TPE1 a TPR41 s funkcí generátoru tak, že se ujistíte, že všechny SW3 mikro-spínače jsou vypnuty OFF (automatické fáze ovládání).



*Obrázek 122: QAM modulace, demulace a ověření správnosti nastavení*

## 4.14 Porovnávání fáze modulace

### 4.14.1 Cíl cvičení

Po experimentech se všemi modulacemi zahrnující fáze, měli bychom je srovnat s cílem, vyvodit závěry o výhodách, které se v komunikačních systémech nabízejí. Zejména prozkoumáme šířky pásem kanálů potřebných pro jejich přenos a jejich citlivost na hluk.

### 4.14.2 Teoretické základy

Kapitola 5: Srovnávání modulace

### 4.14.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 4.14.4 Provoz modulátoru a demodulátoru

Připojte vysílač a přijímač pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena na tyto pozice:

Vysílač:

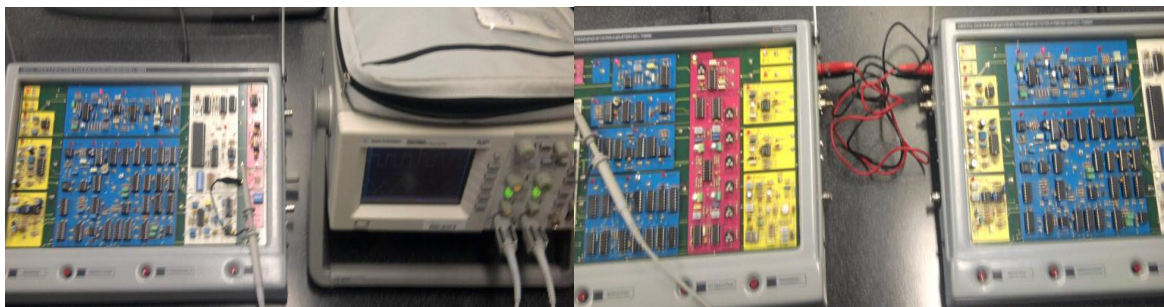
- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý

- Dvojlinka výstupu

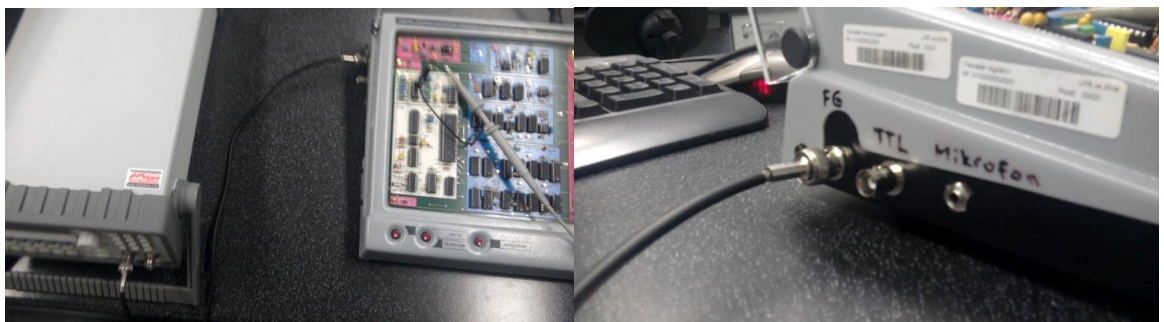
#### Přijímač:

- Dvojlinka vstupu
- Demodulace: QPSK
- Rekonstruktor filtr: ON, expandér: OFF
- Výstupní signál

Připojte funkční generátor na vstupní signál BNC1 na amplitudu 2 Vpp a 1 kHz. Zobrazte výstupní signál na TPE1 (modul vysílače) na jednom z kanálů osciloskopů a zpětný signál TPR41 na jiný kanál.



Obrázek 123: Propojení modulů dvojlinkou a sondy osciloskopu



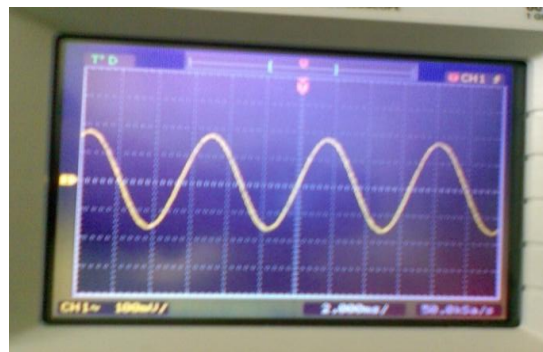
Obrázek 124: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC1

Přechod na QPSK modulaci a demodulaci, ověřili jsme, že může fungovat na užším pásmu než modulace BPSK. Stejně tak zkontrolujte, že modulace DQPSK pracuje v užší šířce pásma než DPSK. QAM modulace může budít dojem, že vyžaduje širší šířku pásma než

QPSK nebo DQPSK. Je to proto, že filtrování ovlivňuje amplitudu a QAM nese informaci na amplitudě.

#### 4.14.5 Porovnání pravděpodobnosti chyby

Aktivujte kanál degradace modulu a nastavte potenciometry, aby tam nebylo rušení ani útlum. Zvyšte hladinu hluku pomocí potenciometru a také útlum signálu, dokud poměr signál/šum produkuje chyby. V této pozici přejít na BPSK modulaci a demodulaci a rozhodnout, které z nich (BPSK nebo QPSK) je nejvíce odolný proti hluku. Vraťte se do QPSK modulace a demodulace a zopakujte experiment se srovnáním DPSK. Poznamenejte, které je nejvíce citlivé na hluk. Aktivaci BPSK modulace a demodulace opakujte, proces přidávání šumu a zmírnění, až zjistíte příjem chyby. Nyní přepněte na DPSK a vypracujte závěr z výsledku (nezapomeňte, že diferenciální modulace nemají stejná praktická omezení při vymáhání nositele, jak z nediferenciálních). Nakonec jděte na modulaci a demodulaci QAM a upravte úroveň signálu (útlum a hluk), dokud neuvidíte příjem hluku. Porovnejte s následujícími modulacemi.



Obrázek 125: Nejlepší je DPSK, méně náchylná na šumy

## 4.15 Oční diagramy

### 4.15.1 Cíl cvičení

Jednou z metod hodnocení kvality digitálního komunikačního systému je oční diagram, který zobrazuje některé problémy v komunikaci. Měli bychom vizualizovat a analyzovat různé oční diagramy, založené na pásmu vysílající impulzy, na které jsou přidávány útlum

a hluk. A nakonec to bude použito ke sledování kvality jednotlivých komunikačních kanálů na nástroj.

#### 4.15.2 Teoretické základy

Kapitola 4: Výkyvy fáze-oční diagramy

#### 4.15.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Optické vlákno
- Dvě antény
- Dvě sondy osciloskopu

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

#### 4.15.4 Oční diagramy (základní pásma přenosu)

Propojte moduly vysílače i přijímače pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena takto:

Vysílač:

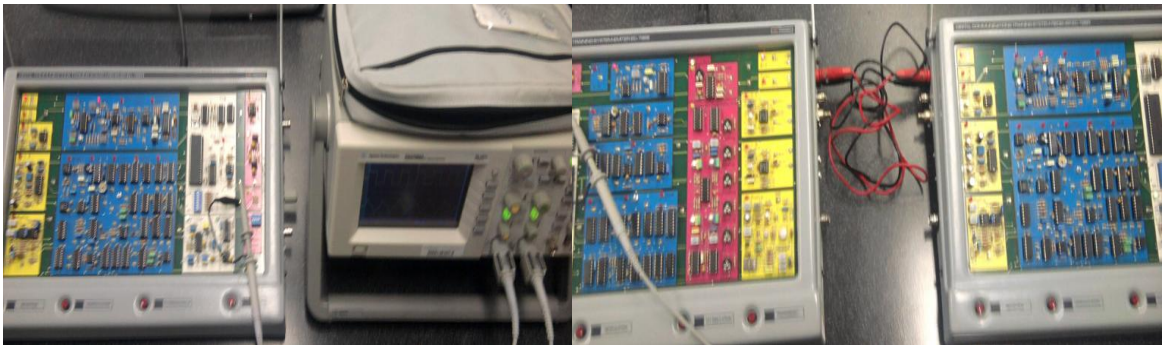
- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: BB
- Kanál simulátoru: přímý
- Dvojlinka výstupu

Přijímač:

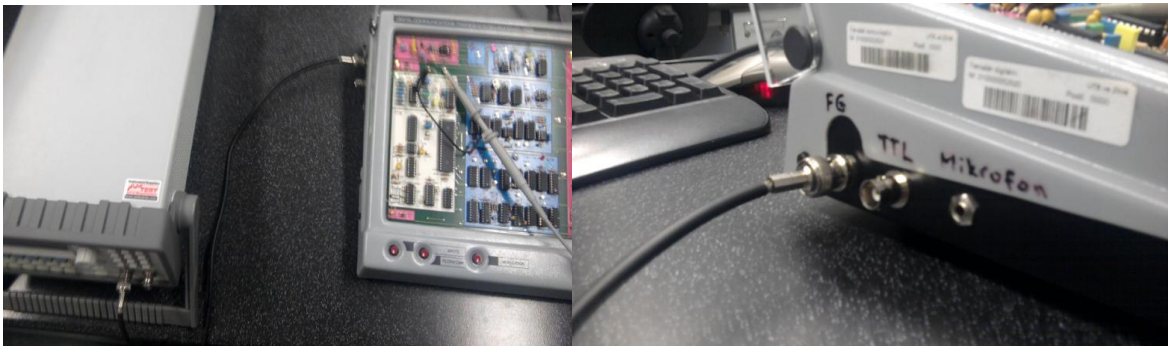
- Dvojlinka vstupu

- Demodulace: BB
- Rekonstruktor filtr: ON, expandér: OFF
- Výstupní signál

Připojili jsme funkční generátor na vstupní signál (BNC1) a nastavili amplitudu na generátoru 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz. Zobrazili jsme vstupní signál na TPE1 na jednom z kanálů osciloskopu a zpětný signál na TPR41 na jiném kanálu.



*Obrázek 126: Propojení modulů vysílače a přijímače pomocí dvojlinky a umístění sondy osciloskopu*



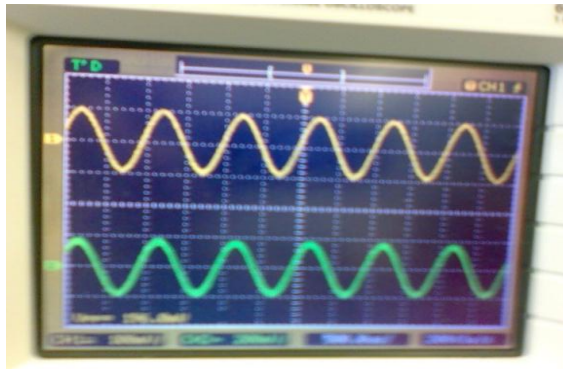
*Obrázek 127: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC1*

Zkontrolovali jsme, zda systém pracuje správně. Dále připojíme kanál 1 na TPE13 (synchronizované hodiny s výstupem UART dat) a zobrazením přijímaného signálu TPR2 na kanálu 2.

Aby bylo možné lépe zobrazit oční diagram, doporučuje se aby:

- a) Zobrazení mezi jedním a dvěma doby signálu TPE13 na osciloskopu
- b) Zesílit signál na TPR2 na svislé měřítko
- c) Zesílení osciloskopu, míra kontroly

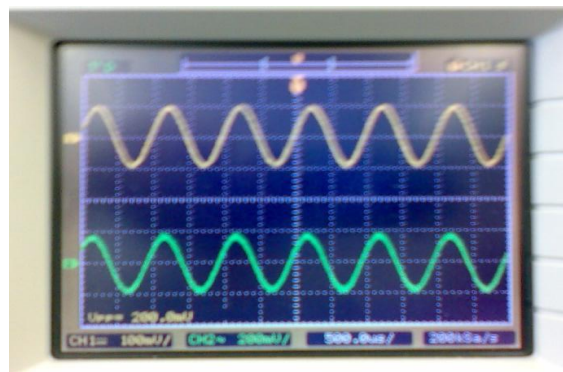
Mezeru, která se objeví mezi vysokou a nízkou úrovní přechodů je známá jako oko.



Obrázek 128: Zobrazený signál na TPE13 a TPR2

#### 4.15.5 Oční diagramy s poruchami kanálu

Zvolili jsme kanál degradující kanály a nastavili jsme všechny potenciometry napravo. Otočili jsme útlum potenciometru a pozorovali na TPR2, jak se oko svisle zavírá. Dále jsme nastavili útlum přibližně do poloviny bodu a tím, že jsme přidali hluk (potenciometr 6), zpozorovali jsme, jak se oko vertikálně zavřelo, a jak přicházely méně definované přechody. Test jsme opakovali přidáním hluku a útlumu, dokud jsme na sluchátkách neslyšeli, že se příjem nezdařil.



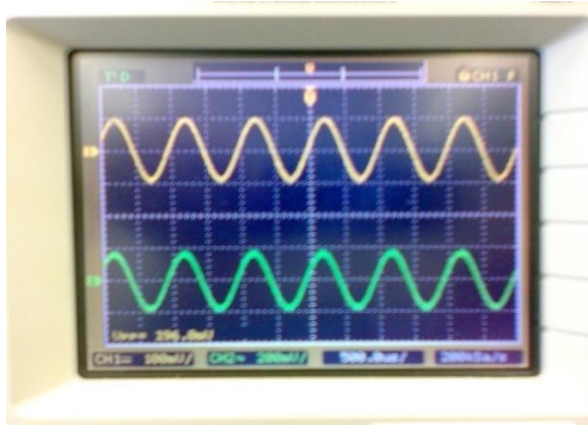
Obrázek 129: Potenciometr P6, slyšíme šum

Tento test může být rovněž proveden s potenciometry P2, P3, P4 nebo P5. Opakujte test přidáním hluku a útlumu při poslechu na sluchátkách, dokud se příjem nezdaří. Jakmile k tomu dojde, uvidíte, že je nemožné definovat, kde vysoké a nízké úrovně a přechody jsou na oko diagramu.

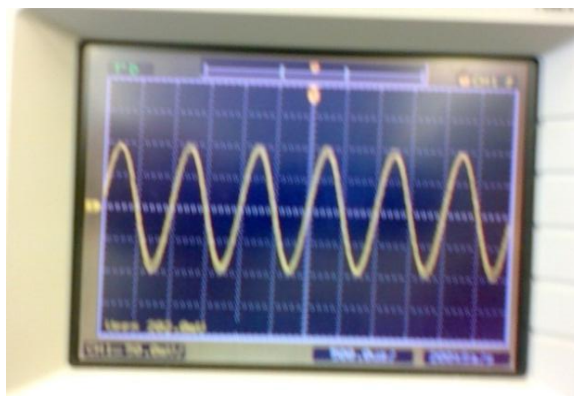


#### 4.15.6 Diagram oka v různých komunikačních kanálech

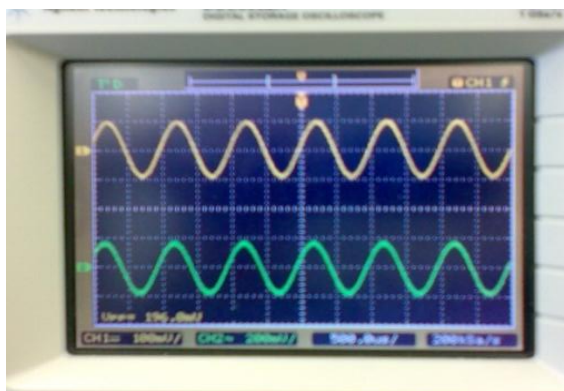
Vybrali jsme jiný způsob přenosu a všechny jsme je postupně připojili: dvojlinka, koaxiální přenos, optické, infračervené, radiové.



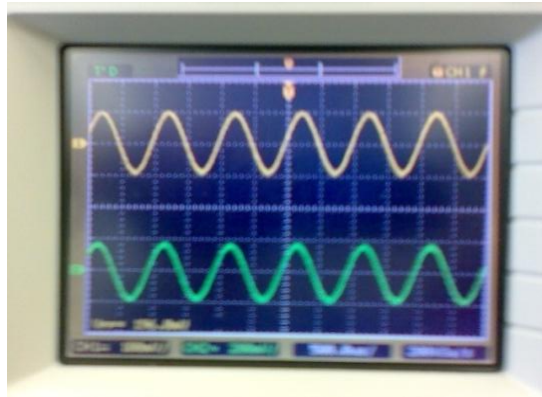
*Obrázek 130: Dvojlinka*



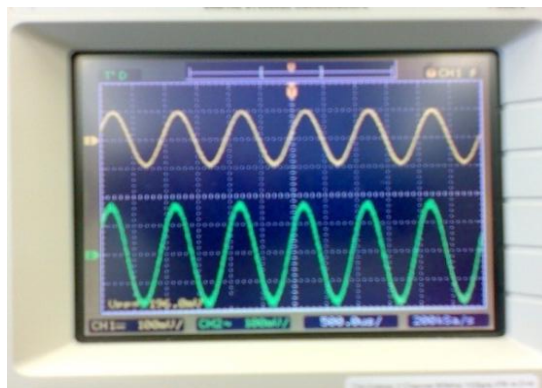
*Obrázek 131: Koaxiální přenos*



*Obrázek 132: Optický přenos*



*Obrázek 133: Infračervený přenos*



*Obrázek 134: Radiový přenos*

## 4.16 Schéma modulačních fází

### 4.16.1 Cíl cvičení

Budeme porovnávat jejich modulace na základě jejich sestavy. Z nich můžeme vidět působení hluku a útlumu.

### 4.16.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Příloha H: sinusové signály

### 4.16.3 Požadované vybavení

#### Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

#### Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 4.16.4 Sestava

Moduly vysílače i přijímače propojíme pomocí dvojlinky a zapneme je. Tlačítka by měla být nastavena na následující pozice:

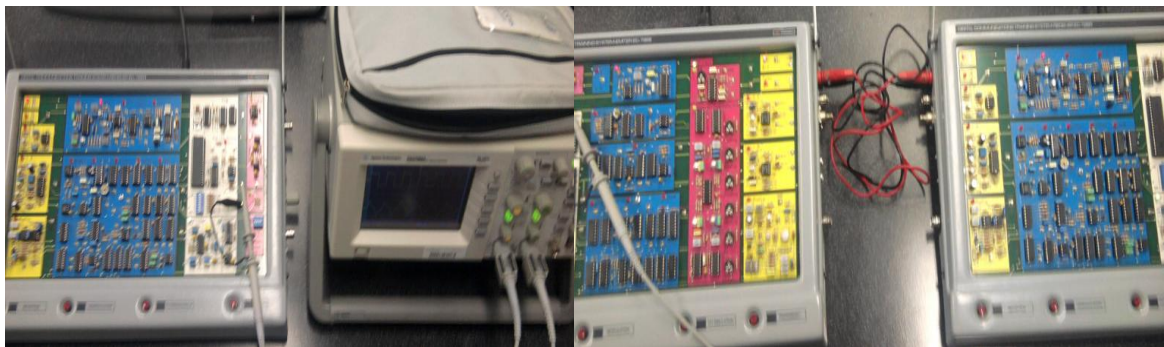
#### Vysílač:

- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Dvojlinka výstupu

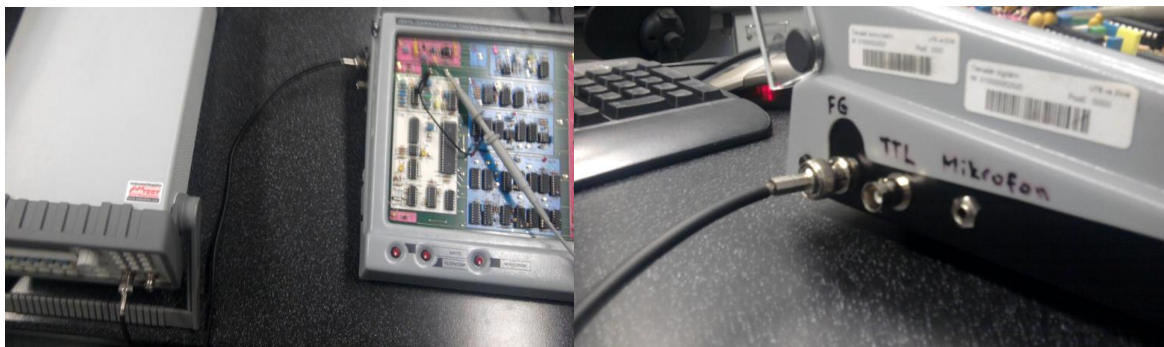
#### Přijímač:

- Dvojlinka vstupu
- Demodulace: QPSK
- Rekonstruktor filtr: ON, expandér: OFF
- Výstupní signál

Připojili jsme funkční generátor do vstupního signálu (BNC1) na sinusoidu 2 V<sub>pp</sub> a amplitudu 1 kHz. Zobrazili jsme si vstupní signál na TPE1 na jednom kanálu osciloskopu a zpětný signál na TPR41.

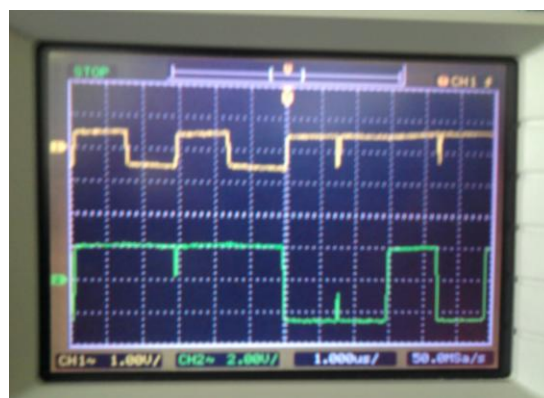


*Obrázek 135: Propojení modulů pomocí dvojlinky a umístění sondy osciloskopu*



*Obrázek 136: Propojení generátoru se vstupem přijímače BNC1*

Zkontrolovali jsme, zda všechny fázové modulace pracovaly správně. Provedli jsme experiment QPSK modulaci a demodulaci připojením kanálu 1 na TPR14 a kanálu 2 na TPR15. Experiment jsme opakovali s DQPSK modulací a demodulací, tentokrát umístění sondy na kanálu 1 (TPR30) a kanálu 2 (TPR31).



*Obrázek 137: Sondy DQPSK modulace na TPR30 a TPR31*

**Zobrazení další etapy modulace:**

Další fáze modulace nepoužívají součásti, které mohou být pozorovány  $90^\circ$  z fáze. Vyberte BPSK a DPSK modulaci a demodulaci. Připojte pouze jeden kanál osciloskopu k bodu TPR2 (přijímaného signálu) a dále osciloskopu v režimu XY. Nyní vyberte kanál degradace a poznamenejte, že body se přiblížily společně na zeslabení signálu a disperzní o přidání hluku.

Můžete zopakovat experiment na DPSK. Zobrazit QAM, připojte kanál 1 na TPR2 a kanál 2 na TPE14 (vysílacích hodin). Nastavte osciloskop v režimu XY (AC) a upravte vertikální zesílení v případě potřeby. Uvidíte osm bodů, které nějakým způsobem odpovídají na osm symbolů QAM modulace. Výběrem degradace kanálů dodržujte účinek, polehčující přenášeným signálem a šumem.

**4.17 Porovnání modulačních přenosových rychlostí****4.17.1 Cíl cvičení**

Budeme srovnávat maximum bitů za sekundu, které mohou být vysílané pomocí rozdílných modulací. Jedná se o orientační cvičení s jinými obvodovými nástroji a může fungovat odlišně.

**4.17.2 Teoretické základy**

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

Kapitola 6: Demodulace

**4.17.3 Požadované vybavení**

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor

- Osciloskop

#### 4.17.4 Porovnání přenosových rychlostí dat pro TTL vstup

Moduly vysílače i přijímače propojíme pomocí dvojlinky a zapneme je. Tlačítka by měla být nastavena na následující pozice:

##### Vysílač:

- TTL vstup
- Antialiasing filtr: OFF, kompresor: OFF
- Modulace: BB
- Kanál simulátoru: přímý
- Dvojlinka výstupu

##### Přijímač:

- Dvojlinka vstupu
- Demodulace: BB
- Rekonstruktor filtr: OFF, expandér: OFF
- TTL výstup

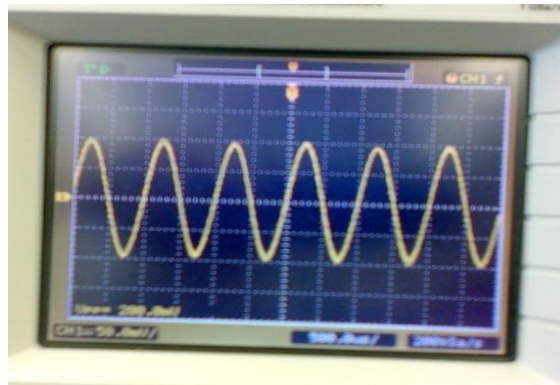
Připojili jsme funkční generátor na vstup TTL (BNC2) na frekvenci 1 kHz. Zobrazili jsme vstupní digitální signál na TPE4 kanál 1 a zpětný signál na TPR41 na druhém kanálu nebo přijímač TTL (BNC 2) na jiné.



Obrázek 138: Propojení modulů pomocí dvojlinky a umístění sond osciloskopu



Obrázek 139: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC2 (TTL)



Obrázek 140: TPE42 a TPR41

Zdá se vám, že signál už je správný. Opakujte proces pro každé odlišení a vyplňte následující maximální rychlost přenosných bit pro každou modulaci na základě maximální rychlosti, při které se podařilo předat správně. Určete bps z předchozí frekvence.

Tabulka 7: Typy modulací a jejich rychlosti

Modulace	Rychlost (Kbps)
Pásmo	-
ASK	260 Kbps
FSK (DFD)	252 Kbps
FSK (PLL)	255 Kbps
BPSK	275 Kbps
DPSK	293 Kbps
QPSK	300 Kbps
DQPSK	313 Kbps
QAM	316 Kbps

Pamatujte si, že pro BPSK, QPSK a QAM budete muset vybrat fázi ručně, neboť tyto modulace nejsou zpracovány UART, automatické fáze řízení není aktivováno. Při výběru ruční fáze doporučujeme nastavit generátor (pracovní cyklus) měnit nejméně o 50 %, aby zjistil, zda vrácený signál je převrácený oproti vstupu. Poté se vraťte do výchozího pracovního cyklu, takže výsledky jsou srovnatelné s ostatními modulacemi. Pokud je to nutné upravte kondenzátor C83.

### Závěr všech úloh

Provedli jsme měření od základních způsobů odběru vzorků a kvantizací analogového signálu pro další digitální vysílání, pro všechny základní modulace a demodulace, které jsme mohli vyzkoušet přes komunikační kanál, zhoršený o útlum, hluk nebo interferenci. Měření zahrnuje alternativní formy vizualizace, specifické pro digitální komunikace jako jsou oční diagramy. Použili jsme zvukové subsystemy jako jsou mikrofon a sluchátka. Každý jsme si během celého cvičení vyzkoušeli experimentovat s posloucháním různých typů signálů. Měření bylo úspěšné.



## 5 MANUÁL PRO STUDENTY

### 5.1 A/D a D/A převod, vzorkování a kvantování

#### 5.1.1 Cíl cvičení

Hlavním cílem tohoto cvičení je seznámit se s účinky signálu vzorkovaného a kvantovaného. Nejdříve budeme dělat pokusy na osciloskopu, vizuální dopady správného a nesprávného vzorkování a formy kvantizačního signálu. Za druhé budeme poslouchat účinky kvantování a příznivý účinek komandéru na zvukové signály. Nakonec budeme zkoumat účinky spojené s redukcí šířky pásma kanálu a hluku.

#### 5.1.2 Teoretické základy

Teoretické základy nutné k pochopení a správného provádění cvičení:

Kapitola1: Digitální komunikace

Kapitola2: Vzorkování, kvantování a kódování

Kapitola3: Přenosový kanál

#### 5.1.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dva BNC - BNC (koaxiální) kabely
- Dvě sondy osciloskopu
- Dva kabely banán- banán
- Optická vlákna
- Dvě antény
- Mikrofon
- Sluchátka

Potřebné nástroje:

- Osciloskop, funkční generátor

**5.1.4 Stanovení vzorkovací frekvence**

Po připojení vysílače a přijímače pomocí dvojlinky, koaxiálního kabelu, optického vlákna a radiové antény, zapněte vysílač a přijímač.

**Vyberte následující pozice pomocí tlačítek:**Vysílač:

- Vstupní signál
- Antialiasing filtr: **OFF**, Kompresor: **OFF**
- BB (pásmo přenosu)
- Výstupní signál
- Výstup dvojlinky

Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- BB (pásmo příjmu)
- Výstupní signál
- Reconstructor filtr: **OFF**, expandér: **OFF**

**Průchod přes dvojlinku**

Funkci generátoru jsme nastavili na sinusovou frekvenci cca 1 kHz a amplitudu 2 V<sub>pp</sub>, AC.

**5.1.5 Filtr obnovy**

Kanál 1 jsme připojili na TPE1 a kanál 2 na TPR41. Vstup jsme nastavili na TPE1 až na 3.5V<sub>p</sub> a na 1kHz. Všechny mikropsínače do polohy **ON**. Spojili jsme je s přijímačem pomocí odpovídajícího tlačítka do polohy **ON**. Dodrželi jsme zpětný signál a opakovali proces snižování počtu komunikačních bitů. Ověřili jsme, že snížením počtu bitů je hluk přidán do obnoveného signálu.

### 5.1.6 Účinky antialiasingového filtru

Nechali jsme sondy tam kde jsou, připojené s recontructor filtr bez antialiasingového filtru a všechny mikrospínače na SW2 v poloze **ON**. Vypočítali jsme rozdíl mezi vstupní frekvencí a získané vzorkovací frekvence.

Rozdíl se shoduje s výstupní frekvencí. Aby nedocházelo k těmto nesprávným frekvencím a nepřesnostem. Připojili jsme antialiasing filtr a generátor jsme nastavili na 1 kHz, zkontrolovali, zda frekvence signálu má šířku pásma 300 – 3400 Hz.

### 5.1.7 Zvukové signály

Zapojili jsme mikrofon na vstupní jack a stiskli tlačítko pro vstup mikrofonu. Připojíme sluchátka do konektoru jack přijímače a vybrali jsme zvukový výstup. Upravujeme hlasitost sluchátek do té doby, dokud neuslyšíme jasně partnera mluvícího do mikrofonu. Ideální nastavení se nám podařilo po 4. pokusu.

### 5.1.8 PCM signál (v přenosovém pásmu)

Frekvenci jsme nastavili na 1 kHz, ale i přesto je amplituda 1 Vpp.

## 5.2 Modulace a Demodulace v ASK

### 5.2.1 Cíl cvičení

V tomto cvičení budeme experimentovat s nejjednodušším způsobem dělení modulace a demodulace ASK.

### 5.2.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace při souvislé kariéře

- Oddíl 3.1: ASK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.1: ASK

### 5.2.3 Požadované vybavení

#### Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC - BNC kabel
- Dvě sondy osciloskopu

#### Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.2.4 Operace s modulátorem a demodulátorem

Nastavení tlačítek takto:

#### Vysílač:

- Vstup signálu (sig.)
- Vyhlazovací filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: ASK
- Simulátor kanálu: přímý
- Výstup dvojlinky

#### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: ASK
- Rekonstrukční filtr: ON, expandér: OFF
- Výstup signál

Připojili jsme vysílač a přijímač pomocí dvojlinky a zapnuli jsme oba modely. Nastavte funkci generátoru na 2V a 1 kHz. Pozorujte přenášený signál TPE1 na kanálu 1 z osciloskopu a přijatý signál na TPR41 na kanále 2 osciloskopu.

**Modulátor:**

Jakmile jsme si ověřili, že systém funguje správně, připojili jsme kanál 1 k testovacímu bodu TPE4 a kanál 2 k testovacímu bodu TPE24, oba na vysílači. Uvidíme výstupní UART signál na TPE4 (modulovaný signál) a ASK modulovaný signál na TPE24. Vypneme generátor pro lepší zobrazení dvou kanálů osciloskopu. Všimněte si, že pro 1 nastane kmitání u TPE24, zatímco pro nulu neexistuje. Je pouze v nepřetržité úrovni (OOK modulace). Změřte frekvenci kmitání v bodě TPE7 na vysílači.

- Frekvence kmitání v bodě TPE7:  $f =$

**Demodulátor:**

Měření šířky pásma přijímače dolní propustí. Připojte generátor v režimu TTL na BNC2 vstup a zvolte TTL vstup a základní pásmo (BB) vysílání. Tak generátor pulzů TTL jde přímo na přijímač (je to stejné, jako by byl přímo připojen generátor s přijímacím modulem). Výstup dolní propusti, který doladuje ASK, je na zkušebním bodě TPR3. Změnou frekvence generátoru TTL najdete rezonanční kmitočet filtru (maximální amplituda frekvence). Od tohoto bodu zvyšte a snižte frekvenci za účelem zjištění šířky pásma při 3 dB (snížení faktoru z 0,7 na zesílení s ohledem na hodnotu rezonance). Zapište výsledky:

*Tabulka 8: Rezonanční kmitočet*

Nižší cut-off frekvence (3 dB):	<b>kHz</b>
Horní cut-off frekvence (3 dB):	<b>kHz</b>
Filtr šířky pásma (v 3 dB):	<b>kHz</b>

**Demodulace signálu:**

Znovu připojte generátor signálu v režimu (BNC1), zvolte vstupní signál (2V a 1 kHz) a ASK modulace. Nyní se dívejte na výstup demodulačního filtru (TPR3) a porovnejte ho s modulovaným signálem na TPE24. Připojte sondy v současné době na vysílač k bodu TPR6 přijímače, který odpovídá výstupu detektoru. Tento signál je později tvořený do impulzů o komparátor, jehož výstup je testový bod na TPR36 (spouštěcí úroveň komparátoru je pevná a mohou být měřené na TPR10). Ověřili jsme, že signál je stejný jako generovaný od vysílače UART na TPE4.

## 5.3 FSK modulace, dvojí filtrová demodulace (DFD)

### 5.3.1 Cíl cvičení

Toto cvičení experimentuje s DFD signálem modulace a demodulace s využitím základních měřících dovedností (filtrů), které jsme se naučili již v předchozích cvičeních. Demodulace je založena na dvojích filtrech (DFD). V pozdějších cvičeních budeme zkoušet jiné demodulátory a srovnávat některé funkce ASK a FSK modulace, stejně jako demodulace založené na DFD a PLL.

### 5.3.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.2: FSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.2: FSK-DFD

### 5.3.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- Dvě sondy osciloskopu
- BNC-BNC kabel

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.3.4 Modulátorové a demodulátorové operace

Připojte přijímací a vysílací moduly pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena takto:

Vysílač:

- Vstupní signál
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor : **OFF**
- Modulace: FSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup dvojlinky

#### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: FSK (DFD)
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

Natavíme sinusoidu na 2 Vpp a 1 kHz na funkčním generátoru. Pozorujte přenos signálu na TPE1 kanál 1 a přijímacího signálu v místě TPR41 na kanálu 2.

#### Modulátor:

Připojte sondu k testovacím bodům TPE4 (UART výstup) a TPR2 (FSK modulovaný signál), vypnutý generátor pomůže k synchronizaci. Ručně upravit synchronizaci na osciloskopu a uvidíte, že tam je vysoká frekvence, když výstup na vysílači UART je na nule a další nižší frekvence (synchronizace s kanálem pro měření TPR2). Všimněte si, že je tam jiná amplituda pro každý kmitočet. To je proto, že zesílení modulu filtru je také jiné pro každou frekvenci. Je obtížné změřit tyto kmitočty bez sofistikovaných osciloskopů. Pokud ho nemáte, připojte generátor v TTL režimu a zvolte velmi nízkou frekvenci řádově 0,1 až 0,2 Hz. Nyní budete schopni měřit nosnou frekvenci pro vstupní signál vysoké a nízké úrovně.

#### Demodulátor:

Jednou ze dvou frekvencí, vytvořených modulem generování FSK, je stejná jako jedna používaná pro ASK, zatímco druhá je mimo filtr přijímače, vztahující se k úloze 2. Ověřte, jestli je ASK demodulátor schopný detekovat FSK modulované signály. Dejte to do modulátoru, FSK mód a demodulátoru v ASK a potom uvidíte signál vysílaný pomocí funkcí generátoru TPE1 (nyní zapněte generátor) a signál vraťte do TPR41.

Ano, je schopný detekovat FSK modulované signály.

### 5.3.5 Měření přenosového pásma filtru šířky pásma pro vysoké frekvence

Připojte funkci generátoru v režimu TTL na vstupní BNC2, vyberte TTL vstupy a pásmo vysílače. Přenosové pásmo výstupního filtru, které doladuje nejvyšší frekvenci FSK, je testováno v bodě TPR4. Změnou frekvence generátoru TTL najdete rezonanční frekvenci filtru (maximální zesílení frekvence). Na základě snížení a zvýšení frekvence s cílem odhalit šířku pásma ve 3 dB (měli byste znát už postup z předchozího cvičení).

*Tabulka 9: Rezonanční frekvence*

Nižší cut-off frekvence (3 dB):	<b>kHz</b>
Horní cut-off frekvence (3 dB):	<b>kHz</b>
Filtr šířky pásma (v 3 dB):	<b>kHz</b>

## 5.4 Porovnání ASK a FSK

### 5.4.1 Cíle cvičení

Experimentujeme s ASK a FSK modulací detekované duálními filtry. Budeme porovnávat obě modulace v podmínkách citlivosti na hluk a šířku pásma.

### 5.4.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace při souvislé kariéře

- Oddíl 3.1: ASK
- Oddíl 3.2: FSK

Kapitola 5: Porovnání modulací

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.1: ASK
- Oddíl 6.2: FSK-DFD

Kapitola 7: Přenosový kanál



### 5.4.3 Požadované vybavení

#### Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- Dva BNC – BNC kabely
- Kabel s optickými vlákny
- Dvě antény
- Mikrofon
- Sluchátka

#### Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.4.4 Porovnání pravděpodobnosti chyb

Zapněte vysílací a přijímací modul a nastavte tlačítka následovně:

#### Vysílač:

- Vstup signálu (sig)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: ASK
- Simulátor kanálu: zapnuta LED dioda degradace kanálu
- Výstup dvojlinky

#### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demulace: ASK
- Rekonstruktor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstup signálu

Ujistěte se, že je vypnut hluk a interference (potenciometry zcela vpravo), a že nedochází k zeslabení (potenciometr zcela vlevo). Připojte funkční generátor ke vstupu signálu (BNC1) se sinusovým průběhem o amplitudě 2 V a frekvenci 1 kHz.

Pozorujte vstupní signál na TPE1 pomocí jednoho kanálu osciloskopu a signál na TPR41 na kanálu dvě. Pozorujte signál na TPR41 na osciloskopu a zvyšujte potenciometr hluku, dokud nebude jeho efekt vidět na pozorovaném signálu. Změňte na FSK modulaci a demodulaci. Která z těchto modulací je více odolná proti hluku?

Zrušte hluk (potenciometr zcela vpravo) a nastavte modulátor a demodulátor na ASK. Zaveďte interferenci o frekvenci 390 kHz použitím potenciometru (pamatujte, že tato frekvence je používána jak u FSK, tak u ASK modulací), dokud nevidíte čistý pokles signálu pozorovaného na TPR41. Nyní přepněte na FSK modulaci a demodulaci.

**Která modulace je méně citlivá na interferenci?**

#### **5.4.5 Komunikační kanály**

Vyberte přímé připojení vedené z modulu poruch na vysílači. Tímto provedením nebude kanál dále degradován. Při ASK modulaci a demodulaci s jednou sondou na přijímač TPR41 a druhou na TPE1 na vysílači. Porovnejte kvalitu přijatého signálu při změnách na komunikačním kanálu (nezapomeňte vybrat kanál na přijímači podle nastaveného kanálu na vysílači). Věnujte zvýšenou pozornost infračervenému kanálu. V cvičení 1 jsme viděli, že toto byl kanál s největším hlukem. Nicméně pracuje lépe při ASK modulaci než při FSK modulaci, což může vyvrátit experiment, kde bylo prokázáno, že FSK modulace byla nejodolnější proti hluku.

Pro ASK dvojlínku je průběh takový:

FSK:

#### **5.4.6 Zvukové signály**

Připojte mikrofon na vstup a sluchátka na výstup pomocí vhodných tlačítek. Pohrajte si s modulem rušení během toho, jak váš partner mluví do mikrofonu a porovnejte kvalitu audio signálu se signálem zobrazeným osciloskopem (bod přijímač TPR41). Věřte, že oproti analogovému signálu může nastat při digitální modulaci náhlá chyba: modul přestane prakticky pracovat.

Nejlépe bylo slyšet přes direkt se šumem na ostatních. Mluvenou řeč nejvíce ovlivnily degradace signálu v nižších frekvencích.

## **5.5 Posuzování PLL**

### **5.5.1 Cíl cvičení**

Cílem tohoto cvičení je seznámit se s PLL před jeho použitím při specifických aplikacích. Budeme porovnávat, jak pracují v otevřené a uzavřené smyčce. Dále budete měřit operační napětí.

### **5.5.2 Teoretické základy**

- Příloha F: Operační principy PLL
- Příloha G: Charakteristiky PLL (NE564)

### **5.5.3 Požadované vybavení**

Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### **5.5.4 Činnost v otevřené smyčce**

Připojte vysílač a přijímač pomocí dvojlinky, zapněte oba moduly a tlačítka nastavte takto:

Vysílač:

- TTL vstup

- Modulace: základní pásmo (BB)
- Simulátor kanálu: přímý
- Výstup dvojlinky

#### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: FSK (PLL)
- Výstupní signál

Propojte funkční generátor pro přijímání TTL signálu (BNC2). Otevřete vypínač u přijímače SW4 (umístěte uzávěrku na dva pravé piny, abychom ponechali PLL bez vstupu) pro odpojení vstupu a otevření vypínače SW1 (umístěte uzávěrku na horní dva piny pro otevření smyčky VCO) pro ponechání PLL v otevřené smyčce. Nastavte kanál 1 osciloskopu na bod TPE 4 a kanál 2 osciloskopu na TPR43 (přijímač), vždy uzemnit.

Uvidíte výstupní UART signál na TPE4 a výstupní frekvenci PLL (výstup VCO) na TPR43. Nastavte funkční generátor na 400 kHz a postupnými změnami frekvence generátoru vyhodnoťte, zda nemůže VCO na PLL sledovat vstupní frekvenci.

Synchronizací s kanálem 2 osciloskopu změřte volnou kmitavou frekvenci (střední) na VCO:

#### Střední frekvence VCO

### **5.5.5 Činnost v uzavřené smyčce**

#### Měření operačního napětí

Nastavte generátor funkcí na VCO střední frekvenci. Postupně zvyšujte frekvenci generátoru, dokud detekujete VCO signál přichycený na vstupní signál osciloskopu. Zapište hodnotu frekvence. Opakujte operaci se snižováním frekvence. Interval mezi oběma frekvencemi je sledování na PLL.

*Tabulka 10: Frekvence na PLL*

<b>Horní mezní frekvence</b>	
<b>Dolní mezní frekvence</b>	
<b>Sledované rozpětí na PLL</b>	

Sledovací rozpětí je měřítko převzaté na PLL s jejichž přichyceným VCO. Nyní budeme měřit zadržovací napětí, parametr převzatý z PLL při nepřichycené VCO na vstupní signál. Nastavte funkční generátor na 100 kHz: zkontrolujte, že VCO není přichyceno (zablokováno). Pomalu zvyšujte frekvence generátoru, dokud se VCO nepřichytí a запиšte hodnotu této frekvence. Opakujte tento proces od frekvence 900 kHz a запиšte opět hodnotu, kdy to nastane. Interval mezi těmito frekvencemi je zadržovací rozpětí PLL.

Zadržení frekvence: Od:   kHz

Do:   kHz

## **5.6 FSK demodulace s použitím PLL**

### **5.6.1 Cíle cvičení**

Viděli jsme PLL v předchozím cvičení a budete nyní používat demodulaci FSK signálu.

### **5.6.2 Teoretické základy**

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním dopravci

- Oddíl 3.2: FSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.3: FSK (PLL)

Dodatek F: Provozní zásady PLL

Dodatek G: Charakteristika PLL (NE564)

Dodatek I: Spektrální frekvence

### 5.6.3 Požadované vybavení

#### Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

#### Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.6.4 Demodulace FSK signálu

Po připojení vysílače a přijímače dvojlinkou můžeme moduly zapnout.

Tlačítka přístrojů by měla být nastavena takto:

#### Vysílač:

- Vstup signálu (sig.)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: FSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup dvojlinky

#### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace FSK (PLL)
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

Zapněte funkční generátor a nastavte sinusoidu na 2 V<sub>pp</sub>, frekvenci 1 kHz. Zkontrolujte správnou funkci modulace, přenosu a demodulace pomocí osciloskopu – kanál 1 na TPE1 a kanál 2 na TPR41.

Potom připojte kanál 2 osciloskopu na PLL výstup TPR8 (tento výstup se shoduje s kontrolou VCO vstupu). Připojte kanál 1 na TPE4 (pulzy vyzářené od UART), vypnout generátor pro lepší synchronizaci osciloskopu. Uvidíte, že PLL sleduje vstupní impulzy s možnou změnou polarity. Narušení vlivem kanálu na chvění (skoky fáze signálu).

Zvolený kanál degradace vedl na vysílač modulu. Zrušit všechny rušení a šum (*hluk*), zeslabení signálu (potenciometry vpravo). Pozorujte, jak se přidáním šumu nebo rušením vytváří falešné uzavření VCO na PLL (chvěním), zobrazení signálu měřené na TPE38. Můžete si všimnout, že účinky frekvence 166 kHz, a to v rámci rozpětí zachycené PLL měření v předchozím měření, jsou rovněž zjištěny. Vysoké hodnoty ze signálu může způsobit sytost v některých zařízeních (nelinearit), generování atd. Přerušovaný signál produkující vyšší harmonické signály jako pro vysoké hodnoty amplitudy rušení 166 kHz, může přinést další z 332 kHz, 498 kHz atd.

### **Vymáhání sinusového signálu**

Připojte funkční generátor a sondy osciloskopu na TPE1 a TPR41, pak se přepnout na rušení kanálu. Je šum, který vidíte na osciloskopu, navrstvený na sinusoidě při změně amplitudy o šumový generátor významný? Připojte sluchátka do konektoru přijímače a vybrat zvukový výstup, s filtrem rekonstruktor aktivován a bez expandéru. Uslyšíte pískání sinusoidy, kdy není hluk přidán. Postupně zvyšujte generátor šumu a budeme moci porovnat to, co vidíte na osciloskopu se zvukovým signálem.

Nyní připojte mikrofon k vysílači a vyberte mikrofonní vstup. Kromě toho ještě aktivujte antialiasing a rekonstruktor filtr, kompresor a expandér. Porovnejte kvalitu příjmu vašeho hlasu s partnerem. Opakujte operaci s tím, že odstraníte expandér a kompresor, ale filtry jsou zapnuté. Nastavte úroveň hluku, dokud to může jen být slyšeno. Nyní stejně jako filtry připojte kompresor a expandér. Pamatujte si, že komandér účinek je rovnocenný s použitím více bitů a A/D a D/A konverzi a to kvantizační šum je produkován v opačném směru k počtu bitů.

## 5.7 Srovnání mezi FSK (DFD) a mezi PLL

### 5.7.1 Cíl cvičení

Budeme porovnávat různé funkce duálního filtru demodulátoru (DFD) s těmi PLL. Konkrétně uvidíte odolnost proti šumu (hluk), rušení a citlivost při přijímaných signálech jsou slabé.

### 5.7.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním dopravci

- Oddíl 3.2: FSK

Kapitola 5: Srovnání modulací

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.2: FSK (DFD)

- Oddíl 6.3 : FSK (PLL)

Dodatek F: Provozní zásady PLL

Dodatek G (nepovinné): Charakteristika PLL (NE564)

### 5.7.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop



#### 5.7.4 Porovnání pravděpodobnosti chyb

Spojte vysílač a přijímač dvojlínkou a zapněte je. Tlačítka by měla být nastavena na následující konfiguraci:

##### Vysílač:

- Vstup signálu (sig.)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor **OFF**
- Modulace: FSK
- Kanál simulátoru: aktivace kanálu degradace LED
- Výstup dvojlínky

##### Přijímač:

- Vstup dvojlínky
- Demodulace: FSK (DFD)
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

Ujistěte se, že všechny šумы a rušení jsou zrušeny a že neexistuje útlum (útlum potenciometru plně ve směru hodinových ručiček). Zapojte funkční generátor na vstup signálu (BNC1), nastavte amplitudu sinusoidy na 2V<sub>pp</sub> a při 1 kHz.

Zobrazte výstupní signál na osciloskopu TPE1 na prvním kanálu a obnovený signál TPR41 na jiném kanálu.

Nastavte 500 kHz na maximum. Poznamenejte, že to není nápadné na obnovený signál. Vypněte funkční generátor: výstup na 0 voltů a účinky 500 kHz jsou téměř neznatelné. Přepnout přijímač do FSK (PLL). Vysvětlete, proč PLL je citlivý na rušení 500 kHz s ohledem na jeho zachycení okraje. Připojte funkční generátor, tentokrát ponechá 390 kHz rušení. Zjistěte výsledek, kdy se objeví DFD (pamatovat mimo pásmo).

#### 5.7.5 Porovnání citlivosti

Zrušit všechny rušení a šum, pomocí duálního filtru detekce (DFD) a zeslabení signálu až ztratíme komunikaci. Nyní můžete přejít na PLL detekci. Tu si můžete dokonce pokusit

zmírnit na maximum. Při interpretaci výsledku pamatujte, že PLL skupiny jsou vstupní frekvence, amplituda není tak důležitá. Jak dlouho tam přetrvá nějaký druh signálu, tak dlouho to bude fungovat správně.

## 5.8 Obnova nositele

### 5.8.1 Cíl cvičení

Před tímto cvičením byla fázová modulace a demodulace, v tomto cvičení se budeme dívat na subsystém společný pro všechny: využití modulovaného signálu frekvence nosiče, odstraněny s fázovými skoky. Tato funkce je velmi významná pro všechny modulace s ne-diferenciální fází.

### 5.8.2 Teoretické základy

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.4: Obnova nositele

Dodatek F: Provozní zásady PLL

Dodatek G (nepovinné): Charakteristika PLL (NE564)

### 5.8.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

#### 5.8.4 Obnovení nositele – nastavení PLL

Připojte vysílač a přijímač pomocí dvojlinky, přepnout na obou modulech. Pomocí tlačítek nastavíme následující stavy:

##### Vysílač:

- Vstup signálu (Sig)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: Přímý
- Výstup dvojlinky

##### Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: QPSK
- Reconstructor filtr: ON, Expandér: OFF
- Výstupní signál

Ujistěte se, že všechny mikro-přepínače na SW3 jsou OFF (přepínače dolů). Zapněte funkční generátor a nastavte sinusoidu na 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz cca.

Zobrazit TPE4 na osciloskopu kanál 1 a signál TPR2 na kanálu 2, synchronizovat osciloskop s tímto kanálem. Úpravou časové základny osciloskopu a vypnutí generátoru pro lepší synchronizaci uvidíte, že modulovaný signál na TPR2 je čtvercový signál, jehož doba není pravidelná, v některých okamžicích je kratší, když je signál fázově změněný.

Nicméně pro tuto chvíli nemusíte mít obavy, QPSK signály budete moci využít k úpravě obnovení nositele. Cílem je získat signál o stejné frekvenci jako pozorované na TPR2, ale bez nesrovnalostí v trvání pulzů (bez skoků fáze). Aby se to povedlo, nastavte kanál osciloskopu 2 na TPR13, což je VCO výstup PLL obnovení nositele a kanál 1 na TPE14, což je vydavatel standardní frekvence, kterou chceme obnovit. Začneme tím, že nastavíme proměnnou kondenzátoru C83 (pomocí plastového šroubováku), který řídí VCO střední frekvenci, dokud signál VCO je synchronizován se signálem na TPE14.

Jako frekvence VCO musí být čtyřikrát větší než obdržený kmitočet k odstranění fáze skoku, musí mít signál na TPR13 čtyři periody, pro každou periodu TPE14. Pokračovat v úpravě potenciometru P1 (PLL pásmo nastavení), dokud se nedosáhne optimální polohy: VCO výstup synchronizovaný (při poměru 1:4) s odkazem frekvencí vysílače na TPE14. Chcete-li obnovit nositele, který odešel z nelineárních prvků signálu došlým TPR2 (zobrazuje na kanálu 1). Na TPR12 budete moci vidět signál (na kanálu 2), který prošel přes nelineární prvky: tento signál obsahuje více harmonických frekvencí se standardní frekvencí (166 kHz při QPSK).

Jak QPSK má čtyři fáze, PLL působí jako velmi úzké pásmo propusti filtru, má uzamknout frekvenci  $4 * 166,6 \text{ kHz} = 666,4 \text{ kHz}$ . To je signál, který budeme moci pozorovat na TPR13 na kanálu 2. Čtyřnásobný frekvenční signál na TPR13 je následně rozdělen na čtyři nástroje. Po připojení na kanál 1 bod vysílače TPE15 uvidíte vysílací frekvenci čtyřikrát. Ta bude sloužit k porovnání se signálem zpět na TPR13 na osciloskopu.

Nyní připojte kanál 1 TPR2 na obdržený QPSK signál, budete moci potvrdit, že je zpět frekvence čtyřikrát QPSK nositelem bez fáze skoku na VCO. Vylepšení úprav o PLL, extrémní podmínky budou použity: vizualizace TPE15 vysílače bodu na kanálu 1 a TPR13 na kanálu 2 a aktivaci kanálu degradace na vysílači modulu polehčující signál, dokud neztratí synchronizaci (pokud se to stane, detekce parity chyb LED se rozsvítí).

Seřídít, je-li to nezbytné variabilním kondenzátorem C83 a potenciometrem P1 tak, aby synchronizace mezi TPE15 a TPR13 byla opět správně. Opakujte pro největší kanál útlumu.

Pozn.: Pomocí tohoto nastavení musíte upravit nositele využití pro signály s 332 kHz jako u BPSK. V tomto případě, protože tam jsou jen dvě možné fáze, bude vrácen signál i na 664 kHz.

## 5.9 BPSK modulace a demodulace

### 5.9.1 Cíl cvičení

Jedná se o první cvičení na fázi demodulátoru, konkrétně o fázovou binární modulaci (BPSK). Po seznámení s úlohou, jak modulátor a demodulátor funguje, uvidíte, jak správně je důležité obnovit nositele.

### 5.9.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.3: BPSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.5: BPSK

### 5.9.3 Požadované vybavení

Požadované vybavení:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.9.4 Provoz modulátoru a demodulátoru

Zapněte vysílač i přijímač a propojte je dvojlinkou. Tlačítka modulů by měly být nastaveny takto:

Vysílač:

- Vstup signálu (Sig)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: BPSK
- Simulátor kanálu: Přímý
- Výstup dvojlinky

**Přijímač:**

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: BPSK
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

Ujistěte se, že všechny SW3 mikro-přepínače jsou vypnuty OFF (směrem dolů). Opusťte nosné využití PLL, jak je stanoveno ve cvičení 8. Nastavte funkční generátor sinusovky na 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz.

Ukažte si předávání signálu TPE1 na osciloskopu kanálu 1 a obdržení signálu v místě TPR41 na kanálu 2. Pokud to nefunguje správně, opakujte nosnou vlnu s úpravou výkonu tak jako ve cvičení 8 (pokud nemáme čas, po kterém bychom mohli nastavit proměnnou kondenzátoru C83 nebo potenciometru P1, TPR41 ukazuje správné využití funkce generátoru sinusovky, když tato metoda nepřináší nejlepší nastavení).

**Modulátor:**

S vypnutým generátorem pomocí synchronizace připojte kanál 1 sondu k vysílači testovacího bodu TPE4 (UART výstup) a kanál 2 na TPR2 přijímače bodu (BPSK modulovaný signál). Uvidíte, že pro každou změnu polarity modulačních signálů se vytváří fázově obrácený modulovaný signál (BPSK). Standardní frekvenci pro generování BPSK je možné měřit na TPE11. Dělá se to s kanálem 1 a vypočtenou dobou tohoto signálu. Zkontrolujte, zda se jedná o stejný průběh jako v TPR2 (BPSK modulovaný signál).

**BPSK nosného kmitočtu:****Demodulátor:**

Připojte kanál 1 k bodu TPE4 (výstup UART vysílače) s vypnutým generátorem a připojíme kanál 2 k bodu TPR16. Jedná se o výstup XOR bloku, který násobí obdrženy BPSK signál a vrací nosnou.

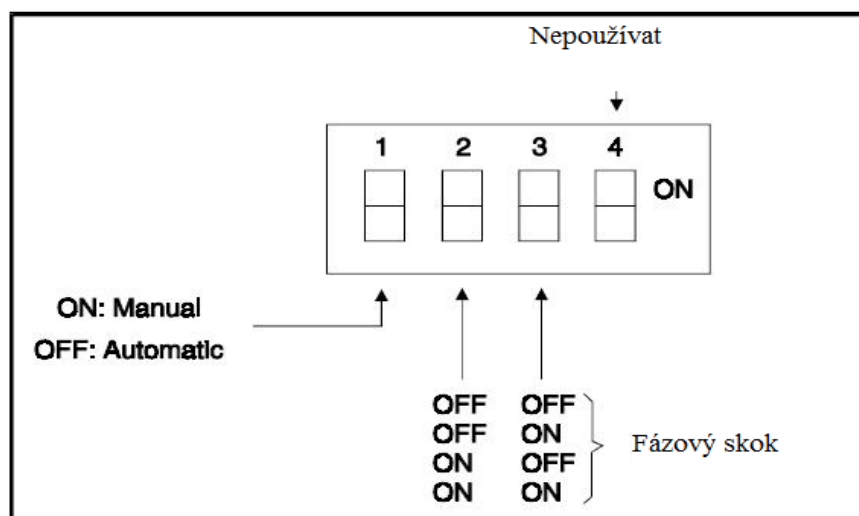
Můžete si všimnout, že signál je zpátky, i když s malými ztrátami kvůli průtahům v digitálních obvodech, k jejichž odstranění je signál z TPR16 poslán přes dolní propust, jehož výstup je na TPR20. Tento výstup zobrazte na kanálu 2. Tento výstup je porovnáván s nepřetržitou úrovní, kterou můžete vidět na TPR21 kanálu 1. Úpravou stopy dvou kanálů

osciloskopu (ujistěte se, že obě sondy mají útlum spínače ve stejné poloze), ve stejném zesílení na obou, uvidíte srovnávací práh. Jeho výstup, který je přijímač UART vstupu, může být vidět na TPR38 kanálu 2.

### Ztráta synchronizace

#### **Ruční výběr fáze**

Umístěte znovu sondy na TPE1 a TPR41, připojte funkční generátor. Obnovený signál by měl být v pořádku. Doteď je detektor automatickým řešením fáze nejednoznačnosti pomocí paritního chybového bitu přijímače UART. Neexistuje žádný způsob se dozvědět, která fáze detektoru pracuje první. Tím, že se SW3 mikro-přepínač I1 dostane do polohy ON, automatické nastavení fáze je zrušeno. Detektor začne od jedné počáteční fáze nebo jiné v závislosti na postavení mikrosřepínače I3. Všimněte si, že v jedné poloze demodulátor pracuje správně a v druhé ne. Můžete zkontrolovat důvod zobrazením TPE4 (UART vysílače výstupu) a TPR16 (XOR výstup) s vypnutým generátorem. Uvidíte, že fázová demodulace se změní o 180 stupňů (změna znaménka) podle polohy I3.



*Obrázek 141: Mikro-přepínač SW3*

Všechny SW3 mikrosřepínače opět vypneme a demodulátor opět automaticky detekuje fázi. Připojení TPE1 na kanál 1 a TPR41 na kanál 2 pomocí funkčního generátoru, který je zapnutý. Nyní způsobíme ztrátu synchronizace v obnovení nositele tím, že změníme proměnou kondenzátoru C83 plastovým šroubovákem. V tomto bodě představit signály na TPR15 a TPR13 a ověřit, že výstup z VCO (PLL) obnovení nositele není uzavřeno (pokud si nasadíme sluchátka, uslyšíme hluk a chyba parity LED také svítí). Obnovit

synchronizace nositele tím, že přednastavíme proměnou kondenzátoru. Zkontrolovat, že sondy na TPE1 a TPR41 fungují správně.

## **5.10 DPSK modulace a demodulace**

### **5.10.1 Cíl cvičení**

Budeme studovat první diferenciální fázovou modulaci se zvláštním důrazem na aspekty, které jej odlišují od předchozích BPSK cvičení: generování a zotavení dabitů.

### **5.10.2 Teoretické základy**

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.4: DPSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.6: DPSK

### **5.10.3 Požadované vybavení**

Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### **5.10.4 Provoz modulátoru a demodulátoru**

Zapneme vysílač i přijímač propojené pomocí dvojlinky. Tlačítka modulů by měly být nastavena takto:



Vysílač:

- Vstup signálu (Sig)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: DPSK
- Simulátor kanálu: Přímý
- Výstup dvojlinky

Přijímač:

- Vstup dvojlinky
- Demodulace: DPSK
- Rekonstrukční filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstup signálu

Ujistěte se, že SW3 mikro- přepínače jsou vypnuty (dolů) a opusťte nosné využití PLL, jak to bylo na konci posledního cvičení.

Nastavte funkční generátor sinusovky na 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz a podívejte se na vysílaný signál osciloskopu kanálu 1 na TPE1 a přijímaného signálu v místě TPR41 na kanálu 2. Pokud nefunguje správně, nastavte proměnou kondenzátorem C83 a nebo potenciometrem P1, dokud se nezobrazí správné využití funkčního generátoru sinusovky na TPR41.

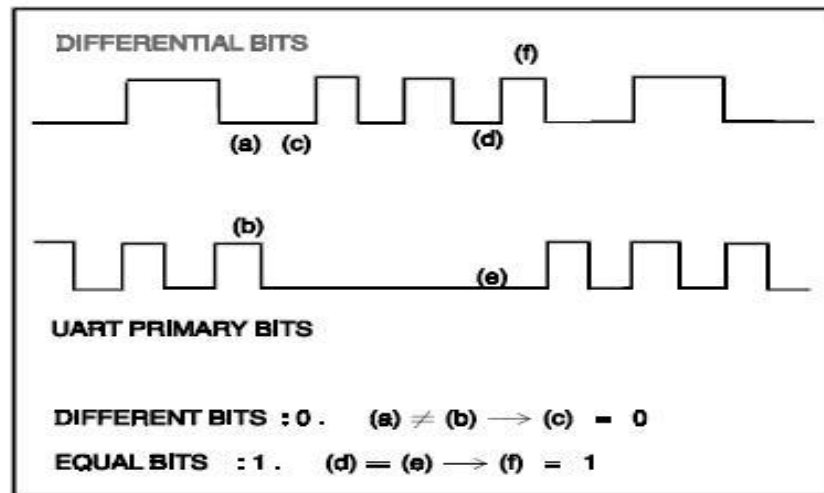
**Modulátor:**

Pomocí vypnutého generátoru připojte pomocí sondy kanál 1 k testovacímu bodu TPE10. To je diferenciální signál (diferenciální bity) vytvořený z vysílače UART výstupních bitů. To je signál, který moduluje BPSK modulátor vytvářený DPSK. Změřte na kanálu 2 bod TPR2 (DPSK modulovaný signál) a uvidíte, že se pro každý modulovaný signál mění polarita, dojde k obrácení fáze modulovaného signálu jako v případě BPSK.

**Generace diferenciálních bitů**

Můžete vidět rozdíl bitů na TPE10 kanál 1 a na TPE4 kanál 2, kde spatříme primární produkci bitů vysílače UART. Všimněte si, že provedením operací na obrázku níže,

můžete rekonstruovat signál na TPE10 obrazovky osciloskopu a TPE4. Použijte režim „chopper“ režim pro toto cvičení.



Obrázek 142: Provedení operací diferenciálních bitů

### Demodulátor:

Připojte kanál 1 k bodu TPE4 (vysílač UART výstupu) s vypnutým generátorem. Zobrazte si bod TPR27 na kanálu 2, tento bod je X-NOR blok výstupu, který násobí modulovaný signál s modulovaným signálem zpožděným o jeden bit. Uvidíte, že stejně jako v BPSK existují parazitní změny, které jsou odstraněny dolní propustí (TPR29). Tento signál je srovnán s kontinuální úrovní TPR28, čímž se získá signál na TPR36 na výstupu komparátoru. Obnovení UART bitů z diferenciálních bitů jsou k vidění na kanálu 1 na TPE10. Připojte kanál 2 sondy na TPE13, která je hodinami pro vytváření diferenciálních bitů.

### Ztráta synchronizace

#### Ruční výběr fáze

Znovu připojte sondy k TPE1 a TPR41 a zapněte funkci generátoru. Obnovený signál by měl být v pořádku. Výhodou diferenciální modulace (DPSK) je, že nepotřebuje fáze reference. Zkontrolujete to tím, že aktivujete manuální řízení fáze, přepínač I1 z SW3 a nastavíte I3 správně. Demodulace by se měla i nadále chovat správně nezávisle na zvolené fázi. Nezapomeňte, že při výkonu BPSK pracoval pro jednu pozici I3.

### **Nepřízpůsobivost obnovení nositele**

Vypněte všechny SW3 mikro-spínače a zapojte sondu TPE1 na kanál 1 a TPR41 na kanál 2 s generátorem ještě zapnutým. Nyní způsobíme ztrátu synchronismu obnovením nositele tím, že změním proměnou kondenzátoru C83. Příjem bude vadný, protože DPSK používá nositele s využitím jako frekvence odkazu na zpožděný modulovaný signál, který spolu s nezpožděným signálem je aplikován na X-NOR bránu vstupu. Obnovte synchronizace nositele a nastavte kondenzátor. Použijte na kontrolu sondy TPE1 a TPR41 a přesvědčete se, že s funkčním generátorem operační systém funguje znovu správně.

## **5.11 QPSK modulace a demodulace**

### **5.11.1 Cíl cvičení**

Po použití binární fáze modulace se teď budeme pohybovat na čtyřfázové modulaci.

### **5.11.2 Teoretické základy**

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.5: QPSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.7: QPSK

### **5.11.3 Požadované vybavení**

Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC – BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

#### 5.11.4 Provoz modulátoru a demodulátoru

Připojte vysílač a přijímač moduly dvojlínkou a tlačítka modulů by měla být nastavena takto:

##### Vysílač:

- Vstupní signál (Sig)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup dvojlínka

##### Přijímač:

- Vstupní dvojlínka
- Demodulace: QPSK
- Rekonstrukční filtr: ON, expandér: OFF
- Výstupní signál

Ujistěte se, že SW3 mikro - spínače jsou všechny OFF. Opusťte nositele s využitím PLL, jak to bylo na konci posledního cvičení. Nastavte funkční generátor v sinusovém režimu na 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz, pak pohled vysílaného signálu na osciloskopu TPE1 kanálu 1 a přijímaného signálu TPR41 kanálu 2. Pokud systém nefunguje správně, opakujte nastavení k obnovení nositele.

##### **Modulátor:**

Připojte kanál 1 sondy k výstupu vysílače UART (TPE4) s vypnutým generátorem, pro lepší synchronizaci. Představte referenční hodiny v TPE13 na kanálu 2 a zapište si do následující tabulky hodnoty v TPE4 (“0“ nebo “1“)

*Tabulka 11: Bitové hodnoty na TPE4*

Bitová hodnota na TPE4											
------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Použijte k tomu výše uvedené tabulky dibits:

*Tabulka 12: Hodnoty dvojitéch bitů*

Dibit 1 hodnota											
Dibit 2 hodnota											

Zkontrolujte, zda dvojitý bit vytvořený na TPE20 a TPE21 souhlasí s tabulkami, které byly vyplněny. Nyní připojte kanál 1 k bodu TPE20 (dibit 1) a kanál 2 na přijímači k bodu TPR2 (QPSK modulovaný signál). Uvidíte fázové skoky modulovaného signálu (QPSK), při každé změně polarit modulační signálu (dibit 1). Fázové skoky, které se neshodují s dibit 1, jsou zásluhou dibit 2 (TPE21). Standardní frekvenci při vytváření QPSK je možné měřit na TPE14.

Vzít na vědomí, že:

*Tabulka 13: Nosný kmitočet*

<b>QPSK nosného kmitočtu:</b>
-------------------------------

### **Demodulátor:**

Zobrazte body na TPE20 (vysílaná dibit 1) a TPR24 (demodulovaný dibit 1) s vypnutým generátorem a zkontrolujte, zda je správně dibit demodulovaný. V opačné případě vypínač generátoru zapnout a vypnout, aby se obnovily automatické fáze řízení přijímačem (v případě, že uvízl na špatné fázi).

Připojte sondy k TPR14 a TPR16 a budete moci pozorovat XOR výsledky, které násobí vstup přijímače do referenčního nositele. Tento referenční signál vstupuje do dvou XOR brán a je zobrazen fázovým rozdílem  $90^\circ$  k jinému.

Opakující se proces díbit 2 - použijte osciloskop k zobrazení:

- TPE21 (vysílaný díbit2) a TPR23 (demodulovaný díbit 2)
- TPR22 (filtrovaný a přidaný signál) a TPR20 (průběžné srovnávání úrovní)

Posledním krokem k získání signálu vysílaného UART je změna díbits z paralelních k sériovým (TPR23 a TPR24). Připojte kanál 1 osciloskopu na TPE4 a kanál 2 na TPR36 a ověřte, že vysílač UART výstupní signál dorazí správně demodulovaný na vstup přijímače UART.

### **Ztráta synchronizace:**

#### Ruční výběr fáze:

Umístěte sondy na TPE1 a TPE41 a zapněte generátor. Signál by měl být správně navrácen, jinak upravit kondenzátorem C83).

Zapnutí SW3 mikro - přepínače I1 ruší automatické nastavení fáze a nastartuje manuální výběr fáze. V závislosti na poloze mikro - spínače I2 a I3 bude demodulován vycházející z jedné ze čtyř možných počátečních fází QPSK.

Zkontrolujte, že demodulátor funguje správně pouze v jedné pozici I2 a I3. Porovnáme obrázky osciloskopu s vypnutým generátorem na místech, kde se objevil vydávaný demodulovaný díbit (TPE20, TPE21, TPR23 a TPR24), zkontrolujte, zda jsou výsledkem různé fáze: inverzní fáze demodulovaných bitů nebo ke změně díbit 1 proti díbit 2. Pokud narazíte na problémy s příjmem, použijte tlačítko na výběr všech demodulací, dokud se nevrátí do QPSK.

### **Nepřízpůsobivost obnovení nositele**

Aktivujte automatické fáze kontroly nastavení všech SW3 mikro - přepínačů do polohy OFF. Zapněte generátor a nastavte sondy osciloskopu na TPE1 a TPR41 s funkčním generátorem stále zapnutým. Točením kondenzátorem C83 způsobí nositeli ztrátu synchronizace. Zobrazte signál TPE15 a TPR13 a zkontrolujte, zda demodulátor neseleže, protože VCO využitím PLL není uzamčena ON. Nastavíme zpět nositele synchronizace

proměnným kondenzátorem C83. Zkontrolujte sondy na TPE1 a TPR41 s funkčním generátorem, že systém pracuje pořád stejně.

## **5.12 DQPSK modulace a demodulace**

### **5.12.1 Cíl cvičení**

Budeme experimentovat s DQPSK demulací a zvýrazníme rozdíly s nediferenciální čtyřfázovou modulací (QPSK).

### **5.12.2 Teoretické základy**

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.6: DQPSK

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.8: DQPSK

### **5.12.3 Požadované vybavení**

Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### **5.12.4 Provoz modulátoru a demodulátoru**

Připojte vysílač a přijímač pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena na tyto pozice:

Vysílač:

- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: **ON**, kompresor: **OFF**
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup dvojlínka

Přijímač:

- Vstup dvojlínka
- Demulace: QPSK
- Reconstructor filtr: **ON**, expandér: **OFF**
- Výstupní signál

SW3 mikro - spínače by všechny měly být vypnuty s dopravcem využití PLL jak to bylo na konci předchozího cvičení. Nastavte funkci generátoru na 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz a sondy osciloskopu na TPE1-kanál 1 a na TPR41- kanál 2. Systém by měl správně fungovat.

**Modulátor:**

Připojte kanál osciloskopu 1 na TPE4 (UART výstup) s vypnutým generátorem. Zkontrolujte, zda máte dibits před diferenciatlním kódováním TPE20 a TPE21 jako v případě modulace QPSK (poslední cvičení).

Představte rozdílně kódované dibits v bodech TPE22 a TPE23, k lepšímu zobrazení vypneme antialiasing filtr, ale nezapomeňte zapnout po modulátoru měření.

Jako volitelné cvičení můžete zkusit napsat dibit sekvence před kódováním, ruční kód, jak je vysvětleno v sekci modulace DQPSK (manuál teorie) a zkontrolujte výsledky na osciloskopu. Připojte kanál 1 sondy na TPE21 (diferenciatlní dibit 1) a kanál 2 na bod přijímače TPR2 (DQPSK modulovaný signál). Uvidíte fázové skoky modulovaného signálu (DQPSK), spojené s modulačním signálem (diferenciatlní dibit 1). Fázové skoky nejsou shodné s diferenciatlním dibit 1 a díky diferenciatlu dibit 2 (TPE23).



**Demodulátor:**

Okruh DQPSK demodulace je velmi podobný QPSK s výjimkou toho, že brány vstupu XOR jsou modulovaný signál a stejný modulovaný signál je odložen o jeden dibit (místo fáze referenčního signálu). Zobrazte body TPE20 (výstupní dibit 1) a TPR24 (demodulovaný dibit 1), zkontrolujte, zda je dibit dobře modulovaný.

Připojte sondy k TPR30 a TPR31 a dodržujte XOR bránu výstupu, která násobí přijímaný signál stejným signálem. Toto zpoždění signálu podle pořadí představuje fázový rozdíl 90° mezi dvěma XOR brány.

TPR33 je jedním ze vstupů komparátoru spolu s TPR34 (nepřetržitou úroveň ostatních vstupů), výstupem tohoto komparátoru je dibit 1.

Opakující se proces dibit 2, použijte osciloskop k zobrazení:

- TPE21 (vyslaný dibit 2) a TPR23 (demodulovaný dibit 2)
- TPR30 a TPR32 (XOR výstupy)
- TPR35 (filtrovaný a přidaný signál) a TPR34 (průběžné srovnávání úrovní)

Nakonec dibits jsou převedeny na bity. Připojte sondy osciloskopu kanál 1 na TPE4, kanál 2 na TPR36 a ověřte, že UART výstupní signál vysílače dorazí správně demodulovaný na vstup přijímače UART.

Ztráta synchronizace:

**Ruční výběr fáze**

Umístěte sondy na TPE1 a TPR41 a zapněte generátor. Signál by měl být zpět správně (pokud ne, stejně jako dříve, upravte nositele proměnným kondenzátorem). Mikro-přepínač SW3 zapnout I1 a začít manuální výběr fáze. Změnit mikro-spínače I2 a I3. Všimněte si, že modulace DQPSK nevyžaduje fázový odkaz.

**5.13 QAM modulace a demodulace****5.13.1 Cíl cvičení**

Toto cvičení se zabývá jak fází, tak modulací amplitudy. Budete experimentovat s tribity a zvláštní pozornost bude věnována amplitudě modulačního tribitu.

### 5.13.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Oddíl 3.7: QAM

Kapitola 6: Demodulace

- Oddíl 6.9: QAM

### 5.13.3 Požadované vybavení

Požadované komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

Požadované nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.13.4 Provoz modulátoru a demodulátoru

Vysílač i přijímač propojte pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena takto:

Vysílač:

- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: QAM
- Simulátor kanálu: přímý
- Výstup dvojlinky

Přijímač:

- Vstup dvojlinky

- Demodulace: QAM
- Rekonstruktor filtr: ON, expandér: OFF
- Výstup signál

Ujistěte se, že SW3 mikro-přepínače jsou všechny OFF. Opusťte nosné využití PLL, jak to bylo na konci posledního cvičení. Vyberte sinusoidu a nastavte generátor na 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz a vizualizujte přenášený signál na TPE1 kanál 1, na TPR41 kanál 2. Příjem nemusí být správně, upravte obnovení nositele.

### **Modulátor:**

Připojte sondu osciloskopu kanál 1 na TPE4 (UART výstup), s vypnutým generátorem. Změřte generované tribits na kanálu 2 v bodech TPE17, TPE18, TPE19.

Jestliže jeden z tribits nemění hodnotu, je to proto, že vstupní kombinace s vypnutým generátorem produkuje konstantní hodnotu tohoto tribitu. Zapněte generátor a uvidíte, že se bude tribit měnit. (Pozn.: Pokud vypnete antialiasing filtr pro zlepšení synchronizace osciloskopu, nezapomeňte je znovu zapnout). Změřte dobu jednoho tribitu. Pokud chcete, připojte na kanál 2 tribit pomocí TPE17 se synchronizací. Využívejte variace jasnosti v osciloskopu paprsku a nastavení intenzity. Doba mezi dvěma, po sobě následujícími kmity na TPE17, vztahující se po dobu jednoho tribitu na dobu jednoho bitu. (Pozn.: Máme zapnutý generátor, aby se zajistilo, že je měření na minimum tribit času.)

### **Demodulátor:**

Obvod k demodulaci fáze tribitů z QAM je stejný jako v QPSK, které jsme již viděli v předchozím cvičení. Ty nyní budou soustředěny na amplitudovou modulaci tribitu. Nastavte generátor do režimu TTL a připojte na odpovídající vstup (BNC2), výběr TTL s tlačítkem vysílače. Tímto způsobem si můžeme zajistit, aby byly všechny tribity vytvořeny a prohlížení bude jednoduché. Před zobrazením tribitů se ujistěte, že je fáze správná: vizualizace TPE4 a TPR36, kde byste měli vidět generátor TTL a zpět signály.

Hledejte ručně fázi pomocí SW3 mikro-spínače. Zkontrolujte, zda je správně tribit demodulován. Dělejte to samé s ostatními fázemi tribitu (tribit2) měřením v TPR18 a TPR24. Body TPR18 a TPR19 jsou v tomto pořadí stejné jako v TPR23 a TPR24 po procházející bistabilní synchronizovaná data. Změřte vyzářované amplitudy tribitu (TPE19)

a jeden obdrženy (TPR17) a ověřte správnou demodulaci. Chcete-li demodulovat QAM amplitudu, je signál procházející detektorem (TPR26) a srovnáván s průměrnou úrovní (TPR25).

Zobrazte dva body po úpravě váhy dvou kanálů na stejném místě pomocí stejného měřítka. Aktivujte kanál zhoršením bloku bez rušení nebo šumu (potenciometry vpravo) a pomocí odpovídajícího potenciometru postupně zvyšujte útlum signálu při prohlížení na osciloskopu. Jaké výhody má srovnání s průměrnou úrovní více než za použití pevných úrovní? Vyberte přímo režim na vysílači (bez kanálové degradace) a znovu funkci generátoru tak, že poskytuje sinusový signál. Nastavte SW3 mikrospínače do polohy OFF.

### **Ztráta synchronizace:**

#### **Ruční výběr fáze:**

Znovu připojte sondy na TPE1, TPR41 a zapněte funkci generátoru, signál by měl fungovat správně. Fázová změna ovlivňuje QAM stejným způsobem jako QPSK, protože v obou případech jsou přenášeny čtyři fáze, které vyžadují reference. Ověřte si, že aktivujete SW3 mikro-přepínač I1 a pozměníte pozice mikro-spínače I2 a I3 pouze jednou kombinací je správně demodulován a ten nese správnou fázi reference.

#### **Nepřizpůsobivost nosného signálu**

Zobrazte body TPE1 a TPR41 s funkcí generátoru tak, že se ujistíte, že všechny SW3 mikro-spínače jsou vypnuty OFF (automatické fáze ovládání).

## **5.14 Porovnávání fáze modulace**

### **5.14.1 Cíl cvičení**

Po experimentech se všemi modulacemi zahrnující fáze, měli bychom je srovnat s cílem, vyvodit závěry o výhodách, které se v komunikačních systémech nabízejí. Zejména prozkoumáme šířky pásem kanálů potřebných pro jejich přenos a jejich citlivost na hluk.

### **5.14.2 Teoretické základy**

Kapitola 5: Srovnávání modulace

### 5.14.3 Požadované vybavení

#### Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu
- Plastový šroubovák

#### Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.14.4 Provoz modulátoru a demodulátoru

Připojte vysílač a přijímač pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena na tyto pozice:

#### Vysílač:

- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Dvojlinka výstupu

#### Přijímač:

- Dvojlinka vstupu
- Demodulace: QPSK
- Rekonstruktor filtr: ON, expandér: OFF
- Výstupní signál

Připojte funkční generátor na vstupní signál BNC1 na amplitudu 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz. Zobrazte výstupní signál na TPE1 (modul vysílače) na jednom z kanálů osciloskopů a zpětný signál TPR41 na jiný kanál.

Přechod na QPSK modulaci a demodulaci, ověřili jsme, že může fungovat na užším pásmu než modulace BPSK. Stejně tak zkontrolujte, že modulace DQPSK pracuje v užší šířce pásma než DPSK. QAM modulace může budít dojem, že vyžaduje širší šířku pásma než QPSK nebo DQPSK. Je to proto, že filtrování ovlivňuje amplitudu a QAM nese informaci na amplitudě.

### **5.14.5 Porovnání pravděpodobnosti chyby**

Aktivujte kanál degradace modulu a nastavte potenciometry, aby tam nebylo rušení ani útlum. Zvyšte hladinu hluku pomocí potenciometru a také útlum signálu, dokud poměr signál/šum produkuje chyby. V této pozici přejít na BPSK modulaci a demodulaci a rozhodnout, které z nich (BPSK nebo QPSK) je nejvíce odolný proti hluku. Vraťte se do QPSK modulace a demodulace a zopakujte experiment se srovnáním DPSK. Poznamenejte, které je nejvíce citlivé na hluk. Aktivaci BPSK modulace a demodulace opakujte, proces přidávání šumu a zmírnění, až zjistíte příjem chyby. Nyní přepněte na DPSK a vypracujte závěr z výsledku (nezapomeňte, že diferenciální modulace nemají stejná praktická omezení při vymáhání nositele, jak z nediferenciálních). Nakonec jděte na modulaci a demodulaci QAM a upravte úroveň signálu (útlum a hluk), dokud nevidíte příjem hluku. Porovnejte s následujícími modulacemi.

## **5.15 Oční diagramy**

### **5.15.1 Cíl cvičení**

Jednou z metod hodnocení kvality digitálního komunikačního systému je oční diagram, který zobrazuje některé problémy v komunikaci. Měli bychom vizualizovat a analyzovat různé oční diagramy, založené na pásmu vysílající impulzy, na které jsou přidávány útlum a hluk. A nakonec to bude použito ke sledování kvality jednotlivých komunikačních kanálů na nástroj.

### 5.15.2 Teoretické základy

Kapitola 4: Výkyvy fáze-oční diagramy

### 5.15.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Optické vlákno
- Dvě antény
- Dvě sondy osciloskopu

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.15.4 Oční diagramy (základní pásma přenosu)

Propojte moduly vysílače i přijímače pomocí dvojlinky a zapněte je. Tlačítka modulů by měla být nastavena takto:

Vysílač:

- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: BB
- Kanál simulátoru: přímý
- Dvojlinka výstupu

Přijímač:

- Dvojlinka vstupu
- Demodulace: BB
- Rekonstruktor filtr: ON, expandér: OFF

➤ Výstupní signál

Připojili jsme funkční generátor na vstupní signál (BNC1) a nastavili amplitudu na generátoru 2 V<sub>pp</sub> a 1 kHz. Zobrazili jsme vstupní signál na TPE1 na jednom z kanálů osciloskopu a zpětný signál na TPR41 na jiném kanálu.

Zkontrolovali jsme, zda systém pracuje správně. Dále připojíme kanál 1 na TPE13 (synchronizované hodiny s výstupem UART dat) a zobrazením přijímaného signálu TPR2 na kanálu 2.

Aby bylo možné lépe zobrazit oční diagram, doporučuje se aby:

- d) Zobrazení mezi jedním a dvěma doby signálu TPE13 na osciloskopu
- e) Zesílit signál na TPR2 na svislé měřítko
- f) Zesílení osciloskopu, míra kontroly

Mezeru, která se objeví mezi vysokou a nízkou úrovní přechodů je známá jako oko.

### 5.15.5 Oční diagramy s poruchami kanálu

Zvolili jsme kanál degradující kanály a nastavili jsme všechny potenciometry napravo. Otočili jsme útlum potenciometru a pozorovali na TPR2, jak se oko svisle zavírá. Dále jsme nastavili útlum přibližně do poloviny bodu a tím, že jsme přidali hluk (potenciometr 6), zpozorovali jsme, jak se oko vertikálně zavřelo, a jak přicházely méně definované přechody. Test jsme opakovali přidáním hluku a útlumu, dokud jsme na sluchátkách neslyšeli, že se příjem nezdařil.

Tento test může být rovněž proveden s potenciometry P2, P3, P4 nebo P5. Opakujte test přidáním hluku a útlumu při poslechu na sluchátkách, dokud se příjem nezdaří. Jakmile k tomu dojde, uvidíte, že je nemožné definovat, kde vysoké a nízké úrovně a přechody jsou na oko diagramu.

### 5.15.6 Diagram oka v různých komunikačních kanálech

Vybrali jsme jiný způsob přenosu a všechny jsme je postupně připojili: dvojlinka, koaxiální přenos, optické, infračervené, radiové.



## 5.16 Schéma modulačních fází

### 5.16.1 Cíl cvičení

Budeme porovnávat jejich modulace na základě jejich sestavy. Z nich můžeme vidět působení hluku a útlumu.

### 5.16.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

- Příloha H: sinusové signály

### 5.16.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.16.4 Sestava

Moduly vysílače i přijímače propojíme pomocí dvojlinky a zapneme je. Tlačítka by měla být nastavena na následující pozice:

Vysílač:

- Vstupní signál (Sig.)
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Dvojlinka výstupu

Přijímač:

- Dvojlinka vstupu
- Demodulace: QPSK
- Rekonstruktor filtr: ON, expandér: OFF
- Výstupní signál

Připojili jsme funkční generátor do vstupního signálu (BNC1) na sinusoidu 2 V<sub>pp</sub> a amplitudu 1 kHz. Zobrazili jsme si vstupní signál na TPE1 na jednom kanálu osciloskopu a zpětný signál na TPR41.

Zkontrolovali jsme, zda všechny fázové modulace pracovaly správně. Provedli jsme experiment QPSK modulaci a demodulaci připojením kanálu 1 na TPR14 a kanálu 2 na TPR15. Experiment jsme opakovali s DQPSK modulací a demodulací, tentokrát umístění sondy na kanálu 1 (TPR30) a kanálu 2 (TPR31).

**Zobrazení další etapy modulace:**

Další fáze modulace nepoužívají součásti, které mohou být pozorovány 90° z fáze. Vyberte BPSK a DPSK modulaci a demodulaci. Připojte pouze jeden kanál osciloskopu k bodu TPR2 (přijímaného signálu) a dál osciloskopu v režimu XY. Nyní vyberte kanál degradace a poznamenejte, že body se přiblížily společně na zeslabení signálu a disperzní o přidání hluku.

Můžete zopakovat experiment na DPSK. Zobrazit QAM, připojte kanál 1 na TPR2 a kanál 2 na TPE14 (vysílacích hodin). Nastavte osciloskop v režimu XY (AC) a upravte vertikální zesílení v případě potřeby. Uvidíte osm bodů, které nějakým způsobem odpovídají na osm symbolů QAM modulace. Výběrem degradace kanálů dodržujte účinek, polehčující přenášeným signálem a šumem.

## 5.17 Porovnání modulačních přenosových rychlostí

### 5.17.1 Cíl cvičení

Budeme srovnávat maximum bitů za sekundu, které mohou být vysílané pomocí rozdílných modulací. Jedná se o orientační cvičení s jinými obvodovými nástroji a může fungovat odlišně.

### 5.17.2 Teoretické základy

Kapitola 3: Digitální modulace na kontinuálním nositeli

Kapitola 6: Demodulace

### 5.17.3 Požadované vybavení

Potřebné komponenty:

- Dvojlinka
- BNC-BNC koaxiální kabel
- Dvě sondy osciloskopu

Potřebné nástroje:

- Funkční generátor
- Osciloskop

### 5.17.4 Porovnání přenosových rychlostí dat pro TTL vstup

Moduly vysílače i přijímače propojíme pomocí dvojlinky a zapneme je. Tlačítka by měla být nastavena na následující pozice:

Vysílač:

- TTL vstup
- Antialiasing filtr: OFF, kompresor: OFF
- Modulace: BB
- Kanál simulátoru: přímý

- Dvojlinka výstupu

Přijímač:

- Dvojlinka vstupu
- Demodulace: BB
- Rekonstruktor filtr: OFF, expandér: OFF
- TTL výstup

Připojili jsme funkční generátor na vstup TTL (BNC2) na frekvenci 1 kHz. Zobrazili jsme vstupní digitální signál na TPE4 kanál 1 a zpětný signál na TPR41 na druhém kanálu nebo přijímač TTL (BNC 2) na jiné.

Zdá se vám, že signál už je správný. Opakujte proces pro každé odlišení a vyplňte následující maximální rychlost přenosných bit pro každou modulaci na základě maximální rychlosti, při které se podařilo předat správně. Určete bps z předchozí frekvence.

*Tabulka 14: Typy modulací a jejich rychlosti*

<b>Modulace</b>	<b>Rychlost (Kbps)</b>
Pásmo	-
ASK	Kbps
FSK (DFD)	Kbps
FSK (PLL)	Kbps
BPSK	Kbps
DPSK	Kbps
QPSK	Kbps
DQPSK	Kbps
QAM	Kbps

Pamatujte si, že pro BPSK, QPSK a QAM budete muset vybrat fázi ručně, neboť tyto modulace nejsou zpracovány UART, automatické fáze řízení není aktivováno. Při výběru ruční fáze doporučujeme nastavit generátor (pracovní cyklus) měnit nejméně o 50 %, aby zjistil, zda vrácený signál je převrácený oproti vstupu. Poté se vraťte do výchozího pracovního cyklu, takže výsledky jsou srovnatelné s ostatními modulacemi. Pokud je to nutné upravte kondenzátor C83.

### **Závěr všech úloh**

Provedli jsme měření od základních způsobů odběru vzorků a kvantizací analogového signálu pro další digitální vysílání, pro všechny základní modulace a demodulace, které jsme mohli vyzkoušet přes komunikační kanál, zhoršený o útlum, hluk nebo interferenci. Měření zahrnuje alternativní formy vizualizace, specifické pro digitální komunikace jako jsou oční diagramy. Použili jsme zvukové subsystemy jako jsou mikrofon a sluchátka. Každý jsme si během celého cvičení vyzkoušeli experimentovat s posloucháním různých typů signálů. Měření bylo úspěšné.

## **ZÁVĚR**

Prvním cílem mé diplomové práce bylo prohloubení a doplnění praktických znalostí a dovedností při odborných měřeních. Druhým cílem bylo vytvoření studijního manuálu pro budoucí studenty fakulty aplikované informatiky. Tento materiál by měl pomoci při zefektivnění praktických činností, kdy studenti nemusí již věnovat množství času překladu manuálu z anglického jazyka a mohou se věnovat pouze vlastním měřením.

Tato práce je také velkým přínosem k procvičení mých jazykových znalostí angličtiny. Při překladu zmíněného manuálu jsem si osvojil mnohé odborné termíny v anglickém jazyce, a tím jsem si prohloubil své dosavadní znalosti zmíněného jazyka.

Při zpracování teoretické části jsem získal další odborné vědomosti z prostudovaných materiálů. Věřím, že praktické i teoretické znalosti z této diplomové práce využiji ve svém budoucím zaměstnání a snad i v praktickém životě.

## **ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ**

The first objective of this thesis is to enhance and complement the practical knowledge and skills in technical measurements. The second objective was to create a study guide for future students of the Faculty of Applied Science. This material should help to streamline the practical activities, when students no longer have to pay the amount of time the manual translation of the English language and can focus exclusively on its own measurement. This work is also of great benefit to practice my English language skills. The translation of that manual, I learned a lot of technical terms in the English language, and I have deepened their existing knowledge of that language.

In the theoretic part, I gained more technical knowledge of materials studied. I believe that the practical and theoretical knowledge in this thesis will use in their future job and maybe even in real life.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Modulace. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 23.1.2007, last modified on 5.10.2010 [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Modulace>>.
- [2] FAJKUS, Marcel . *Teorie signálu* [online]. 9.11.2009 [cit. 2011-05-22]. Modulace signálů a jejich vliv na spektrum signálu. Dostupné z WWW: <<http://modulace.ic.cz/teorie.php>>.
- [3] Analogový a digitální signál : Modem a signály. *Průvodce digitálního signálu*. 2009, 1, s.1-3. Dostupný také z WWW: <[http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Tesar/diplomky/pruvodce\\_hw/komponenty/karty/modem/analog-digital.htm](http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Tesar/diplomky/pruvodce_hw/komponenty/karty/modem/analog-digital.htm)>.
- [4] BEZDĚK, Miloslav . *Elektronika I*. České Budějovice 2004 : KOPP, Šumavská 3, 370 01 České Budějovice, 2004. 271 s. Dostupné z WWW: <[www.kopp.cz](http://www.kopp.cz)>. ISBN 80-7232-171-4.
- [5] Přenos digitálního signálu. In *Modulace a kódy* [online]. Brno : ČVUT Brno, 2009, 28.11.2009 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <<http://orchard.own.cz/modulace&kody.pdf>>.
- [6] Speciální metody kódování : Impulzní modulace. In *Speciální kódování*. Plzeň : Česká Republika 33026, 2009. s. 15. Dostupné z WWW: <<http://search.seznam.cz/?sourceid=szn-HP&thru=&q=delta+modulace>>.
- [7] KŘÍŽ, David. Televizní formáty a jak se v nich vyznat. In *TV formáty* [online]. BRNO : Brno, 2008 [cit. 2011-05-22]. Dostupné z WWW: <[http://web.elsatnet.cz/panek/clanky/TV\\_formaty.pdf](http://web.elsatnet.cz/panek/clanky/TV_formaty.pdf)>.
- [8] Přehled modulačních článků. *SVOBODA, J. A KOLEKTIV*. 2009, 1, s. 1-73. Dostupný také z WWW: <[ucitel.spsbv.cz/zavodny/Prezentace/Modulace.ppt](http://ucitel.spsbv.cz/zavodny/Prezentace/Modulace.ppt)>.



**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

- DVB - T Standard digitálního televizního vysílání přes pozemní vysílače.
- DVB - S Je standard digitálního televizního vysílání přes satelit.
- DVB - C Je standard digitálního televizního vysílání v sítích kabelových televizí.
- DVB – T2 Je opět standard televizního vysílání přes pozemní vysílače.
- A/D Analogově – digitální převodník.
- TTL Třída logiky digitálních integrovaných obvodů.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Schematická značka jednoduchého modulátoru .....	16
Obrázek 2: Modulovaný signál (nahore) modulující amplitudu (AM) nebo frekvenci (FM) nosné vlny.[1].....	17
Obrázek 3: Modulace ASK.....	22
Obrázek 4: Modulace a) 2FSK; b) 4FSK; c) 8FSK [8] .....	22
Obrázek 5: Modulace ASK, PSK, FSK [5] .....	23
Obrázek 6: Pulzně amplitudová modulace .....	26
Obrázek 7: Pulzně šířková modulace [6].....	26
Obrázek 8: Pulzně polohová modulace [6].....	27
Obrázek 9: Pulzně kódová modulace.....	28
Obrázek 10: Spektrum signálu.....	30
Obrázek 11: Spektrum signálů modulovaného s dopravcem $f_0$ v ASK .....	30
Obrázek 12: Spektrum signálu FSK, PSK s dopravci $f_1$ a $f_2$ .....	30
Obrázek 13: Zobrazení šířky pásma vztažené k $f_0$ (nosné frekvenci) .....	31
Obrázek 14: Rekonstruovaný signál .....	31
Obrázek 15: Vzorkovaný a kvantovaný modulační signál .....	32
Obrázek 16: Změna napětí .....	45
Obrázek 17: Vysílač- EC 796 .....	46
Obrázek 18: Modul vysílače s popisem tlačítek .....	47
Obrázek 19: Vstupní strana vysílače.....	48
Obrázek 20: Výstupní strana vysílače.....	48
Obrázek 21: blokové schéma vysílače .....	49
Obrázek 22: Přijímač EC – 796 .....	51
Obrázek 23: Modul přijímače s popisem tlačítek .....	52
Obrázek 24: Vstupní strana přijímače.....	52
Obrázek 25: Výstupní strana přijímače.....	53
Obrázek 26: Blokové schéma přijímače .....	54
Obrázek 27: Zapojení modulů .....	59
Obrázek 28: Propojení generátoru na vstup vysílače (BNC1).....	59
Obrázek 29: Signál na prvním osciloskopu .....	60
Obrázek 30: Signál na druhém osciloskopu - jde vidět šum.....	61

Obrázek 31: Všechny mikrospínače SW2 v poloze ON.....	62
Obrázek 32: Rozdíl mezi vstupní frekvencí a získané vzorkovací frekvence .....	63
Obrázek 33: Při připojeném generátoru na 1 kHz .....	63
Obrázek 34: zapojený mikrofon a sluchátka.....	63
Obrázek 35: Frekvence 1 kHz a amplituda 1 Vpp.....	64
Obrázek 36: Propojení modulů a sondy osciloskopu.....	65
Obrázek 37: Propojení generátoru na vstup vysílače (BNC1).....	66
Obrázek 38: Modulační signál na TPE1 a TPR41 .....	66
Obrázek 39: Modulační signál na TPE4 a TPE24 .....	66
Obrázek 40: Propojení modulů dvojlinkou a připojení do sítě.....	69
Obrázek 41: Propojení generátoru na vstup vysílače (BNC1).....	69
Obrázek 42: Modulátor .....	70
Obrázek 43: Propojení modulů dvojlinkou a připojení sondy osciloskopu.....	72
Obrázek 44: Propojení generátoru na vstup vysílače (BNC1).....	73
Obrázek 45: Po zavedení frekvence 390 kHz u ASK.....	73
Obrázek 46: po zavedení frekvence 390 kHz u FSK.....	74
Obrázek 47: průběh ASK dvojlinky .....	74
Obrázek 48: IR přenos .....	75
Obrázek 49: průběh ASK na koaxiálu .....	75
Obrázek 50: průběh ASK na optickém kabelu .....	75
Obrázek 51: průběh ASK radiového přenosu .....	76
Obrázek 52: průběh FSK dvojlinky .....	76
Obrázek 53: průběh FSK infračerveného přenosu.....	76
Obrázek 54: průběh FSK na koaxiálním kabelu.....	77
Obrázek 55: průběh FSK na optickém kabelu .....	77
Obrázek 56: průběh FSK radiového přenosu.....	77
Obrázek 57: Signál pomocí rádia a FSK bez zkreslení.....	78
<i>Obrázek 58: Signál FSK s poruchami .....</i>	<i>78</i>
Obrázek 59: Propojení modulů pomocí dvojlinky a sondy osciloskopu .....	80
Obrázek 60: Propojení generátoru s vysílačem na vstup (BNC2) .....	80
Obrázek 61: signál na TPE4 a na TPR43.....	81
Obrázek 62: Propojení modulů pomocí dvojlinky a sondy osciloskopu .....	83
Obrázek 63: Propojení generátoru s vysílačem na vstup (BNC1) .....	83

Obrázek 64: signál na TPE4 a TPR8 .....	84
Obrázek 65: Propojení modulů pomocí dvojlinky a sondy osciloskopu .....	86
Obrázek 66: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1).....	87
Obrázek 67: Signál na TPE1 a TPR41.....	87
Obrázek 68: Propojení modulů dvojlinkou a SW3 mikro-přepínač OFF.....	89
Obrázek 69: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1).....	89
Obrázek 70: Zobrazení signálu na TPE4 a čtvercového signálu na TPR2 .....	90
Obrázek 71: Zobrazení signálu na TPE14 a na TPR13 .....	90
Obrázek 72: Zobrazení signálu na TPR2 a TPR12.....	91
Obrázek 73: Získaný signál na vysílači TPE15 a přijímači TPR13.....	91
Obrázek 74: Propojení modulů dvojlinkou a SW3 mikro- přepínače OFF .....	94
Obrázek 75: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1).....	94
Obrázek 76: Signál na TPE1 a na TPR41 .....	94
Obrázek 77: Frekvence pro generování BPSK, měření v bodě TPE11 .....	95
Obrázek 78: Zobrazení signálu na TPE4 a TPR16 .....	95
Obrázek 79: Zobrazený signál na TPR21 a TPR38 .....	96
Obrázek 80: Mikro-přepínač SW3.....	97
Obrázek 81: Při zapnutí vypínače 1 a 3 u SW3 .....	97
Obrázek 82: Ztráta synchronizace pomocí kondenzátoru C83 .....	98
Obrázek 83: Propojení modulů pomocí dvojlinky a SW3 mikro-přepínač v poloze OFF.....	100
Obrázek 84: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1).....	100
Obrázek 85: Signál na TPE1 a TPR41.....	100
Obrázek 86: Zobrazení signálu na TPE10 a TPR2 .....	101
Obrázek 87: Provedení operací diferenciálních bitů.....	101
Obrázek 88: Modulovaný signál pro DPSK .....	102
Obrázek 89: Výstup z bloku X-NOR výstup při DPSK.....	102
Obrázek 90: Ztráta synchronizace DPSK .....	103
Obrázek 91: Propojení modulů pomocí dvojlinky a SW3 mikro-přepínače OFF .....	105
Obrázek 92: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC .....	105
Obrázek 93: Signál na TPE4 a TPE13 .....	105
Obrázek 94: Signál na TPE20 a TPR2.....	106
Obrázek 95: Měření na TPE20 a TPR24 .....	107

<i>Obrázek 96: XOR</i> .....	107
Obrázek 97: vysílaný díbit na TPE21 a TPR23 TPR14 a TPR15 (XOR výstupy) .....	108
Obrázek 98: XOR na TPR14 a TPR15 .....	108
Obrázek 99: Signál na TPR22 a TPR20 .....	108
Obrázek 100: Umístěné sondy na TPE1 a TPE41, demodulátor selhává .....	109
Obrázek 101: Stejný případ jako v předchozím obrázku, jen tady je to správně.....	109
Obrázek 102: QPSK signál .....	110
Obrázek 103: Propojení modulů pomocí dvojlinky a SW3 mikro-přepínač OFF .....	112
Obrázek 104: Propojení generátoru se vstupem vysílače (BNC1).....	112
Obrázek 105: Signál na TPE20 a TPE21 .....	113
Obrázek 106:Diferenciálně kódovaný díbits na bodech TPE22 a TPE23 .....	113
Obrázek 107: Fázové skoky modulovaného signálu.....	114
Obrázek 108: Sondy osciloskopu na TPE20 a TPR24.....	114
Obrázek 109: Sondy osciloskopu na TPR30 a TPR31 (XOR výstup).....	115
Obrázek 110: Sondy osciloskopu na TPE21 a TPR23.....	115
Obrázek 111: Sondy osciloskopu na TPR30 a TPR32 (XOR výstupy).....	116
Obrázek 112: Sondy na TPE4 a TPR36.....	116
Obrázek 113: Propojení modulů pomocí dvojlinky a SW3 mikro- přepínače do polohy OFF.....	118
Obrázek 114: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC1 .....	118
Obrázek 115: TPE4 (UART výstup) a generované tribits na TPE17 .....	119
Obrázek 116: TPE4 (UART výstup) a generované tribits na TPE18 .....	119
Obrázek 117: TPE4 (UART výstup) a generované tribits na TPE19 .....	119
Obrázek 118: Generátor TTL a zpětné signály .....	120
Obrázek 119: Sondy osciloskopu na TPE17 a TPR23.....	121
Obrázek 120: Sondy osciloskopu na TPR18 a TPR24 .....	121
Obrázek 121: Sondy osciloskopu na TPR19 a TPR23 .....	121
Obrázek 122: QAM modulace, demodulace a ověření správnosti nastavení .....	122
Obrázek 123: Propojení modulů dvojlinkou a sondy osciloskopu .....	124
Obrázek 124: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC1 .....	124
Obrázek 125: Nejlepší je DPSK, méně náchylná na šумы .....	125
Obrázek 126: Propojení modulů vysílače a přijímače pomocí dvojlinky a umístěné sondy osciloskopu .....	127

---

Obrázek 127: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC1 .....	127
Obrázek 128: Zobrazený signál na TPE13 a TPR2 .....	128
Obrázek 129: Potenciometr P6, slyšíme šum .....	128
Obrázek 130: Dvojlinka.....	129
Obrázek 131: Koaxiální přenos .....	129
Obrázek 132: Optický přenos .....	129
Obrázek 133: Infračervený přenos .....	130
Obrázek 134: Radiový přenos.....	130
Obrázek 135: Propojení modulů pomocí dvojlinky a umístění sondy osciloskopu.....	132
Obrázek 136: Propojení generátoru se vstupem přijímače BNC1 .....	132
Obrázek 137: Sondy DQPSK modulace na TPR30 a TPR31 .....	132
Obrázek 138: Propojení modulů pomocí dvojlinky a umístění sond osciloskopu.....	134
Obrázek 139: Propojení generátoru se vstupem vysílače BNC2 (TTL) .....	135
Obrázek 140: TPE42 a TPR41.....	135
Obrázek 141: Mikro-přepínač SW3.....	159
Obrázek 142: Provedení operací diferenciálních bitů.....	162

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Rezonanční kmitočet .....	67
Tabulka 2: Rezonanční frekvence.....	70
Tabulka 3: Frekvence na PLL.....	81
Tabulka 4: Bitové hodnoty na TPE4.....	106
Tabulka 5: Hodnoty dvojitých bitů .....	106
Tabulka 6: Nosný kmitočet .....	106
Tabulka 7: Typy modulací a jejich rychlosti.....	136
Tabulka 8: Rezonanční kmitočet .....	141
Tabulka 9: Rezonanční frekvence.....	144
Tabulka 10: Frekvence na PLL.....	149
Tabulka 11: Bitové hodnoty na TPE4.....	165
Tabulka 12: Hodnoty dvojitých bitů .....	165
Tabulka 13: Nosný kmitočet.....	165
Tabulka 14: Typy modulací a jejich rychlosti.....	180

