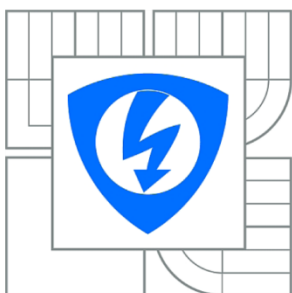




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## KOMPLEXNÍ ZAŘAZENÍ VÝUKOVÉHO SYSTÉMU TIMS DO VÝUKY

COMPLEX INSERTION OF TUTORIAL SYSTEM TIMS INTO EDUCATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

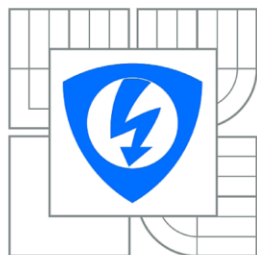
JAN JURAČKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VLADISLAV ŠKORPIL, CSc.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Teleinformatika**

**Student:** Jan Juračka

**ID:** 106508

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2009/2010

## NÁZEV TÉMATU:

### Komplexní zařazení výukového systému TIMS do výuky

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s výukovým systémem TIMS BISKIT ETT 101, který je k dispozici ve školní laboratoři. Systém zařadte optimálně do laboratorní výuky tak, studenti pochopili blokové schéma komunikačních experimentů a prakticky ověřili činnost pomocí TIMS BISKIT. Cílem je, aby principy, se kterými se studenti seznamují na přednáškách teoreticky, byly ověřeny na praktické úrovni. Experimenty podpořte matematickým popisem a příslušnou teorií. Zpracujte minimálně tři laboratorní práce s názvy: 1) PCM kódování a dekódování, 2) ASK, FSK, BPSK modulace a demodulace, 3) Základy rozprostřeného spektra, modulace DSSS. Dbejte, aby studenti po prostudování zadání a provedení experimentu chápali podstatu procvičovaného tématu. Kromě zadání zpracujte též vzorové protokoly a manuál na ovládání TIMS BISKIT. Úlohy budou sloužit pro předmět Přístupové a transportní sítě.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] EMONA INSTRUMENTS. Manuál k Telecommunications Learning Environment TIMS - BISKIT. Camperdown, Australia 2007
- [2] PUŽMANOVÁ, R. Moderní komunikační sítě A-Z. Computer Press, Brno 2007
- [3] ŠKORPIL, V. Digitální komunikační technologie. UTKO, Brno 2002.

**Termín zadání:** 29.1.2010

**Termín odevzdání:** 2.6.2010

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Komplexní zařazení výukového systému TIMS do výuky“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 28. května 2010

.....

podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladislavovi Škorpilovi, CSc. za ochotu pomoci a za cenné rady při zpracovávání této bakalářské práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....

podpis autora

## **ABSTRAKT**

Tato práce podrobně seznamuje s výukovými systémy Tims od firmy Enoma. Podrobně popisuje základní typy analogových a digitálních modulací, rozprostřené spektrum a základy PCM kódování a dekódování. Hlavní důraz je kladen na přípravek TimsBiskit, na kterém jsou realizovány laboratorní úlohy. Součástí práce jsou vypracovaná zadání pro studenty, vzorové protokoly a návody pro vyučující.

**Klíčová slova:** TimsBiskit, TutorTIMS, TIMS 301, modulace, amplitudové klíčování, frekvenční klíčování, dvoustavové fázové klíčování, PCM kódování a dekódování, rozprostřené spektrum, DSSS modulace

## **ABSTRACT**

This work is getting acquainted with the educational systems Tims in detail from Enoma. It describes basic types of analog and digital modulations, spread spectrum and basics of PCM encoding and decoding. The main emphasis is put on the product TimsBiskit on which is realized the laboratory tasks. Work also include theoretical settings for students, example records and manuals for instructors.

**Keywords:** TimsBiskit, TutorTIMS, TIMS 301, modulation, amplitude shift keying, frequency shift keying, binary phase shift keying, PCM encoding and decoding, spread spectrum, DSSS modulation

JURAČKA, J. Komplexní zařazení výukového systému TIMS do výuky . Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 75 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ZAŘÍZENÍ EMONA TIMS</b> .....	<b>11</b>
1.1 Tims 301 .....	11
1.2 Tutor TIMS.....	12
1.3 TimsBiskit .....	13
1.3.1 Základní popis.....	13
1.3.2 Popis modulů a seznam realizovatelných úloh .....	14
<b>2 LABORATORNÍ ÚLOHA ASK, FSK A BPSK MODULACE A DEMODULACE</b> .....	<b>16</b>
2.1 Modulace .....	16
2.1.1 Analogové modulace s harmonickým nosným signálem .....	17
2.1.2 Digitální modulace s harmonickým nosným signálem .....	20
2.1.3 Impulzní modulace .....	23
2.2 Zadání a vypracování laboratorní úlohy.....	24
2.2.1 Cíl laboratorní úlohy.....	24
2.2.2 Zadání úlohy .....	24
2.2.3 Vypracování úlohy .....	24
<b>3 LABORATORNÍ ÚLOHA PCM KÓDOVÁNÍ A DEKÓDOVÁNÍ</b> .....	<b>25</b>
3.1 Pulzní kódová modulace (PCM).....	25
3.1.1 Jednotlivé kroky při vzniku PCM .....	25
3.1.2 Časový multiplex.....	27
3.2 Zadání a vypracování laboratorní úlohy.....	29
3.2.1 Cíl laboratorní úlohy.....	29
3.2.2 Zadání úlohy .....	29
3.2.3 Vypracování úlohy .....	29
<b>4 LABORATORNÍ ÚLOHA ROZPROSTŘENÉ SPEKTRUM, DSSS MODULACE</b> .....	<b>30</b>
4.1 Mnohonásobný přístup k médiu a metody multiplexování .....	30
4.2 Systémy s rozprostřeným spektrem .....	31
4.2.1 Charakteristika systémů s rozprostřeným spektrem.....	31
4.2.2 Výhody systémů s rozprostřeným spektrem.....	32
4.2.3 DSSS modulace.....	32
4.3 Zadání a vypracování laboratorní úlohy.....	34
4.3.1 Cíl laboratorní úlohy.....	34
4.3.2 Zadání úlohy .....	34
4.3.3 Vypracování úlohy .....	34

<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>35</b>
A.  Laboratorní úloha ASK, FSK a BPSK modulace a demodulace .....	35
A.1  Popis a zadání úlohy.....	35
A.2  Vzorový vypracovaný protokol .....	45
A.3  Zadání pro vyučující.....	47
B.  Laboratorní úloha PCM kódování a dekódování.....	52
B.1  Popis a zadání úlohy.....	52
B.2  Vzorový vypracovaný protokol .....	59
B.3  Zadání pro vyučující.....	61
C.  Laboratorní úloha rozprostřené spektrum a DSSS modulace.....	65
C.1  Popis a zadání úlohy.....	65
C.2  Vzorový vypracovaný protokol .....	70
C.3  Zadání pro vyučující.....	72
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>74</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>75</b>

## SEZNAM ZKRATEK

A/D, D/A	Analogově – digitální , Digitálně – Analogový převod
AM	Amplitude Modulation – amplitudová modulace
ASK	Amplitude Shift Keying – amplitudové klíčování
BPSK	Binar Phase Shift Keying – dvoustavové fázové klíčování
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum – rozprostření pomocí přímé kódové posloupnosti
FM	Frequency Modulation – frekvenční modulace
FSK	Frequency Shift Keying – frekvenční klíčování
LPF	Low – Pass Filter – dolní propust
NRZ	Non Return to Zero – typ linkového kódu
PCM	Pulse-Code Modulation – pulzní kódová modulace
PNP	Pseudo Náhodná Posloupnost
TDM	Time Division Multiplex – časový multiplex
TIMS	Telecommunicatin Instructional Modeling System – Telekomukační instruktážní modulační systém
TTL	Transistor – Transistor Logic
VCO	Voltage Controlled Oscillator – napětím řízený oscilátor

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Zařízení Tims 301.....	11
Obr. 1.2: Základní okno programu TutorTIMS .....	13
Obr. 1.3: Zařízení TimsBiskit .....	14
Obr. 2.1: Systém s modulovaným signálem .....	16
Obr. 2.2: Průběhy jednotlivých signálů u AM modulace .....	18
Obr. 2.3: Průběhy jednotlivých signálů u FM modulace.....	19
Obr. 2.4 Průběh ASK signálu .....	21
Obr. 2.5: Průběh FSK signálu .....	22
Obr. 2.6: Průběh BPSK signálu .....	23
Obr. 3.1: Zobrazení kvantování a kódování pomocí čtyř bitů .....	27
Obr. 3.2: TDM rámeček .....	28
Obr. 3.3: Blokové schéma pro přenos PCM pomocí TDM .....	28
Obr. 4.1: a) úzkopásmové rušení b) širokopásmové rušení.....	32
Obr. 4.2: Blokové schéma vysílače DSSS modulace .....	33
Obr. 4.3: Blokové schéma přijímače DSSS modulace .....	33

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1: Seznam realizovatelných úloh .....	15
Tabulka 3.1: Rozdíl binárního a Grayova kódování .....	26

# ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je navrhnutí nových laboratorních úloh do předmětu Přístupové a transportní sítě za použití výukového systému TimsBiskit. V této práci lze nalézt stručný popis všech zařízení firmy Emona, kterými disponuje laboratoř předmětu přístupové s transportní sítě.

První kapitola podrobně popisuje historický vznik firmy Emona a možnosti využití jejich jednotlivých zařízení.

Druhá kapitola se zabývá problematikou digitálních modulací a to především obecným popisem jednotlivých typů modulací. V praktické části je řešena laboratorní úloha, kde si studenti vyzkouší realizaci ASK, FSK a BPSK modulací s jejich zpětnou demodulací.

Ve třetí kapitole jsou popsány jednotlivé kroky vzniku PCM signálu, jeho kódování a dekódování. V praktické části je řešena laboratorní úloha, kde si studenti vyzkouší generování PCM signálu, výhody časového multiplexu a ověří vznik zkreslení při omezené šířce pásma.

Čtvrtá kapitola se zabývá obecně problematikou rozprostřeného spektra. Konkrétně je popsána metoda rozprostření pomocí přímé kódové posloupnosti. V praktické části je řešena laboratorní úloha, kde si studenti vyzkouší generování DSSS modulace a demodulace a ověří výhody systémů s rozprostřeným spektrem.

V příloze této práce je pro každou laboratorní úlohu vypracováno zadání pro studenty, vzorový vypracovaný protokol a zadání pro vyučující. Zadání pro vyučující obsahuje konkrétní zapojení jednotlivých úloh a odpovědi na kontrolní otázky.

# 1 ZAŘÍZENÍ EMONA TIMS

V roce 1971 si Tim Hooper, docent Univerzity Nového Jižního Walesu (Sydney, Austrálie) představuje telekomunikační cvičný systém, který by umožnil studentům realizovat laboratorní experimenty bez času potřebného na přípravu a testování použitých přístrojů.

Výsledkem jeho vize je TIMS: Telecommunication Instructional Modelling System, flexibilní a univerzální komunikační zařízení, které zahrnuje všechny důležité prvky potřebné k rychlé a snadné realizaci všech laboratorních experimentů.

Koncept TIMSu prokázal svůj úspěch tím, že slouží desítkám tisíců studentům ve více než 15 zemích světa. Je to nejmodernější telekomunikační vzdělávací systém na světě. Společnost Emona dále pokračuje ve vývoji a zlepšování původního konceptu. Tím je zaručeno, že studenti využívající TIMS mají praktické zkušenosti v nejnovějších oblastech telekomunikační teorie.

V současné době je laboratoř vybavena jedním modelem TIMS 301, dvěma modulárními systémy Tims Biskit a počítači vybavenými programem tutorTIMS.

## 1.1 Tims 301

Tims 301 je základním modelem firmy Emona. V základu zařízení obsahuje 8 napevno upevněných karet v dolní polovině skříně a 12 volných slotů, do kterých lze vkládat jednotlivé karty. TIMS 301 je zobrazen na Obr. 1.1. Karty slouží k rozšiřování funkcí zařízení, každá karta je realizována jako jednotlivý funkční obvod, nebo skupina obvodů.



Obr. 1.1: Zařízení Tims 301

Karty lze rozdělit do tří skupin:

- Generátory signálů (zdroje napětí, oscilátory)
- Měřicí karty (čítače, karta pro propojení s počítačem)
- Speciální karty (filtry, násobičky, komparátory)

Kombinací těchto karet je možno realizovat většinu experimentů z oblasti telekomunikace. V základní variantě je dodáváno 15 modulárních karet, umožňující realizaci základních analogových a digitálních úloh. V laboratoři je však zakoupeno několik dalších rozšiřujících karet, které umožňují realizaci složitějších laboratorních úloh. Celkem je v laboratoři 30 rozšiřujících karet. Výsledky jednotlivých úloh lze sledovat na počítači pomocí programu PicoScope, který je k počítači připojen pomocí sériového rozhraní a funguje jako dvoukanálový osciloskop. Kromě programu PicoScope lze k zobrazení výsledků použít jakýkoli dnes dostupný dvoukanálový osciloskop se vstupem pro externí synchronizaci.

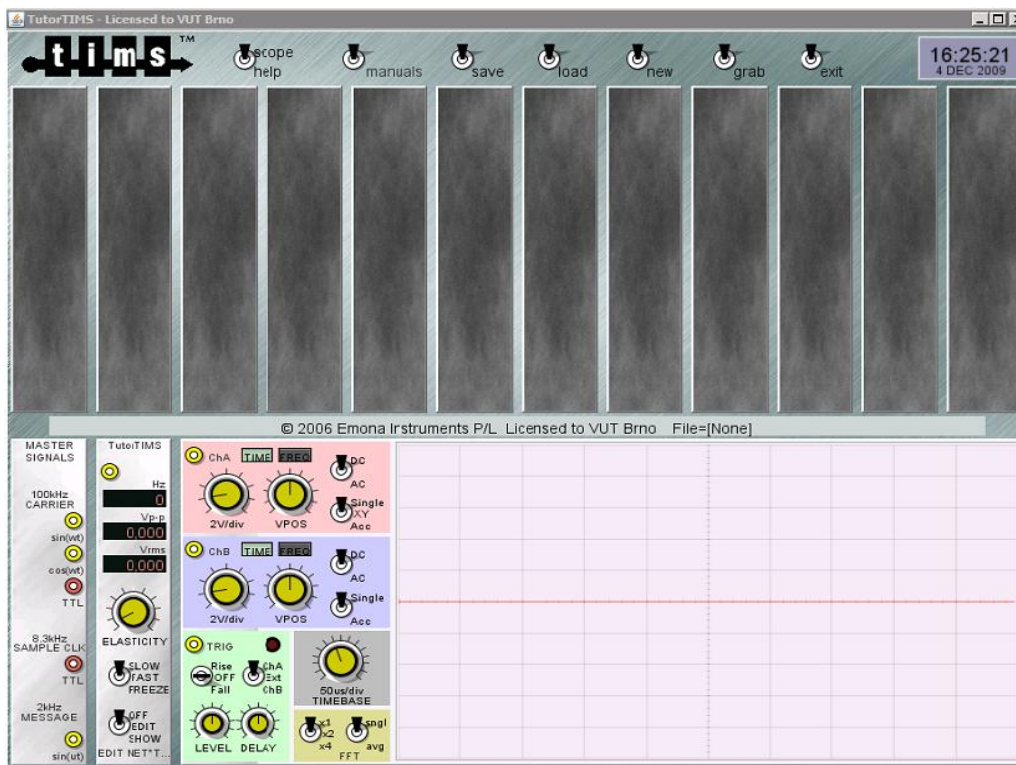
## 1.2 Tutor TIMS

TutorTIMS je softwarový program napsaný v jazyce JAVA, který umožňuje realizaci stejných úloh jako hardwarový model Tims 301. Jeho výhodou je možnost práce více studentů zároveň, což u hardwarové verze není možné. Nevýhodou je naopak pouze grafická realizace programu, při které student nepřijde do kontaktu s jednotlivými modulárními kartami. V programu lze vytvářet samostatné úlohy, nebo je možnost využít již předpřipravených úloh a pouze je podle potřeby modifikovat.

Vzhled programu je na Obr. 1.2. V horní části programu se nachází 12 volných pozic pro vložení funkčních karet. Vložení se provádí pomocí pravého tlačítka myši a volbou požadované karty. Moduly jsou členěny do 3 kategorií – základní, pokročilé a expertní. Každý modul má své pojmenování a k jeho propojení s ostatními moduly slouží barevné svorky. Žlutá barva svorek označuje analogový vstup či výstup, červeně označené svorky slouží pro digitální vstup či výstup. Zeleně je označeno uzemnění.

Ve spodní části programu jsou napevno umístěny moduly, které slouží jako základní generátory signálu, jednoduchý čítač frekvence a napětí a vstupy pro grafický výstup.

Ovládání programu je velmi intuitivní a studentovi vysoké školy by nemělo činit žádné potíže. Propojování jednotlivých modulů se provádí pomocí myši, kde postupně označíme zdířky a dochází k jejich propojení.



Obr. 1.2: Základní okno programu TutorTIMS

## 1.3 TimsBiskit

### 1.3.1 Základní popis

Zařízení TimsBiskit je primárně určeno technickým školám, kde jsou studenti poprvé seznamováni se základy telekomunikací. Konceptně vychází TimsBiskit ze zařízení Tims 301. TimsBiskit je však pro potřeby základního seznámení s problematikou značně zjednodušen. Celé zařízení se skládá ze základní desky, kde jsou jednotlivé funkční karty pouze graficky vyznačeny. Zachovány jsou pouze vstupy, výstupy a ovládací prvky jednotlivých karet, které je potřeba mezi sebou vhodně propojit. Vzhled TimsBiskit je na Obr. 1.3. TimsBiskit může být napájen libovolným stejnosměrným adaptérem v rozsahu napětí 9 až 15 V, který dodává konstantní proud

1 A. Zařízení díky své uzavřené konstrukci trpí drobnými vadami. Během delšího provozu dochází ke značnému zahřátí celé střední části přípravku. Další nevýhodu spatřuji v použitých typech mikrosplínačů, které nejsou stavěny na velmi časté přepínání. Na obou modulech v laboratoři je již patrná jejich značná opotřebovanost, a proto je potřeba dbát zvýšené opatrnosti s jejich manipulací.



Obr. 1.3: Zařízení TimsBiskit

### 1.3.2 Popis modulů a seznam realizovatelných úloh

TimsBiskit se skládá z celkem 21 modulů, které umožňují realizaci nejzákladnějších analogových i digitálních úloh z oblasti telekomunikací. V manuálu výrobce [2] je stručně popsáno 21 úloh které lze na přípravku realizovat, jejich seznam souhrnně zobrazuje Tabulka 1.1. Na tento stručný popis úloh navazuje tato práce teoretickým rozbohem a konkrétní realizací laboratorní úlohy.

**Tabulka 1.1: Seznam realizovatelných úloh**

<b>Základní analogové úlohy</b>	
<i>Číslo úlohy:</i>	<i>Název úlohy:</i>
1	Modelování rovnic
2	Amplitudová modulace AM
3	Dvojitě postraní pásmo, DSB modulace
4	AM demodulace
5	DSB demodulace
6	SSB modulace a demodulace
7	FM modulace
8	FM demodulace
9	PM, fázová modulace
10	PWM, pulzní šířková modulace
11	PAM, pulzní amplitudová modulace
<b>Základní digitální úlohy</b>	
12	Pulzní kódová modulace, PCM
13	Časový multiplex, PCM - TDM
14	Amplitudové klíčování, ASK
15	Frekvenční klíčování, FSK
16	Dvoustavové fázové klíčování, BPSK
17	Rekonstrukce signálu
<b>Pokročilé digitální úlohy</b>	
20	Rozprostřené spektrum, DSSS modulace
21	DPSK, QPSK modulace a demodulace

Pro lepší orientaci je každý model označen svou schematickou značkou. Všechny moduly jsou navíc přehledně popsány a značeny následujícím způsobem. Každý modul má na levé straně umístěny vstupy, a naopak výstupy umístěny pouze na pravé straně. Dále je každý vstup a výstup orámován bílým kruhem nebo čtvercem. Kruhové orámování určuje analogové vstupy a výstupy s napěťovým rozpětím 4V špička-špička. Čtvercově orámované vstupy a výstupy slouží pro digitální TTL signál v rozpětí 0 – 5V.

### **Použitá literatura**

Podrobný popis jednotlivých modulů a realizaci základních úloh lze čerpat z [2].

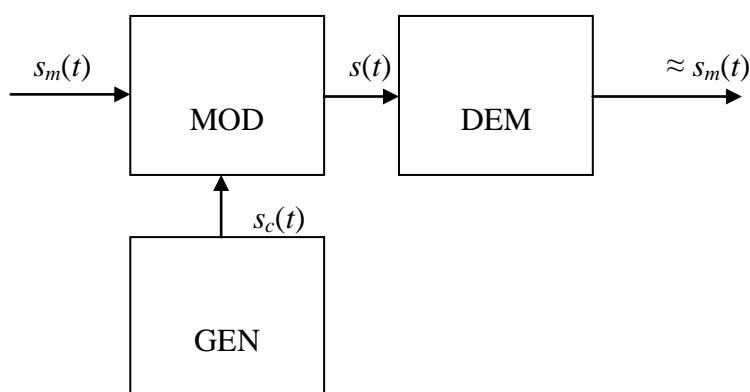
## 2 LABORATORNÍ ÚLOHA ASK, FSK A BPSK MODULACE A DEMODULACE

### 2.1 Modulace

Informace se přenášejí pomocí přenosových cest. Každá přenosová cesta má vlastnosti, které ovlivňují přenášený signál a zhoršují jeho přenos na delší vzdálenost v základním pásmu. Z tohoto důvodu se používají přenosy v přeloženém pásmu, při kterých se přenáší takové signály, které se přenosovou cestou šíří nejlépe.

Modulace je proces, při kterém se signál ze základního pásma převádí na signál v přeloženém pásmu. Modulace je ovlivňování parametrů nosného signálu modulačním signálem. Je to operace, která se v praxi velmi často používá v mnoha obměnách. Základní systém s modulovaným signálem zobrazuje Obr. 2.1. Výchozím signálem je signál modulační na obrázku označen jako  $s_m(t)$ . Pomocný signál je signál nosný, vytvářený generátorem a označen jako  $s_c(t)$ . Výstupem modulátoru MOD je modulovaný signál označený jako  $s(t)$ . Přeměnu modulovaného signálu  $s(t)$  na původní signál  $s_m(t)$  obstarává demodulátor DEM. Jako nosný signál lze použít v technické praxi zejména tyto dva typy signálů:

- harmonický nosný signál
- periodický sled impulzů



Obr. 2.1: Systém s modulovaným signálem

### 2.1.1 Analogové modulace s harmonickým nosným signálem

Harmonický nosný signál  $s_c(t)$  je vyjádřen rovnicí

$$s_c(t) = S_c \cos(\omega_c t + \varphi_c). \quad (2.1)$$

Z rovnice je zřejmé, že nosný signál je popsán třemi parametry, amplitudou  $S_c$ , úhlovým kmitočtem  $\omega_c$  a fází  $\varphi_c$ . Tomu odpovídají tři základní druhy modulace:

- Amplitudová (amplitude modulation, AM)
- Kmitočtová (frequency modulation, FM)
- Fázová (phase modulation, PM)

#### a) AM modulace

Amplitudová modulace je nejjednodušší z hlediska matematického popisu. Jako modulační signál si zvolíme signál harmonický

$$s_m(t) = \cos \Omega t. \quad (2.2)$$

Modulovanou veličinou je amplituda, takže výsledný modulovaný signál  $s_t(t)$  lze zapsat rovnicí

$$s(t) = S(t) \cos \omega_c t, \quad (2.3)$$

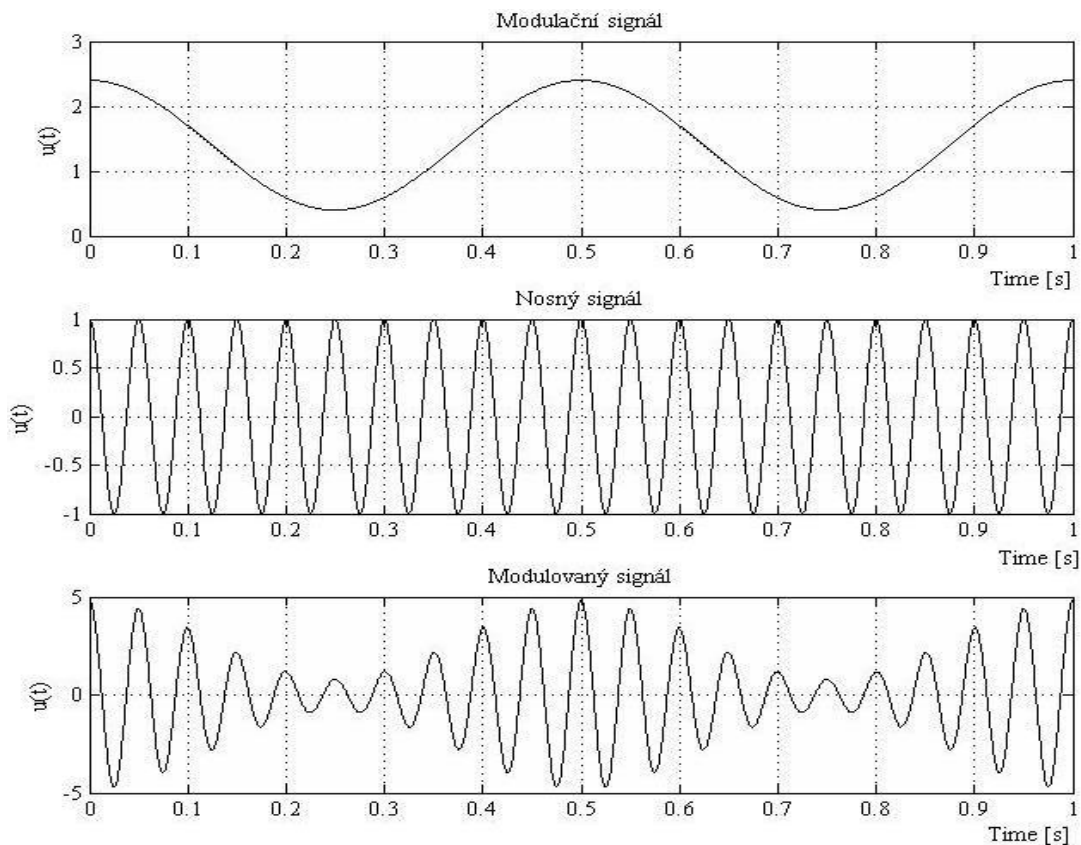
kde  $S(t)$  je okamžitá amplituda modulovaného signálu. Pro zjednodušení se předpokládá, že počáteční fáze  $\varphi_c$  nosného signálu je rovna nule. Závislost okamžité amplitudy na hodnotě modulačního signálu je lineární a vyjadřuje ji vztah

$$S(t) = S_c + m S_c s_m(t) = S_c + S_c m \cos \Omega t, \quad (2.4)$$

kde  $m$  je kladná hodnota menší nebo rovna 1. Nazývá se hloubka amplitudové modulace a nejčastěji se udává v procentech. Pro modulovaný signál  $s(t)$  můžeme psát

$$s(t) = S_c (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_c t. \quad (2.5)$$

Průběhy modulovaného, nosného a modulačního kmitočtu znázorňuje Obr. 2.2.



**Obr. 2.2: Průběhy jednotlivých signálů u AM modulace**

Funkce  $S(t)$ , na Obr. 2.2 ve spodní části obrázku vytváří obálku modulovaného signálu a svým průběhem odpovídá modulačnímu signálu  $s_m(t)$ , až na stejnosměrnou složku.

### **b) FM modulace**

Frekvenční modulace je závislost okamžitého kmitočtu nosné vlny na změně amplitudy modulačního signálu. Okamžitá úhlová frekvence  $\Omega(t)$  je funkcí času a mění se podle okamžité výchylky modulačního signálu.

Obecně bude mít nosná vlna průběh

$$s_c(t) = S_c \sin(\Omega t + \varphi), \quad (2.6)$$

kde  $S_c$  je amplituda, úhlová frekvence  $\Omega t$  a  $\varphi$  fáze nosného signálu. V případě frekvenční modulace je funkcí času úhlová frekvence  $\Omega t$  a jako harmonickou funkci času ji můžeme vyjádřit vztahem

$$\Omega(t) = \Omega + \Delta\Omega \cos(\omega t), \quad (2.7)$$

kde  $\Delta\Omega$  je frekvenční zdvih. Po dosazení do rovnice (2.6) a položení fázového posuvu  $\varphi = 0$  dostaneme vztah

$$s_c(t) = S_c \sin((\Omega + \Delta\Omega \cos(\omega t))t) = S_c \sin(\Phi(t, \omega)), \quad (2.8)$$

kde funkce  $\Phi(t, \omega)$  je okamžitá fáze napětí a pro  $\varphi = 0$  je rovna integrálu úhlové frekvence  $\Omega(t)$  podle  $t$ .

$$\Phi(t, \omega) = \int \Omega(t) dt = \int (\Omega + \Delta\Omega \cos(\omega t)) dt = \Omega t + \frac{\Delta\Omega}{\omega} \sin(\omega t). \quad (2.9)$$

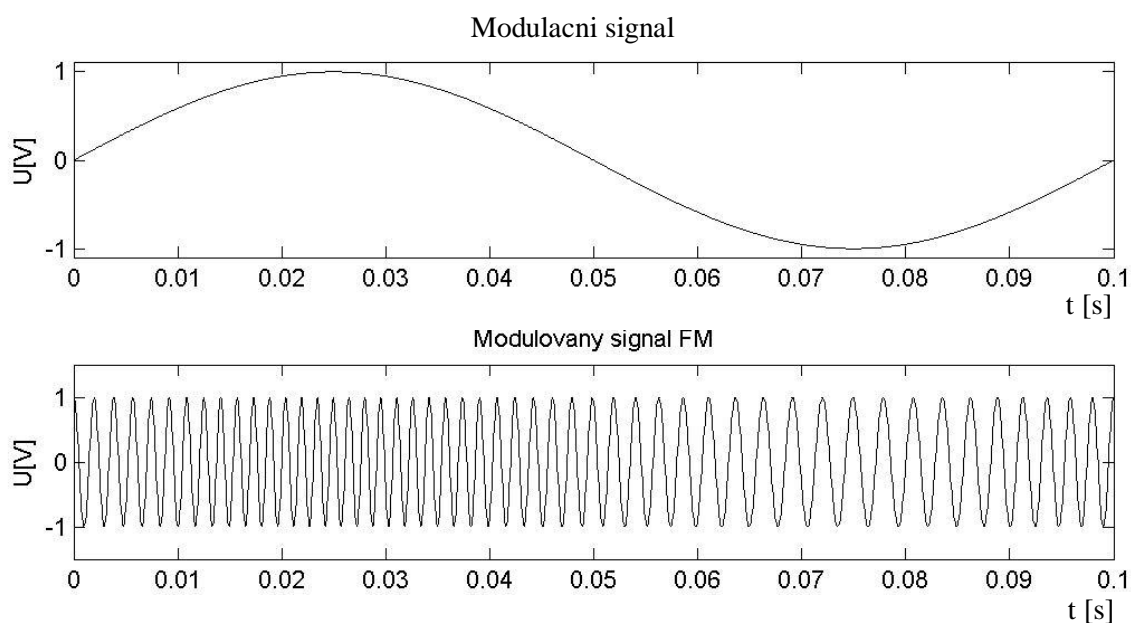
Dále je potřeba definovat parametr modulačního indexu FM označovaným  $m_{FM}$

$$m_{FM} = \frac{\Delta\Omega}{\omega} = \frac{2\pi\Delta f}{2\pi f_m}, \quad (2.10)$$

kde  $\Delta f$  je frekvenční zdvih a  $f_m$  frekvence modulačního signálu. Dosazením funkce  $\Phi(t, \omega)$  zpět do rovnice (2.8) dostáváme nejčastěji používaný tvar rovnice frekvenčně modulovaného signálu

$$s_c = S_c \sin(\Omega t + m_{FM} \sin(\omega t)). \quad (2.11)$$

Kde  $s_c$  je okamžitá hodnota napětí modulovaného signálu,  $S_c$  amplituda nosného signálu,  $\Omega t$  úhlová frekvence nosného signálu,  $m_{FM}$  modulační index a  $\omega$  frekvence modulačního signálu. Průběhy jednotlivých signálů zobrazuje Obr. 2.3.



**Obr. 2.3: Průběhy jednotlivých signálů u FM modulace**

## 2.1.2 Digitální modulace s harmonickým nosným signálem

Digitální modulace vycházejí z principu analogových modulací s harmonickým nosným signálem. Modulačním signálem je nejčastěji dvoustavový, binární signál, který vyjadřuje posloupnost jedniček a nul. Binárním modulačním signálem je možné modulovat amplitudu, frekvenci nebo fázi nosné vlny. U dvojstavových modulací se modulovaný parametr mění pouze mezi dvěma diskrétními stavy, z nichž jeden odpovídá modulačnímu bitu 0 a druhý bitu 1. Pro digitální modulace se rovněž používá termín klíčování.

### a) Amplitudové klíčování

Amplitudové klíčování se označuje zkratkou ASK (z anglického Amplitude Shift Keying). Amplitudové klíčování je obdobou amplitudové modulace. Nosný signál lze zapsat ve tvaru

$$s_c(t) = \frac{1}{2}S_c e^{j\omega_c t} + \frac{1}{2}S_c e^{-j\omega_c t}. \quad (2.12)$$

Při použití modulačního signálu typu NRZ zobrazující posloupnost 1010101, orientovaného jako sudá funkce budou koeficienty Fourierovy řady signálu dány vztahem

$$c_k = D \frac{\vartheta}{T_1} \operatorname{sinc}\left(k\omega_1 \frac{\vartheta}{2}\right) = 1 \frac{T}{2T} \operatorname{sinc}\left(k \frac{2\pi T}{2T}\right) = \frac{1}{2} \operatorname{sinc}\left(k \frac{\pi}{2}\right). \quad (2.13)$$

Modulační signál  $g(t)$  proto můžeme zapsat jako

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{2} \operatorname{sinc}\left(k \frac{\pi}{2}\right) e^{jk\omega_1 t}. \quad (2.14)$$

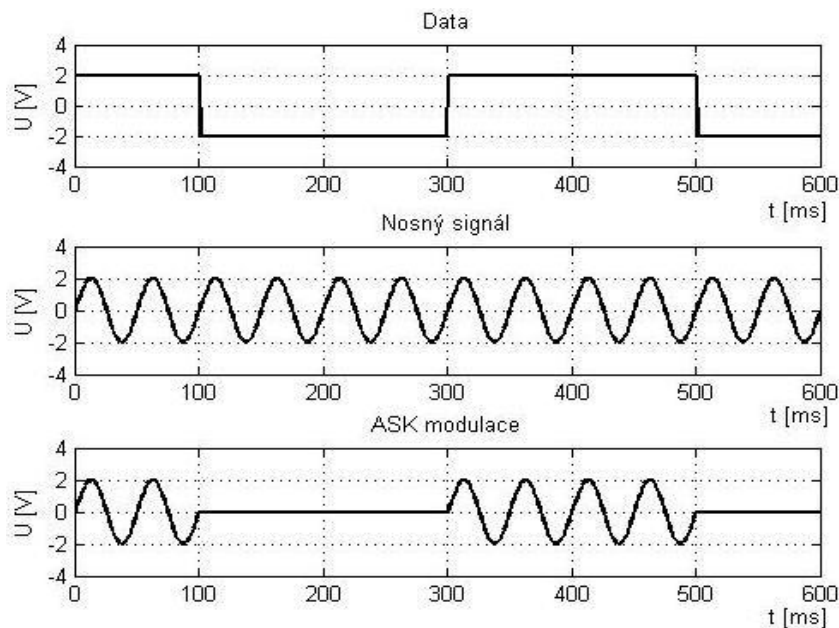
Klíčovaný signál lze tedy zapsat jako součin

$$s(t) = g(t)s_c(t). \quad (2.15)$$

Po dosazení z (2.13) a (2.14) do vztahu (2.15) dostáváme

$$s(t) = \frac{1}{4}S_c \sum_{k=-\infty}^{\infty} \operatorname{sinc}\left(k \frac{\pi}{2}\right) e^{[j(\omega_c+k\omega_1)t]} + \frac{1}{4}S_c \sum_{k=-\infty}^{\infty} \operatorname{sinc}\left(k \frac{\pi}{2}\right) e^{[j(\omega_c-k\omega_1)t]} \quad (2.16)$$

Časový průběh ASK signálu zobrazuje Obr. 2.4.



**Obr. 2.4 Průběh ASK signálu**

### b) Kmitočtové klíčování

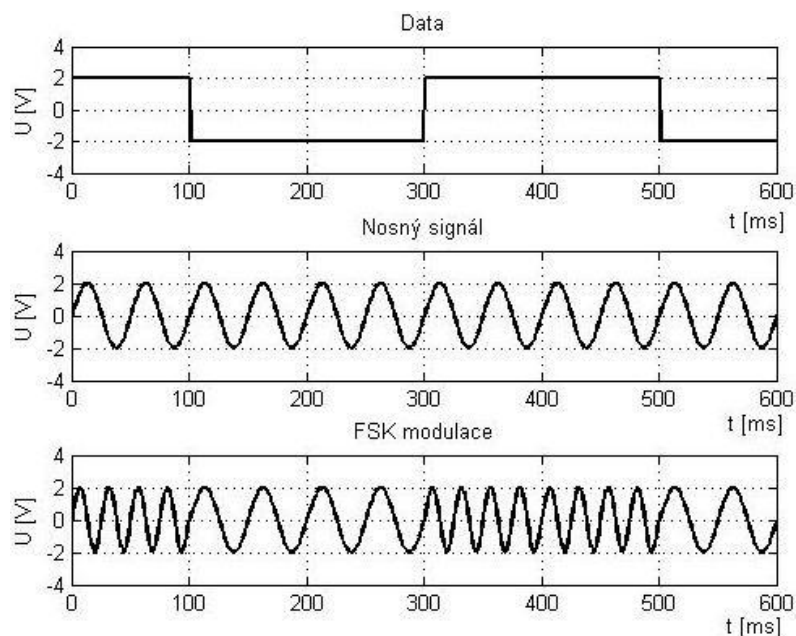
Kmitočtové klíčování se označuje zkratkou FSK (z anglického Frequency Shift Keying). Dvoustavová FSK modulace využívá dvě nosné vlny s kmitočty  $f_1$  a  $f_2$ , které se přepínají na výstup v rytmu modulačního signálu. Pokud kmitočty  $f_1$  a  $f_2$  nejsou v žádném vztahu s bitovou frekvencí  $f_b = 1/T_b$ , vznikají při přechodech fázové nespojitosti v modulovaném signálu. Modulovaný signál je definován vztahem

$$s(t) = \frac{\sqrt{2E_b}}{T_b} \cos[2\pi(f_n + \Delta f)t], \quad \text{pro } 0 \leq t \leq T_b \text{ (binární 1)} \quad (2.17a)$$

$$s(t) = \frac{\sqrt{2E_b}}{T_b} \cos[2\pi(f_n - \Delta f)t], \quad \text{pro } 0 \leq t \leq T_b \text{ (binární 0)}. \quad (2.17b)$$

Kde  $\frac{\sqrt{2E_b}}{T_b}$  je amplituda modulovaného FSK signálu,  $E_b$  je energie modulovaného signálu na jeden modulační bit,  $T_b$  je bitová perioda,  $f_n$  je kmitočet nosné vlny a  $\Delta f$  je kmitočtový zdvih.

FSK modulace se v České republice využívá pro přenos čísla volajícího k ústředně na analogových telefonech. Speciální variantou FSK modulace je GSM modulace, která se používá u mobilních telefonů. Časový průběh FSK modulace zobrazuje Obr. 2.5. Jako modulátor FSK modulace se nejčastěji používá napětím řízený oscilátor.



**Obr. 2.5: Průběh FSK signálu**

### c) Dvoustavové fázové klíčování

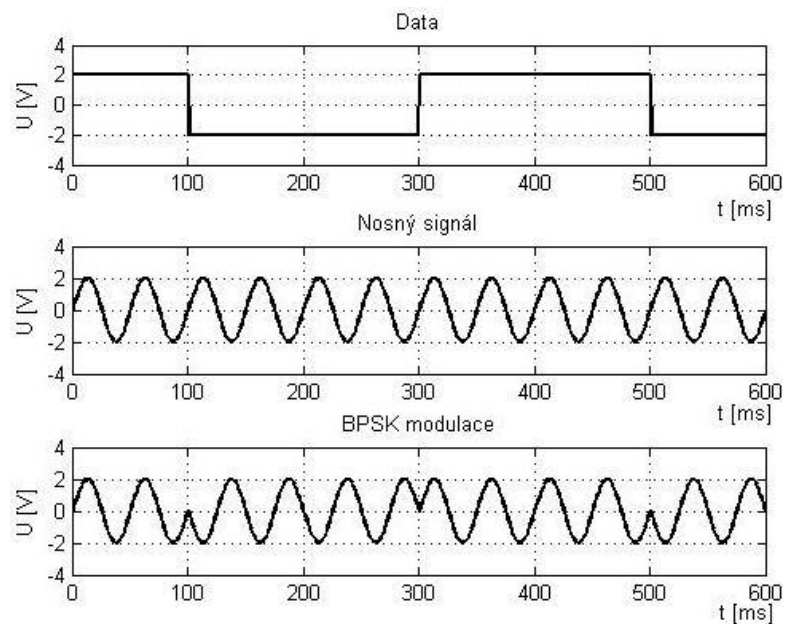
Dvoustavové fázové klíčování BPSK (z anglického Binary Phase Shift Keying), taktéž klíčování rezervací fáze. Označuje se také 2PSK. Nula je vyjádřena jako

$$s_0(t) = -S_c \cos \omega_c t = S_c \cos(\omega_c t + \pi) \quad \text{pro } 0 \leq t \leq T, \quad (2.18a)$$

jednička je vyjádřena

$$s_1(t) = S_c \cos \omega_c t \quad \text{pro } 0 \leq t \leq T. \quad (2.18b)$$

Prvky nuly a jedničky se liší znaménkem, a proto jsou velmi dobře rozlišitelné. BPSK klíčování se díky tomu vyznačuje dobrou odolností proti rušení. Průběh BPSK modulace zobrazuje Obr. 2.6.



**Obr. 2.6: Průběh BPSK signálu**

### 2.1.3 Impulzní modulace

U impulzních modulací je nosným signálem periodický signál tvořený pravoúhlými impulzy. Ovlivňovaným parametrem může být šířka impulzu, výška impulzu, poloha impulzu vůči daným taktovacím bodům nebo opakovací kmitočet impulzů. V současnosti se využívá šířkových modulací k převodu digitálních signálů na analogové. Mezi základní modulace patří:

- PAM 1 a PAM 2
- PWM
- PPM

### Použitá literatura

Podrobnější popis nejen zde popsaných modulací je uveden v literatuře [2], [5], [6], [7].

## **2.2 Zadání a vypracování laboratorní úlohy**

### **2.2.1 Cíl laboratorní úlohy**

Cílem této laboratorní úlohy je seznámení se s přípravkem Tims Biskit. Dále si studenti vyzkoušejí praktickou realizaci jednotlivých digitálních modulací, demodulací a odolnost jednotlivých modulací proti rušení.

### **2.2.2 Zadání úlohy**

1. Seznamte se s pracovištěm, přípravkem Tims Biskit a dvoukanálovým osciloskopem BK Precision 2530.
2. Prostudujte principy generování ASK, FSK a BPSK modulace.
3. Prostudujte principy demodulací jednotlivých modulačních signálů.
4. Pomocí přípravku Tims Biskit realizujte jednotlivé modulace a demodulace.
5. Určete odolnost ASK, FSK a BPSK modulace vůči rušení.

### **2.2.3 Vypracování úlohy**

Vypracované zadání pro studenty a vzorový protokol je součástí přílohy této bakalářské práce.

## 3 LABORATORNÍ ÚLOHA PCM KÓDOVÁNÍ A DEKÓDOVÁNÍ

### 3.1 Pulzní kódová modulace (PCM)

Nejstarší a nejrozšířenější digitální modulace v základním pásmu je pulzní kódová modulace (PCM z anglického pulse-code modulation). Při vytváření PCM signálu se analogový signál převádí na digitální během tří kroků, kterými jsou vzorkování, kvantování a kódování.

#### 3.1.1 Jednotlivé kroky při vzniku PCM

##### a) Vzorkování

Analogový signál je na vstupu PCM kodéru vzorkován nejčastěji za použití vzorkovacího obvodu, který nejčastěji používá vzorkovací metodu sample & hold. Tato metoda je založena na principu odebírání vzorků napětí v daných časových intervalech pomocí jednoduchého obvodu. Tento obvod lze nejjednodušeji realizovat pomocí zdroje signálu  $U_s$ , spínače  $S$ , paměti  $C_v$  realizované kondenzátorem a výstupním napětím  $U_v$ . Vzorkování probíhá tak, že vstupní signál je pomocí spínače  $S$  po dobu  $T$  připojován na vzorkovací kondenzátor, který udrží náboj daného vzorku do doby příchodu dalšího vzorku. Signál lze obnovit, pokud vzorkovací frekvence bude větší nebo rovna dvojnásobku horní mezní frekvence vzorkovaného signálu (Shannon – Kotelnikovův teorém, Nyquistova věta). Pokud by tato podmínka nebyla dodržena, dojde ke zkreslení signálu, který již nejde obnovit do původní podoby.

##### b) Kvantování

Kvantováním určujeme počet kvantizačních hladin, které budou v digitální formě reprezentovat odebrané vzorky. Kvantováním dochází ke ztrátě původní informace, jelikož jednotlivým kvantizačním vzorkům je přiřazena nejbližší vyšší nebo nižší kvantizační úroveň. Počet hladin se rovná  $N$ -té mocnině čísla 2 a kvantovaný signál lze poté vyjádřit pomocí  $N$  bitů. Důležitým parametrem je kvantizační šum vyjádřený v decibelech, který udává rozdíl mezi nekonečným počtem vstupních hodnot a konečným počtem výstupních hodnot.

### c) Kódování

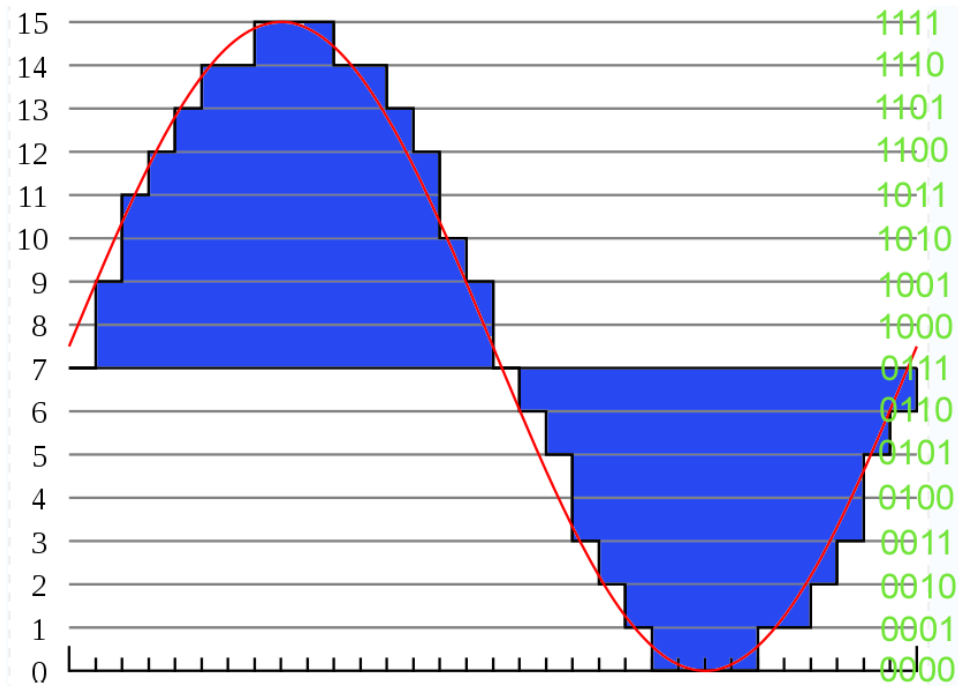
Při kódování se v kodéru přidělí kvantovaným vzorkům nejčastěji binární kombinace, do které se signál zakóduje. Na Obr. 3.1 je přehledně zobrazeno přidělení vstupního sinusového signálu kvantovacím hladinám a jejich zakódování pomocí čtyř bitů. Kromě binárního zakódování se lze setkat i s kodéry, které kódují do Grayova kódu. Rozdíl v kódování pomocí binárního a Grayova kódování spočívá v tom, že u Grayova kódování se mění vždy pouze jeden bit. Tento rozdíl přehledně zobrazuje Tabulka 3.1.

### d) Analogově - digitální a digitálně - analogové převodníky

V dnešní době integrovaných obvodů lze řešit převod analogového signálu do digitální formy pomocí analogově – digitálních převodníků. Vyrábí se s různým systémem převodu signálu. Mezi nejrozšířenější patří komparační, integrační, paralelní, sigma/delta převodníky a jiné. Každá metoda převodu se liší vlastnostmi, a proto je potřeba pro konkrétní aplikaci volit vhodný převodník. Na opačném principu fungují digitálně – analogové převodníky, které zajišťují převod digitálního signálu zpět na analogový. Pro dosažení nejlepšího převodu na digitální a zpět na analogový signál je vhodné volit oba převodníky pracující na stejném principu.

**Tabulka 3.1: Rozdíl binárního a Grayova kódování**

<b>Binární kód</b>	<b>Grayův kód</b>
000	000
001	001
010	011
011	010
100	110
101	111
110	101
111	100



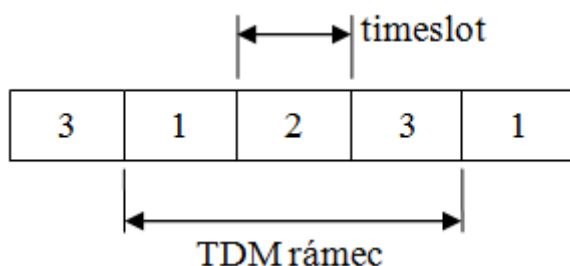
Obr. 3.1: Zobrazení kvantování a kódování pomocí čtyř bitů

### 3.1.2 Časový multiplex

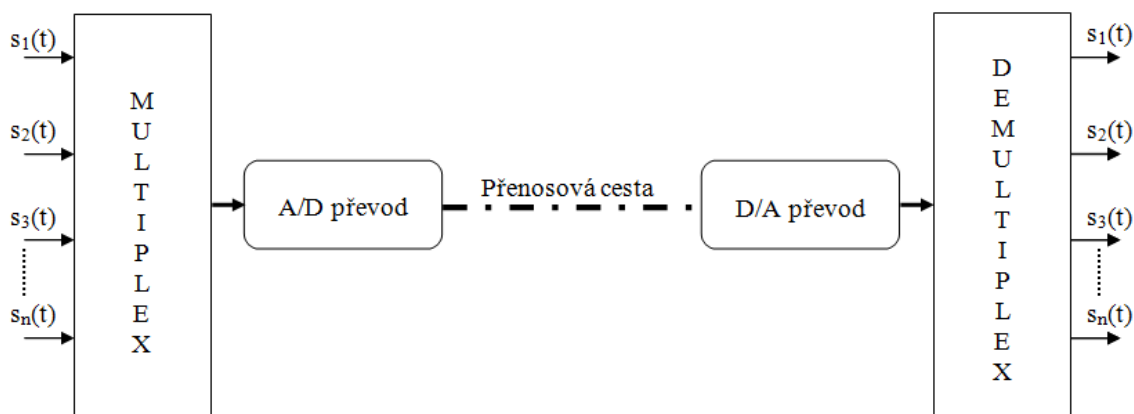
Časový multiplex (TDM z anglického time division multiplex) je typ multiplexu, při kterém je každý z několika různých vstupních signálů přenášen pomocí jednoho společného přenosového média. Vysílač zajišťuje funkci multiplexu a v přesně stanovených časových intervalech vybírá jednotlivé vstupní signály a jejich obsah umísťuje do tzv. timeslotů. Přijímač, který realizuje funkci demultiplexoru podle známých časových intervalů přepíná obsah příchozích timeslotů na jednotlivé výstupy. Pro správnou funkci je potřeba zajistit správnou synchronizaci přijímače s vysílačem. Synchronizaci lze řešit vložением synchronizační posloupnosti do TDM rámce, nebo ji lze přenášet samostatně. Příklad TDM rámce kde každý timeslot náleží rozdílnému vstupu zobrazuje Obr. 3.2.

Pro PCM kódování existují dvě varianty multiplexování. První varianta zobrazená na Obr. 3.3 využívá toho, že časově prokládá jednotlivé vzorky dílčích vstupních kanálů a takto vytvořený signál poté kvantuje a kóduje jako celek. Druhá často používaná varianta jednotlivé vstupní kanály zakóduje do PCM signálu. Poté je rozdělí na vhodně dlouhé kódové skupiny, které časově komprimuje tím, že je ukládá do paměti a ve stanovených časových intervalech vybírá n-násobně rychleji, kde n je rovno počtu vstupních kanálů. Takto vzniklé komprimované segmenty PCM se teprve časově multiplexují.

Časový multiplex se například využívá pro přenos digitálních telefonních hovorových signálů, u ISDN přípojek nebo také v mobilních GSM systémech.



Obr. 3.2: TDM rámeček



Obr. 3.3: Blokové schéma pro přenos PCM pomocí TDM

### Použitá literatura

Podrobnější popis vzorkování, kvantování, i různých typů kódování lze čerpat z literatury [1], [2], [8].

## **3.2 Zadání a vypracování laboratorní úlohy**

### **3.2.1 Cíl laboratorní úlohy**

Cílem této laboratorní úlohy je seznámení se s přípravkem Tims Biskit. Dále si studenti vyzkoušejí praktickou realizaci PCM kodéru a dekodéru spolu s ovlivňováním šířky přenosového pásma.

### **3.2.2 Zadání úlohy**

1. Seznamte se s pracovištěm, přípravkem Tims Biskit a dvoukanalovým osciloskopem BK Precision 2530.
2. Seznamte se podrobně s jednotlivými kroky vzniku PCM signálu.
3. Na přípravku Tims Biskit realizujte převod stejnosměrného napětí, harmonického napětí a řečového signálu do PCM.
4. Proveďte dekódování vytvořených PCM signálů.
5. Ověřte, jak se mění dekódovaný signál, pokud při jeho přenosu dojde k omezení šířky pásma přenosového kanálu.

### **3.2.3 Vypracování úlohy**

Vypracované zadání pro studenty, vzorový protokol a podrobný popis laboratorní úlohy je součástí přílohy této bakalářské práce.

## 4 LABORATORNÍ ÚLOHA ROZPROSTŘENÉ SPEKTRUM, DSSS MODULACE

### 4.1 Mnohonásobný přístup k médiu a metody multiplexování

Systémy určené pro přenos informace a vzájemnou komunikaci využívá velký počet účastníků. Bezproblémový a rychlý přístup účastníka ke službám stanovuje protokol mnohonásobného přístupu MAP (Multiple Access Protocol). V dnešní době existují čtyři základní metody mnohonásobného přístupu do systému:

- FDMA (Frequency Division Multiple Access), mnohonásobný přístup s frekvenčním dělením
- TDMA (Time Division Multiple Access), mnohonásobný přístup s časovým dělením
- CDMA (Code Division Multiple Access), mnohonásobný přístup s kódovým dělením
- Náhodný přístup

Metoda přístupu pomocí FDMA je nejstarší metoda používaná v analogových systémech. Každému účastníkovi systém přidělí určité frekvenční pásmo, které ve stejnou dobu nemůže využívat nikdo jiný.

U mnohonásobného přístupu TDMA je každému účastníkovi přidělen v určitém frekvenčním pásmu pouze krátký časový úsek (time slot), který je součástí TDMA rámce, který se periodicky opakuje. Přenos neprobíhá v čase spojitě, ale ve stejně dlouhých časových úsecích, které se periodicky opakují. Princip fungování této metody je popsán v laboratorní úloze, která se zabývá problematikou PCM kódování a dekodování.

Metoda přístupu pomocí CDMA rozlišuje jednotlivé uživatele pomocí individuálních pseudonáhodných posloupností, které se využívají k rozprostření vysílaného signálu. Používané frekvenční pásmo mohou využívat nejen ostatní účastníci systému, ale i jiné systémy pracující na odlišných principech. Na vstup přijímače se dostávají kromě požadovaných signálů i signály jiné. Za použití stejné pseudonáhodné posloupnosti, která byla použita ve vysílači se z přijímaného signálu oddělí pouze požadovaný signál.

## 4.2 Systémy s rozprostřeným spektrem

### 4.2.1 Charakteristika systémů s rozprostřeným spektrem

První zmínky o systémech s rozprostřeným spektrem se objevují již na sklonku 50. let minulého století. Původně byly tyto systémy vyvíjeny pro armádní účely díky jejich výhodám, které jsou popsány níže v textu. V této době byla realizace takových systémů velice složitá a drahá. Ke stavbě generátoru pseudonáhodné posloupnosti bylo v roce 1967 zapotřebí více než jednoho sta diskretních spínacích tranzistorů a dalších několika stovek pasivních součástek. V dnešní době lze již generátor, i ostatní prvky vysílače a přijímače realizovat pomocí monolitického integrovaného obvodu. Později došlo k jejich rozšíření i do civilní sféry, a dnes se technologie rozprostřeného spektra využívá převážně v bezdrátové komunikaci.

Na vysílací straně systému s rozprostřeným spektrem je úzkopásmový datový signál kódován (rozprostírán) přiděleným rozprostíracím kódem. Po kódování se u výsledného rozprostřeného signálu výrazně rozšíří spektrum a sníží se tím jeho spektrální výkonová hustota, která je mnohem nižší než u signálu úzkopásmového. Na přijímací anténě se objevují nejen superpozice všech rozprostřených signálů, ale i jiné signály. V každém přijímači je generován rozprostírací kód, kterým se derozprostírá přijímaný signál. Po dekódování se na vstupu objevuje pouze dekódovaný úzkopásmový signál, který byl ve vysílači kódován stejným rozprostíracím kódem. U ostatních signálů nedojde k dekódování, protože přijímač nezná jejich kódovou posloupnost, a tyto signály pouze snižují odstup užitečného signálu od šumu.

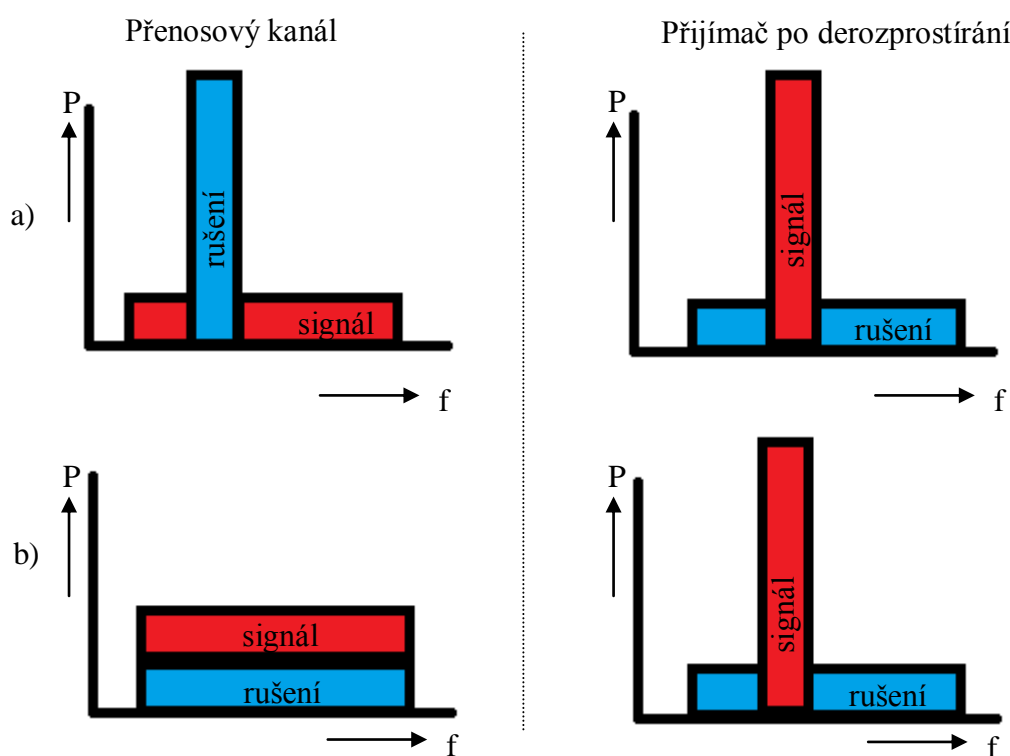
Porovnáním spekter úzkopásmového a rozprostřeného signálu vyplývá, že rozprostřený signál, který je velmi podobný šumovému pozadí je hůře identifikovatelný než úzkopásmový signál s velkou spektrální výkonovou hustotou. Mimo ztížené identifikace rozprostřeného signálu jej nelze dekódovat bez znalosti rozprostíracího kódu. Z tohoto důvodu byly tyto systémy původně vyvíjeny pro vojenské účely.

Podle způsobů rozšíření spektra signálu se systémy s rozprostřením spektra dělí na:

- Systémy s přímou modulací kódovou posloupností DS
- Systémy s kmitočtovým skákáním nosné frekvence FH
- Hybridní systémy DS-FH

## 4.2.2 Výhody systémů s rozprostřeným spektrem

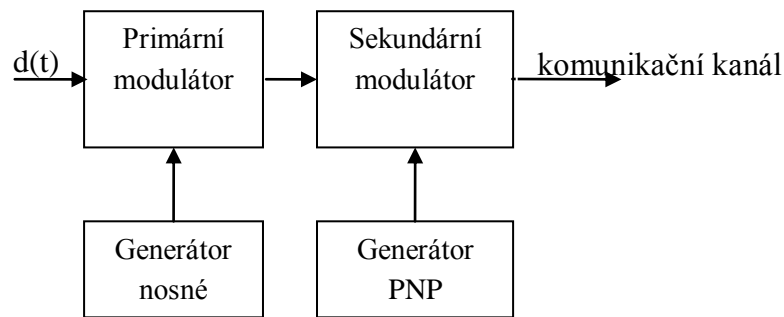
Jednou z výhod systémů s rozprostřeným spektrem je jejich vlastní ochrana vůči odposlechu použitím jedinečných rozprostíracích kódů. Další výhodou je odolnost proti úzkopásmovému i širokopásmovému rušení. Zobrazení obou typů rušení přehledně ilustruje Obr. 4.1. V případě úzkopásmového rušení je na přijímači rozprostřený užitečný signál dekódován na původní úzkopásmový, a přijaté úzkopásmové rušení je naopak pseudonáhodnou kódovou posloupností rozprostřeno. V případě širokopásmového rušení, za které lze považovat i rozprostřený signál jinou kódovou posloupností, dojde v přijímači k dekódování užitečného signálu a rušivý signál bude ještě více rozprostřen.



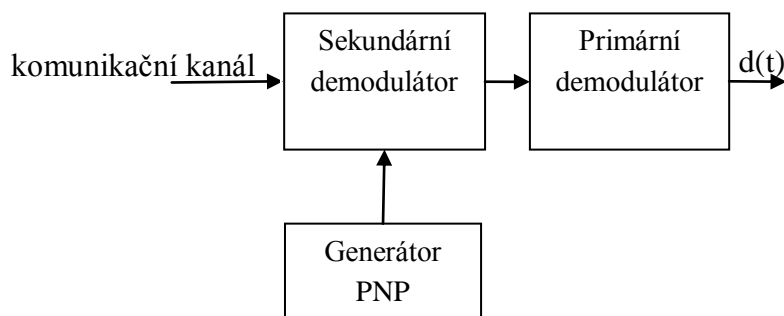
Obr. 4.1: a) úzkopásmové rušení b) širokopásmové rušení

## 4.2.3 DSSS modulace

Principiální blokové schéma vysílače a přijímače s přímou modulací kódovou posloupností zobrazuje Obr. 4.2 a Obr. 4.3.



**Obr. 4.2: Blokové schéma vysílače DSSS modulace**



**Obr. 4.3: Blokové schéma přijímače DSSS modulace**

Digitální signál, který vstupuje do primárního modulátoru se moduluje na nosnou vlnu, nejčastěji pomocí FSK a PSK modulace. Tímto je vytvořen signál o určité šířce pásma závislé na použité modulaci. V sekundárním modulátoru, který může být nahrazen součtovým obvodem XOR, dochází za pomoci signálu z generátoru pseudonáhodné posloupnosti PNP k rozprostření signálu. Bitová rychlost generátoru PNP je úmyslně volena o několik řádů vyšší než bitová rychlost modulačního signálu. Tím dojde k rozšíření šířky pásma výsledného signálu oproti signálu původnímu.

Na přijímací straně vstupuje signál do sekundárního demodulátoru, který je řízen generátorem pseudonáhodné posloupnosti PNP. Tento generátor musí pracovat podle stejného algoritmu a v přesné časové synchronizaci s generátorem ve vysílači, jinak nedojde ke správné demodulaci signálu. Na výstupu sekundárního demodulátoru je opět úzkopásmový signál, který se běžným způsobem demoduluje v primárním demodulátoru.

### Použitá literatura

Podrobnější popis zabývající se problematikou rozprostřeného spektra a DSSS modulace lze čerpat z literatury [1], [2], [3], [4].

## **4.3 Zadání a vypracování laboratorní úlohy**

### **4.3.1 Cíl laboratorní úlohy**

Cílem této laboratorní úlohy je aby studenti prakticky realizovali na laboratorním přípravku TIMS Biskit úlohu, která se zabývá problematikou rozprostřeného spektra, a to jak modulací, tak zpětnou demodulací rozprostřeného signálu.

### **4.3.2 Zadání úlohy**

1. Seznamte se s pracovištěm, přípravkem Tims Biskit a dvoukanálovým osciloskopem BK Precision 2530.
2. Vyzkoušejte možnosti generování DSSS modulace a demodulace.
3. Ověřte vlastní ochranu proti odposlechu u vytvořené DSSS modulace.
4. Ověřte odolnost vytvořené modulace proti úzkopásmovému i širokopásmovému rušení.

### **4.3.3 Vypracování úlohy**

Vypracované zadání pro studenty a vzorový protokol je součástí přílohy této bakalářské práce.

# PŘÍLOHY

## A. LABORATORNÍ ÚLOHA ASK, FSK A BPSK MODULACE A DEMODULACE

### A.1 POPIS A ZADÁNÍ ÚLOHY

#### Cíl laboratorní úlohy

Cílem této laboratorní úlohy je seznámení se s přípravkem Tims Biskit. Dále si studenti vyzkoušejí praktickou realizaci jednotlivých digitálních modulací, demodulací a odolnost jednotlivých modulací proti rušení.

#### Zadání úlohy

1. Seznamte se s pracovištěm, přípravkem Tims Biskit a dvoukanálovým osciloskopem BK Precision 2530.
2. Prostudujte principy generování ASK, FSK a BPSK modulace.
3. Prostudujte principy demodulací jednotlivých modulačních signálů.
4. Pomocí přípravku Tims Biskit realizujte jednotlivé modulace a demodulace.
5. Určete odolnost ASK, FSK a BPSK modulace vůči rušení.

#### Použité přístroje

- přípravek Tims Biskit
- dvoukanálový osciloskop BK PRECISION 2530
- sada propojovacích vodičů

#### Teoretický úvod

##### Tims Biskit

Seznamte se blíže s popisem a možnostmi univerzálního systému Tims Biskit. TimsBiskit se skládá z celkem 21 modulů, které umožňují realizaci nejzákladnějších analogových i digitálních úloh z oblasti telekomunikací. Pro lepší orientaci je každý model označen svou schematicou značkou. Všechny moduly jsou navíc přehledně popsány a značeny následujícím způsobem. Každý modul má na levé straně umístěny

vstupy, a naopak výstupy umístěny pouze na pravé straně. Dále je každý vstup a výstup orámován bílým kruhem nebo čtvercem. Kruhové orámování určuje analogové vstupy a výstupy s napěťovým rozpětím 4V špička-špička. Čtvercově orámované vstupy a výstupy slouží pro digitální TTL signál v rozpětí 0 – 5V. V naší úloze budeme požívat pouze některé moduly a to především MASTER SIGNAL, SEQUENCE GENERATOR, DUAL ANALOG SWITCH, VCO, TUNEABLE LPF, MULTIPLIER, VARIABLE VDC A UTILITIES.

## Digitální modulace

Digitální modulace vycházejí z principu analogových modulací s harmonickým nosným signálem. Modulačním signálem je nejčastěji signál dvoustavový, binární, vyjadřující posloupnost jedniček a nul. Binárním modulačním signálem je možné modulovat amplitudu, frekvenci nebo fázi nosné vlny. U dvojstavových modulací se modulovaný parametr mění pouze mezi dvěma diskrétními stavy, z nichž jeden odpovídá modulačnímu bitu 0 a druhý bitu 1. Pro digitální modulace se rovněž používá termín klíčování.

### a) Amplitudové klíčování

Amplitudové klíčování se označuje zkratkou ASK (z anglického Amplitude Shift Keying). Amplitudové klíčování je obdobou amplitudové modulace. Nosný signál lze zapsat ve tvaru

$$s_c(t) = \frac{1}{2}S_c e^{j\omega_c t} + \frac{1}{2}S_c e^{-j\omega_c t} . \quad (1.1)$$

Při použití modulačního signálu typu NRZ zobrazující posloupnost 1010101, orientovaného jako sudá funkce budou koeficienty Fourierovy řady signálu dány vztahem

$$c_k = D \frac{\vartheta}{T_1} \operatorname{sinc} \left( k\omega_1 \frac{\vartheta}{2} \right) = 1 \frac{T}{2T} \operatorname{sinc} \left( k \frac{2\pi T}{2T} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{sinc} \left( k \frac{\pi}{2} \right). \quad (1.2)$$

Modulační signál  $g(t)$  proto můžeme zapsat jako

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{1}{2} \operatorname{sinc} \left( k \frac{\pi}{2} \right) e^{jk\omega_1 t} . \quad (1.3)$$

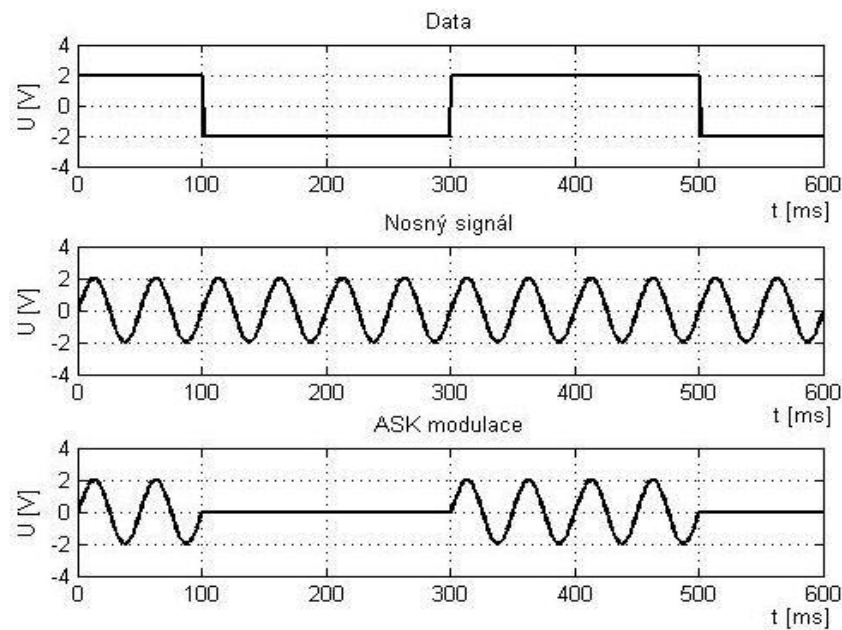
Klíčovaný signál lze tedy zapsat jako součin

$$s(t) = g(t)s_c(t). \quad (1.4)$$

Po dosažení z (1.2) a (1.3) do vztahu (1.4) dostáváme

$$s(t) = \frac{1}{4} S_c \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{sinc}\left(k \frac{\pi}{2}\right) e^{[j(\omega_c + k\omega_1)t]} + \frac{1}{4} S_c \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{sinc}\left(k \frac{\pi}{2}\right) e^{[j(\omega_c - k\omega_1)t]} \quad (1.5)$$

Časový průběh ASK signálu zobrazuje Obr. 1.1.



**Obr. 1.1: Průběh ASK signálu**

### b) Kmitočtové klíčování

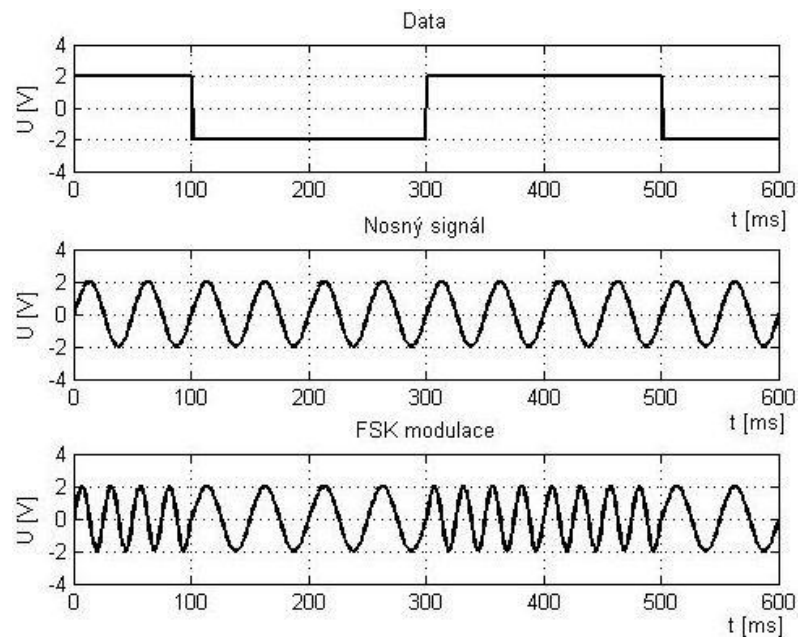
Kmitočtové klíčování se označuje zkratkou FSK (z anglického Frequency Shift Keying). Dvoustavová FSK modulace využívá dvě nosné vlny s kmitočty  $f_1$  a  $f_2$ , které se přepínají na výstup v rytmu modulačního signálu. Pokud kmitočty  $f_1$  a  $f_2$  nejsou v žádném vztahu s bitovou frekvencí  $f_b = 1/T_b$ , vznikají při přechodech fázové nespojitosti v modulovaném signálu. Modulovaný signál je definován vztahem

$$s(t) = \frac{\sqrt{2E_b}}{T_b} \cos[2\pi(f_n + \Delta f)t], \quad \text{pro } 0 \leq t \leq T_b \text{ (binární 1)} \quad (1.6a)$$

$$s(t) = \frac{\sqrt{2E_b}}{T_b} \cos[2\pi(f_n - \Delta f)t], \quad \text{pro } 0 \leq t \leq T_b \text{ (binární 0)}, \quad (1.6b)$$

kde  $\frac{\sqrt{2E_b}}{T_b}$  je amplituda modulovaného FSK signálu,  $E_b$  je energie modulovaného signálu na jeden modulační bit,  $T_b$  je bitová perioda,  $f_n$  je kmitočet nosné vlny a  $\Delta f$  je kmitočtový zdvih.

FSK modulace se v České republice využívá pro přenos čísla volajícího k ústředně na analogových telefonech. Speciální variantou FSK modulace je GSM modulace, která se používá u mobilních telefonů. Časový průběh FSK modulace zobrazuje Obr. 1.2. Jako modulátor FSK modulace se nejčastěji používá napětím řízený oscilátor.



**Obr. 1.2: Průběh FSK signálu**

### c) Dvoustavové fázové klíčování

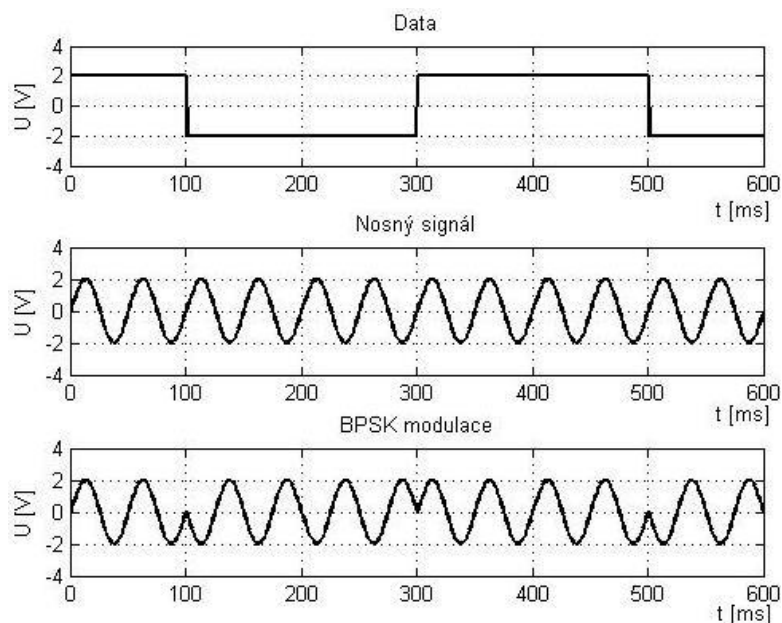
Dvoustavové fázové klíčování BPSK (z anglického Binary Phase Shift Keying), taktéž klíčování rezervací fáze. Označuje se také 2PSK. Nula je vyjádřena jako

$$s_0(t) = -S_c \cos \omega_c t = S_c \cos(\omega_c t + \pi) \quad \text{pro } 0 \leq t \leq T, \quad (1.7a)$$

jednička je vyjádřena

$$s_1(t) = S_c \cos \omega_c t \quad \text{pro } 0 \leq t \leq T. \quad (1.7b)$$

Prvky nuly a jedničky se liší znaménkem, a proto jsou velmi dobře rozlišitelné. BPSK klíčování se díky tomu vyznačuje dobrou odolností proti rušení. Průběh BPSK modulace zobrazuje Obr. 1.3.



**Obr. 1.3: Průběh BPSK signálu**

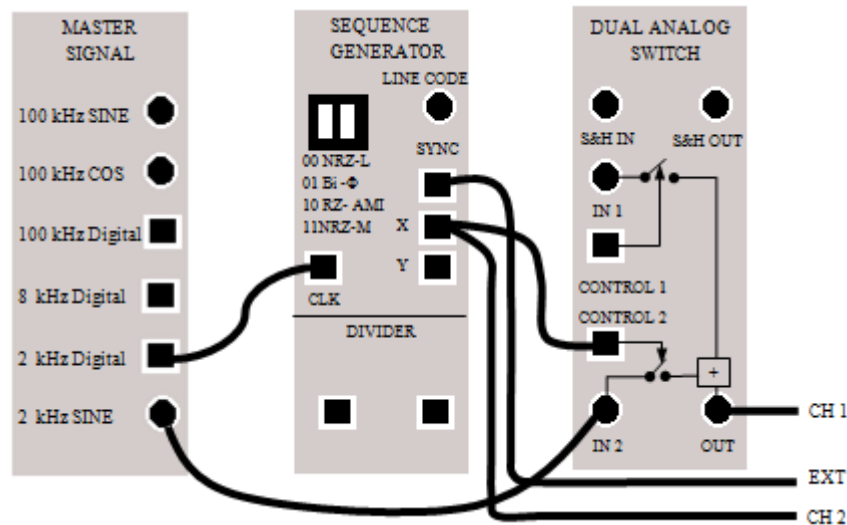
## Demodulace signálů

Modulovaný signál převedte zpět na původní datový signál. Pozorujte časový posun původního a rekonstruovaného signálu. Přidáním šumu do přenosové cesty signálu pozorujte změny rekonstruovaného výstupního signálu a zhodnoťte, která modulace je nejodolnější vůči šumu.

## Pracovní postup

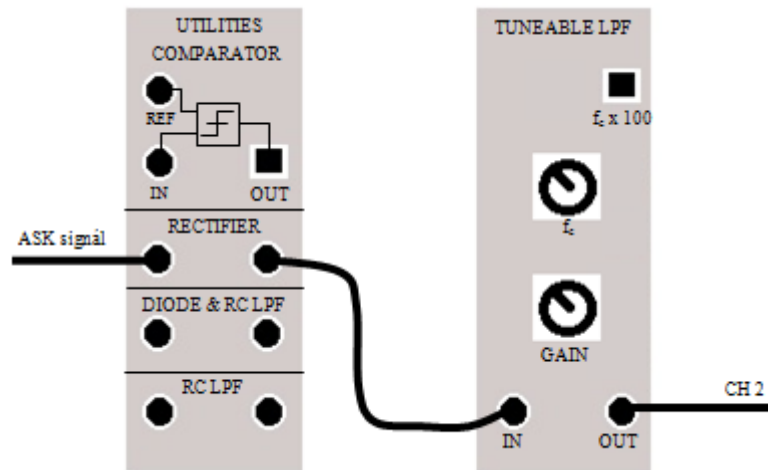
### ASK modulace a demodulace

1. Podle schématu, které zobrazuje Obr. 1.4 zapojte moduly MASTER SIGNAL, SEQUENCE GENERATOR a DUAL ANALOG SWITCH. Pro synchronizaci časové základny osciloskopu použijte výstup SYNC z modulu SEQUENCE GENERATOR. Přepínač linkových kódů nastavte do polohy 00, která odpovídá NRZ-L kódování.



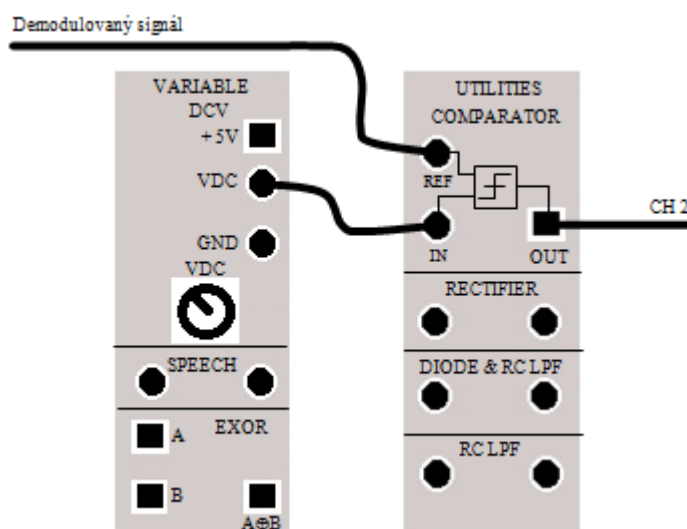
**Obr. 1.4: Schéma zapojení ASK modulátoru**

2. Na osciloskopu si zobrazte průběh linkového kódu a modulovaný signál. Při připojování osciloskopu je důležité vždy připojit černou svorku osciloskopu na zem, která je na přípravku vyvedena celkem 3x a je označena zkratkou GND. Pokud tak neučiníte, nebude zobrazovaný průběh na osciloskopu odpovídat skutečnosti.
3. Modifikujte předchozí zapojení tím, že namísto modulu MASTER SIGNAL použijete modul VCO. Otočným potenciometrem měňte frekvenci VCO a na osciloskopu sledujte, jak se mění výstupní modulovaný signál.
4. Na výstup modulovaného signálu připojte obálkový amplitudový demodulátor, jehož zapojení zobrazuje Obr. 1.. Přepínač na VCO nastavte do polohy Hi, potenciometry na modulu TUNEABLE LPF vytočte na maximum po směru hodinových ručiček. Na výstup demodulátoru připojte osciloskop a porovnejte původní signál s demodulovaným signálem. Zjistěte, jak se mění výsledný signál v závislosti na nastavení potenciometrů  $f_c$  a GAIN u modulu TUNEABLE LPF.

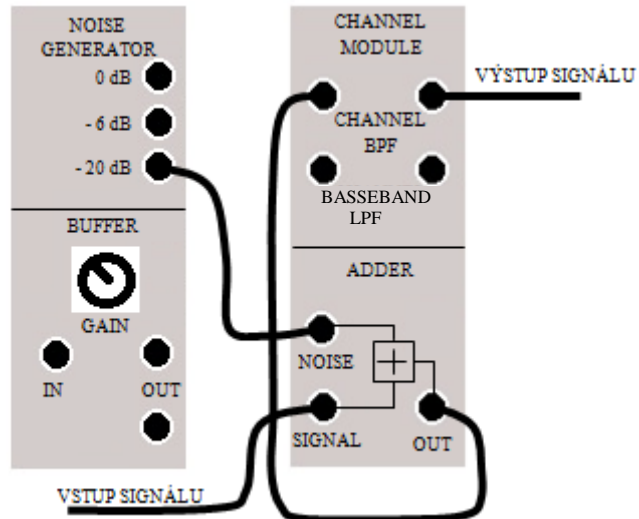


**Obr. 1.5: Schéma zapojení ASK demodulátoru**

5. Parametry demodulovaného signálu lze dále zlepšit zařazením komparátoru na výstup demodulovaného signálu, který vyhladí demodulovaný signál tak, že bude průběhem odpovídat původnímu signálu. Schéma zapojení komparátoru zobrazuje Obr. 1.6. Potenciometrem VDC vhodně nastavte komparační úroveň tak, aby obnovený signál odpovídal původnímu. Zjistěte, k jakému časovému posuvu dochází mezi původním a demodulovaným signálem.
6. Použitím šumového generátoru simulujte průnik šumového signálu do přenosové trasy modulovaného signálu. Pozorujte, jak se mění demodulovaný signál. Schéma zapojení zobrazuje Obr. 1.7.



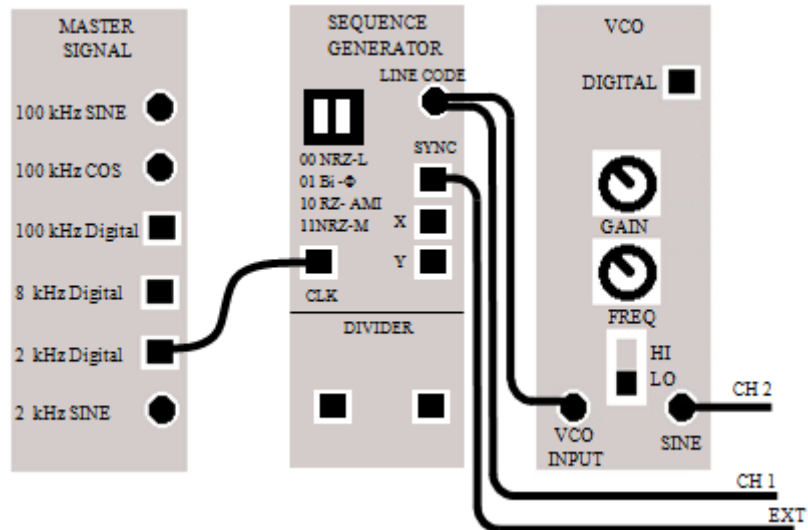
**Obr. 1.6: Schéma zapojení komparátoru pro obnovení tvaru signál**



Obr. 1.7: Schéma zapojení šumového generátoru

### FSK modulace a demodulace

1. Podle schématu, které zobrazuje Obr. 1.8 zapojte moduly MASTER SIGNAL, SEQUENCE GENERATOR a VCO. Přepínač na VCO nastavte do polohy LO, přepínač volby linkového kódu ponechte na hodnotě 00 a výstup SYNC opět použijte pro externí synchronizaci.

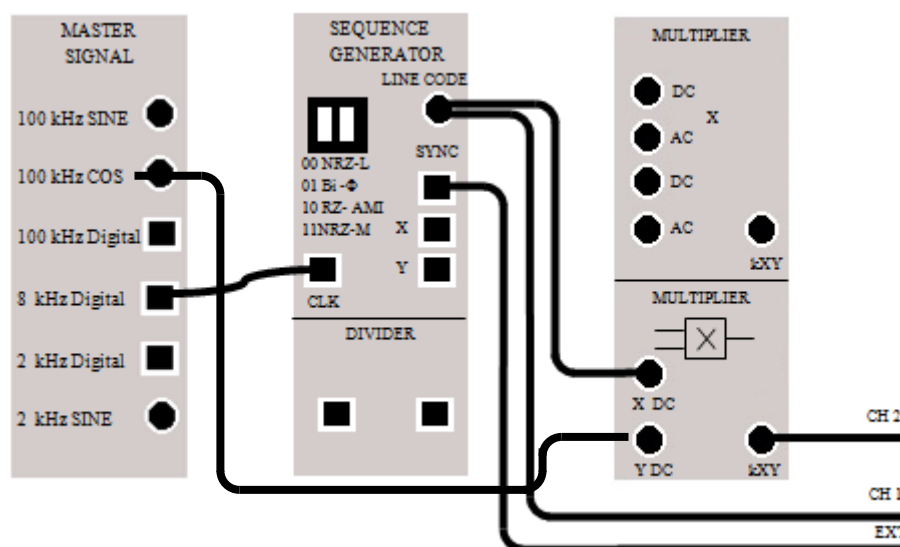


Obr. 1.8: Schéma zapojení FSK modulátoru

2. Na výstup modulovaného signálu připojte modul TUNEABLE LPF a potenciometry nastavte tak, aby výstupní průběh přibližně odpovídal průběhu ASK modulace.
3. K demodulaci signálu dále použijte modul RECTIFIER a BASEBAND LPF. Zjistěte, jak se liší původní signál od signálu demodulovaného.
4. K obnově tvaru demodulovaného signálu použijte komparátor. Zjistěte, k jakému časovému posuvu dochází mezi původním a demodulovaným signálem.
5. Stejně jako pro ASK modulaci použijte šumový generátor, kterým budete simulovat průnik šumového signálu do přenosové trasy. Zjistěte odolnost FSK modulace proti rušení a porovnejte ji s odolností ASK modulace proti rušení. Zapojení šumového generátoru zobrazuje Obr. 1.7.

### BPSK modulace a demodulace

1. Podle schématu, které zobrazuje Obr. 1.9 zapojte moduly MASTER SIGNAL, SEQUENCE GENERATOR a MULTIPLIER. Volbu linkového kódu ponechte nastavenou na hodnotu 00.



Obr. 1.9: Schéma zapojení BPSK modulátoru

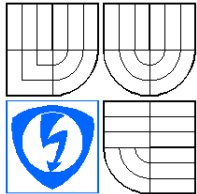
2. Jako demodulátor BPSK modulace použijte další násobič (MULTIPLIER) a modul TUNEABLE LPF. Schéma zapojení násobiče je podobné modulátoru BPSK signálu, pouze na vstup místo linkového kódu přivedete modulovaný BPSK signál. Pozorujte, jak se mění tvar signálu se změnou mezní frekvence  $f_c$ .
3. K obnově tvaru signálu použijte komparátor. Jeho schéma zapojení je identické s ostatními modulacemi.

4. Zjistěte vzájemný časový posuv původního a demodulovaného signálu. Dále jako u předchozích typů modulací simulujte průnik šumu do přenosové trasy. Zjistěte odolnost použité modulace vůči rušení. Schéma zapojení šumového generátoru zobrazuje Obr. 1.7.

### **Kontrolní otázky**

1. Určete, které základní elektrotechnické prvky jsou použity pro realizaci jednotlivých modulací.
2. Popište, jak je ovlivňován výstupní signál v závislosti na poloze potenciometru  $f_c$  u modulu TUNEABLE LPF.
3. Podle změřených hodnot seřaďte jednotlivé typy modulací podle délky zpoždění demodulovaného signálu a odolnosti proti rušení.

## A.2 VZOROVÝ VYPRACOVANÝ PROTOKOL

 <b>VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ</b>	Předmět	
	Jméno Jan Juračka	
	Ročník	Studijní skupina
	Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval	Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy <b>ASK, FSK, BPSK modulace a demodulace</b>	

### Zadání:

1. Seznamte se s pracovištěm, přípravkem Tims Biskit a dvoukanálovým osciloskopem BK Precision 2530.
2. Prostudujte principy generování ASK, FSK a BPSK modulace.
3. Prostudujte principy demodulací jednotlivých modulačních signálů.
4. Pomocí přípravku Tims Biskit realizujte jednotlivé modulace a demodulace.
5. Určete odolnost ASK, FSK a BPSK modulace vůči rušení.

### Vypracování:

#### ASK modulace a demodulace

Podle základního schématu jsme zapojili ASK modulátor. Na osciloskopu jsme si zobrazili průběh modulovaného signálu, který svým tvarem odpovídá teoretickému signálu.

Modifikací tohoto zapojení jsme změnili zdroj nosného signálu a provedli zpětnou demodulaci. Změnou hodnoty  $f_c$  docházelo k postupnému odfiltrování vyšších harmonických složek a demodulovaný signál odpovídal více původnímu.

Za pomoci komparátoru jsme obnovili původní tvar signálu a pomocí osciloskopu odečetli zpoždění demodulovaného signálu 150  $\mu$ s. Za pomoci šumového generátoru jsme zjistili, že již při nejnižší úrovni šumu -20 dB dochází k chybovosti v přenosu.

## **FSK modulace a demodulace**

Podle základního schématu jsme zapojili modulátor FSK signálu, kde zobrazovaný signál FSK modulace odpovídá teoretickému průběhu. Při demodulaci signálu jsme pozorovali, že se změnou hodnoty  $f_c$  se postupně ořezávají vyšší harmonické složky signálu, které odpovídali úrovni logické jedničky u původního datového signálu. Takto demodulovaný signál byl velmi podobný ASK modulaci, demodulovaný signál je ale inverzní. Aby bylo docíleno shody s původním signálem, bylo potřeba zaměnit referenční a vstupní signál u komparátoru.

Takto demodulovaný a tvarově obnovený signál měl oproti původnímu zpoždění 400  $\mu$ s. Použitím šumového generátoru jsme zjistili, že FSK modulace odolává šumu o úrovni -20 dB, při hodnotě -6 dB již dochází k chybám v přenosu.

## **BPSK modulace a demodulace**

Podle schématu jsme zapojili modulátor BPSK signálu. Zobrazovaný signál BPSK modulace odpovídal teoretickému průběhu.

Při demodulaci jsme zjistili, že je použito méně modulů než u ostatních demodulátorů. Tímto se nám potvrdila myšlenka, že demodulovaný BPSK signál bude nejméně zpožděn za původním signálem. Toto zpoždění bylo 66  $\mu$ s.

Použitím šumového generátoru, jsme simulovali průnik šumového signálu do přenosové cesty. Zjistili jsme, že modulace odolává šumu o úrovni -20 dB a -6 dB.

### **Závěr:**

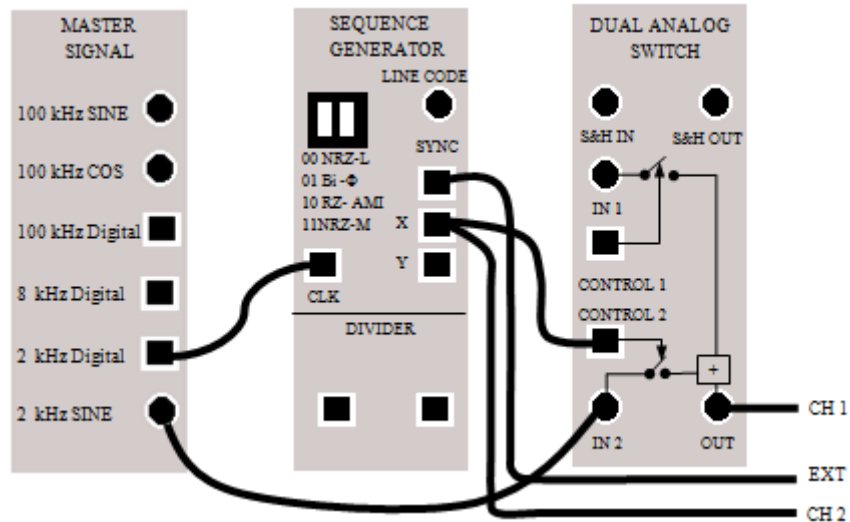
V této laboratorní úloze jsme se podrobně seznámili s principy vytváření jednotlivých digitálních modulací. Prakticky jsme si vyzkoušeli realizaci jednotlivých modulátorů a demodulátorů na modulárním zařízení Tims Biskit. Jako základní elektrotechnický prvek byl pro ASK modulaci použit spínač, pro FSK modulaci napěťově řízený oscilátor a pro BPSK modulaci násobič. Jako nejvhodnější se jeví použití BPSK modulace, protože jako jediná odolávala šumu do úrovně -6 dB a její zpětnou demodulací docházelo k nejmenšímu zpoždění signálu.

### A.3 ZADÁNÍ PRO VYUČUJÍCÍ

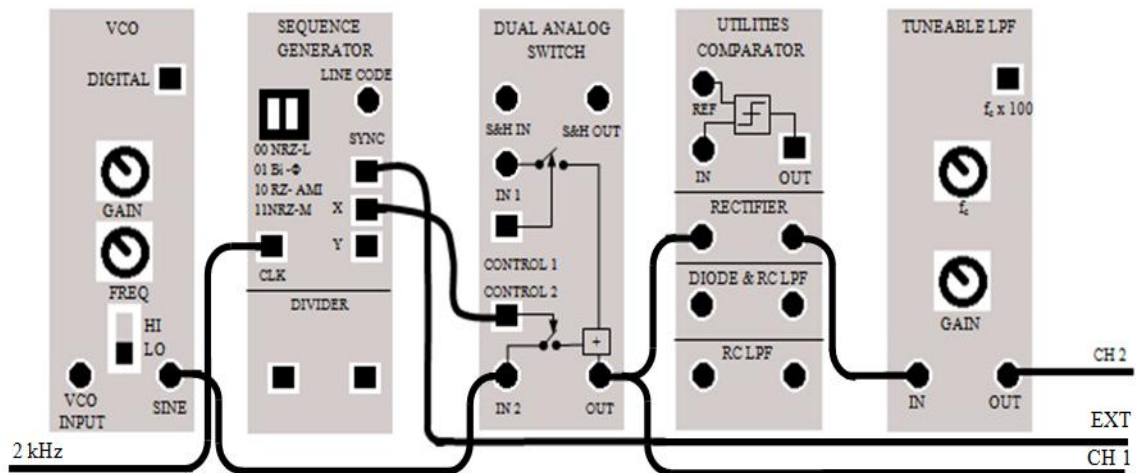
Tento manuál obsahuje konkrétní schémata zapojení pro laboratorní úlohu ASK, FSK a BPSK modulace a demodulace s odpověďmi na kontrolní otázky.

#### Vypracování:

#### ASK modulace a demodulace

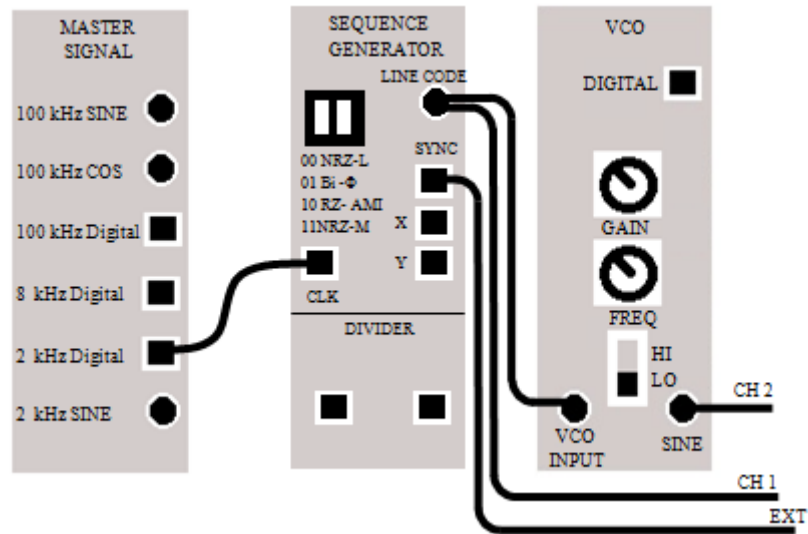


Obr. 1.1: Zapojení ASK modulátoru

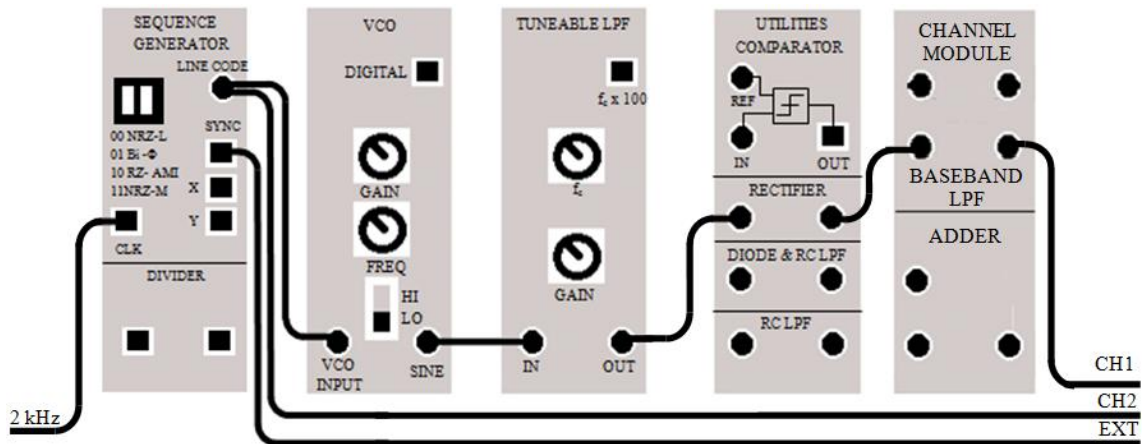


Obr. 1.2: Zapojení ASK demodulátoru

## FSK modulační a demodulační

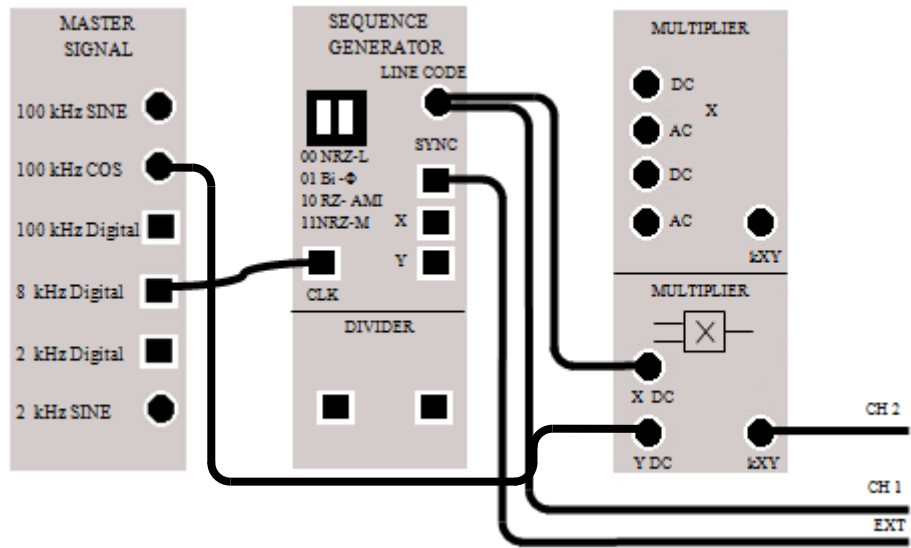


Obr. 1.3: Zapojení FSK modulátoru

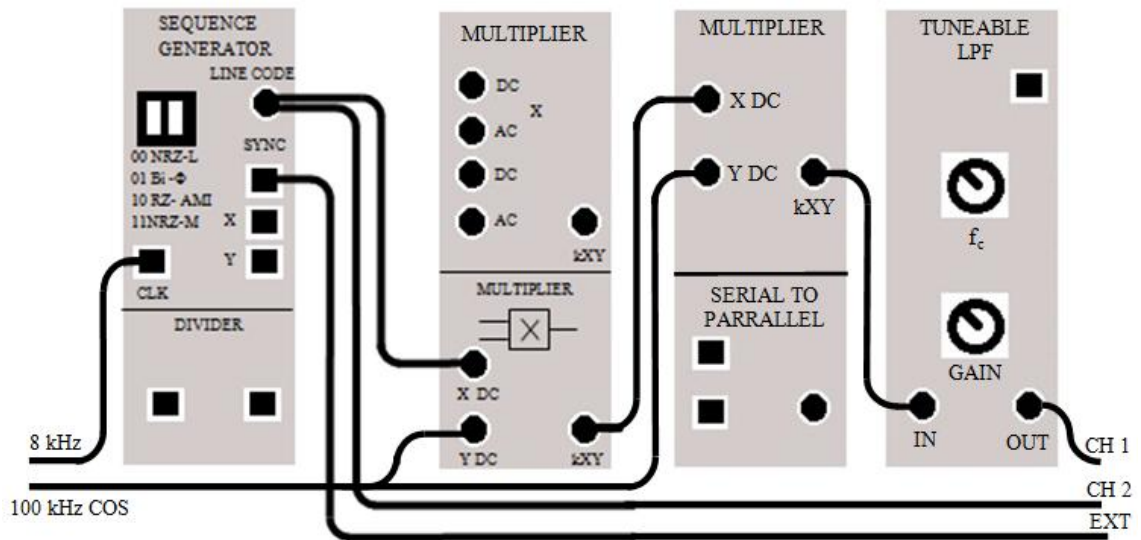


Obr. 1.4: Zapojení FSK demodulátoru

## BPSK modulace a demodulace



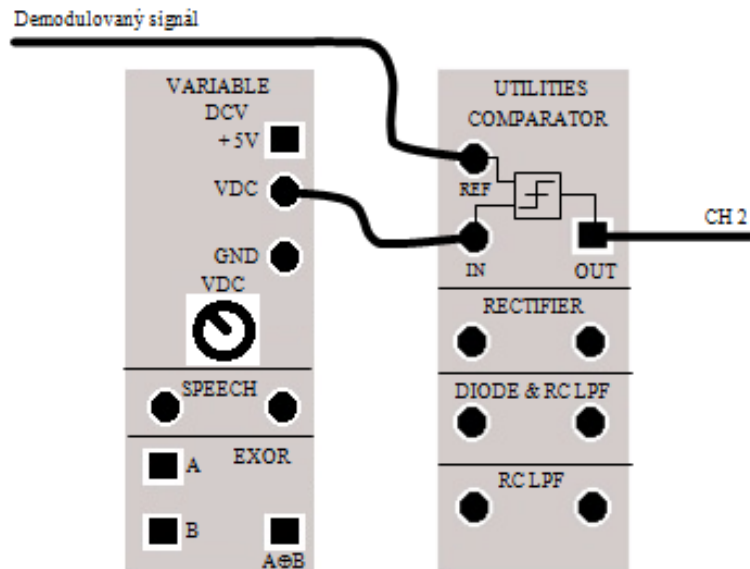
Obr. 1.5: Zapojení BPSK modulátoru



Obr. 1.6: Zapojení BPSK demodulátoru

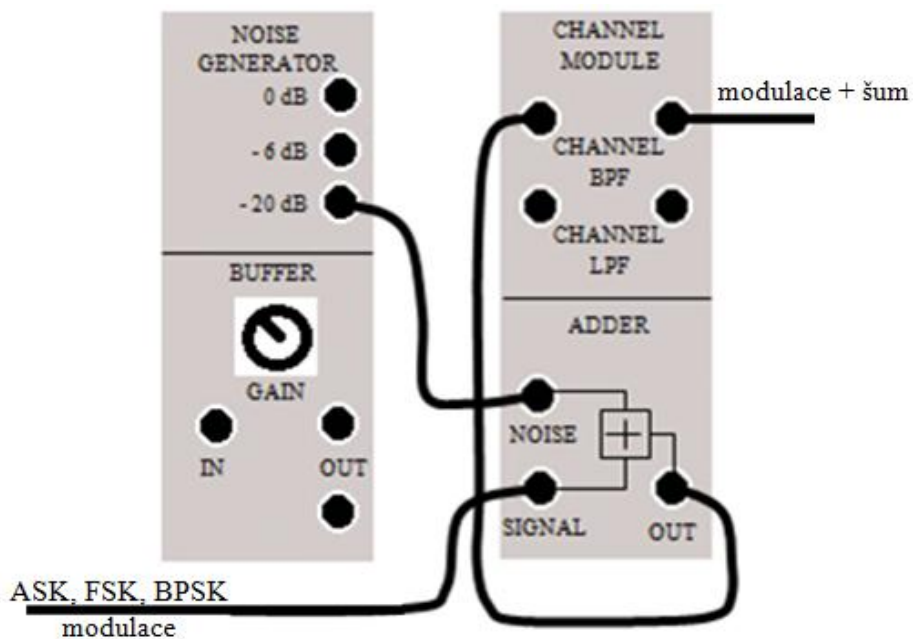
## Tvarová obnova signálu

Tvarovač slouží k obnově demodulovaného signálu do původního obdélníkového tvaru. Pro ASK a BPSK demodulaci zobrazuje zapojení tvarovače Obr. , pro FSK modulaci je potřeba pro obnovu signálu zaměnit vstupy komparátoru.



Obr. 1:7: Zapojení komparátoru jako tvarovače

## Rušení přenosového kanálu šumem



Obr. 1.8: Zapojení pro průnik šumu do přenosového kanálu

## Odpovědi na kontrolní otázky

### Otázky:

1. Určete, které základní elektrotechnické prvky jsou použity pro realizaci jednotlivých modulací.
2. Popište, jak je ovlivňován výstupní signál v závislosti na poloze potenciometru  $f_c$  u modulu TUNEABLE LPF.
3. Podle změřených hodnot seřadte jednotlivé typy modulací podle délky zpoždění demodulovaného signálu a odolnosti proti rušení.

### Odpovědi:

1. Pro ASK modulaci je použit spínač. Pro realizaci FSK modulace slouží napětím řízený oscilátor. Pro BPSK je použit modul násobiče.
2. Modul TUNEABLE LPF je laditelná dolní propust. Změnou potenciometru se mění mezní frekvence.
3. Nejmenší zpoždění má BPSK modulace s  $66 \mu\text{s}$ , následuje ASK modulace se  $150 \mu\text{s}$  a největšího zpoždění dosahuje FSK modulace s hodnotou zpoždění  $400 \mu\text{s}$ . Šumu nejvíce odolává BPSK modulace, nejméně ASK modulace.

## **B. LABORATORNÍ ÚLOHA PCM KÓDOVÁNÍ A DEKÓDOVÁNÍ**

### **B.1 POPIS A ZADÁNÍ ÚLOHY**

#### **Cíl laboratorní úlohy**

Cílem této laboratorní úlohy je seznámení se s přípravkem Tims Biskit. Dále si studenti vyzkoušejí praktickou realizaci PCM kodéru a dekodéru spolu s ovlivňováním šířky přenosového pásma.

#### **Zadání úlohy**

1. Seznamte se s pracovištěm, přípravkem Tims Biskit a dvoukanálovým osciloskopem BK Precision 2530.
2. Seznamte se podrobně s jednotlivými kroky vzniku PCM signálu.
3. Na přípravku Tims Biskit realizujte převod stejnosměrného napětí, harmonického napětí a řečového signálu do PCM.
4. Proved'te dekódování vytvořených PCM signálů.
5. Ověřte, jak se mění dekódovaný signál, pokud při jeho přenosu dojde k omezení šířky pásma přenosového kanálu.

#### **Použité přístroje**

- přípravek Tims Biskit
- dvoukanálový osciloskop BK PRECISION 2530
- sada propojovacích vodičů

#### **Teoretický úvod**

##### **Tims Biskit**

TimsBiskit se skládá z celkem 21 modulů, které umožňují realizaci nejzákladnějších analogových i digitálních úloh z oblasti telekomunikací. Pro lepší orientaci je každý model označen svou schematicou značkou. Všechny moduly jsou navíc přehledně popsány a značeny následujícím způsobem. Každý modul má na levé straně umístěny vstupy, a naopak výstupy umístěny pouze na pravé straně. Dále je každý vstup a výstup orámován bílým kruhem nebo čtvercem. Kruhové orámování určuje analogové vstupy a výstupy s napěťovým rozpětím 4V špička-špička. Čtvercově orámované vstupy

a výstupy slouží pro digitální TTL signál v rozpětí 0 – 5V. V naší úloze budeme používat pouze některé moduly a to především MASTER SIGNAL, VARIABLE DCV, PCM ENCODER, PCM DECODER, VCO, SPEECH, TUNEABLE LPF, BUFFER a CHANNEL MODULE.

## **Pulzní kódová modulace (PCM)**

Nejstarší a nejrozšířenější digitální modulace v základním pásmu je pulzní kódová modulace (PCM z anglického pulse-code modulation). Při vytváření PCM signálu se analogový signál převádí na digitální během tří kroků, kterými jsou vzorkování, kvantování a kódování.

### **a) Vzorkování**

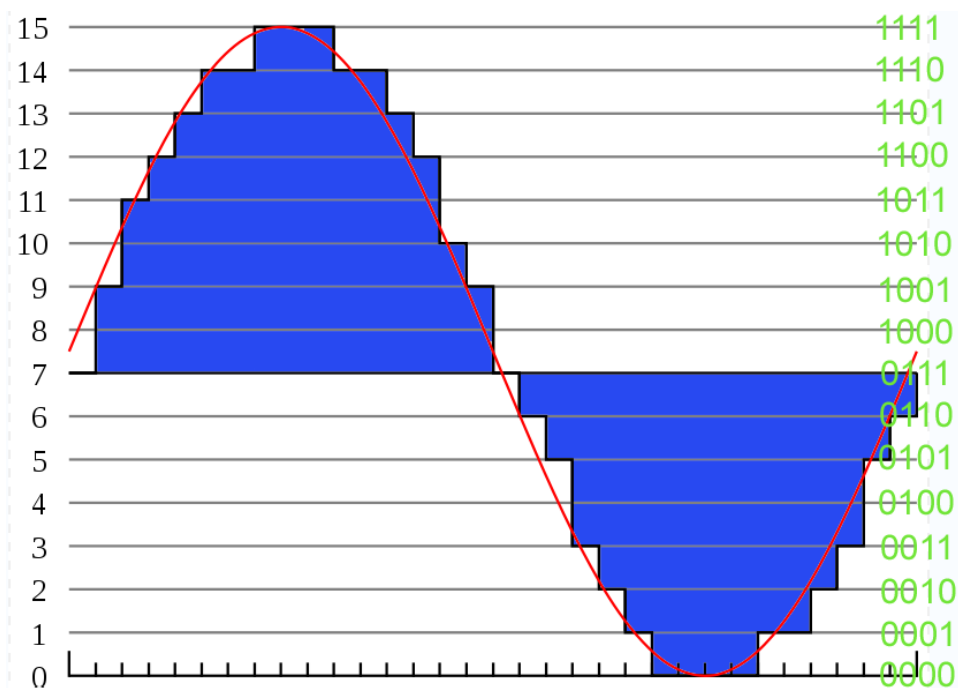
Analogový signál je na vstupu PCM kodéru vzorkován nejčastěji za použití vzorkovacího obvodu, který nejčastěji používá vzorkovací metodu sample & hold. Tato metoda je založena na principu odebírání vzorků napětí v daných časových intervalech pomocí jednoduchého obvodu. Signál lze obnovit, pokud vzorkovací frekvence bude větší nebo rovna dvojnásobku horní mezní frekvence vzorkovaného signálu (Shannon – Kotelnikovův teorém, Nyquistova věta). Pokud by tato podmínka nebyla dodržena, dojde ke zkreslení signálu, který již nelze obnovit do původní podoby.

### **b) Kvantování**

Kvantováním určujeme počet kvantizačních hladin, které budou v digitální formě reprezentovat odebrané vzorky. Kvantováním dochází ke ztrátě původní informace, jelikož jednotlivým kvantizačním vzorkům je přiřazena nejbližší vyšší nebo nižší kvantizační úroveň. Počet hladin se rovná  $N$ -té mocnině čísla 2 a kvantovaný signál lze poté vyjádřit pomocí  $N$  bitů. Důležitým parametrem je kvantizační šum vyjádřený v decibelech, který udává rozdíl mezi nekonečným počtem vstupních hodnot a konečným počtem výstupních hodnot.

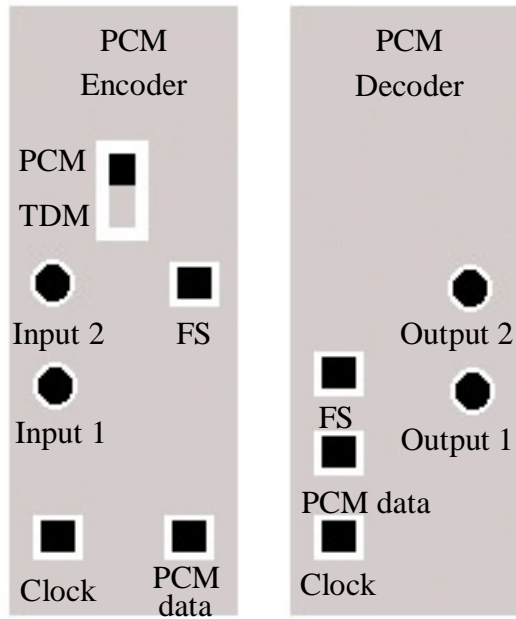
### **c) Kódování**

Při kódování se v kodéru přidělí nakvantovaným vzorkům nejčastěji binární kombinace, do které se signál zakóduje. Na Obr. 1.1 je přehledně zobrazeno přidělení vstupního sinusového signálu kvantovacím hladinám a jejich zakódování pomocí čtyř bitů.

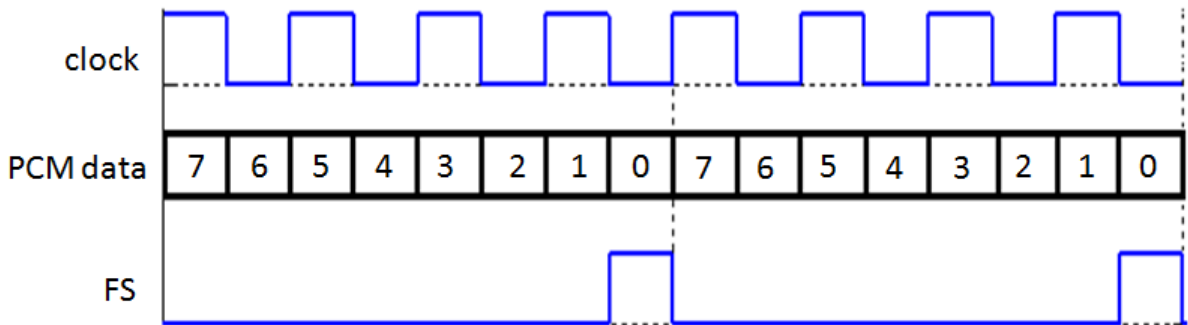


**Obr. 1.1: Zobrazení kvantování a kódování pomocí čtyř bitů**

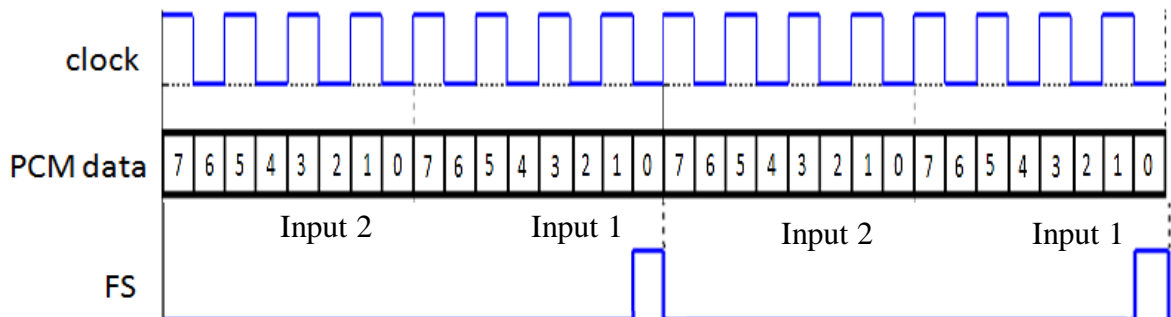
Popis PCM kodéru a dekodéru na přípravku TIMS Biskit zobrazuje Obr. 1.2. Pro PCM kódování je použito 8 bitů. Pro vstupy input 1 a input 2 je přípustný rozsah napětí -2V až +2V. Maximální možná vzorkovací frekvence je 128 kHz, a z toho vyplývající maximální frekvence vstupních signálů 64 kHz. Výstup FS slouží k rámcové synchronizaci pro dekodér. Průběh jednotlivých signálů kodéru přehledně zobrazuje Obr. 1.3., kde číslo 7 v rámci PCM data značí MSB bit a číslo 0 LSB bit. Na kodéru se nachází přepínač volby mezi PCM a TDM. V režimu PCM je do digitální formy kódován pouze signál ze vstupu označeného jako input 1. V režimu TDM vytváří kodér časový multiplex ze vstupu input 1 a input 2. Přenos jednotlivých signálů v tomto režimu přehledně popisuje Obr. 1.4.



Obr. 1.2: Popis vstupů na PCM kodéru a dekodéru



Obr. 1.3: Průběh signálu PCM kodéru při volbě PCM



Obr. 1.4: Průběh signálů PCM kodéru při volbě TDM

## Diagram oka

Diagram oka slouží pro zobrazení chybovosti přijímaného signálu. Základní parametry, které se u diagramu určují, jsou otevření a šířka oka. Otevření oka charakterizuje vzdálenost mezi logickou úrovní 1 a 0. S rostoucím otevřením oka klesá možnost záměny logických symbolů. Šířku oka určuje vzdálenost mezi krajními polohami impulzů. S rostoucí šířkou je systému umožněno volit tolerantnější místo kde se provádí určování binární hodnoty. V diagramu oka lze také pozorovat mezisymbolovou interferenci, jitter, šum a jiné. Diagram oka názorně zobrazuje Obr. 1.5.



Obr. 1.5: Diagram oka

## Pracovní postup

### PCM kódování

1. Zapojte moduly MASTER SIGNAL, VARIABLE DCV a PCM ENCODER tak, aby digitální 8 kHz signál plnil funkci clocku pro PCM kodér a zobrazte jej pomocí osciloskopu na kanálu Y. Na vstup PCM kodéru přiveďte zem a výstup FS zobrazte na osciloskopu na kanálu X. Přepínač volby nastavte na PCM.
2. Na vstup PCM kodéru přiveďte VDC signál a na osciloskopu si zobrazte průběh FS a PCM DATA. Měňte plynule rozsah VDC a zjistěte, jakému napětí odpovídá výstup 11111111 a 00000000 a jaký výstup odpovídá napětí 0V.
3. Na vstup kodéru připojte harmonický signál a sledujte, jak se mění výstupní signál.

## PCM dekódování

1. K zapojenému PCM kodéru z předchozí části připojte PCM dekodér. Jako vstup použijte výstup modulu VCO, frekvenci hodin volte 100 kHz. Na kanálu X zobrazte průběh signálu výstupu VCO a na kanálu Y zobrazte dekódovaná PCM data.
2. Dekódovaný výstup připojte na modul BUFFER a pomocí sluchátek ověřte rozdíl mezi původním a dekódovaným signálem.
3. Na vstup PCM kodéru připojte modul SPEECH a pomocí sluchátek porovnejte dekódovaný hlas. Na výstup dekodéru zapojte z modulu CHANNEL MODULE dolní propust označenou jako LPF a porovnejte výsledný signál s původním.

## Časový multiplex

1. Pomocí přepínače na modulu PCM přepněte kodér do režimu TDM. Indikaci přepnutí zobrazuje dioda na modulu dekodéru.
2. Na vstupu INPUT 1 ponechte připojený modul SPEECH a na vstup INPUT 2 přiveďte sinusový nebo digitální signál z modulu MASTER SIGNAL. Frekvenci signálu volte tak, aby byla dodržena vzorkovací frekvence.
3. Zobrazte si průběh všech přenášených signálů, porovnejte v čem se liší přenos oproti režimu PCM a srovnajte pro kanály rozdíl mezi vstupním a výstupním signálem.

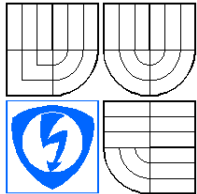
## Omezení šířky pásma

1. Přepínač přenosového módu nastavte na PCM, odpojte vstup INPUT 2 a do přenosového kanálu zapojte modul TUNEABLE LPF.
2. Potenciometr GAIN nastavte na střed jeho průběhu a zjistěte pomocí osciloskopu i zvukově pomocí sluchátek, jak se mění výstupní signál při změně  $f_c$  pro vstupní harmonický signál a pro vstup z modulu SPEECH.
3. Jako generátor hodin použijte modul VCO. Na osciloskopu zobrazte PCM signál vycházející z dekodéru a pásmově omezený PCM signál. Jako zdroj externí synchronizace osciloskopu použijte výstup modulu VCO, který generuje hodinové impulzy. Na osciloskopu sledujte tzv. diagram oka. Měňte plynule hodnotu frekvence modulu VCO a sledujte, jak se mění oko rozhodnutí. Pro správné zobrazení oka rozhodnutí nastavte na osciloskopu v menu DISPLAY hodnotu PERSIST na 5s.

### **Kontrolní otázky**

1. Jakou funkci plní MSB bit v každé bitové skupině.
2. Jakému vstupnímu napětí odpovídá bitová sekvence 00000000 a 11111111?
3. Do kolika kvantovacích úrovní kóduje kodér a jaká je jejich napěťová velikost?

## B.2 VZOROVÝ VYPRACOVANÝ PROTOKOL

 <b>VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ</b>	Předmět	
	Jméno Jan Juračka	
	Ročník	Studijní skupina
	Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval	Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy <b>PCM kódování a dekódování</b>	

### Zadání:

1. Seznamte se s pracovištěm, přípravkem Tims Biskit a dvoukanálovým osciloskopem BK Precision 2530.
2. Seznamte se podrobně s jednotlivými kroky vzniku PCM signálu.
3. Na přípravku Tims Biskit realizujte převod stejnosměrného napětí, harmonického napětí a řečového signálu do PCM.
4. Proveďte dekódování vytvořených PCM signálů.
5. Ověřte, jak se mění dekódovaný signál, pokud při jeho přenosu dojde k omezení šířky pásma přenosového kanálu.

### Vypracování:

#### PCM kódování

Podle zadání jsme zapojili PCM kodér a na jeho vstup přivedli stejnosměrné napětí z modulu VCO, kde jsme postupně měnili hodnotu pomocí potenciometru a zjišťovali jsme, jak se mění výstupní bitová posloupnost.

#### PCM dekódování

K předchozímu zapojení jsme připojili PCM dekodér a pozorovali jsme dekódovaný signál pro vstupní stejnosměrné napětí i pro harmonický signál. K dekodéru jsme poté připojili sluchátka v modulu BUFFER a sluchově jsme ověřili zda-li se liší původní a obnovený harmonický signál. Při dekódování jsme na výstup připojili také dolní propust z modulu CHANNEL MODULE a ověřili jsme si, že přenášený zvuk se jeví čistější a zřetelnější, protože byly odfiltrovány nežádoucí vysoké frekvence.

## **Omezení šířky pásma**

Do zapojení z předchozího bodu jsme do přenosové cesty mezi PCM kodér a dekodér vložili laditelnou dolní propust, která je na přípravku označena jako TUNEABLE LPF. Pozorováním jsme zjistili, že dolní propust podle nastavení mezní frekvence omezuje vyšší frekvence signálu a postupným snižováním mezního kmitočtu docházelo ke zkreslení signálu z obdélníkového tvaru na harmonický signál

### **Závěr:**

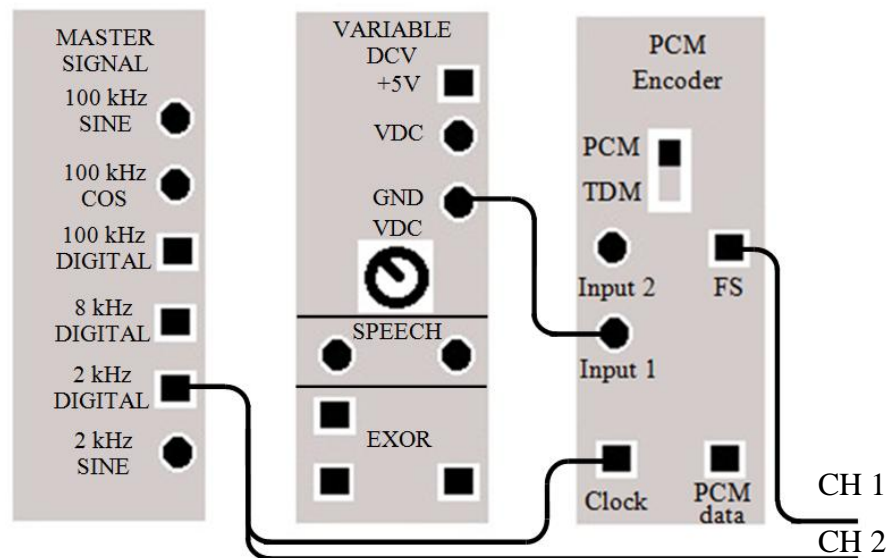
V této laboratorní úloze jsme se podrobně seznámili s principem vzniku pulzně kódové modulace. Prakticky jsme si ověřili vznik i dekódování stejnosměrného, harmonického a řečového signálu. Zjistili jsme, že kodér využívá MSB bit k určení kladné nebo záporné polaridy přenášeného signálu. Hodnotě 00000000 odpovídalo napětí přibližně -2V. Hodnota 11111111 nebyla dosažena, protože maximální výstupnímu napětí +2V odpovídala bitová posloupnost 11111101. Kodér využívá 256 kvantovacích hladin a rozdíl mezi sousedními hladinami odpovídá napětí 15,625 mV.

### B.3 ZADÁNÍ PRO VYUČUJÍCÍ

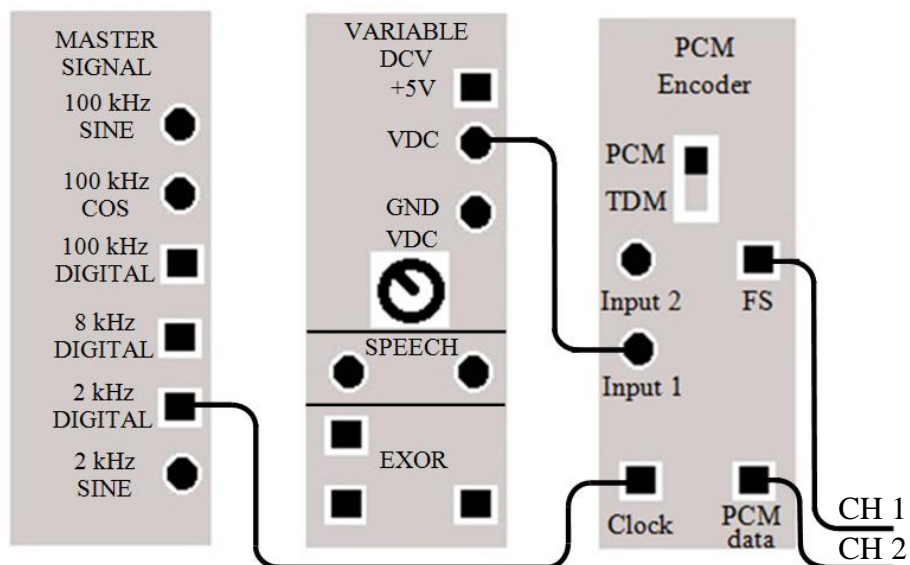
Tento manuál obsahuje konkrétní schémata zapojení pro laboratorní úlohu PCM kódování a dekódování s odpověďmi na kontrolní otázky.

#### Vypracování:

#### PCM kódování

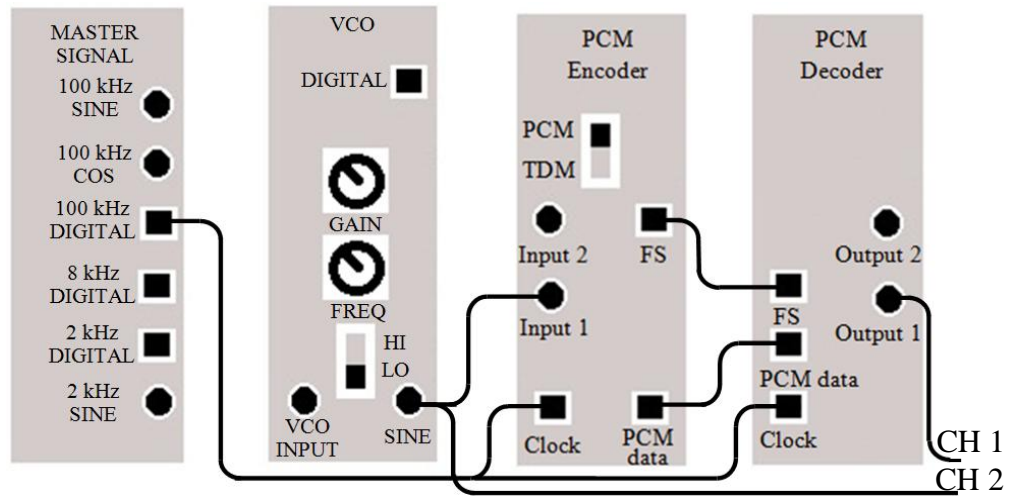


Obr. 1.1: Zapojení PCM kodéru pro zobrazení FS

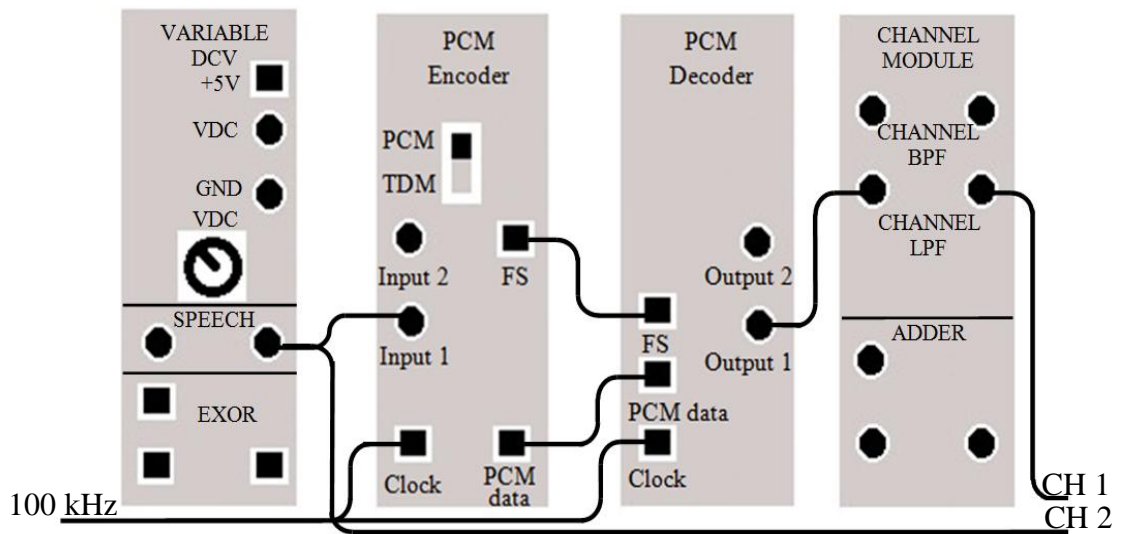


Obr. 1.2: Zapojení PCM kodéru pro zobrazení PCM dat

## PCM dekódování

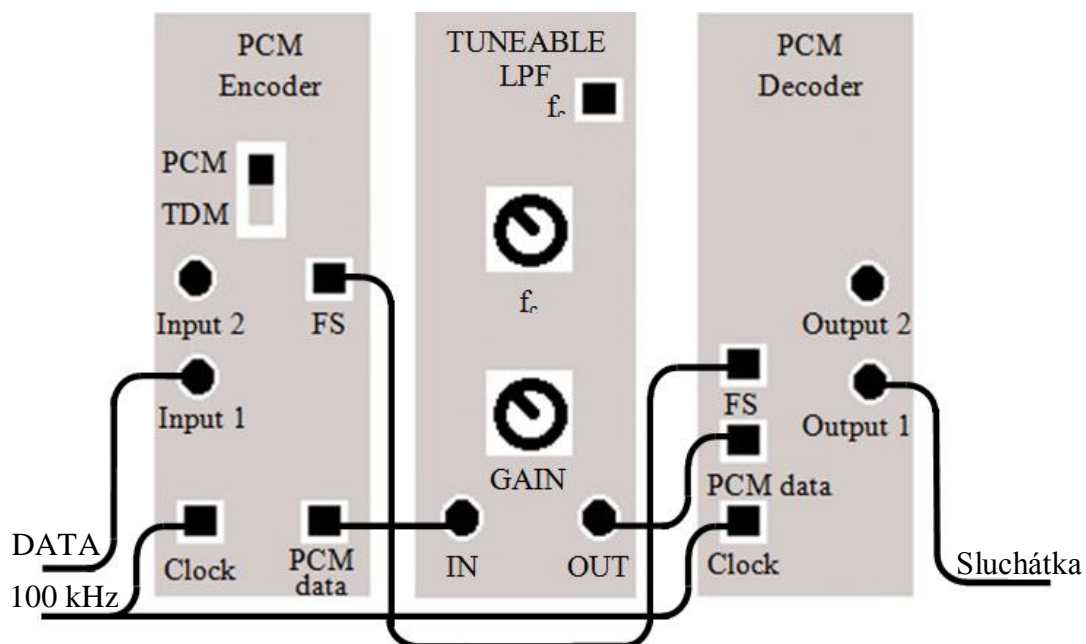


Obr. 1.3: Zapojení PCM dekodéru

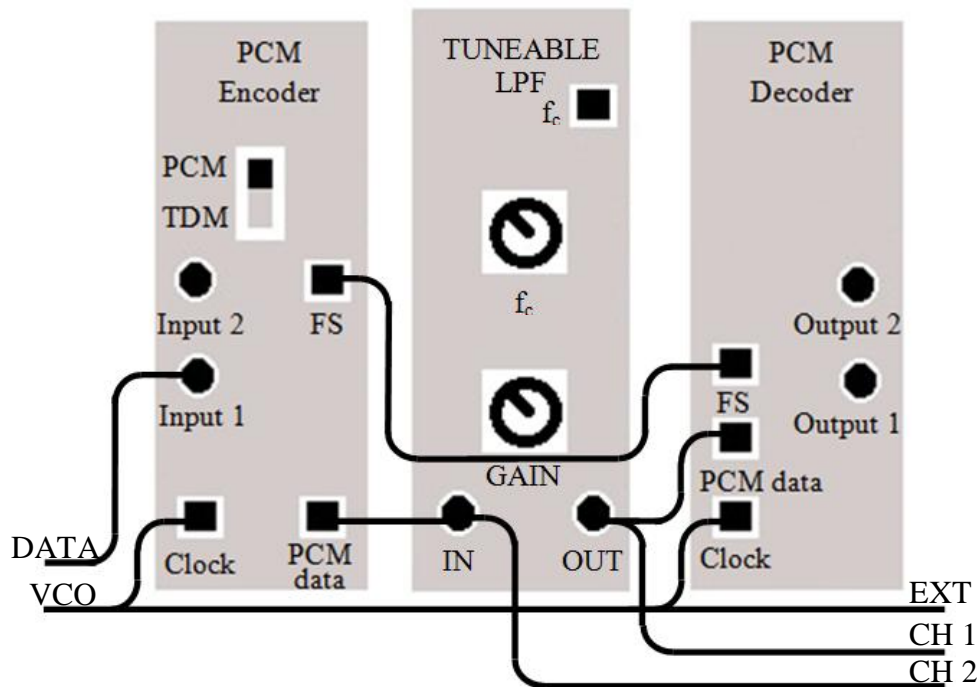


Obr. 1.4: zapojení PCM dekodéru pro dekódování hlasu

## Omezení šířky pásma



Obr. 1.5: Zapojení pro porovnání původního a frekvenčně omezeného signálu



Obr. 1.6: Zapojení pro zobrazení oka rozhodnutí

## Odpovědi na kontrolní otázky

Otázky:

1. Jakou funkci plní MSB bit v každé bitové skupině?
2. Jakému vstupnímu napětí odpovídá bitová sekvence 00000000 a 11111111?
3. Do kolika kvantovacích úrovní kóduje kodér a jaká je jejich napěťová velikost?

Odpovědi:

1. MSB bit určuje polaritu vstupního signálu, kde nula značí zápornou polaritu a jednička značí kladnou polaritu.
2. Sekvenci 00000000 odpovídá napětí  $-2\text{V}$ . Sekvenci 11111111 odpovídá napětí okolo  $2,2\text{V}$ . Hodnoty 11111111 nelze na přípravku dosáhnout, protože modul VARIABLE DCV má na výstupu maximálně  $+2\text{V}$ .
3. Kódované slovo se přenáší pomocí 8 bitů, z toho vyplývá, že počet hladin je roven 256. Jejich jednotlivý napěťový rozdíl je roven  $15,625\text{ mV}$ .

## **C. LABORATORNÍ ÚLOHA ROZPROSTŘENÉ SPEKTRUM A DSSS MODULACE**

### **C.1 POPIS A ZADÁNÍ ÚLOHY**

#### **Cíl laboratorní úlohy**

Cílem této laboratorní úlohy je, aby studenti prakticky realizovali na laboratorním přípravku Tims Biskit úlohu, která se zabývá problematikou rozprostřeného spektra, a to jak modulací, tak zpětnou demodulací rozprostřeného signálu.

#### **Zadání úlohy**

1. Seznamte se s pracovištěm, přípravkem Tims Biskit a dvoukanálovým osciloskopem BK Precision 2530.
2. Vyzkoušejte možnosti generování DSSS modulace a demodulace.
3. Ověřte vlastní ochranu proti odposlechu u vytvořené DSSS modulace.
4. Ověřte odolnost vytvořené modulace proti úzkopásmovému i širokopásmovému rušení.

#### **Použité přístroje**

- přípravek Tims Biskit
- dvoukanálový osciloskop BK PRECISION 2530
- sada propojovacích vodičů

#### **Teoretický úvod**

##### **Tims Biskit**

TimsBiskit se skládá z celkem 21 modulů, které umožňují realizaci nejzákladnějších analogových i digitálních úloh z oblasti telekomunikací. Pro lepší orientaci je každý model označen svou schematicou značkou. Všechny moduly jsou navíc přehledně popsány a značeny následujícím způsobem. Každý modul má na levé straně umístěny vstupy, a naopak výstupy umístěny pouze na pravé straně. Dále je každý vstup a výstup orámován bílým kruhem nebo čtvercem. Kruhové orámování určuje analogové vstupy a výstupy s napěťovým rozpětím 4V špička-špička. Čtvercově orámované vstupy a výstupy slouží pro digitální TTL signál v rozpětí 0 – 5V. V naší úloze budeme požívat

pouze některé moduly a to především MASTER SIGNAL, SEQUENCE GENERATOR, MULTIPLIER, SPEECH, TUNEABLE LPF, VCO, ADDER, NOISE GENERATOR, BUFFER.

### **Charakteristika systémů s rozprostřeným spektrem**

První zmínky o systémech s rozprostřeným spektrem se objevují již na sklonku 50 let minulého století. Původně byly tyto systémy vyvíjeny pro armádní účely díky jejich výhodám, které jsou popsány níže v textu. V této době byla realizace takových systémů velice složitá a drahá. Ke stavbě generátoru pseudonáhodné posloupnosti bylo v roce 1967 zapotřebí více než jednoho sta diskretních spínacích tranzistorů a dalších několika stovek pasivních součástek. V dnešní době lze již generátor, i ostatní prvky vysílače a přijímače realizovat pomocí monolitického integrovaného obvodu. Později došlo k jejich rozšíření i do civilní sféry, a dnes se technologie rozprostřeného spektra využívá převážně v bezdrátové komunikaci.

Na vysílací straně systému s rozprostřeným spektrem je úzkopásmový datový signál kódován (rozprostírán) přiděleným rozprostíracím kódem. Po kódování se u výsledného rozprostřeného signálu výrazně rozšíří spektrum a sníží se tím jeho spektrální výkonová hustota, která je mnohem nižší než u signálu úzkopásmového. Na přijímací anténě se objevují nejen superpozice všech rozprostřených signálů, ale i jiné signály. V každém přijímači je generován rozprostírací kód, kterým se nerozprostírá přijímaný signál. Po dekódování se na vstupu objevuje pouze dekódovaný úzkopásmový signál, který byl ve vysílači kódován stejným rozprostíracím kódem. U ostatních signálů nedojde k dekódování, protože přijímač nezná jejich kódovou posloupnost, a tyto signály pouze snižují odstup užitečného signálu od šumu.

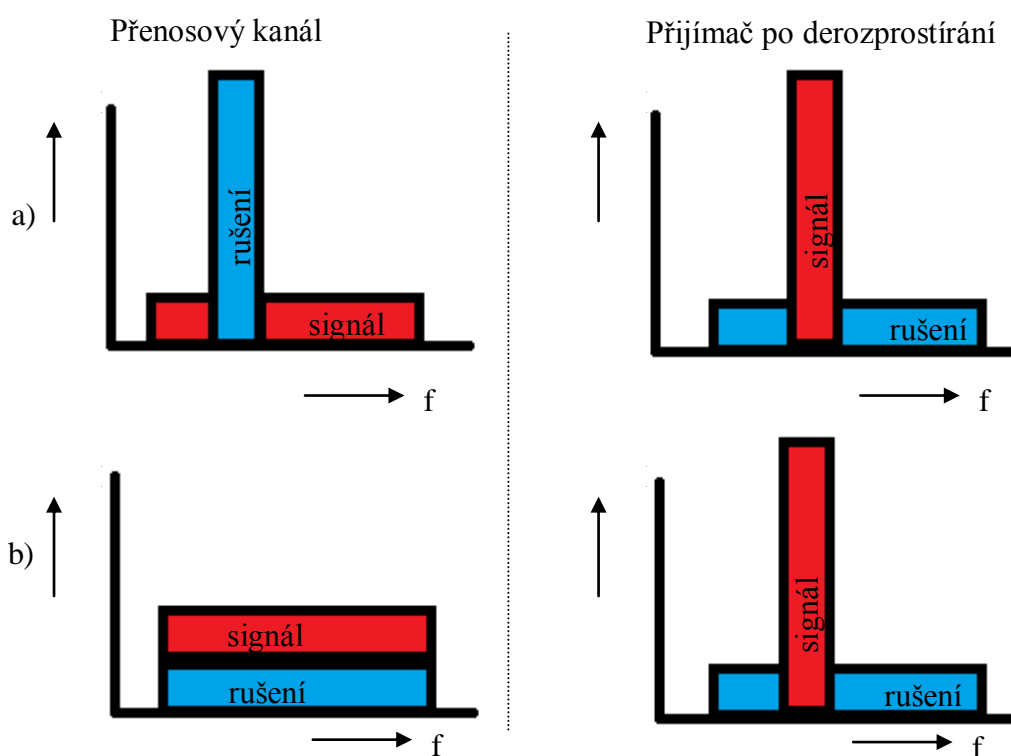
Porovnáním spekter úzkopásmového a rozprostřeného signálu vyplývá, že rozprostřený signál, který je velmi podobný šumovému pozadí je hůře identifikovatelný než úzkopásmový signál s velkou spektrální výkonovou hustotou. Mimo ztížené identifikace rozprostřeného signálu jej nelze dekódovat bez znalosti rozprostíracího kódu. Z tohoto důvodu byly tyto systémy původně vyvíjeny pro vojenské účely.

Podle způsobů rozšíření spektra signálu se systémy s rozprostřením spektra dělí na:

- Systémy s přímou modulací kódovou posloupností DS
- Systémy s kmitočtovým skákáním nosné frekvence FH
- Hybridní systémy DS-FH

## Výhody systémů s rozprostřeným spektrem

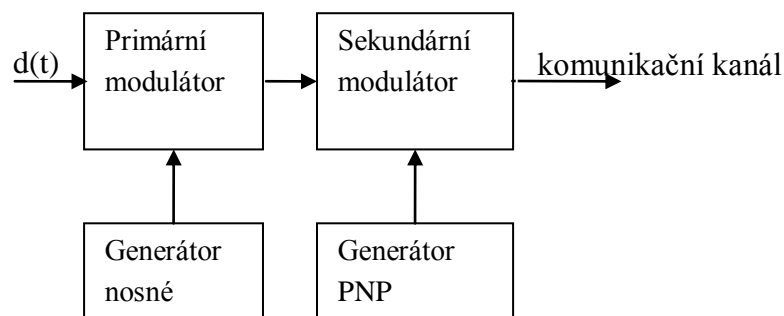
Jednou z výhod systémů s rozprostřeným spektrem je jejich vlastní ochrana vůči odposlechu použitím jedinečných rozprostíracích kódů. Další výhodou je odolnost proti úzkopásmovému i širokopásmovému rušení. Zobrazení obou typů rušení přehledně ilustruje Obr. 1.1. V případě úzkopásmového rušení je na přijímači rozprostřený užitečný signál dekódován na původní úzkopásmový, a přijaté úzkopásmové rušení je naopak pseudonáhodnou kódovou posloupností rozprostřeno. V případě širokopásmového rušení, za které lze považovat i rozprostřený signál jinou kódovou posloupností, dojde v přijímači k dekódování užitečného signálu a rušivý signál bude ještě více rozprostřen.



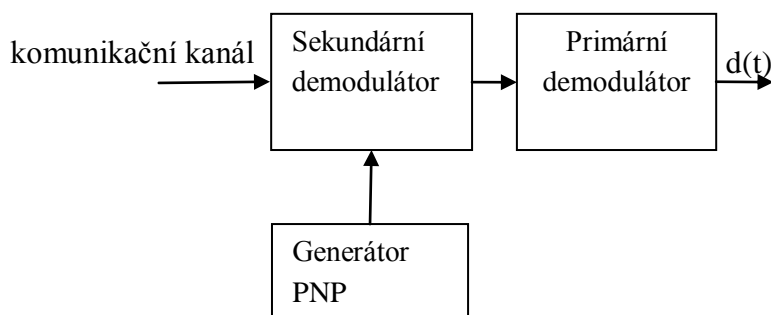
Obr. 1.1: a) úzkopásmové rušení b) širokopásmové rušení

## DSSS modulace

Principiální blokové schéma vysílače a přijímače s přímou modulací kódovou posloupností zobrazuje Obr. 1.2. a Obr. 1.3.



**Obr. 1.2: Blokové schéma vysílače DSSS modulace**



**Obr. 1.3: Blokové schéma přijímače DSSS modulace**

Digitální signál, který vstupuje do primárního modulátoru se moduluje na nosnou vlnu, nejčastěji pomocí FSK nebo PSK modulace. Tímto je vytvořen signál o určité šířce pásma závislé na použité modulaci. V sekundárním modulátoru, který může být nahrazen součtovým obvodem XOR dochází za pomoci signálu z generátoru pseudonáhodné posloupnosti PNP k rozproštění signálu. Bitová rychlost generátoru PNP je úmyslně volena o několik řádů vyšší než bitová rychlost modulačního signálu. Tím dojde k rozšíření šířky pásma výsledného signálu oproti signálu původnímu.

Na přijímací straně vstupuje signál do sekundárního demodulátoru, který je řízen generátorem pseudonáhodné posloupnosti PNP. Tento generátor musí pracovat podle stejného algoritmu a v přesné časové synchronizaci s generátorem ve vysílači, jinak nedojde ke správné demodulaci signálu. Na výstupu sekundárního demodulátoru je opět úzkopásmový signál, který se běžným způsobem demoduluje v primárním demodulátoru.

V případě této úlohy je z důvodu nastínění a pochopení problematiky realizace DSSS modulace realizována bez primárního modulátoru a jako sekundární modulátor

slouží modul MULTIPLIER, který je obyčejným násobičem vstupních signálů v poměru  $k \cdot X \cdot Y$ , kde  $k \approx 0,5$  a to z důvodu zachování velikosti výstupního signálu v napěťovém rozsahu vhodném pro ostatní moduly.

## Pracovní postup

### DSSS modulace a demodulace

1. Zapojte moduly MASTER SIGNAL, SEQUENCE GENERATOR a MULTIPLIER tak, aby 100 kHz signál sloužil jako clock pro generování NRZ-L kódové posloupnosti. Jako vstup modulu MULTIPLIER použijte výstup generátoru NRZ posloupnosti a 2 kHz harmonický signál. Pro generování DSSS modulace využijte modul MULTIPLIER, který umožňuje na vstup připojit pouze stejnosměrný signál. Na osciloskopu si zobrazte původní signál, a modulovaný signál, který je na výstupu modulu MULTIPLIER.
2. Zapojte druhý modul MULTIPLIER jako demodulátor vytvořené DSSS modulace, pro demodulaci využijte střídané vstupy modulu MULTIPLIER. Jako generátor pseudonáhodné posloupnosti demodulátoru použijte výstup X z modulu SEQUENCE GENERATOR. Zobrazte si výstupní demodulovaný signál a do protokolu zobrazte jeho průběh.
3. Použijte modul TUNEABLE LPF tak, aby demodulovaný signál odpovídal tvarem původnímu signálu.
4. Modifikujte zapojení tak, aby byl DSSS modulací přenášen hlas získaný pomocí modulu SPEECH. K porovnání demodulovaného zvukového signálu využijte sluchátka, která lze připojit do modulu BUFFER.

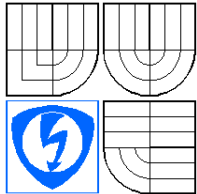
### Odolnost modulace vůči rušení, vlastní ochrana proti odposlechu

1. Ověřte vlastní ochranu modulace vůči odposlechu, záměnou derozprostírací posloupnosti v dekodéru.
2. Pomocí modulu ADDER, který zapojíte do přenosové cesty modulace zjistěte odolnost vytvořené DSSS modulace vůči úzkopásmovému a širokopásmovému rušení. Jako zdroj úzkopásmového rušení použijte modul VCO, a jako zdroj širokopásmového rušení použijte modul NOISE GENERATOR.

### Kontrolní otázky

1. V čem se liší přenášený modulovaný signál v případě, že zdrojem zprávy je harmonický signál nebo zvuk získaný pomocí modulu SPEECH?
2. Který typ rušení více ovlivňuje výsledný tvar demodulovaného signálu a do jaké úrovně širokopásmového rušení lze výstupní signál dále použít?

## C.2 VZOROVÝ VYPRACOVANÝ PROTOKOL

	Předmět	
	Jméno Jan Juračka	
	Ročník	Studijní skupina
	Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval	Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy <b>Rozprostřené spektrum, DSSS modulace</b>	

### Zadání:

1. Seznamte se s pracovištěm, přípravkem Tims Biskit a dvoukanálovým osciloskopem BK Precision 2530.
2. Vyzkoušejte možnosti generování DSSS modulace a demodulace.
3. Ověřte vlastní ochranu proti odposlechu u vytvořené DSSS modulace.
4. Ověřte odolnost vytvořené modulace proti úzkopásmovému i širokopásmovému rušení.

### Vypracování:

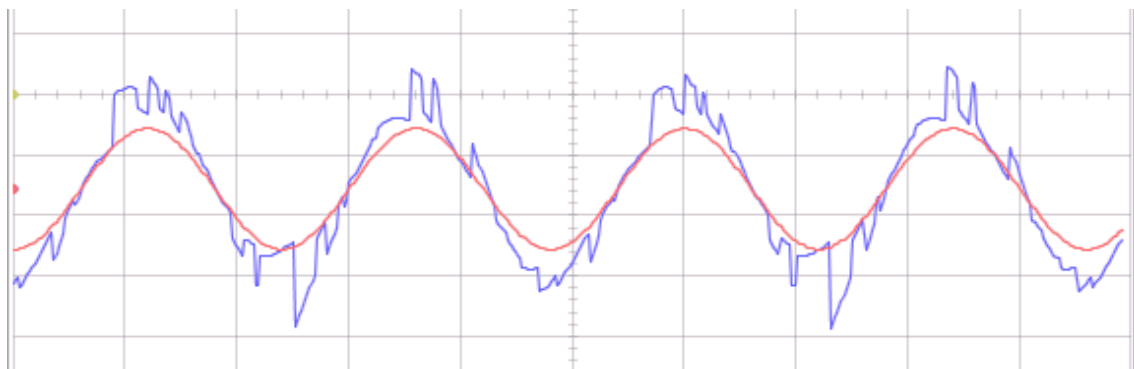
#### DSSS modulace a demodulace

Podle zadání jsme zapojili jednotlivé moduly pro vytvoření DSSS modulace ze vstupního 2 kHz sinusového signálu. Průběh původního a demodulovaného signálu přehledně zobrazuje Obr. 1.1. Za pomoci modulu TUNEABLE LPF se nám dekódovaný průběh podařilo tvarově srovnat s původním signálem. Zapojením modulu SPEECH jsme si ověřili graficky pomocí osciloskopu a pomocí sluchátek přenos zvuku pomocí DSSS modulace.

#### Odolnost modulace vůči rušení, vlastní ochrana proti odposlechu

Použitím posloupnosti Y jsme ověřili, že jí není možné dekódovat zprávu, která byla rozprostřena pomocí posloupnosti X, kterou vytváří modul SEQUENCE GENERATOR. Při použití modulu VCO jako zdroje úzkopásmového rušení nedocházelo ani při maximální frekvenci ke zkreslení výstupního signálu. Při použití

modulu NOISE GENERATOR jako zdroje širokopásmového rušení nebyl přenos ovlivněn do úrovně -6 dB. Při hodnotě 0 dB již docházelo ke zkreslení a chybovosti přenášeného signálu.



**Obr. 1.1: Průběh původního (v obrázku červeně) a demodulovaného (v obrázku modře) signálu**

#### **Závěr:**

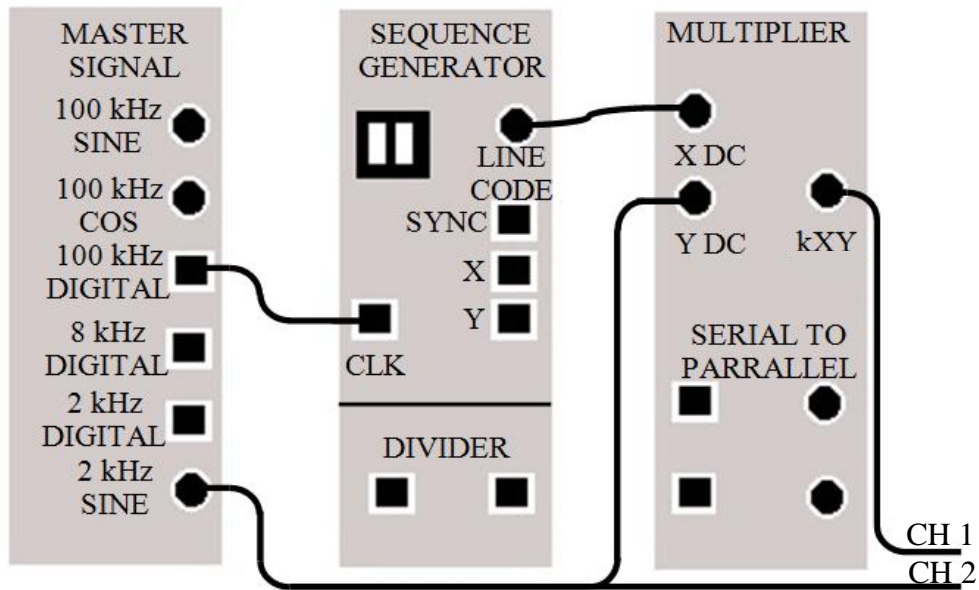
V této laboratorní úloze jsme se podrobně seznámili s teorií vzniku a využití systémů s rozprostřeným spektrem. Prakticky jsme realizovali zjednodušenou DSSS modulaci a ověřili jsme si teoretické předpoklady odolnosti modulace proti rušení a její zabezpečení proti neoprávněnému odposlechu. V případě přenášeného zvuku bylo patrné, že pokud se do mikrofonu nemluvílo, byl výstupní modulovaný signál nulový. Úzkopásmový rušivý signál na přenos signálu neměl žádný vliv, u širokopásmového rušivého signálu jsme pozorovali chyby v přenosu až při úrovni 0 dB.

### C.3 ZADÁNÍ PRO VYUČUJÍCÍ

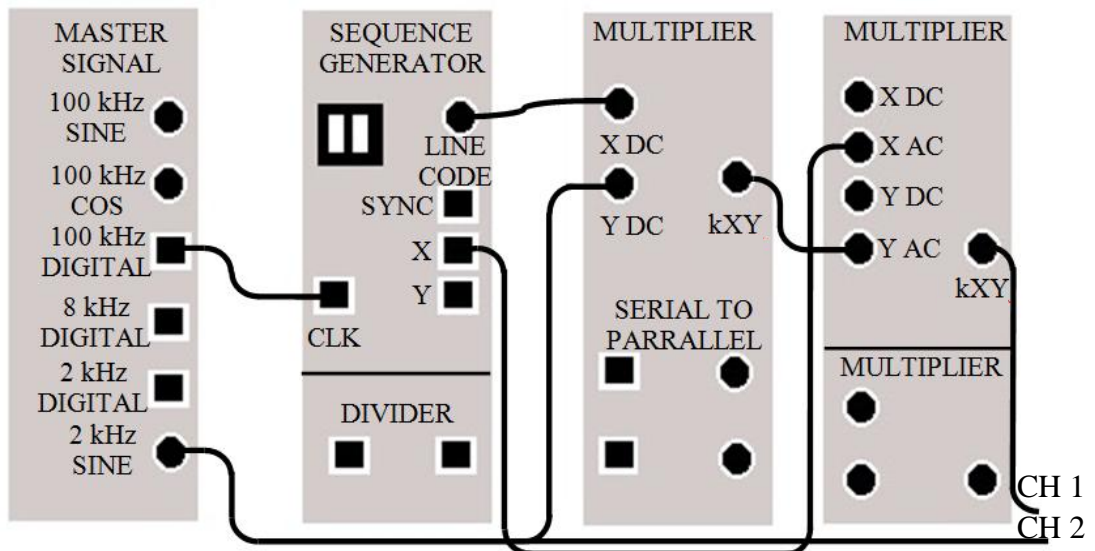
Tento manuál obsahuje konkrétní schémata zapojení pro laboratorní úlohu DSSS modulace a odpovědi na kontrolní otázky.

#### Vypracování:

#### DSSS modulace a demodulace

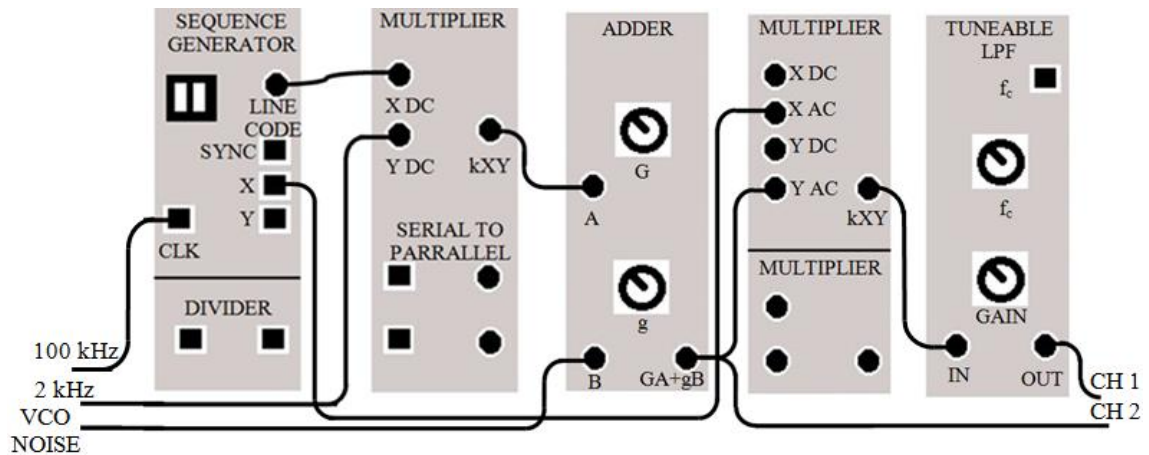


Obr. 1.1: Zapojení DSSS modulátoru



Obr. 1.2: Zapojení modulátoru a demodulátoru

## Odolnost modulační vůči rušení



Obr. 1.3: Zapojení pro ověření odolnosti proti rušení

## Odpovědi na kontrolní otázky

Otázky:

1. V čem se liší přenášený modulovaný signál v případě, že zdrojem zprávy je harmonický signál nebo zvuk získaný pomocí modulu SPEECH?
2. Který typ rušení více ovlivňuje výsledný tvar demodulovaného signálu a do jaké úrovně širokopásmového rušení lze výstupní signál dále použít?

Odpovědi:

1. V případě použití modulu SPEECH dochází k tomu, že pokud mikrofon nezaznamenává žádný zvuk, je na výstupu modulátoru nulové napětí.
2. Úzkopásmové rušení nemá na přenášený signál žádný vliv a širokopásmové rušení znehodnocuje signál až od hodnoty 0 dB.

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo prozkoumat možnosti zařízení firmy Emona v laboratoři předmětu Přístupových a transportních sítí a navrhnout laboratorní úlohy pro praktické procvičení teoretických poznatků z předmětu.

První úloha se zabývá problematikou digitálních modulací a to konkrétně ASK, FSK a BPSK modulací a zpětnou demodulací. Oproti manuálu je jsou tyto úlohy rozšířeny o zjištění časových prodlev jednotlivých modulací a o simulaci průniku šumu do přenosového kanálu.

Druhá úloha se zabývá problematikou pulzně-kódové modulace a demodulace, stejnosměrného, harmonického a řečového vstupního signálu. Oproti manuálu je rozšířena o problematiku omezení šířky pásma přenosového kanálu a o problematiku časového multiplexu.

Třetí úloha se v teoretické části zabývá systémy s rozprostřeným spektrem, popisem jejich výhod oproti běžným úzkopásmovým systémům, a v praktické části je zjednodušeně řešena DSSS modulace a demodulace spolu s ověřením odolnosti proti rušení.

Všechny úlohy jsou popsány pro výukový systém Tims Biskit, ale jelikož se jedná o zjednodušený model systému TIMS 301, lze tuto úlohu taktéž realizovat na tomto zařízení. Veškeré postupy zapojení jednotlivých typů modulací se u obou verzí neliší. V případě nefunkčnosti nebo nedostatečnému počtu volných zařízení lze tyto úlohy taktéž realizovat i na softwarovém programu Tutor TIMS.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DOBEŠ, Josef, ŽALUD, Václav. Moderní radiotechnika. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 768 s. ISBN 80-7300-132-2.
- [2] EMONA INSTRUMENTS. Manuál k *Telecommunications Learning Environment TIMS - BISKIT*. Camperdown, Australia 2007
- [3] GOLDSMITH, Andrea. *Wireless Communications*. Cambridge (New York) : Cabridge University Press, 2005. 644 s. ISBN 978-0-521-83716-3.
- [4] HANUS, Stanislav; FENCL, Josef; ŠTENCEL, Vít. *Rádiové a mobilní komunikace II*. 2. vyd. Brno : VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2010. 172 s. ISBN 80-214-2817-1.
- [5] KOCOUREK, Petr, NOVÁK, Jiří. *Přenos informace: skripta*. 1. vyd. Praha : ČVUT, 2006. 164 s. ISBN 80-01-02892-5.
- [6] ŠEBESTA, V. *Systémy, procesy a signály I: skripta*. 3. přeprac. vyd. Brno : VUTIUM, 2001. 93 s. ISBN 80-214-1925-3.
- [7] ŠEBESTA, V., SMÉKAL, Z. *Signály a soustavy, Přednášky: skripta*. Brno : VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2004. 146 s. ISBN 80-214-2434-6.
- [8] ŠKORPIL, Vladislav. *Digitální přenosové systémy*. 1. vyd. Brno : PC-DIR spol s.r.o , 1995. 102 s. ISBN 80-214-0699-2.