

Diagnostika a testování signálů na rozhraní komunikačních systémů

Diagnosis and testing signals at the boundary of communication
systems

Michal Fuksa

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal FUKSA**

Osobní číslo: **A08216**

Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Diagnostika a testování signálů na rozhraní
komunikačních systémů**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Rozeberte typy signálů na různých přenosových médiích.
3. Objasněte význam testování a diagnostiky v této oblasti.
4. Provedte simulaci nebo testovací měření a udělejte závěry dle získaných dat.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Vodrážka, J.: Přenosové systémy v přístupové síti. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 180 s. ISBN 80-01-02660-4.
2. R. Isermann: Fault-Diagnosis Systems, Springer Berlin Heidelberg 2006. ISBN 978-3-540-24112-6
3. BOHÁČ, Leoš; LUCKI, Michal. Optické komunikační systémy. Vyd. 1. V Praze : České vysoké učení technické, 2010. 165 s. ISBN 978-80-01-04484-1.
4. VODRÁŽKA, Jiří; HAVLAN, Martin. Přenosové systémy : síť a zařízení SDH a jejich návrh. 3., přeprac. vyd. V Praze : České vysoké učení technické, 2009. 205 s. ISBN 978-80-01-04217-5
5. Hlavička, J.: Diagnostika a spolehlivost. Praha, Vydavatelství ČVUT 1999, 153 s.
6. G. Vachtsevanos et al.: Intelligent Fault Diagnosis and Prognosis for Engineering Systems, John Wiley & Sons, Inc. 2006. ISBN: 9780471729990

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Samohýl

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání bakalářské práce:

25. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

7. června 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá přenosem dat komunikačními systémy a diagnostikou chyb vzniklých při přenosu těchto dat.

V teoretické části jsou popsány úpravy signálu pro přenos dat komunikačním systémem a nejčastěji používaná přenosová média. Je objasněna problematika elektromagnetické kompatibility a jsou zmíněny důvody pro testování signálů.

Praktická část se věnuje simulaci přenosu dat komunikačním systémem. Zabývá se měřením vlivu poměru signálu k šumu na bitovou chybovost u jednotlivých modulací a srovnání s teoretickými hodnotami.

Klíčová slova: komunikační systém, modulace, měření chybovosti

ABSTRACT

This bachelor thesis deal with transmission of data through communication systems and fault diagnosis of errors which were created with this transmission.

In theoretical part are describe signal modifications for data transfer through communication system and transmission media which are often used. Electromagnetic compatibility problems are clarify and reasons for signal tests are describe.

Practical part is dedicated to simulate data transmission. It deal with measure signal to noise ratio effect to bit error rate of modulations and compare with theoretical values .

Keywords: communication systém, modulation, error measurement

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. et Ing. Martinu Samohýlovi za jeho odborné rady a mé vedení.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za veškerou poskytnutou podporu během celého mého studia.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním 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 bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk 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 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 – 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 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 bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem 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 bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM	11
2 KÓDOVÁNÍ DAT	12
2.1 KÓD NRZ - L	12
2.2 UNIPOLÁRNÍ KÓD RZ	12
2.3 BIPOLÁRNÍ KÓD RZ.....	12
2.4 KÓD MANCHESTER	13
2.5 KÓD AMI.....	13
3 MODULACE	15
3.1 ANALOGOVÉ MODULACE.....	15
3.1.1 Amplitudová modulace	15
3.1.2 Frekvenční modulace	16
3.1.3 Fázová modulace.....	17
3.2 DIGITÁLNÍ MODULACE	18
3.2.1 Amplitudové klíčování ASK.....	19
3.2.2 Frekvenční klíčování FSK.....	19
3.2.3 Fázové klíčování PSK	20
3.2.4 Kvadraturní modulace QAM.....	21
4 PŘENOSOVÁ MÉDIA	22
4.1 METALICKÁ PŘENOSOVÁ MÉDIA.....	22
4.1.1 Koaxiální kabel	22
4.1.2 Kroucená dvojlinka	22
4.2 OPTICKÁ PŘENOSOVÁ MÉDIA.....	23
4.2.1 Optická vlákna	23
4.3 BEZDRÁTOVÁ PŘENOSOVÁ MÉDIA	24
4.3.1 Bezdrátové radiové spoje	24
4.3.2 Optické směrové spoje	24
5 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	25
5.1 ELEKTROMAGNETICKÁ INTERFERENCE EMI	26
5.2 ELEKTROMAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA EMS	26
6 MĚŘENÍ A JEHO VÝZNAM	27
6.1 CHYBOVOST	27
6.2 ODPSTUP SIGNÁLU OD ŠUMU	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
7 POUŽITÉ SOFTWARE VYBAVENÍ	30
7.1 MATLAB.....	30
7.2 SIMULINK.....	31
7.2.1 Blocksety.....	31
8 POPIS ZAPOJENÍ	32

8.1	BIT ERROR RATE ANALYSIS TOOL	33
8.2	MOŽNOSTI NASTAVENÍ JEDNOTLIVÝCH BLOKŮ	34
8.2.1	Random Integer Generator	34
8.2.2	AWGN Channel	34
8.2.3	Display	34
8.2.4	Rectangular QAM modulator	34
8.2.5	Rectangular QAM demodulator	35
8.3	ZÁVISLOST BER NA SNR PRO MODULACE ASK	36
8.4	ZÁVISLOST BER NA SNR PRO MODULACE FSK	37
8.5	ZÁVISLOST BER NA SNR PRO MODULACE PSK	38
8.6	ZÁVISLOST BER NA SNR PRO MODULACE QAM	39
8.7	ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ	41
	ZÁVĚR	42
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	43
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	46
	SEZNAM OBRÁZKŮ	47
	SEZNAM TABULEK	48
	SEZNAM PŘÍLOH	49

ÚVOD

Přenos dat na velké vzdálenosti patří dnes k nezbytným činnostem člověka při jeho každodenní práci. Neustálá potřeba přenosu stále většího množství informací zvyšuje požadavky především na komunikační systémy.

Jestliže chceme bezpečně přenášet informace z jedné strany komunikačního řetězce na druhou, je důležité si uvědomit, jaké pochody v komunikačním systému probíhají. Je také důležité, s jakými typy rušení a zkreslení se můžeme setkat a jaké jsou jejich základní vlastnosti.

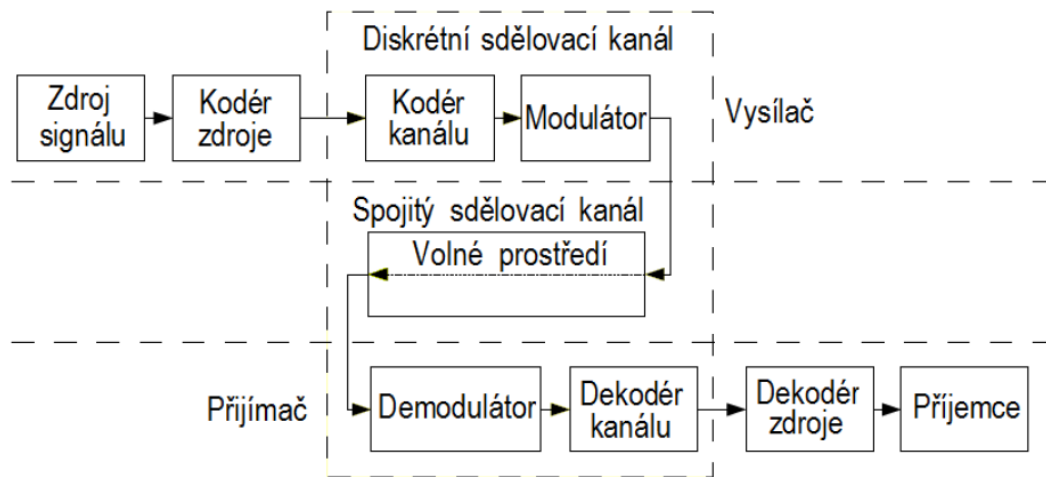
Testování chybovosti přenosového média je velmi důležité, zvláště pro jeho diagnostiku a údržbu. Výsledky měření mohou být též použity pro návrh a optimalizaci použitého kódování a zabezpečení přenosu dat pro daný přenosový kanál.

Modulace má mnoho výhod - umožňuje optimální využití přenosové kapacity v daném přenosovém prostředí, přenos více nezávislých informačních signálů v jednom komunikačním kanále a z energetického hlediska je přenos modulovaných signálů na větší vzdálenosti výhodnější, než přenos signálů nedomulovaných. Modulované signály se mohou přenášet po metalických a bezdrátových vedeních v elektrické podobě, nebo v optické podobě po optických vláknech.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMUNIKAČNÍ SYSTÉM

Základem každé komunikace je přenos informací (zpráv). Na obrázku (Obr. 1) je zobrazeno základní blokové schéma komunikačního systému



Obr. 1 Obecné schéma komunikačního systému [5]

Zpráva, kterou vysílá zdroj zpráv, je tvořena posloupností prvků nebo znaků a nese významově ucelenou informaci, např. text, obraz, řeč. Kodér zdroje přiřazuje jednotlivým prvkům zprávy stavy určitých parametrů signálu (například šířku impulzu, amplitudu, kmitočet). Na ochranu před poruchami se před vstupem do modulátoru, v kodéru kanálu, provádí zakódování komunikace podle určitých pravidel. Modulace, která je prováděna v modulátoru, se používá pro transformaci signálu na vysílací straně na signál vhodný pro přenos. Modulace musí zachovávat informační obsah, aby bylo možné po přenosu získat původní informační signál. Tento proces se nazývá demodulace a provádí se v demodulátoru. Demodulace je tedy proces fyzikálně shodný s modulací a používá se ke změně formy elektrického signálu na přijímací straně kanálu. Sdělovací kanál je soubor technických prostředků umožňujících jednosměrný přenos signálu mezi dvěma místy bez ohledu na druh použitých prostředků, slouží tedy k přenosu signálu z vysílače k přijímači. Převod na původní znaky zdroje (čísla, písmena) provádí dekodér zdroje. Při kompletním přenosu nesmí být signál zkreslen a musí ho být možno zrekonstruovat do původního tvaru s přípustnou odchylkou. [5]

2 KÓDOVÁNÍ DAT

Digitální signál je nutné pro přenos v kanále připravit tak, že se buď překóduje do vhodného linkového kódu, pokud se přenáší v základním pásmu, nebo se moduluje pro přenos v přeloženém kmitočtovém pásmu.

Kódování se používá kvůli zajištění dostatečného výskytu změn v signálu pro časovou synchronizaci přijímače s vysílačem.

Digitální signál přenášený v základním pásmu zobrazený ve frekvenční oblasti začíná na frekvencích blízkých nule nebo obsahuje i stejnosměrnou složku. Podle toho můžeme rozlišovat dva typy přenosu [4]:

- Přenos se stejnosměrnou složkou – kanál musí přenést i tuto složku, což vyžaduje galvanické spojení koncových zařízení
- Přenos bez stejnosměrné složky – stejnosměrná složka je potlačena vhodným kódováním

2.1 Kód NRZ - L

Unipolární signál NRZ-L zobrazuje znak „1“ obdélníkovým impulsem šířky T a výšky V a znak „0“ mezerou šířky T a výšky $-V$. Tento typ kódu se používá pro přenos informace na velmi krátké vzdálenosti. Jeho nevýhodou je nenulová hodnota stejnosměrné složky. Při přenosu dlouhých sekvencí stejných prvků vznikají problémy s obnovením bitové synchronizace v přijímači.

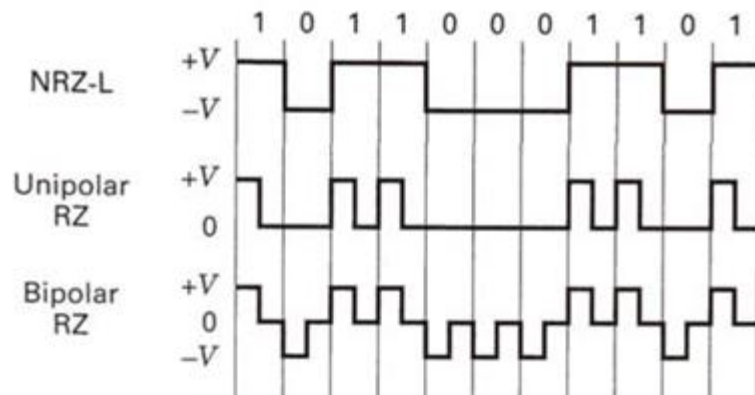
2.2 Unipolární kód RZ

RZ (Return to Zero) kód zobrazuje znak „1“ obdélníkovým impulsem šířky $T/2$ a výšky V a znak „0“ mezerou šířky T . Jeho nevýhodou je opět výskyt stejnosměrné složky a vyšší nároky na šířku spektra. Tato skutečnost je částečně vykompenzována vyšší schopností přenášet synchronizační signál v posloupnosti prvků „1“.

2.3 Bipolární kód RZ

Pro zajištění přenosu synchronizace se mnohdy používá tak zvané dvoufázové kódování (biphase), které zaručuje v každém bitovém intervalu alespoň jeden přechod mezi polaritami napětí signálu. RZ zobrazuje znak „1“ obdélníkovým impulsem šířky $T/2$ a

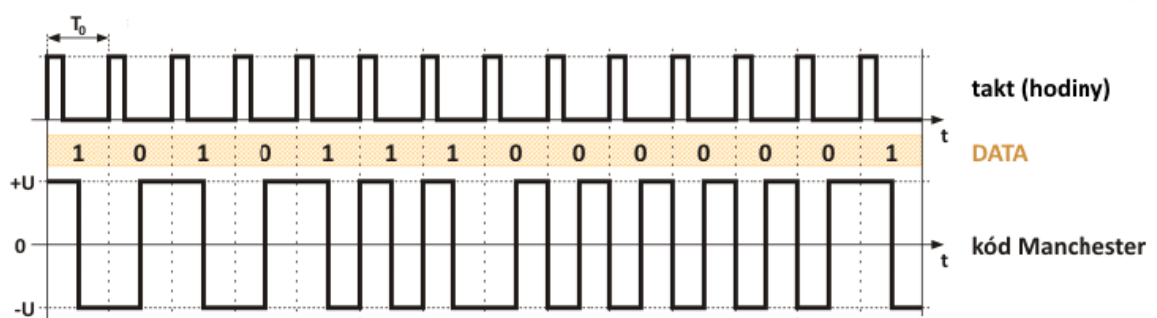
výšky V , znak 0 se zobrazuje impulsem šířky $T/2$ a výšky $-V$. Nevýhodou RZ kódu je opět výskyt stejno-směrné složky a vyšší nároky na šířku spektra.



Obr. 2 linkové kódy NRZ-L, unipolární RZ, bipolární RZ [1]

2.4 Kód Manchester

Tento kód neobsahuje stejnosměrnou složku a je vnitřně synchronizován. Prvky jsou kódovány změnou úrovně uprostřed bitového intervalu (znak „1“ je kódován přechodem úrovně $V \rightarrow -V$ a znak „0“ přechodem úrovně $-V \rightarrow V$) a jsou povoleny i přechody na okrajích těchto intervalů. Kód Manchester se používá se ve fyzické vrstvě řady lokálních sítí např. ETHERNET.

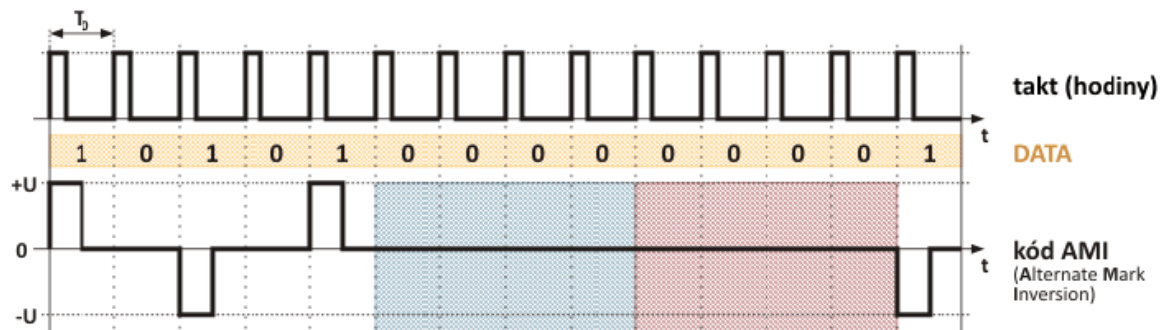


Obr. 3 kód Manchester [4]

2.5 Kód AMI

Kód AMI (Alternate Mark Inversion) neobsahuje stejnosměrnou složku a je v něm obsažena částečná informace o synchronizaci. Varianta RZ, zobrazuje znak „1“ obdélníkovým impulsem šířky $T/2$ a výšky střídavě V a $-V$. Znak „0“ se zobrazuje mezerou šířky T . Varianta NRZ pak zobrazuje znak „1“ obdélníkovým impulsem šířky T . Střídáním polarity symbolů 1 je sice zajištěn obsah taktovací složky, kterou lze využít pro

synchronizaci, avšak při dlouhé posloupnosti symbolů 0 se nepřenáší informace o taktu a může nastat narušení synchronizace. Tento nedostatek lze vyřešit vkládáním zvláštních kódových skupin na místa výskytu delší posloupnosti symbolů 0.



Obr. 4 kód AMI [4]

3 MODULACE

Modulace je proces, při kterém dochází k ovlivňování některého parametru nosného signálu v závislosti na okamžité hodnotě modulačního signálu. Při modulaci je nutné, aby byl zachován původní informační obsah, aby po přenosu bylo možné získat zpět původní modulační signál

Modulace se velmi často používá při přenosu nebo záznamu elektrických nebo optických signálů. Nejběžnějšími příklady zařízení spotřební elektroniky využívajících modulaci jsou například rozhlasový a televizní přijímač, mobilní telefon, různé typy modemů, satelitní přijímače atd.

3.1 Analogové modulace

Tyto modulace vznikají tak, že se pomocí analogového modulačního signálu (jedná se o signál spojitý v čase i amplitudě) moduluje analogová sinusová vysokofrekvenční nosná vlna.

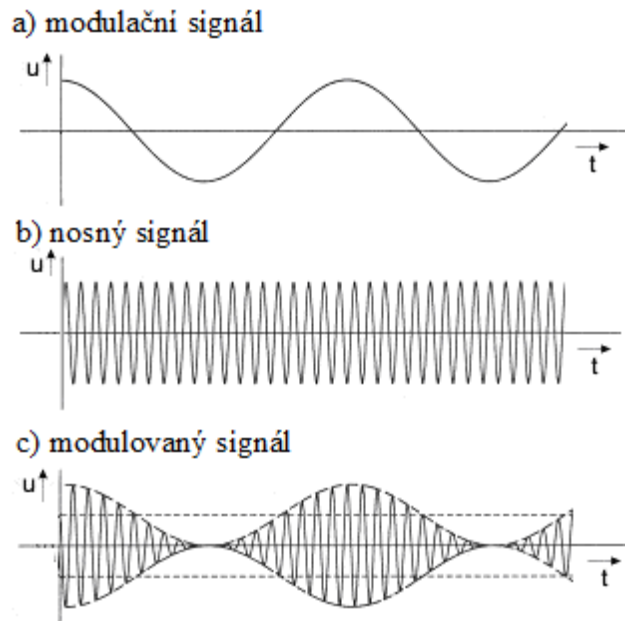
Podle způsobu, jakým se ovlivňuje nosná vlna lze rozeznat tři základní typy modulací:

- amplitudová modulace (AM)
- frekvenční modulace (FM)
- fázová modulace (PM)

3.1.1 Amplitudová modulace

Amplitudová modulace je historicky nejstarší typ modulace. Patří mezi jednoduché spojitě moduluje.

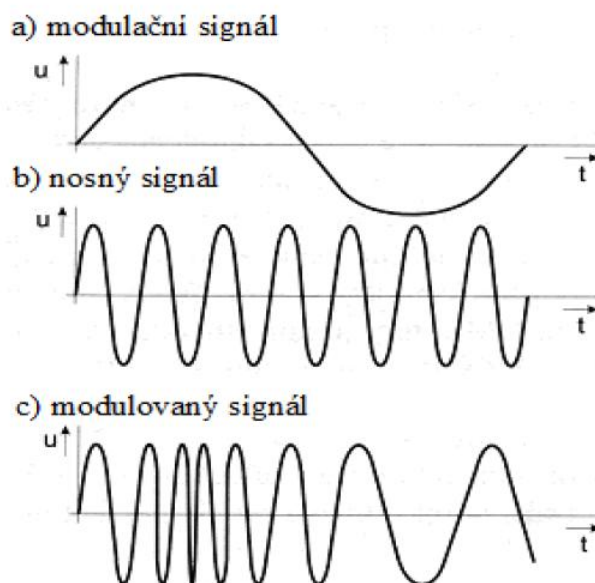
U AM modulace se používá sinusová nosná vlna a analogový modulační signál. Při této modulaci se mění amplituda nosného signálu v závislosti na amplitudě modulačního signálu. Frekvence ani fáze nosné vlny se u amplitudové modulace nemění.



Obr. 5 Amplitudová modulace [10]

3.1.2 Frekvenční modulace

Při frekvenční modulaci se v závislosti na amplitudě modulačního signálu mění kmitočet nosného signálu. Při modulaci tedy amplituda modulačního signálu neovlivňuje amplitudu modulované nosné vlny, ale zrychluje nebo zpomaluje otáčení fázoru nosné vlny a tím mění její kmitočet.



Obr. 6 frekvenční modulace [10]

Rozdíl frekvence f modulovaného nosného signálu a frekvence f_0 nemodulovaného nosného signálu se nazývá frekvenční zdvih (Δf).

$$\Delta f = f - f_0 \quad (1)$$

Poměr frekvenčního zdvihu (Δf) a frekvence modulačního signálu (f_m) se nazývá modulační index (m_f).

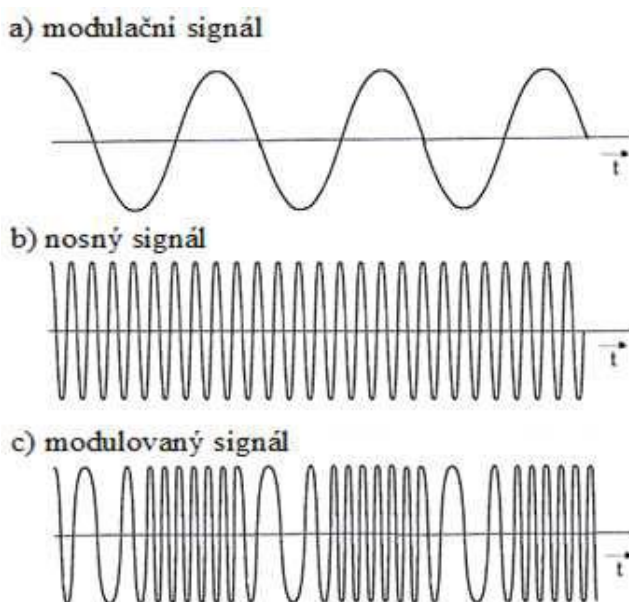
$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (2)$$

Výhodami frekvenční modulace jsou malá poruchovost a potřeba menšího vysílacího výkonu oproti AM. Nevýhodami jsou potřeba větší šířky přenosového pásma a složitější vysílač a přijímač oproti AM.

Frekvenční modulace se používá u směrových radiových spojů a u rozhlasového vysílání v pásmech VHF a UHF.

3.1.3 Fázová modulace

Při fázové modulaci se s amplitudou modulačního signálu mění fáze nosné vlny. Čím větší je amplituda modulačního signálu, tím větší je fázový zdvih $\Delta\varphi$ (fázový rozdíl).



Obr. 7 fázová modulace [10]

Fázová modulace se svým malým zkreslením, imunitou vůči poruchám a dalšími vlastnostmi blíží FM a je tedy rovněž výhodnější než amplitudová modulace. Její výhodou je mnohem vyšší odolnost úhlově modulovaného signálu vůči vnějším rušivým napětím.

PM se například používá při rozhlasovém vysílání na VHF. Fázová modulace se v praxi používá velmi málo. [10]

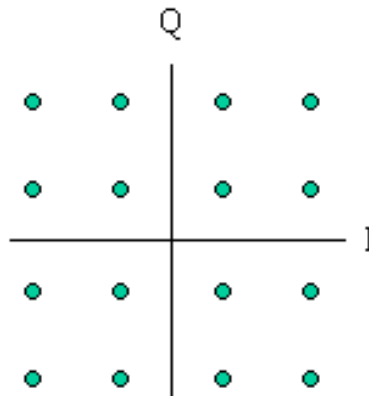
3.2 Digitální modulace

Při digitálních modulacích nabývá modulační signál omezeného počtu diskrétních hodnot. Proto se podle okamžité hodnoty digitálního modulačního signálu mění parametry nosné vlny skokem.

Podle toho, který parametr nosné vlny je ovlivňován, rozeznáváme tři základní typy digitálních modulací:

- Modulace ASK (Amplitude Shift Keying)
- Modulace FSK (Frequency Shift Keying)
- Modulace PSK (Phase Shift Keying)

Pro grafické znázornění některých digitálních modulací se používá rovina IQ (In-phase – synfázní složka, Quadrature – kvadrurní složka), do které se zakreslují vektory odpovídající jednotlivým stavům nosné vlny. Místo celých vektorů se však zakreslují pouze jejich koncové body. Výsledné zobrazení se nazývá konstelační neboli stavový diagram (Obr. 8).

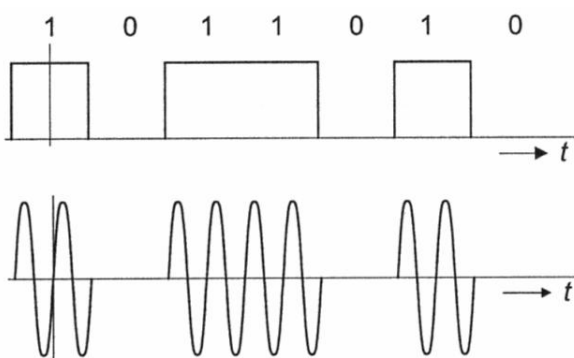


Obr. 8 konstelační diagram

Koncové body vektorů reprezentující jednotlivé stavy nosné se nacházejí pouze na kružnici s poloměrem rovnajícím se amplitudě nosné. Lepšího využití konstelačního diagramu (tj. přibližně rovnoměrného rozložení jednotlivých bodů v rovině IQ) lze dosáhnout tím, že se modulačním signálem klíčuje nejen fáze, ale i amplituda nosné vlny. Tímto způsobem se vytvářejí kvadrurní modulace QAM (Quadrature Amplitude Modulation), které jsou výhodné zejména při větších počtech stavů.

3.2.1 Amplitudové klíčování ASK

ASK patří mezi nejjednodušší druhy modulace pro přenos číslicového signálu. Bývá také označována jako PAM. Při amplitudovém klíčování se mění amplituda nosného signálu. Elektromagnetická vlna může nabývat určitou minimální amplitudu, která odpovídá například hodnotě logické 0 nebo maximální amplitudu, která odpovídá hodnotě logické 1. Z pohledu detekce je tato metoda nevýhodná, protože amplituda přijatého signálu může kolísat. Proto se používá dvoustavového kódování: signál na výstupu modulátoru buď je, anebo není.



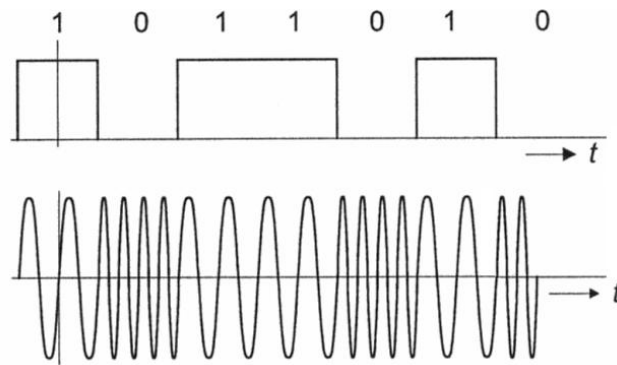
Obr. 9 Amplitudové klíčování ASK [12]

Největší výhodou této modulace je jednoduchost modulace i demodulace. Náchylnost k poruchám je její největší slabinou. Zlepšení odolnosti se docílí použitím menší hloubky modulace, při které nedochází k přerušení signálu. V praxi se příliš nepoužívá.

3.2.2 Frekvenční klíčování FSK

Při frekvenčním klíčování dochází ke změně nosné frekvence v závislosti na vstupním binárním signálu. Při dvojstavové FSK modulaci logická úroveň 0 binárního signálu může mít přiřazenou například nižší frekvenci f_1 a logická úroveň 1 má pak přiřazenou vyšší frekvenci f_2 .

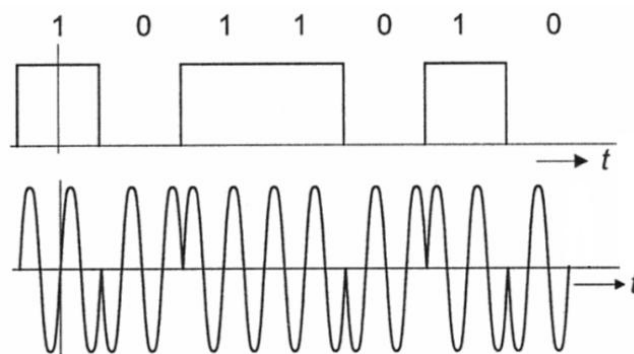
FSK modulace je rozšířenější než ASK modulace. Výhoda této modulace je, že má jednoduché kódování, menší rušení než je u ASK modulace a omezením frekvenčního pásma se zvýší odolnost proti rušení. Tuto modulaci používají například modemy pro přenos dat po telefonních linkách.



Obr. 10 frekvenční klíčování FSK [12]

3.2.3 Fázové klíčování PSK

U modulace PSK vstupní binární signál ovlivňuje fázi nosné vlny. U dvojstavové PSK modulace nabývá fáze dva diskretní stavy, například 0° a 180° . Logické úrovni 1 u binárního signálu je přiřazen fázový stav nosné vlny například 0° a logické úrovni 0 je pak přiřazen fázový posuv 180° .

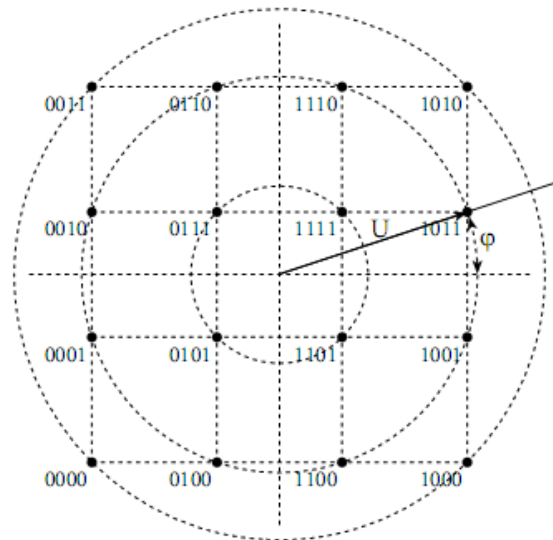


Obr. 11 fázové klíčování PSK [12]

PSK modulace je v praxi používána často, protože je, vzhledem k malé pravděpodobnosti chyby přijímaného signálu, považována za výkonný způsob datové modulace. Používají se varianty PSK modulace pro počet fázových stavů $M = 2, 4, 8$. Zvyšováním počtu fázových stavů se zvyšuje přenosová rychlost, nelze jej ale zvyšovat neúměrně, protože se tím zvyšují nároky na detektor. Pokud je $M = 2$ označujeme modulaci BPSK (binární PSK), pokud je $M = 4$ jedná se o QPSK (kvadrurní PSK). Fázové klíčování se využívá jak pro vojenské účely, tak i pro komerční komunikační systémy.

3.2.4 Kvadrurní modulace QAM

Jedná se o složenou modulaci, která k vytváření symbolů využívá kombinaci amplitudového a fázového klíčování. Každý stav je reprezentován určitou hodnotou amplitudy a fáze jak je zobrazeno na obrázku (Obr. 12) v konstelačním diagramu.



Obr. 12 konstelační diagram modulace 16QAM

Jde o vícestavovou modulaci, která je schopna přenášet několik bitů pomocí jediného symbolu, to znamená, že v jediný okamžik může přenést více bitů najednou. Vztah mezi stavy a symboly je definován jako:

$$n = \log_2 m \quad (3)$$

kde n – počet přenesených bitů

m – počet symbolů

Počet amplitudově-fázových stavů může být různý podle typu QAM modulace.

U modulace 16QAM vyjadřuje každý stav nosné ($M = 16$) nějakou čtyřbitovou ($n = 4$) kombinaci 1 a 0, zatímco u modulace 64QAM vyjadřuje každý stav nosné ($M = 64$) nějakou šestibitovou ($n = 6$) kombinaci 1 a 0.

Se zvyšováním počtu stavů použitých modulací však vzrůstají požadavky na přijímač, který musí rozlišit mnohem menší změny amplitudy, kmitočtu nebo fáze ve srovnání s modulacemi dvoustavovými. Navíc působí v komunikačním kanálu na modulovaný signál především šum a různá rušení, které zvyšují jeho chybovost. [4],[12]

4 PŘENOSOVÁ MÉDIA

Mezi telekomunikačními zařízeními se přenáší signál na potřebnou vzdálenost prostřednictvím elektromagnetické vlny, která má určitý kmitočet (počet kmitů za jednotku času) a vlnovou délku, která závisí na rychlosti šíření vlny v prostoru.

Přenosová média mají za úkol vytvořit přenosové cesty mezi zařízeními tak, aby skrz ně bylo možné posílat signály s daty. Pro různé kmitočty elektromagnetické vlny jsou vhodné různé druhy přenosového média. Každý druh přenosové cesty má své přednosti, proto se vzájemně doplňují. [1]

4.1 Metalická přenosová média

4.1.1 Koaxiální kabel

Koaxiální kabel se skládá z měděného vodivého jádra, které je obaleno plastovou izolací. Na vrstvě izolace je měděná mřížka nebo kovová fólie zastupující druhý vodič. Mřížka současně slouží jako ochrana vnitřního vodiče před elektromagnetickou interferencí. Vrchní vrstvu kabelu tvoří další izolační vrstva.



Obr. 13 koaxiální kabel [6]

4.1.2 Kroucená dvojlinka

Kroucená dvojlinka je nejjednodušší z vodičů používaných na vedení sítě internet. Skládá se z dvojice vzájemně kolem sebe obtočených vodičů. Signál je přenášen jako rozdíl napětí mezi těmito dvěma vodiči.

Problém při vzniku kroucené dvojlinky byl v tom, že každé dva vodiče, vedené souběžně vedle sebe, fungují jako anténa (to znamená, že něco ze svého okolí přijímají a něco vysílají). Možným opatřením vyjma izolace vodičů je jejich pravidelné zkroucení. Tím se

efekt antény zmenší. Dojde k tomu tím, že se vyzařované elektromagnetické vlny navzájem vyruší.

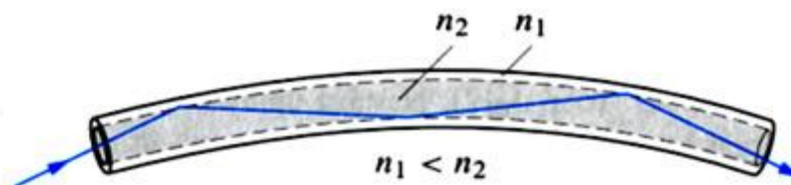
Používaná kabeláž má typicky více než jeden kroucený pár. Pro síťové aplikace se používají 2 nebo 4 páry. Jak již bylo zmíněno výše, pro zmenšení anténního efektu kroucené dvojlinky lze též použít stínění. Používají se tři druhy kabelů:

- UTP – bez stínění
- STP – samostatné stínění každého páru v kabelu
- ScTp – stínění společné pro všechny páry v kabelu

4.2 Optická přenosová média

4.2.1 Optická vlákna

Optické vlákno je dielektrický vlnovod, ve kterém se šíří elektromagnetické vlny ve směru osy s využitím principu totálního odrazu na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Je složeno z plně transparentního jádra s indexem lomu n_2 , které je obklopeno pláštěm s indexem lomu n_1 .



Obr. 14 optické vlákno

Nutná podmínka pro šíření vlny ve vlákne je:

$$n_1 < n_2 \quad (4)$$

Optická vlákna jsou široce využívána v komunikacích, kde umožňují přenos na delší vzdálenosti a při vyšších přenosových rychlostech dat než jiné formy komunikace. Vlákna se používají místo kovových vodičů, protože signály jsou přenášeny s menší ztrátou a zároveň jsou vlákna imunní vůči elektromagnetickému rušení. [2],[6]

4.3 Bezdrátová přenosová média

4.3.1 Bezdrátové radiové spoje

K realizaci radiového přenosu využíváme elektromagnetických vln takových kmitočtů, které se efektivně šíří volným prostorem (radiové vlny). Nejnižší kmitočty nesou rozhlasové signály dlouhých a středních vln, dále máme krátké a velmi krátké vlny. Oblasti desítek a stovek MHz využívají televizní pásma, vyšší kmitočty pak sítě mobilních telefonů a mikrovlnná pásma s nosnými kmitočty až desítky GHz družicové spoje, radioreléové spoje a širokopásmové přístupové sítě.

4.3.2 Optické směrové spoje

Optické směrové spoje využívají k přenosu, podobně jako radiové systémy, volný prostor, což přináší podstatnou výhodu operativního nasazení, kdy se instalují a nastaví koncové stanice a komunikace může ihned začít. Jejich nevýhodou je ovšem značná závislost na změnách parametrů prostředí, která může vést ke krátkodobým i dlouhodobým přerušením provozu.

Komunikace probíhá optickým paprskem na přímou viditelnost mezi venkovními jednotkami - hlavicemi, které obsahují optickou část, přijímač složený z opticko-elektrického převodníku (lavinové či PN fotodiody) a nízkošumového zesilovače, vysílač složený z výkonového budiče a elektricko-optického převodníku (laserové diody) a nutnou automatiku na přesné zaměření paprsku.

Na optické signály procházející volným prostorem mají negativní vliv následující jevy:

- Útlum prostředí způsobený absorpcí, rozptylem a refrakcí záření na molekulách plynů a vody
- Útlum vyvolaný odchylkami od ideálního směru teplotní deformací nosiče hlavičky
- Kolísání optického signálu způsobené turbulencí atmosféry
- Krátkodobé přerušení svazku přeletem ptáků

Dnešní systémy pracují nejčastěji na vlnových délkách 785 a 850 nm a dokáží překlenout vzdálenost 2 km. Nejčastěji se používají k vysokorychlostnímu propojení lokálních sítí pro přenos dat i hovorovou komunikaci. [1]

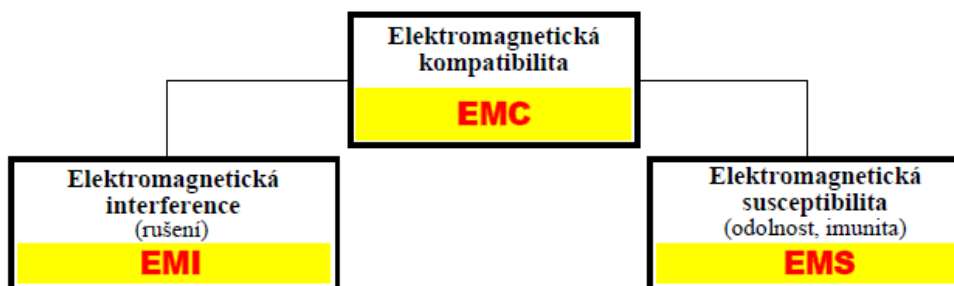
5 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Elektromagnetická kompatibilita (slučitelnost) EMC je definována jako schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), a naopak svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, které by mohly rušit jiná zařízení.

Elektromagnetická kompatibilita vznikla jako samostatná vědecko-technická disciplína v šedesátých letech 20. století v USA a poměrně dlouhou dobu 10 až 15 let byla předmětem zájmu jen úzkého okruhu odborníků. S prudkým rozvojem elektroniky, zejména mikroprocesorové a komunikační techniky v posledních desetiletích a jejím pronikáním do všech oblastí každodenního života se EMC stále více se dotýká nás všech.

V praxi, kdy citlivá elektronická zařízení musí často pracovat v prostředí se silným rušením, vznikají mnohdy značně obtížné situace. Tak např. vstupní měřicí ústředna řídicího počítače se spojuje s výrobním technologickým procesem prostřednictvím množství čidel, k nimž často vedou i několik set metrů dlouhé přívodní kabely nesoucí signály nízkých úrovní mV a μA . Kabely jsou přitom často vystaveny působení silných rušivých polí schopných do nich indukovat napětí, dosahující desítek až stovek voltů. Tyto parazitní signály pak mohou být vyhodnoceny jako informace došlé z technologického procesu a mít za následek nesprávný zásah (mnohdy automatický) s možným rizikem hospodářských škod, havárií, ale i ohrožení života či zdraví lidí.

Celá problematika EMC člení do dvou základních skupin (Obr. 15).



Obr. 15 členění problematiky EMC [11]

Velmi důležitou oblastí je měření elektromagnetické interference, především měření rušivých signálů a jejich identifikace. Zahrnuje měřicí metody a postupy pro kvantitativní hodnocení vybraných parametrů hlavně na rozhraních zdrojů a přijímačů rušení.

Problematika měření, která je pro závěrečné posouzení EMC daného zařízení vždy rozhodující, je navíc komplikovaná tím, že i samotné měřicí zařízení je (nebo může být) zdrojem a současně přijímačem rušivých signálů, což je nutno při měření respektovat (technicky, kalibračně, početně).

5.1 Elektromagnetická interference EMI

Elektromagnetická interference (EMI) neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů. EMI se tedy zabývá především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest. Kompatibility celého systému se dosahuje technickými opatřeními především na straně zdrojů rušení a jejich přenosových cest. EMI se tak týká hlavně příčin rušení a jejich odstraňování.

5.2 Elektromagnetická susceptibilita EMS

Elektromagnetická susceptibilita (EMS) či imunita vyjadřuje schopnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS se tedy zabývá především technickými opatřeními, která zvyšují u objektu (přijímače rušení) jeho elektromagnetickou imunitu, tedy jeho odolnost proti vlivu rušivých signálů. EMS se tak týká spíše odstraňování důsledků rušení, bez odstraňování jejich příčin. [11]

6 MĚŘENÍ A JEHO VÝZNAM

V mnohých komunikačních systémech musí být přenášený signál přizpůsoben vlastnostem kanálu z hlediska jeho frekvenčního spektra. Obvyklým řešením je použití modulačních a demodulačních obvodů, které vstupní signál namodulují na příslušnou nosnou frekvenci (do požadovaného frekvenčního pásma) a na straně přijímače probíhá inverzní proces - demodulace.

Komunikační kanál je vystaven rušení z vnějšího prostředí, čímž vzniká zkreslení přenášeného signálu. V důsledku existence šumu a různých elektromagnetických rušení, demodulátor neurčí vysílané symboly úplně přesně, ale s určitou pravděpodobností chyby (bitu/symbolu).

Testování chybovosti komunikačního systému je proto důležité. Výsledky měření mohou být použity pro návrh a optimalizaci použitého kódování nebo modulace a zabezpečení přenosu dat pro daný přenosový kanál.

Pokud je signál přijat na rozhraní, musí být regenerován (obnovena jeho digitální podstata). Základním kritériem při hodnocení kvality přenosu digitálních signálů je chybovost. V přenosové technice se vyhodnocuje buď bitová chybovost při měření bez provozu, nebo bloková chybovost při měření za provozu s uživatelskými daty, což umožňuje průběžné sledování kvality – monitorování výkonnosti přenosu. [3]

6.1 Chybovost

Chybovost se vyjadřuje jako poměr chybně přenesených prvků signálu k celkovému počtu přenesených prvků, kde prvkem může být bit, symbol, bajt, blok dat, paket. Bitová chybovost BER (Bit Error Rate) se dá vyjádřit vztahem:

$$BER = \frac{n_e}{v_p \cdot t} \quad (5)$$

n_e – počet chybně přenesených bitů

v_p – přenosová rychlost

t – doba sledování

6.2 Odstup signálu od šumu

Vlivem vlastností přenosového prostředí a působením šumů dochází při průchodu digitálního signálu ke zkreslení vysílaných symbolů a ke snížení odstup signálu od šumu SNR (Signal to Noise Ratio) na vstupu přijímací části. SNR je poměr výkonu užitečného signálu a šumu. [3] a [4]

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right) \quad (6)$$

P_{signal} – výkon signálu

P_{noise} – výkon šumu

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 POUŽITÉ SOFTWARE VYBAVENÍ

7.1 Matlab

Matlab je vysoce výkonný jazyk pro technické výpočty. Integruje v sobě výpočty, vizualizaci a programování do jednoduše použitelného prostředí. Jde o interaktivní systém, jehož základním datovým typem je dvourozměrné pole (bez nutnosti deklarovat rozměry). Tato vlastnost spolu s množstvím zabudovaných funkcí umožňuje relativně snadné řešení mnoha technických problémů, speciálně takových, které vedou na vektorovou či maticovou formulaci, v mnohem kratším čase než řešení v klasických jazycích jako je C nebo FORTRAN.

Typické oblasti použití jsou:

- Inženýrské výpočty
- Vývoj algoritmů
- Modelování, simulace a vývoj prototypů
- Analýza dat a jejich vizualizace
- Inženýrská grafika
- Vývoj aplikací včetně tvorby grafického uživatelského rozhraní

Výpočetní systém MATLAB se během uplynulých let stal celosvětovým standardem v oblasti technických výpočtů a simulací ve sféře vědy, výzkumu, průmyslu i v oblasti vzdělávání.

MATLAB poskytuje svým uživatelům nejen mocné grafické a výpočetní nástroje, ale i rozsáhlé specializované knihovny funkcí spolu s výkonným programovacím jazykem čtvrté generace. Knihovny jsou svým rozsahem využitelné prakticky ve všech oblastech lidské činnosti.

Díky své architektuře je MATLAB určen zejména těm, kteří potřebují řešit početně náročné úlohy a přitom nechtějí nebo nemají čas zkoumat matematickou podstatu problémů.

Za nejsilnější stránku MATLABu je považováno mimořádně rychlé výpočetní jádro s optimálními algoritmy, které jsou prověřeny léty provozu na špičkových pracovištích po celém světě. MATLAB byl implementován na všech významných platformách (Windows, Linux, Solaris, Mac). [8]

7.2 Simulink

Simulink je nadstavba MATLABu pro simulaci a modelování dynamických systémů, která využívá algoritmy MATLABu pro numerické řešení nelineárních diferenciálních rovnic. Poskytuje uživateli možnost rychle a snadno vytvářet modely dynamických soustav ve formě blokových schémat a rovnic.

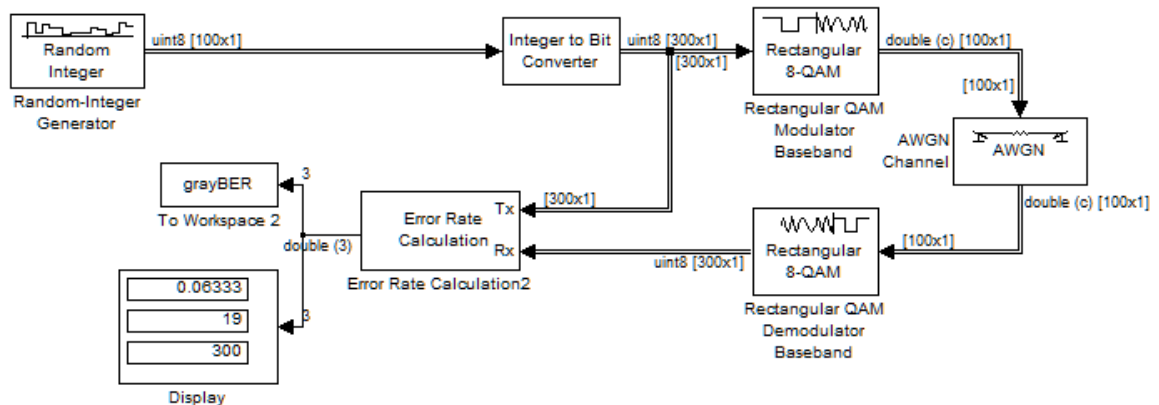
Kromě standardních úloh dovoluje Simulink rychle a přesně simulovat i rozsáhlé systémy s efektivním využitím paměti počítače. Pomocí Simulinku a jeho grafického editoru lze vytvářet modely lineárních, nelineárních, v čase diskretních nebo spojitých systémů pouhým přesouváním funkčních bloků myší. Simulink také umožňuje spouštět určité části simulačního schématu na základě výsledku logické podmínky. Tyto spouštěné a povolované subsystemy umožňují použití programu v náročných simulačních experimentech. Samozřejmostí je otevřená architektura, která dovoluje uživateli vytvářet si vlastní funkční bloky a rozšiřovat již tak bohatou knihovnu Simulinku. Hierarchická struktura modelů umožňuje koncipovat i velmi složité systémy do přehledné soustavy subsystemů prakticky bez omezení počtu bloků. Simulink, stejně jako MATLAB, dovoluje připojovat funkce napsané uživateli v jazyce C. Vynikající grafické možnosti Simulinku je možné přímo využít k tvorbě dokumentace. Mezi neocenitelné vlastnosti Simulinku patří nezávislost uživatelského rozhraní na počítačové platformě. Přenositelnost modelů a schémat mezi různými typy počítačů umožňuje vytvářet rozsáhlé modely, které vyžadují spolupráci většího kolektivu řešitelů na různých úrovních.

7.2.1 Blocksety

Otevřená architektura Simulinku vedla ke vzniku knihoven bloků, nazývaných blocksety, které rozšiřují základní knihovnu bloků Simulinku a umožňují použití programu v příslušných vědních a technických oborech. Knihovny je možné rozšiřovat i o vlastní bloky, vytvořené uživatelem. [9]

V praktické části jsem využil Communications blockset, který pracuje s bloky, které využívají vnitřní algoritmy a nástroje pro návrh, simulaci a analýzu komunikačních systémů.

8 POPIS ZAPOJENÍ



Obr. 16 schéma zapojení pro simulaci

Na obrázku (Obr. 16) je schéma zapojení pro simulaci přenosu dat komunikačním kanálem. Data jsou náhodně generována blokem Random Integer Generator. Následně jsou převodníkem Integer to Bit Converter převedena na binární signál. Dále je zapojen modulátor (v tomto případě blok Rectangular QAM modulator) a data jsou přenesena přes přenosový kanál (AWGN Channel). Následně jsou data zpět demodulována vybraným demodulátorem (Rectangular QAM demodulátor) a v bloku Error Rate Calculation je vypočítána chybovost na základě porovnávání vysílaného a přijímaného signálu. Blok Display slouží k zobrazení bitové chybovosti a blok To Workspace slouží uložení naměřených hodnot do proměnné.

Simulace probíhá spuštěním modelu komunikačního systému v programu Bit Error Rate Analysis Tool, který je součástí Matlabu a spouští se příkazem *bertool*. Simulaci lze také spustit samostatně v Simulinku.

8.1 Bit Error Rate Analysis Tool

Bit Error Rate Analysis Tool (BERTool) je program v Matlabu, který slouží pro výpočet bitové chybovosti. Spouští se příkazem *bertool*.

Prostředí programu je rozděleno do tří karet. V kartě Theoretical je možné vykreslit závislost bitové chybovosti BER na zvoleném normovaném odstupu signál-šum

$$\frac{E_b}{N_0} \quad (7)$$

Lze upravit rozsah pro jaké hodnoty normovaného odstupu signál-šum se má provést výpočet a následné vynesení křivky. Ve výběrovém políčku pro typ modulace nejsou obsaženy všechny modulační metody, ale pouze nejpoužívanější a patřící do kategorie základních typů. Lze volit mezi modulacemi PSK, DPSK, OQPSK, PAM, QAM, FSK, MSK a CPFSK. Řád modulace lze u většiny modulací volit od 2 do 64 stavů či v dalších mocninách dvou, v závislosti na použité modulaci.

V druhé kartě Semianalytics lze volit podobné parametry jako v předchozí kartě, navíc lze blíže specifikovat další parametry jako vysílaný a přijímaný signál a porovnat mezi sebou jednotlivé výsledky předchozích nastavení.

Třetí kartou je Monte Carlo. Toto prostředí umožňuje vynést graf závislosti bitové chybovosti na odstupu signál-šum a analyzovat výsledky z hodnot získaných simulací modelu vytvořeného v prostředí Simulink. Mezi vstupní parametry patří rozsah hodnot signál-šum, cesta k souboru s modelem, název proměnné zastupující naměřenou bitovou chybovost a parametry nastavující podmínky pro ukončení simulace. Po spuštění je model pro jednotlivé hodnoty odstupu signál-šum v přenosovém kanálu simulován a naměřené hodnoty jsou ukládány do pole proměnných. Jelikož pro velké hodnoty odstupu signál-šum se chybovost většiny modulací pohybuje na dosti malých hodnotách, je nutné pro jejich dosažení přenesení dostatečného počtu dat.

8.2 Možnosti nastavení jednotlivých bloků

8.2.1 Random Integer Generator

Tento blok slouží ke generování rovnoměrně rozděleného signálu.

Nastavení:

- M-ary number – rozsah výstupních hodnot (0 – M-1)
- Initial seed – počáteční hodnota inicializující náhodnou posloupnost
- Sample time – perioda vzorkování

8.2.2 AWGN Channel

Vytváří přenosový kanál, který bílým Gaussovským šumem ovlivňuje přenášený signál.

Poměr signálu a šumu lze zadat následujícími parametry.

Nastavení:

- Signal to Noise Ratio (E_b/N_0) – poměr energie 1 bitu signálu na střední výkon šumu
- Signal to Noise Ratio (E_s/N_0) – poměr energie připadající na 1 symbol signálu na střední výkon šumu
- Signal to Noise Ratio (SNR) – poměr výkonu signálu a výkonu šumu

8.2.3 Display

Slouží k zobrazení vstupních hodnot. V našem případě zobrazuje na prvním řádku bitovou chybovost, na druhém řádku počet přenesených chyb a na třetím řádku celkový počet přenesených dat.

Nastavení:

- Format – přesnost zobrazení

8.2.4 Rectangular QAM modulator

Provádí QAM modulaci vstupního signálu. Výstupní signál má čtvercovou konstelaci. Tento blok je možné vyměnit za jiný blok provádějící vícecestavovou modulaci, jako jsou bloky modulátorů M-PAM (ASK), M-FSK, M-PSK. Nastavení těchto bloků jsou stejná nebo velice podobná.

Nastavení:

- M-ary number – volba počtu stavů stavů modulace
- Input type – volba zda se vstupní signál skládá z celých čísel nebo skupin bitů

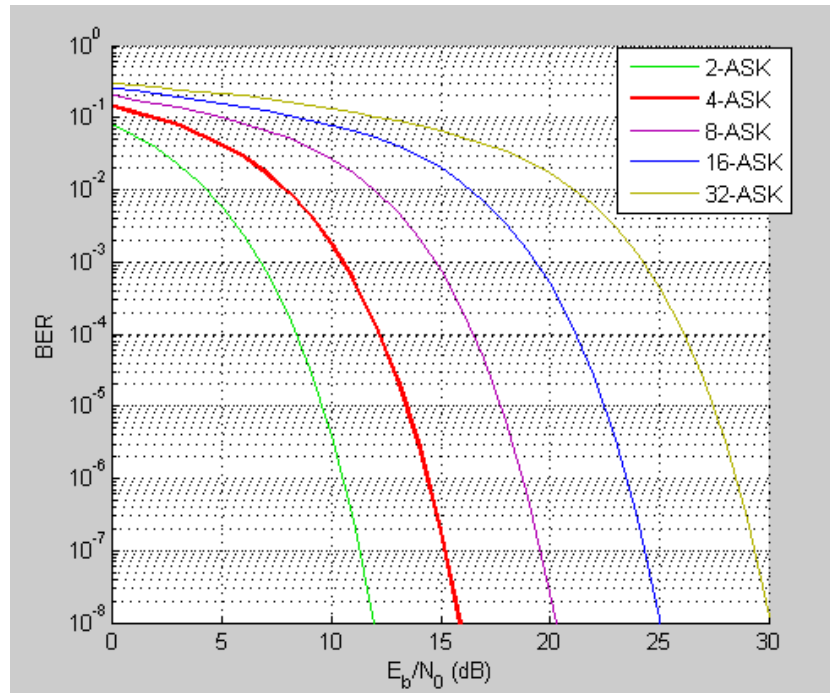
8.2.5 Rectangular QAM demodulator

Provádí demodulaci z QAM vstupního signálu. Výstupní signál má čtvercovou konstelaci. Opět platí, že tento blok lze vyměnit za jiný blok demodulátoru v závislosti na použitém modulátoru.

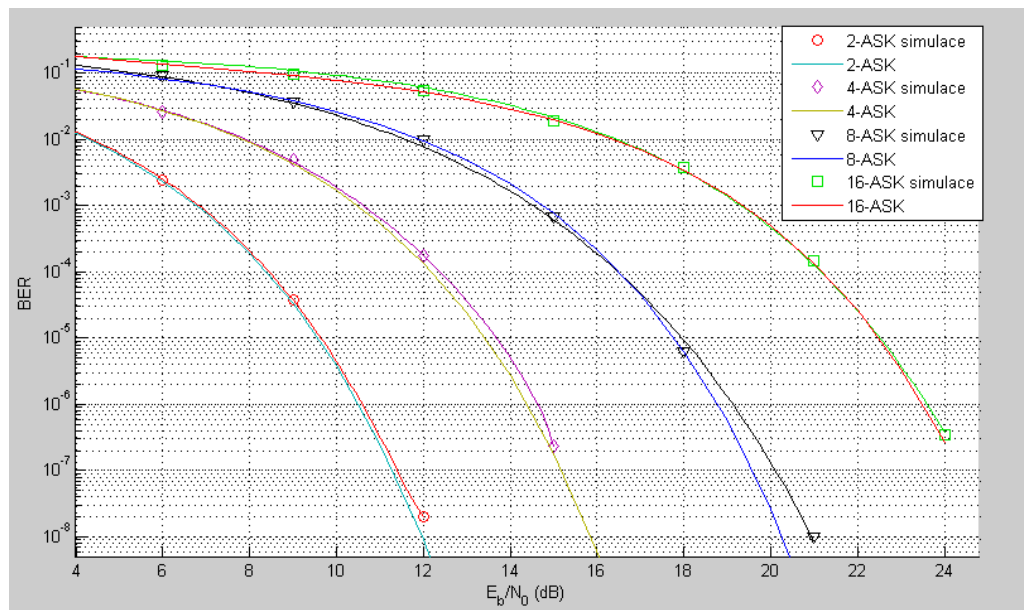
Nastavení:

- M-ary number – počet stavů modulovaného signálu

8.3 Závislost BER na SNR pro modulace ASK



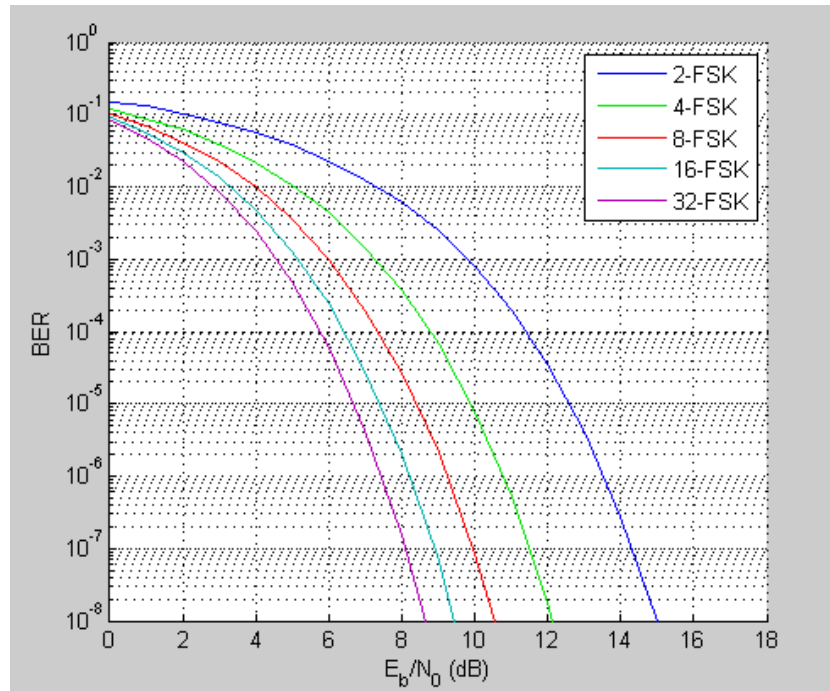
Obr. 17 teoretická závislost BER na SNR pro modulace ASK



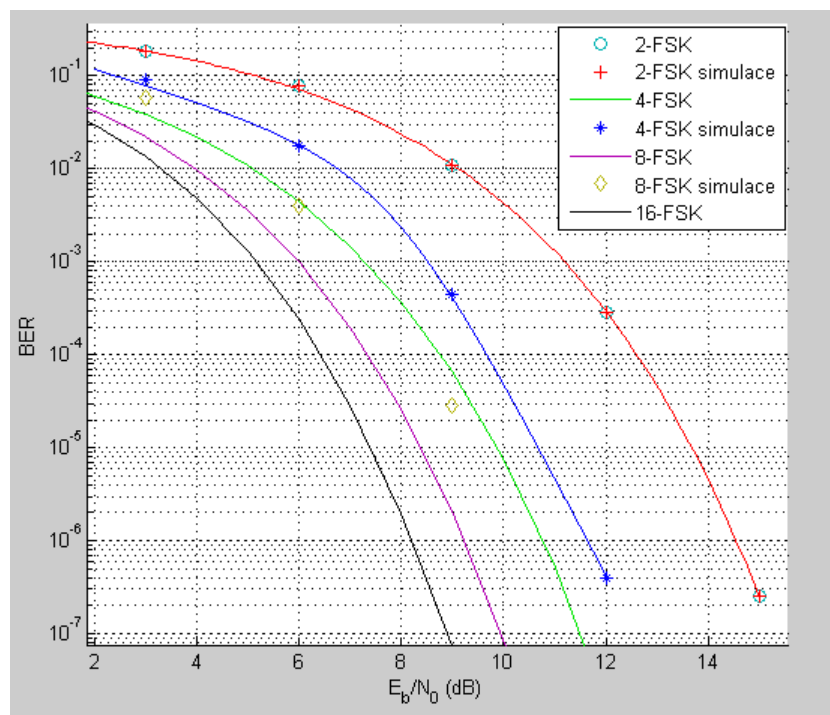
Obr. 18 porovnání simulované a teoretické závislosti BER na SNR

Z obrázku jde vidět, že u ASK se s druhou mocninou počtu stavů potřebný odstup SNR pro zajištění stejné bitové chybovosti zvyšuje přibližně o 3dB pro zajištění $BER = 10^{-6} - 10^{-7}$. S rostoucím počtem klíčováných stavů narůstá potřebný odstup signál-šum.

8.4 Závislost BER na SNR pro modulace FSK



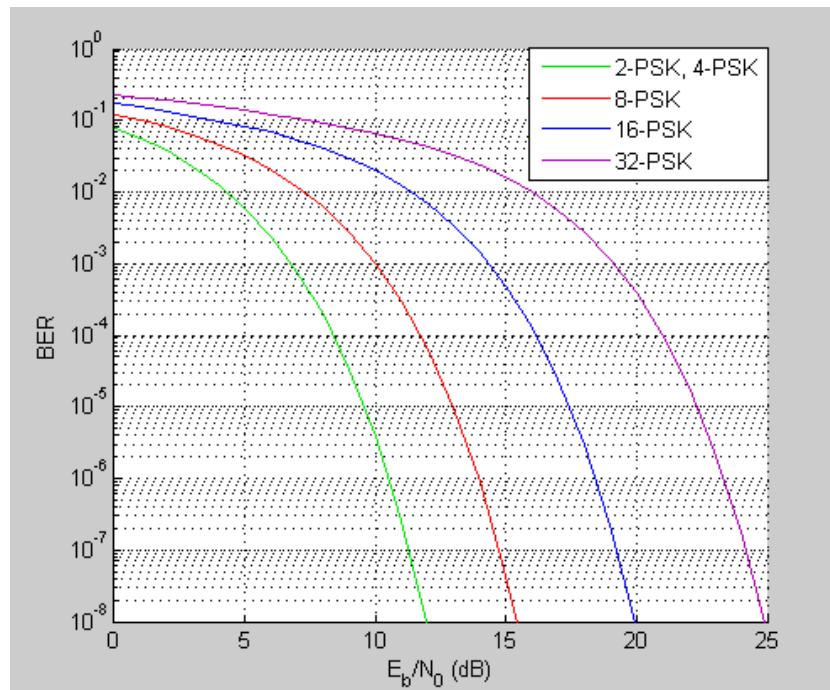
Obr. 19 teoretická závislost BER na SNR pro modulace FSK



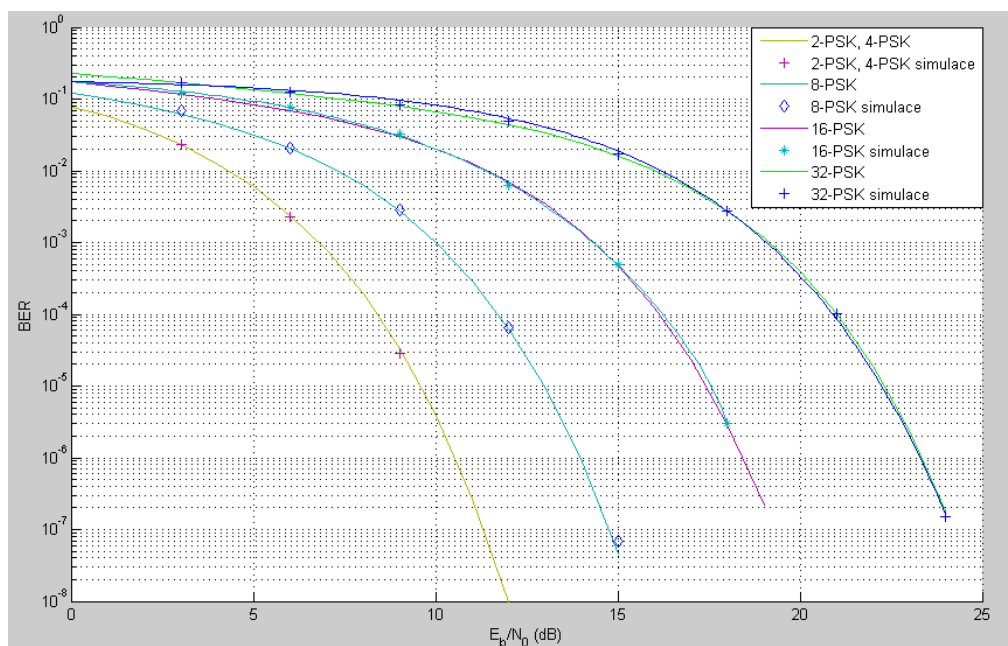
Obr. 20 porovnání simulované a teoretické závislosti BER na SNR

Na FSK modulaci je zajímavé to, že na rozdíl od ostatních měřených modulací při zvyšování počtu stavů této modulace klesá potřebný SNR pro dosažení stejné bitové chybovosti.

8.5 Závislost BER na SNR pro modulace PSK



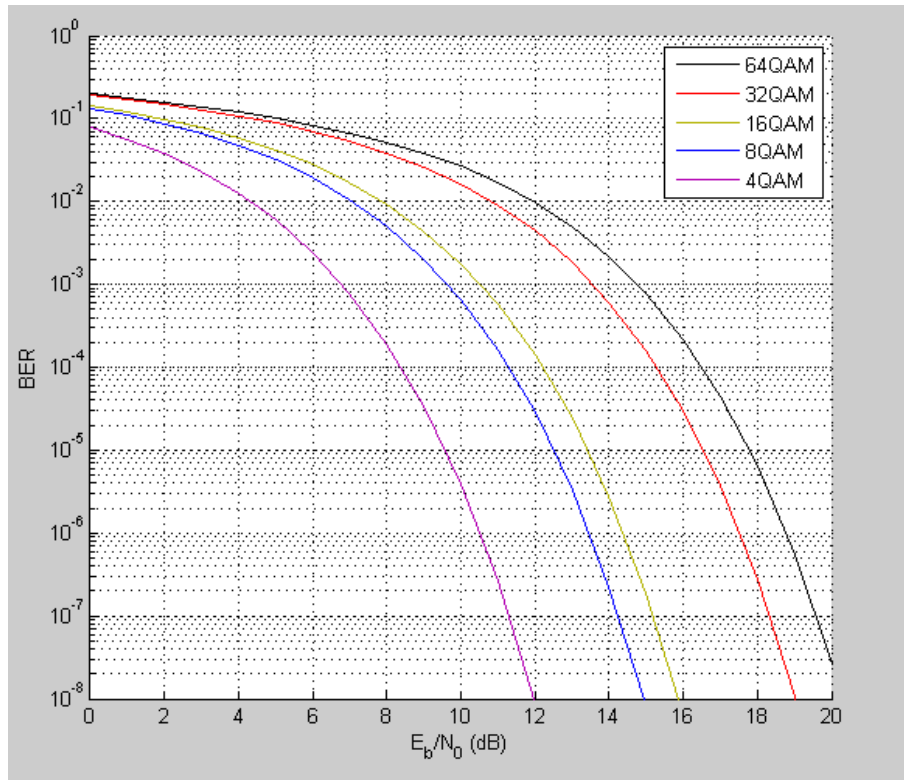
Obr. 21 teoretická závislost BER na SNR pro modulace PSK



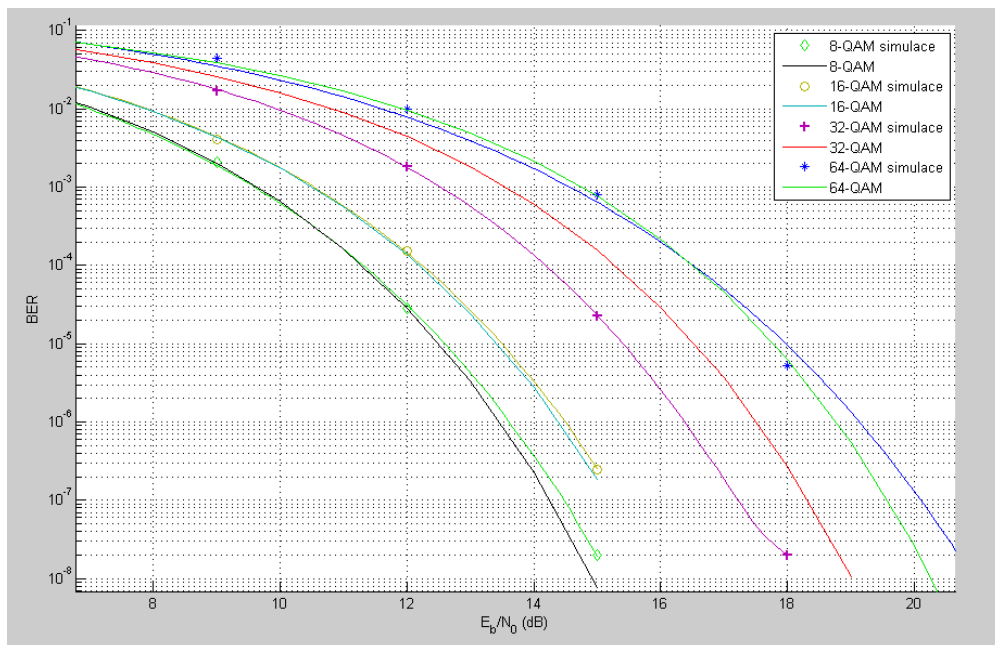
Obr. 22 porovnání simulované a teoretické závislosti BER na SNR

Z grafů lze vidět, že teoretické hodnoty BER u PSK se téměř shodují s teoretickými. Zajímavé je povšimnout si toho, že dvoustavová i čtyřstavová varianta PSK modulace má stejnou závislost BER na SNR.

8.6 Závislost BER na SNR pro modulace QAM



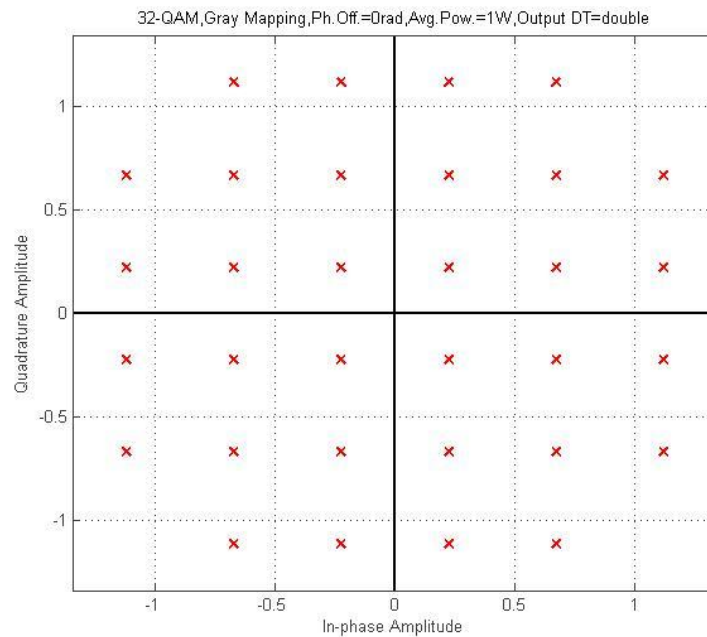
Obr. 23 teoretická závislost BER na SNR pro modulace QAM



Obr. 24 porovnání simulované a teoretické závislosti BER na SNR

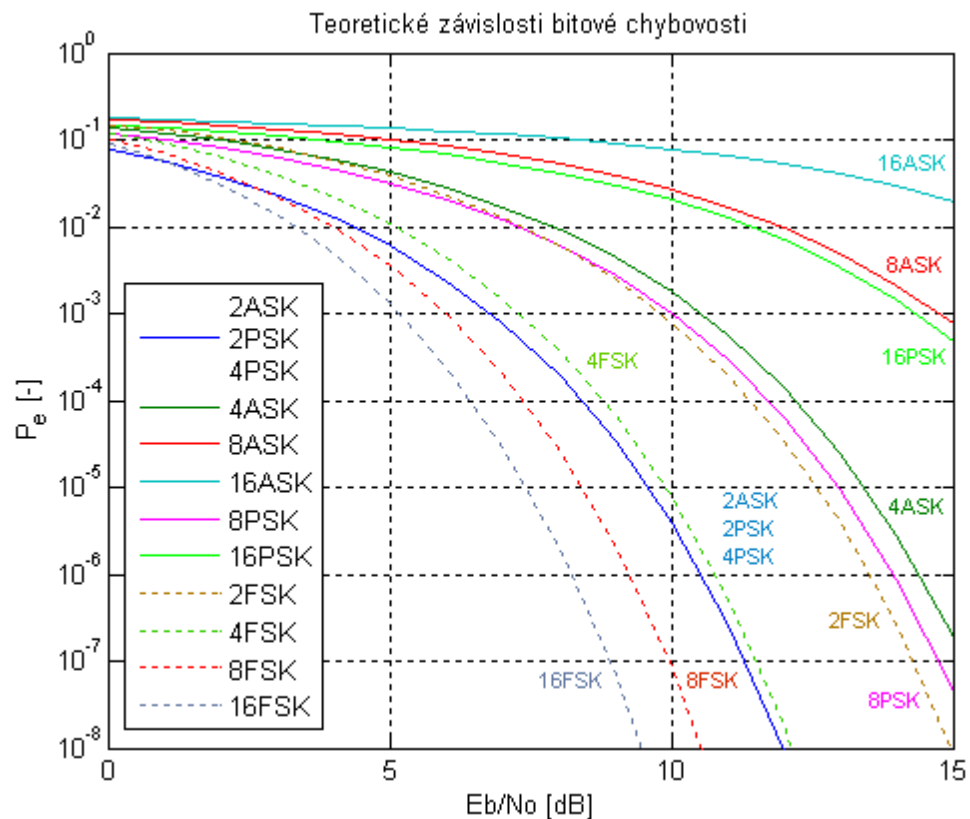
U QAM modulace dochází k patrným odchylkám mezi teoretickou a naměřenou bitovou chybovostí. Největší rozdíl je u verze 32QAM, důvodem může být to, že modulace

32QAM nemá na rozdíl od ostatních měřených QAM čtvercový konstelační diagram jak je vidět z obrázku (Obr. 25). Modulace 32QAM se v praxi moc nepoužívá.



Obr. 25 konstelační diagram 32QAM

8.7 Zhodnocení měření



Obr. 26 graf teoretických chybových závislostí vícestavových modulací

Z naměřených hodnot lze vidět, že modulační schémata s vyšším počtem kódovaných stavů mají oproti modulacím s nižším počtem stavů vyšší nároky na odstup signálu od šumu. Výjimkou je pouze modulační schémata využívající kmitočtové klíčování, kde se zvyšujícím se počtem stavů se snižuje potřebný odstup signálu od šumu. Pro první řád $M = 2$ lze u ASK modulační schémata dosáhnout obdobného průběhu jako u fázového klíčování. Pro vyšší řády jsou již odstupy mezi ASK a PSK výraznější o více než jeden řád stavu modulační. Například při dané referenční hodnotě BER a osmistavové modulační PSK, lze při stejném odstupu signál-šum použít pouze čtyřstavovou ASK modulační schéma.

Obecně lze říci, že modulační schémata s vyšším počtem stavů kladou vyšší požadavky na kvalitu přenosového prostředí. Jejich výhodou je ale vyšší přenosová rychlost díky tomu, že dokáží přenést více bitů v jednom okamžiku.

ZÁVĚR

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo rozebrat problematiku problémů vznikajících při přenosu signálů komunikačními systémy a provést simulační měření.

V teoretické části jsem popsal, jak takový komunikační systém vypadá a z jakých částí se skládá. Jsou zde popsány různé druhy používaných kódování a modulací. Jsou zde také popsány používané přenosové média používaná pro přenos různých druhů signálu a problematika elektromagnetické kompatibility.

V praktické části jsem se zabýval testováním odolnosti jednotlivých modulací používaných pro přenos dat. Snažil jsem se zjistit jak moc je která modulace odolná proti šumovému rušení. V prostředí Matlab/Simulink byly pro tyto potřeby sestaveny jednotlivé modely přenosových řetězců s AWGN kanálem pro každou digitální modulační techniku popisovanou v teoretické části a z nasimulovaných hodnot byly sestrojeny výsledné grafy. Porovnání vypočtených a nasimulovaných hodnot dochází k stejným nebo velmi podobným výsledkům, případně jsou odchylky okomentovány. Tyto simulace slouží především ke sledování vlivu šumu na kvalitu přenosu dat.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The main goal of my bachelor work was to clear up problems originated with transmission signals through communication systems and make simulation measure.

In theoretical part I described how communication systems looks and from what parts is it made. There are described different types of used coding and modulations. There are described transmission medias used for transmit different types of signals and electromagnetic compatibility issues too.

In practical part I was dealt with test immunity of individual modulations which are used for data transmission. I tried to determine how much is which modulation resistant to noise disturb. In program Matlab/Simulink were for this needs created models of communication chains with AWGN channel for every modulation technique described in theoretical part and from simulated values were created final graphs. Compare calculated and simulated results occur the same or very similar results, deviations are commented. This simulations serve first for monitor noise effect to data transmission quality.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VODRÁŽKA, Jiří. Přenosové systémy v přístupové síti. 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 180 s. ISBN 80-01-02660-4.
- [2] BOHÁČ, Leoš; LUCKI, Michal. Optické komunikační systémy. Vyd. 1. V Praze : České vysoké učení technické, 2010. 165 s. ISBN 978-80-01-04484-1.
- [3] VODRÁŽKA, Jiří; HAVLAN, Martin. Přenosové systémy : sítě a zařízení SDH a jejich návrh. 3., přeprac. vyd. V Praze : České vysoké učení technické, 2009. 205 s. ISBN 978-80-01-04217-5
- [4] VODRÁŽKA, Jiří; PRAVDA, Ivan. Principy telekomunikačních systémů. Vyd. 1. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. 130 s. ISBN 800103366X.
- [5] SVOBODA, Jaroslav; ZEMAN, Tomáš; ŠIMÁK, Boris. Základy teleinformatiky. Vyd. 1. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. 190 s. ISBN 8001017672.
- [6] Internet pro všechny [online]. 5. 4. 2006 [cit. 2011-03-20]. Internet pro všechny. Dostupné z WWW: <<http://www.internetprovsechny.cz/internet-pripojeni-k-nemu-a-mozny-rozvoj-cast-4-prenosova-media/>>.
- [7] GRYGÁREK, Petr. Základní principy přenosu dat [online]. 2005 [cit. 2011-05-10]. Dostupný z WWW:<http://www.cs.vsb.cz/grygarek/PS/lect/PREZENTACE/fyzPrincipy.pdf>
- [8] Humusoft [online]. c2011 [cit. 2011-05-02]. Matlab. Dostupné z WWW: <<http://www.humusoft.com/produkty/matlab/matlab/>>.
- [9] Humusoft [online]. c2011 [cit. 2011-05-02]. Simulink. Dostupné z WWW: <<http://www.humusoft.com/produkty/matlab/simulink/>>.
- [10] BEZDĚK, Miloslav. *Elektronika I*. 1 vydání. České Budějovice : Kopp, 2005. 271 s. ISBN 80-7232-171-4.
- [11] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilitata* [online]. Brno : [s.n.], 2002 [cit. 2011-05-14]. Dostupné z WWW: http://home.pilsfree.net/fantom/FEL/EMC/EMC_skripta.pdf>.
- [12] HANUS, Stanislav. Rádiové a mobilní komunikace [online]. Brno : -, 2009 [cit. 2011-05-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.google.cz/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBgQFjAA&url=http%3A%2F%2F213.81.187.151%2Fdrupal%2Fkniznica%2FRadiove%2520A%2520>

Mobilni%2520Komunikace.pdf&rct=j&q=radiove%20a%20mobilni%20komunika
ce%20pdf&ei=LLzjTa9HxaD7Br63hM8G&usg=AFQjCNGxvYbbFI21X-
0a4cva7mxWViGMwA&cad=rja>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AM	Amplitude Modulation
AMI	Alternate Mark Inversion
ASK	Amplitude Shift Keying
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BER	Bit Error Ratio
EMC	Electromagnetic Compatibility
EMI	Electromagnetic Interference
EMS	Electromagnetic Susceptibility
FM	Frequency Modulation
FSK	Frequency Shift Keying
GHz	Giga Hertz
MHz	Mega Hertz
NRZ	Non Return Zero
PM	Phase Modulation
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RZ	Return Zero
ScTP	Screened Twisted Pair
SER	Symbol Error Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio
STP	Shielded Twisted Pair
UTP	Unshielded Twisted Pair

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Obecné schéma komunikačního systému [5]	11
Obr. 2 linkové kódy NRZ-L, unipolární RZ, bipolární RZ [1].....	13
Obr. 3 kód Manchester [4].....	13
Obr. 4 kód AMI [4].....	14
Obr. 5 Amplitudová modulace [10].....	16
Obr. 6 frekvenční modulace [10].....	16
Obr. 7 fázová modulace [10]	17
Obr. 8 konstelační diagram.....	18
Obr. 9 Amplitudové klíčování ASK [12].....	19
Obr. 10 frekvenční klíčování FSK [12]	20
Obr. 11 fázové klíčování PSK [12].....	20
Obr. 12 konstelační diagram modulace 16QAM	21
Obr. 13 koaxiální kabel [6].....	22
Obr. 14 optické vlákno.....	23
Obr. 15 členění problematiky EMC [11].....	25
Obr. 16 schéma zapojení pro simulaci.....	32
Obr. 17 teoretická závislost BER na SNR pro modulace ASK	36
Obr. 18 porovnání simulované a teoretické závislosti BER na SNR.....	36
Obr. 19 teoretická závislost BER na SNR pro modulace FSK.....	37
Obr. 20 porovnání simulované a teoretické závislosti BER na SNR.....	37
Obr. 21 teoretická závislost BER na SNR pro modulace PSK.....	38
Obr. 22 porovnání simulované a teoretické závislosti BER na SNR.....	38
Obr. 23 teoretická závislost BER na SNR pro modulace QAM.....	39
Obr. 24 porovnání simulované a teoretické závislosti BER na SNR.....	39
Obr. 25 konstelační diagram 32QAM.....	40
Obr. 26 graf teoretických chybových závislostí vícecestavých modulací.....	41

SEZNAM TABULEK

SEZNAM PŘÍLOH

CD s prací a modely

PŘÍLOHA P I: CD S PRACÍ A MODELY

CD obsahuje dokument s bakalářskou prací a modely přenosových kanálů vytvořených v Simulinku pro použití s aplikací BERTool.