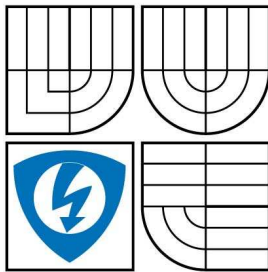


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**NÁVRH NOVÝCH LABORATORNÍCH ÚLOH
PŘEDMĚTU PŘÍSTUPOVÉ A TRANSPORTNÍ SÍTĚ**
DESIGN OF NEW LABORATORY EXERCISES IN THE COURSE ACCESS AND
TRANSPORT NETWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN ŤUPA DiS.

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. VLADISLAV ŠKORPIL, CSc.

BRNO 2008

ZDE VLOŽIT LIST ZADÁNÍ

ZDE VLOŽIT PRVNÍ LIST LICENČNÍ SMOUVY

ZDE VLOŽIT DRUHÝ LIST LICENČNÍ
SMOUVY

ABSTRAKT

V předkládané bakalářské práci jsou navrženy dvě nové laboratorní úlohy do předmětu Přístupové a transportní sítě. Laboratorní úlohy jsou zaměřeny na problematiku digitálních modulací, z jejichž četných druhů se práce soustřeďuje na amplitudovou digitální modulaci ASK, kmitočtovou digitální modulaci FSK a fázovou digitální modulaci PSK. Pro pozorování a měření těchto modulací je využíváno výukového systému TutorTIMS.

Tato práce si klade za cíl shromáždit praktické i teoretické informace o digitálních modulacích pro budoucí studenty předmětu Přístupové a transportní sítě.

KLÍČOVÁ SLOVA

Modulace, ASK, FSK, PSK, TutorTIMS

ABSTRACT

In my final project there are proposed two new laboratory tasks for the subject Access and transport network. These tasks are focused on the problem of shift keyings. There are a lot of types of shift keyings, however, I directed my attention at the following ones – the Amplitude shift keying ASK, the Frequency shift keying FSK and the Phase shift keying PSK. I used TutorTIMS training system for measurement and observation.

The aim of my final work is to collect both practical and theoretical information based on the shift keyings and help the Access and transport network students in the future.

KEYWORDS

Modulation, ASK, FSK, PSK, TutorTIMS

ŤUPA, M. *Návrh nových laboratorních úloh předmětu Přístupové a transportní sítě.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 57 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Návrh nových laboratorních úloh předmětu Přístupové a transportní sítě 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 semestrální 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

.....
(podpis autora)

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc., za odborné rady při zpracování bakalářské práce a možnost seznámit se s novým výukovým systémem. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalu Polívkovi za zřízení terminálového účtu a možnosti pracovat s výukovým systémem TutorTIMS prostřednictvím vzdáleného počítače. V neposlední řadě děkuji své manželce a synovi za morální podporu a toleranci při mé práci.

Obsah

1. Úvod	11
2. Základy přenosu telekomunikačních signálů	12
2.1. Obecný sdělovací řetězec	12
2.2. Teorie modulačních metod.....	14
2.3. Amplitudová modulace – AM.....	17
2.4. Kmitočtová (frekvenční) modulace – FM.....	18
2.5. Fázová (úhlová) modulace – PM.....	19
3. Digitální modulace	20
3.1. Základní vlastnosti digitálních modulací.....	20
3.2. Modulace nosné vlny	21
3.3. Chybovost, poměr signál/šum a účinnost.....	22
3.4. Amplitudová digitální modulace ASK.....	23
3.5. Kmitočtová digitální modulace FSK.....	23
3.6. Fázová digitální modulace PSK	24
4. Výukový systém TutorTIMS.....	25
4.1. Úvod do TutorTIMS.....	25
4.2. Nové laboratorní úlohy pro výukový systém TutorTIMS	28
4.3. Zadání první nové laboratorní úlohy:.....	28
4.4. Vzorový protokol první laboratorní úlohy	31
4.5. Zadání druhé nové laboratorní úlohy:.....	39
4.6. Vzorový protokol druhé laboratorní úlohy	42
4.7. Popis použitých modulů výukového programu TutorTIMS.....	48
5. Analyzátor ClearSight.....	53
6. Závěr	56
7. Literatura.....	57

Seznam obrázků

Obr.2.1. Sestavení obecného spoje pro jednosměrný přenos zpráv	13
Obr.2.2. Schématická značka modulátoru	14
Obr.2.3. Přehled druhů analogové modulace	15
Obr.2.4. Přehled druhů impulzní modulace	16
Obr.2.5. Časový průběh a frekvenční spektrum AM	18
Obr.3.1. Princip digitální modulace	20
Obr.3.2. Binární data a jejich kódování	20
Obr.3.3. Základní principy digitální modulace	22
Obr.4.1. Základní obrazovka a vložený modul do virtuálního slotu	26
Obr.4.2. Vznik blokového diagramu z matematického odvození	27
Obr.4.3. ASK signál (dole) a binární zpráva (nahore)	28
Obr.4.4. Blokové schéma generace ASK signálu	29
Obr.4.5. Blokové schéma ASK demodulace	30
Obr.4.6. Odhad šířky kmitočtového pásma ASK signálu	30
Obr.4.7. Vytvoření ASK generátoru podle blokového diagramu z obr4.4.	32
Obr.4.8. ASK generovaný signál	33
Obr.4.9. Vliv pásmové propusti na TTL sekvenci	33
Obr.4.10. Detail ASK pásmově omezeného signálu	33
Obr.4.11. Zapojení modulů pro odhad šířky kmitočtového pásma	34
Obr.4.12. Signálové průběhy na výstupu LPF	34
Obr.4.13. Zapojení modulů pro demodulace ASK signálu	36
Obr.4.14. První fáze demodulace ASK signálu	37
Obr.4.15. Druhá fáze demodulace – regenerace TTL křivky	37
Obr.4.16. FSK křivka odvozená z binární zprávy	39
Obr.4.17. Blokové schéma FSK generátoru	40
Obr.4.18. Generace BPSK signálu	40
Obr.4.19. BPSK signál v časové oblasti	40
Obr.4.20. Zapojení modulů TutorTIMS pro generaci FSK signálu	43
Obr.4.21. Generovaný FSK signál	43
Obr.4.22. CPFSK generace	44
Obr.4.23. Signálové průběhy CPFSK modulace	44
Obr.4.24. Generace BPSK modulace	45
Obr.4.25. Časové průběhy BPSK modulace	45
Obr.4.26. Detail přechodu mezi logickými stavy BPSK modulace	46
Obr.4.27. Rozdíl mezi FSK (vlevo) a CPFSK (vpravo) modulace při přechodu z logické úrovně TTL signálu	46
Obr.4.28. modul ADDER	48
Obr.4.29. modul AUDIO OSCILLATOR	49
Obr.4.30. modul DUAL ANALOG SWITCH	50
Obr.4.31. modul MASTER SIGNALS	50
Obr.4.32. modul SEQUENCE GENERATOR	51
Obr.4.33. modul TUNEABLE LPF	52
Obr.5.1 Monitoring VoIP komunikace	54
Obr.5.2. Monitoring HTTP spojení	54
Obr.5.3. Report SIP protokolu	55

1. Úvod

V předmětu Přístupové a transportní sítě se řeší problematika a různé způsoby připojení koncových zařízení sítě (telefonních přístrojů, faxů, počítačů apod.) pomocí pevných a mobilních přístupových sítí ke koncovým spojovacím uzlům transportní sítě. Snaží se podat ucelený přehled o všech nejdůležitějších částech telekomunikační sítě, která je chápána jako prostředek pro doručení informace k požadovanému adresátovi v požadované kvalitě. Jedná se o koncová zařízení, řešení přístupových sítí, prostředky koncentrace provozu, integrace služeb, vícenásobného využití přenosových médií.

Součástí výuky jsou také laboratorní cvičení, kde se studenti prakticky seznamují s teoretickými znalostmi získané při výuce. Nový výukový systém TutorTIMS patří mezi nejlepší výukové telekomunikační systémy. FEKT již rok vlastní softwarovou verzi a na konci roku 2007 získala i verzi hardwarovou tohoto výukového systému.

Předkládaná bakalářská práce se zabývá problematikou analogové i digitální modulace. Je zaměřena na problematiku digitální modulace, konkrétně na amplitudovou digitální modulaci ASK, kmitočtovou digitální modulaci FSK a fázovou digitální modulaci PSK. V práci je navrženo sestavení jednotlivých modulů ve výukovém systému TutorTIMS pro pozorování a měření výše uvedených digitálních modulací. Získané teoretické a praktické informace jsou použity k vypracování dvou nových laboratorních úloh do předmětu Přístupové a transportní sítě. Laboratorní úlohy jsou navrženy tak, aby nutily studenty k samostatné tvůrčí činnosti a ti pak byli schopni získané znalosti prokázat v rámci zodpovídání kontrolních otázek, které jsou součástí cvičení. K oběma úlohám byly vypracovány vzorové protokoly a pro seznámení s výukovým prostředím TutorTIMS a jeho moduly byly vytvořeny přehledné manuály.

2. Základy přenosu telekomunikačních signálů

2.1. Obecný sdělovací řetězec

Základním technickým předpokladem pro vytvoření informačního systému je realizace sdělovacího nebo telekomunikačního spoje. Pro potřeby obecného vysvětlení na úvod uvedu definice základních pojmů:

- *Telekomunikační spoj* – soubor technických prostředků umožňující telekomunikační přenos zpráv mezi dvěma místy, bez ohledu na druh použitých prostředků a druh přenosu.
- *Signál* – je fyzikální veličina proměnná v čase, sloužící k přenosu informace. Významným způsobem klasifikace signálu je v elektronice jejich dělení na:
 - *Signál analogový (spojitý)* – signál vyjadřující zprávu pomocí neomezeného počtu hodnot určité fyzikální veličiny (např. amplitudy, kmitočtu).
 - *Signál diskrétní (nespojité)* – signál, který je nespojitý buď v čase, nebo v amplitudě, nebo v čase i amplitudě.
 - *Signál digitální (číslicový)* – signál nespojitý v čase i amplitudě vyjadřující zprávu pomocí omezeného počtu hodnot určité fyzikální veličiny (např. pouze dvou hodnot).

Obecné spojení pro jednosměrný přenos zpráv je ukázán na obr.2.1. Původní zpráva Z , obvykle vnímatelná lidskými smysly, se v měniči zprávy přemění na prvotní elektrický signál S_e . Tento signál má nejčastěji spojitý (analogový) charakter, ale může být i digitální. Pro překlenutí velkých vzdáleností nebývá tento prvotní signál z technicko – ekonomických důvodů vhodný pro přenos. Dalším blokem proto bývá měnič signálu převádějící prvotní elektrický signál S_e na jiný elektrický signál S_p (analogový či digitální), jehož vlastnosti se přizpůsobují možnostem použité přenosové cesty. Přenosová cesta může být dvojího základního druhu: rádiová přenosová cesta (přenos volným prostorem) nebo přenosová cesta využívající přenos po vedení (metalická či optická přenosová cesta). Charakter přeneseného signálu S_p zpětný měnič signálu mění. Ten tento signál převede zpět na elektrický signál S_e , který je vhodný pro zpracování zpětným měničem zprávy. Příjemce zprávy obdrží tedy zprávu Z' , která se obecně od původní zprávy Z může lišit, a to působením následujících vlivů:

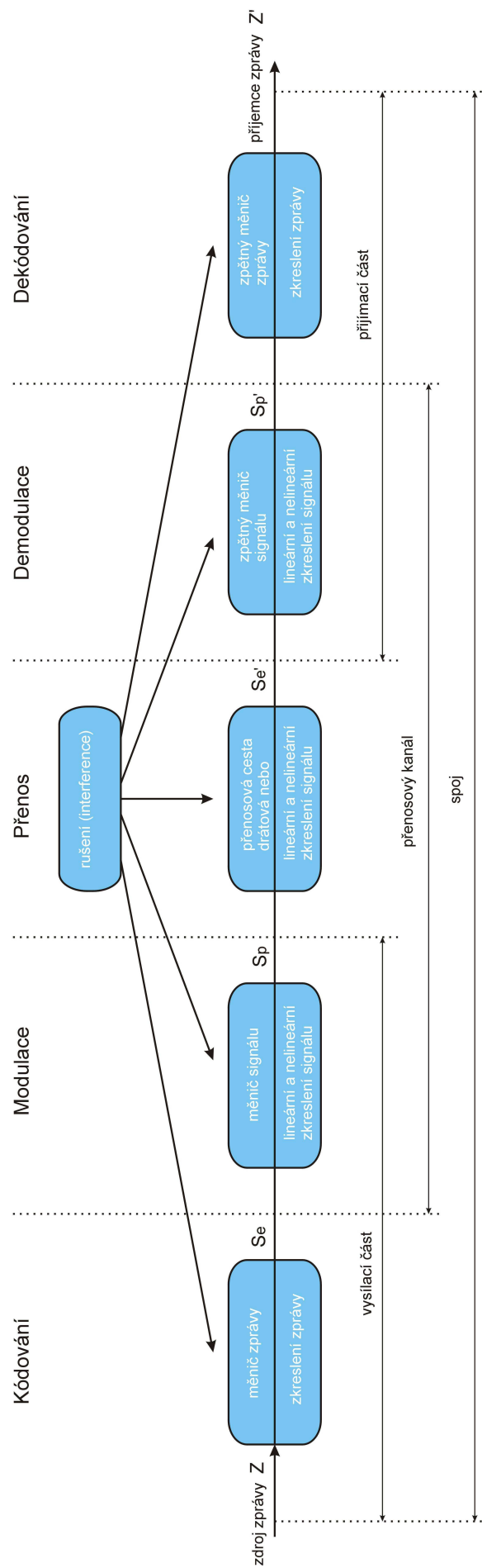
- nedokonalostí základních měničů (zkreslení zprávy)
- nedokonalostí telekomunikačního kanálu (zkreslení signálu)
- rušení (interferencí)

Zkreslení mohou způsobit všechny bloky spoje. Podobně i rušení se mohou do spoje dostávat ve všech jeho blocích, i když nejpodstatněji ovlivňují signál přes přenosovou cestu rádiovou či metalickou.

Má – li být přenos obousměrný, je nutné mít k dispozici ještě další kanál pro opačný směr, čímž dochází k vytvoření tzv. telekomunikačního okruhu. Telekomunikační okruh je pár vzájemně přiřazených protisměrných kanálů umožňujících protisměrnou komunikaci. Tato komunikace může probíhat pomocí dvou základních způsobů přenosu:

- *poloduplexní přenos* – přenos signálu okruhem střídavě v jednom či druhém směru
- *duplexní přenos* – přenos signálu okruhem současně v obou směrech

Obr.2.1. Sestavení
obecného spoje pro
jednosměrný přenos
zpráv

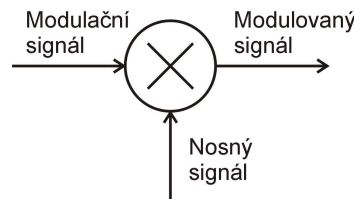


2.2. Teorie modulačních metod

Modulace je nelineární proces, kterým se mění charakter vhodného nosného signálu pomocí modulujícího signálu. Modulace se velmi často používá při přenosu či záznamu elektrických nebo optických signálů. Abychom přenesli např. hlasovou informaci, musíme mít možnost na stranu příjemce přenést signál s kmitočtem měnícím se v intervalu nejméně 300÷3400 Hz. To jsou však kmitočty, které nejsou vhodné pro šíření elektromagnetickými vlnami. Proto se kmitočet např. krátkých vln použije jako tzv. nosná vlna a kmitočet akustického signálu se na nosnou vlnu namoduluje.

Nejběžnějšími příklady zařízení spotřební elektroniky, které využívají modulaci jsou například rozhlasový a televizní přijímač, mobilní telefon, různé typy modemů, satelitní přijímače atd.

Zařízení, které provádí modulaci se nazývá modulátor. Musí vždy obsahovat nějaký nelineární prvek, jinak nemůže k modulaci dojít. Platí to ale i naopak. Jakmile se jakékoliv dva signály setkají na nějakém nelineárním prvku nebo v nelineárně se chovajícím prostředí, dojde k jejich vzájemné modulaci tzv. intermodulaci. Opakem modulace je pak demodulace, kterou provádí demodulátor.

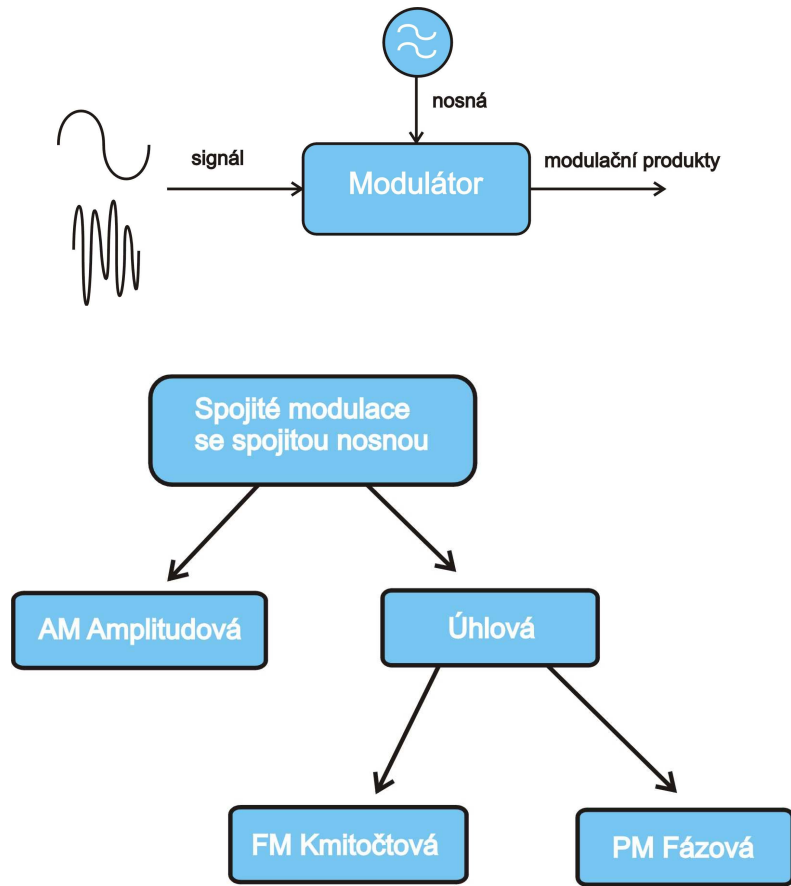


Obr.2.2. Schématická značka modulátoru

Z fyzikálního hlediska není mezi modulací a demodulací rozdíl. Nejčastěji se jedná o současné působení minimálně dvou elektrických průběhů na prvek či obvod s obecně nelineární charakteristikou. Přitom první z těchto průběhů, který vyjadřuje původní informaci určenou k přenosu, nazýváme modulačním signálem. Tento signál může mít obecně analogový nebo diskrétní charakter. Podle typu nosného signálu rozlišujeme modulace na:

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

Základní klasifikaci analogových modulací ukazuje obr.2.3. Při modulaci harmonické nosné se na jeden vstup modulátoru přivádí napětí sinusového průběhu (nosné) a na druhý vstup napětí libovolného průběhu (signál). Vzájemným působením těchto napětí v modulátoru vzniknou modulační produkty, které se objeví na výstupu modulátoru.



Obr.2.3. Přehled druhů analogové modulace

Napětí nosné vlny lze vyjádřit vztahem:

$$u_N = U_{Mn} \sin(\Omega t + \varphi) \quad (2.1.)$$

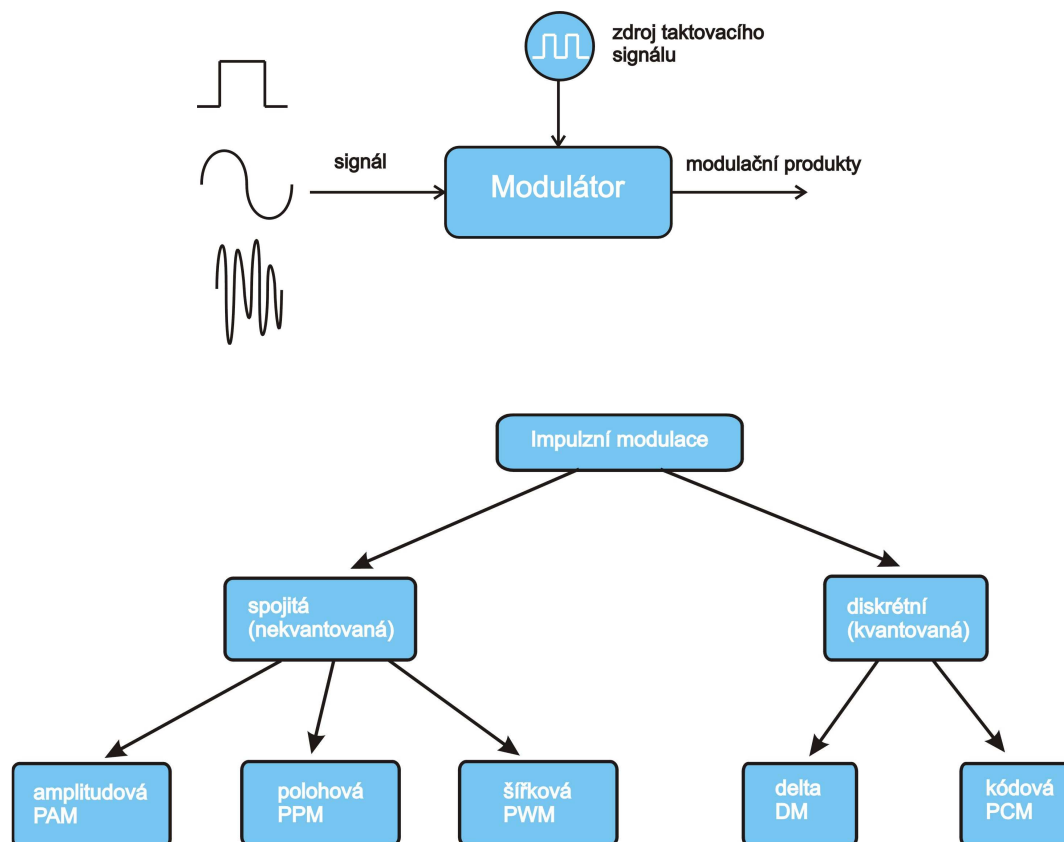
$$\Omega = 2\pi f_n \quad (2.2.)$$

kde U_{Mn} je amplituda nosné vlny, Ω je kruhový kmitočet nosné vlny (kde f_n je kmitočet nosné vlny) a φ je počáteční fázový posuv nosné vlny.

Modulačním signálem můžeme ovlivňovat jednak amplitudu nosné vlny, čímž dochází k amplitudové modulaci AM, která vede při vícenásobném využití přenosové cesty k tzv. kmitočtovému třídění kanálů (též frekvenční multiplex), a dále můžeme ovlivňovat úhel natočení vektoru napětí nosné vlny, kdy mluvíme obecně o úhlových modulacích. Principiálně můžeme působit na kmitočet nosné vlny, tím vzniká kmitočtová modulace FM, či na počáteční fázový posuv nosné vlny, čímž dochází k fázové modulaci PM (Phase modulation).

Základní klasifikace impulsních modulací ukazuje obr.2.4. Nekvantované impulsní modulace jsou založeny především na tzv. metodě vzorkování signálu a modulační produkty jsou vyjádřeny změnami určitého parametru signálového vzorku (amplitudou, vztažnou polohou nebo šířkou). Kvantované impulsní modulace používají

navíc tzv. metodu kvantování signálu. Impulzní modulace vedou k vícenásobnému využití přenosové cesty metodou časového třídění kanálů (též časový multiplex).



Obr.2.4. Přehled druhů impulzní modulace

2.3. Amplitudová modulace – AM

Tento typ modulace byl poprvé použit Kanadánem Reginaldem Fessendenem v roce 1906 pro přenos hudby na vzdálenost 200 mil.

Zde se nabízí otázka proč vlastně potřebujeme nosnou vlnu. Proč nemůže být informace (řeč, hudba atd.) přímo převedena na elektromagnetické vlny? Odpověď mohou poskytnout dva následující důvody. Prvním z nich je skutečnost, že v případě vysílání takových elektromagnetických vln bez modulace by užitá anténa musela být dlouhá nejméně polovinu vlnové délky a vlnová délka audiofrekvencí je dlouhá mnoho kilometrů. Druhým důvodem je to, že kdyby všechny vysílače vysílaly na stejných frekvencích, efekt by byl podobný jako kdyby stovky lidí mluvily najednou v jedné místnosti. Proto rozhlasové vysílače používají různé frekvence nosné vlny.

Amplitudová modulace spočívá v řízení amplitudy nosné vlny okamžitými hodnotami modulačního signálu. Takové ovlivnění nosné vlny konstantním kmitočtem ukazuje obr.2.5. Matematicky lze tento proces popsat následujícím vztahem:

$$s_{AM}(t) = A_n(1 + m \sin(\omega_m t)) \cdot \sin(\omega_n t) \quad (2.3.)$$

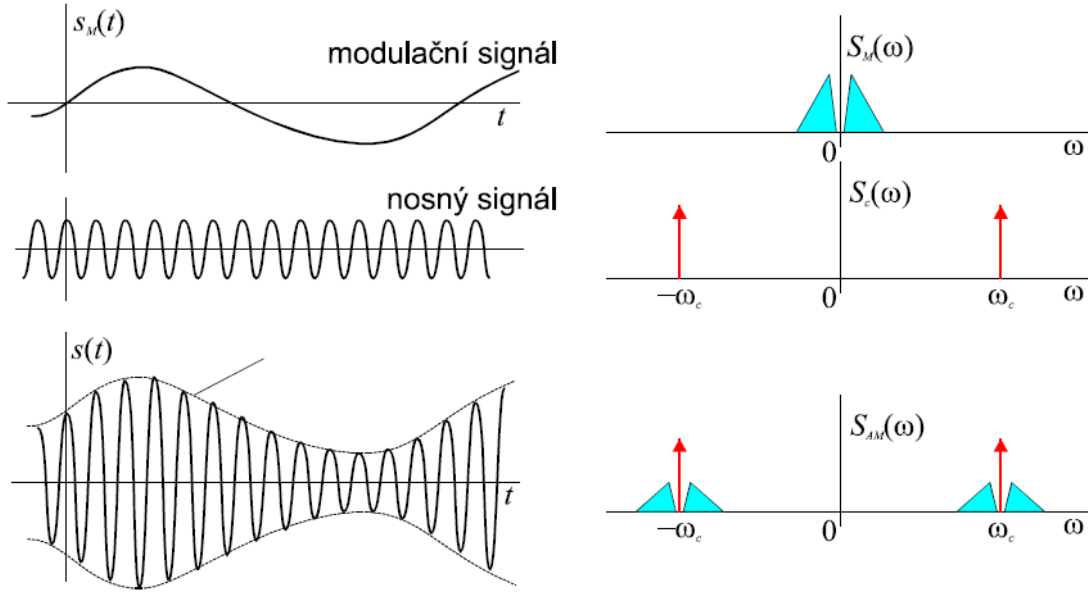
$$m = \frac{A_m}{A_n} \quad (2.4.)$$

Kde s_{AM} je signál vedený do antény, m je hloubka modulace, kdy A_m je amplituda modulačního signálu a A_n je amplituda nosného signálu, ω_m je kmitočet modulačního signálu a ω_n je kmitočet nosné vlny.

Po úpravě goniometrickými vzorci dostaneme výraz:

$$s_{AM}(\omega) = A_n \left[\sin(\omega_n t) + \frac{m}{2} \cos[(\omega_n - \omega_m)t] - \frac{m}{2} \cos[(\omega_n + \omega_m)t] \right] \quad (2.5.)$$

Uvedený vzorec ukazuje, že vysílaný signál, má-li nést nějakou informaci (např. uloženou v měnícím se kmitočtu modulačního signálu), musí být přenášen nikoli jako signál s jediným kmitočtem, ale vysílač musí vyslat a přijímač musí zpracovat kmitočty v určitém kmitočtovém pásmu. U amplitudové modulace jde o pásmo $\omega_n \pm \omega_{mmax}$, kde ω_{mmax} je maximální kmitočet modulačního signálu. Principů, které lze použít pro modulaci nosného kmitočtu, je velké množství a pro všechny platí, že k přenosu informace si vyžadají určité frekvenční pásmo soustředěné kolem nosného kmitočtu, jak ukazuje obr.2.5.



Obr.2.5. Časový průběh a frekvenční spektrum AM

2.4. Kmitočtová (frekvenční) modulace – FM

Je varianta úhlové modulace a spočívá v řízení kmitočtu nosné vlny okamžitými hodnotami modulačního signálu. Okamžitá frekvenční odchylka nosné vlny od základní hodnoty je přímo úměrná velikosti modulačního signálu. Frekvence změn odpovídá frekvenci modulačního signálu.

Pro :

$$s_n(t) = A_n \sin(\omega_n t) \quad (2.6.)$$

$$s_m(t) = A_m \cos(\omega_m t) \quad (2.7.)$$

Matematicky vyjádříme kmitočtovou modulaci vztahem:

$$s_{FM}(t) = A_n \sin[\omega_n + k_{FM} s_m \cos(\omega_m t)]t = A_n \sin[\omega_n + \Delta\omega \cos(\omega_m t)]t \quad (2.8.)$$

kde k_{FM} je napěťová citlivost modulátoru a

$$\Delta\omega = k_{FM} \cdot A_m \quad (2.9.)$$

je kmitočtový zdvih neboli deviace

Při zvětšování frekvenčního zdvihu se zvětšuje i potřebná šířka pásma v kanálu. Máme-li pro tento přenos vymezen kanál s určitou šířkou pásma, nesmí frekvenční zdvih překročit maximální hodnotu označovanou jako maximální frekvenční zdvih $\Delta\omega_{max}$ (Rated System Deviation). Důležitými parametry kmitočtové modulace jsou:

Index (činitel) kmitočtové modulace

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{k_{FM} A_m}{\omega_m} \quad (2.10.)$$

Podle velikosti indexu modulační β rozlišujeme širokopásmovou ($\beta > 1$) a úzkopásmovou ($\beta < 1$) FM modulaci.

Deviační poměr D (Deviation Ratio) je definovaný jako poměr maximálního frekvenčního zdvihu ku maximální modulační úhlové frekvenci.

$$D = \frac{\Delta\omega_{\max}}{\omega_{m\max}} \quad (2.11.)$$

Spektrum FM signálu můžeme vyjádřit pomocí Besselových funkcí. Dá se vypočítat tak, že FM signál obsahuje nekonečné množství postranních frekvenčních složek vzájemně od sebe vzdálených o frekvenci f_m . Jejich amplituda se zmenšuje s rostoucí vzdáleností od nosného kmitočtu. Proto stačí přenášet jen podstatné složky signálu a toto spektrum tím omezit.

U FM je vždy konstantní výkon, který je při indexech modulační větších než jedna (širokopásmová FM) koncentrován především v postranních pásmech. Tato modulační je proto energeticky výhodnější než amplitudová modulační AM. Konstantní výkon umožňuje vyšší účinnost vysílačů. Nevýhodou však je větší potřebná šířka pásma.

2.5. Fázová (úhlová) modulační – PM

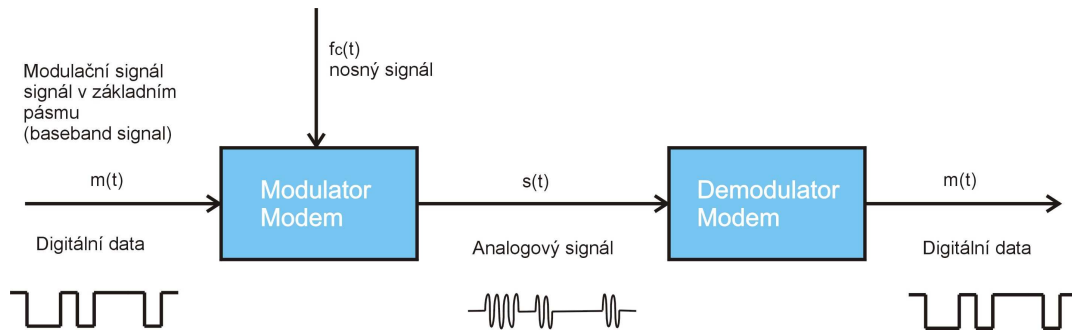
Fázová (úhlová) modulační spočívá v řízení fázových posuvů v kmitočtu nosné vlny, a to okamžitými hodnotami modulačního signálu. Odchylka fáze od nominální hodnoty se mění v závislosti na modulačním signálu. Matematicky je fázová modulační popsána podobným vztahem jako modulační frekvenční. Rozdíl v chování obou modulačních je v tom, že u frekvenční modulační se po delším čase fáze pro danou okamžitou hodnotu modulačního signálu nemusí shodovat s fází v předchozím čase, kdežto u fázové modulační je v kterémkoli okamžiku fáze nosné frekvence pevně vázána na okamžitou hodnotu modulačního signálu.

3. Digitální modulace

3.1. Základní vlastnosti digitálních modulací

Přenosové soustavy výrazně omezují použitelné frekvenční pásmo a často neumožňují přenášet stejnosměrnou složku. Obvykle není možné přenášet digitální signál v základním pásmu, protože ten (bez použití vhodného kódování) stejnosměrnou složku obsahuje a navíc zabírá značně širokou část spektra. Proto se použije vhodná nosná frekvence (carrier), která se přenášeným signálem moduluje.

Digitální signál (data) je přenášen pomocí analogového signálu. Jedná se v podstatě o analogové modulace, kde vstupním signálem jsou digitální data (jedničky a nuly) vyjádřená vhodným impulsem, jak je znázorněno na obr.3.1.



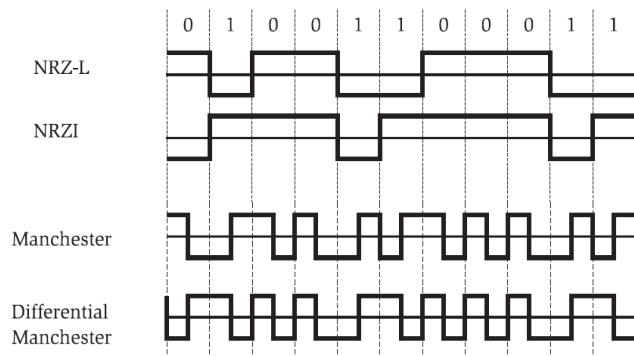
Obr.3.1. Princip digitální modulace

Modulace digitálními daty řeší dva problémy:

- reprezentace binárních dat sérií impulsů o dvou, příp. více, napětíových úrovních
- modulace nosné vlny impulsním signálem

Přímý datový signál, reprezentovaný obdélníkem, není pro přenos vhodný, protože u stejnosměrné složky není zaručen výskyt změn v signálu a nastává tedy problém se synchronizací. Ten se řeší pomocí kódování datového signálu. Bitová synchronizace se pak obvykle řeší vybavením přijímače generátorem taktu, který se fázově zasynchronizovává na změny v přijímaném signálu. Účelem je tedy kódovat signál tak, aby byl zaručen dostatečný výskyt změn (což je však požadavek mírně protichůdný s požadavkem na minimální šířku pásma přenášeného signálu). Užívané způsoby prezentace binárních dat ukazují obr.3.2.

Obr.3.2. Binární data a jejich kódování



- NRZ-L (Not Return to Zero – Level) je nejjednodušší řešení, kdy je přímo vázána úroveň napětí na logický stav. Informace o synchronizaci se zcela ztratí při přenosu dlouhých sekvencí s trvalou jedničkou nebo trvalou nulou. Problém je v řadě aplikací řešen na úrovni předzpracování dat (scrambling - kódování datového signálu tak, aby signál na médiu měl pseudonáhodný charakter, což má za následek vyvážený počet jedniček a nul).
- NRZI (Not Return to Zero Inverted) je systém, který snižuje průměrný počet přechodů použitím diferenciálního kódování. Každá logická jednička se kóduje jako přechod (inverze) do opačné polarity, všechny nuly ponechávají stav sériové linky na předchozí úrovni.

Problém obou kódů NRZ je v nespolehlivém zajištění dostatečného počtu přechodů mezi stavy pro potřeby synchronizace a v tom, že nezabezpečují vyrovnanou četnost impulsů obou polarit (nulovou stejnosměrnou složku).

- Manchester je kód, který bezpečně reprodukuje kmitočet taktování dat. To je zajištěno tím, že v každém bitovém intervalu dochází alespoň k jednomu přechodu mezi stavy. Přenášený bit je reprezentován jedním přechodem uprostřed bitového intervalu – logická nula přechodem L→H, logická jednička přechodem H→L. Na začátku intervalu se stav změní tak, aby se příslušná změna mohla uprostřed intervalu uskutečnit. Signál má nulovou stejnosměrnou složku, potřebuje však dvojnásobnou šířku přenosového pásma.
- Differential Manchester se liší tím, že datový bit rozhoduje na začátku intervalu pouze o přechodu (logická nula), či zachování stavu (logická jednička). Uprostřed intervalu je vždy vytvořený stav invertován.

3.2. Modulace nosné vlny

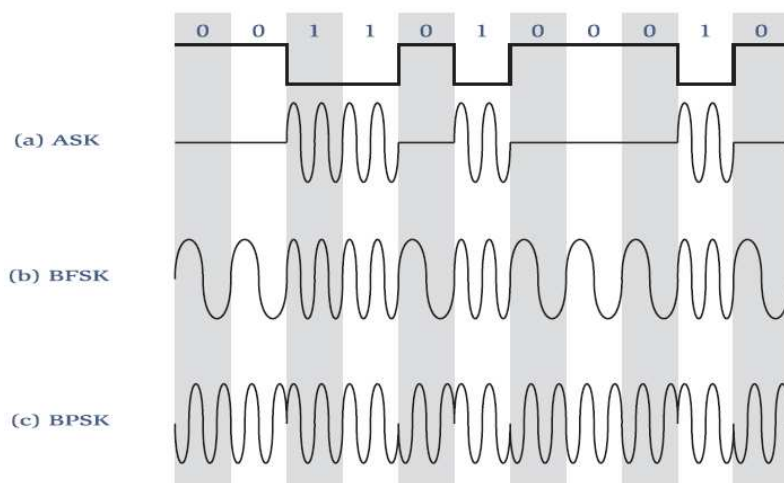
Na obr.3.3. jsou zobrazeny tři základní principy modulace nosné vlny. Vycházejí ze tří druhů modulace: amplitudové, frekvenční a fázové.

ASK (Amplitude-Shift Keying, Klíčování nosné) je nejjednodušší způsob modulace nosné vlny. Využívá se v optických spojích, kde modulátor mění intenzitu svitu polovodičového laseru.

FSK (Frequency-Shift Keying) je modulace založena na řízení nosného kmitočtu binárním signálem. Střední nosná frekvence ω_n je o malý kmitočtový rozdíl zvýšena pro jeden logický stav ($\omega_n + \Delta$) a pro druhý logický stav je snížena ($\omega_n - \Delta$).

PSK (Phase-Shift Keying). Modulace fázovým posunem je velmi často používaným způsobem modulace. Binární signál svými logickými stavy zavádí do nosné vlny skokové fázové posuny. Skoky fáze jsou uplatňovány v definovaných okamžicích vázaných na časový průběh nosného signálu. Skok fáze je v případě BPSK (Binary PSK) roven 180° .

QPSK je kvadrurní fázová modulace, které naznačuje cestu, jíž se rozvíjejí modulační algoritmy. Její princip spočívá v tom, že fáze signálu může být posunuta do čtyř různých hodnot. Jedním skokem ve fázi je tak do nosného signálu namodulována dvojice bitů.



Obr.3.3. Základní principy digitální modulační

3.3. Chybovost, poměr signál/šum a účinnost

Základním parametrem pro hodnocení analogových komunikačních systémů je odstup signál/šum na výstupu přijímače systému. K hodnocení digitálních komunikačních systémů se používá parametr označovaný jako pravděpodobnost chyby (chybovost) v přenosu bitu, definovaná vztahem:

$$P_e = \frac{\text{průměrný počet chybných bitů přenesených za 1 sekundu}}{\text{celkový počet bitů přenesených za 1 sekundu}} \quad (3.1.)$$

Pravděpodobnost P_e je veličina, která se stanoví pro komunikační systém určitého typu na základě teoretického rozboru. Skutečná chybovost zjištěná měřením na konkrétním systému se označuje termínem bitová chybovost BER (Bit Error Rate). Pro daný diskrétní modulační způsob je chybovost závislá na poměru signál/šum tedy S/N na vstupu demodulátoru přijímače. Rovněž na ni má vliv nedokonalá frekvenční filtrace signálu ve vysílači a v přijímači, fázový šum oscilátoru, které se účastní zpracování signálu, nelinearita koncových výkonových stupňů vysílače, únik a šíření elektromagnetických vln po vícenásobných drahách.

Energetická účinnost je definována jako poměr spektrální výkonové hustoty šumu ku střední energii signálu při určité chybovosti. Udává se v decibelech, typické hodnoty jsou okolo -10 dB pro BER= 10^{-4} a 10^{-6} .

Důležitým parametrem diskrétních modulací je spektrální účinnost, která je rovna poměru přenosové rychlosti ku šířce pásma. Udává se v bitech za sekundu/Hz. Typické hodnoty se pohybují v rozmezí 1 až 10 bitů/s na 1 Hz šířky pásma.

3.4. Amplitudová digitální modulace ASK

Amplitudová digitální modulace je velmi podobná analogové amplitudové modulaci s indexem modulace $m = 100\%$. Demulaci je možné realizovat nekoherentně (diodový detektor obálky) nebo koherentně (obnovením nosné vlny). Modulace nevyžaduje velkou šířku pásma, ale trpí interferencemi.

Binární jednotka je reprezentovaná existencí nosné složky s konstantní amplitudou.

$$s_{ASK}(t) = A \cos(2\pi f_c t) \quad (3.2.)$$

Binární nula je reprezentována absencí nosné složky.

$$s_{ASK}(t) = 0 \quad (3.3.)$$

Nosný signál:

$$s_n = A \cos(2\pi f_c t) \quad (3.4.)$$

Amplitudová digitální modulace ASK je náchylná k chybám při náhle vznikajících změnách. Používaná pro vysílání digitálních dat optickým vláknem pomocí LED (Light Emiting Diode), emitováním nízké a vysoké úrovně světla.

3.5. Kmitočtová digitální modulace FSK

FSK můžeme také nazvat jako BFSK (Binary FSK). U této modulace má nosná vlna konstantní amplitudu A_n . Její kmitočet se mění v rytmu digitálního binárního modulačního signálu mezi dvěma signalizačními kmitočty $f_1=f_n-\Delta f$ a $f_2=f_n+\Delta f$, přičemž $f_n=(f_1+f_2)/2$ je nominální kmitočet nemodulované nosné vlny a Δf je kmitočtový zdvih (deviace, offset), tj. odchylka signalizačního kmitočtu od kmitočtu nosné vlny. Modulovaný signál $s_{FSK}(t)$ lze vyjádřit obecnými vztahy. Dvě binární cifry jsou reprezentované dvěma frekvencemi f_0 a f_1 blízkými nosné frekvenci f_n , symetricky pozicované vůči f_n .

Binární 1

$$s_{FSK}(t) = A \cos(2\pi f_0 t) \quad (3.5.)$$

Binární 0

$$s_{FSK}(t) = A \cos(2\pi f_1 t) \quad (3.6.)$$

Šířka pásma potřebná pro FSK závisí na vzdálenosti mezi frekvencemi nosných signálů pro reprezentaci 0 a 1. Kmitočtová modulace FSK je méně náchylná k chybám než ASK modulace.

3.6. Fázová digitální modulace PSK

U modulací PSK, tj. u modulací s klíčováním fázovým posuvem resp. zdvihem, datový binární signál ovlivňuje fázi nosné vlny, přičemž její amplituda zůstává konstantní. U dvojestavové modulace BPSK (2PSK), s pravouhlými polárními modulačními impulsy o době trvání T_b , nabývá fáze dva diskrétní stavy: 0° a 180° . Pro reprezentaci binárních číslic, znázorněné na obr.3.4., se používají dvě fázová posunutí, matematicky vyjádřená:

Binární 1

$$s_{PSK}(t) = A \cos(2\pi f_n t) \quad (3.7.)$$

Binární 0

$$s_{PSK}(t) = A \cos(2\pi f_n t + \pi) \quad (3.8.)$$

což je

$$s_{PSK}(t) = A \cos(2\pi f_n t) \quad (3.9.)$$

$$s_{PSK}(t) = -A \cos(2\pi f_n t) \quad (3.10.)$$

Fázová digitální modulace PSK je robustní modulační technika, která se používá v satelitní technice.

4. Výukový systém TutorTIMS

4.1. Úvod do TutorTIMS

TIMS (Telecommunications Instructional Modelling Systém) od firmy EMONA INSTRUMENTS je simulační software pro telekomunikace. Jedná se o matematicko fyzikální model reprezentující elektrické signály, nebo telekomunikační systémy. TIMS je praktický a názorně ukázkový výukový systém, určený převážně pro vysoké školy technického zaměření. Umožňuje vytvořit a simulovat experimenty pomocí blokových schémat a matematických rovnic.

Úvodní obrazovka je zobrazena na obr.4.1. Opticky je rozdělena do dvou částí. Horní oblast představuje dvanáct přihrádek (virtuální sloty), do kterých se vkládají zásuvné moduly. TIMS pracuje s tzv. moduly, které se dělí podle svých specifických funkcí na kategorie:

- Generace signálu - oscilátory
- Zpracování signálu - multiplý, filtry
- Měření signálu - frekvenční čítače
- Zpracování digitálních signálů

Ve spodní části obrazovky jsou na pevno umístěny moduly, které nelze odebrat. Jsou to MASTER SIGNALS, TutorTIMS a v pravé části je oblast pro nastavení a zobrazení průběhů signálů, tedy OSCILOSKOP.

Použití modulu OSCILOSKOP je podobné jako u standardního dvoukanálového osciloskopu. Vstupní svorky daného kanálu se připojí na měřený bod a na obrazovce vpravo se zobrazí průběh. Tlačítkem **FREQ** na ovládacím panelu daného kanálu osciloskopu lze zobrazit frekvenční spektrum měřeného signálu. Pomocí laditelných potenciometrů můžeme nastavovat různé hodnoty časové základny nebo velikost zobrazované veličiny.

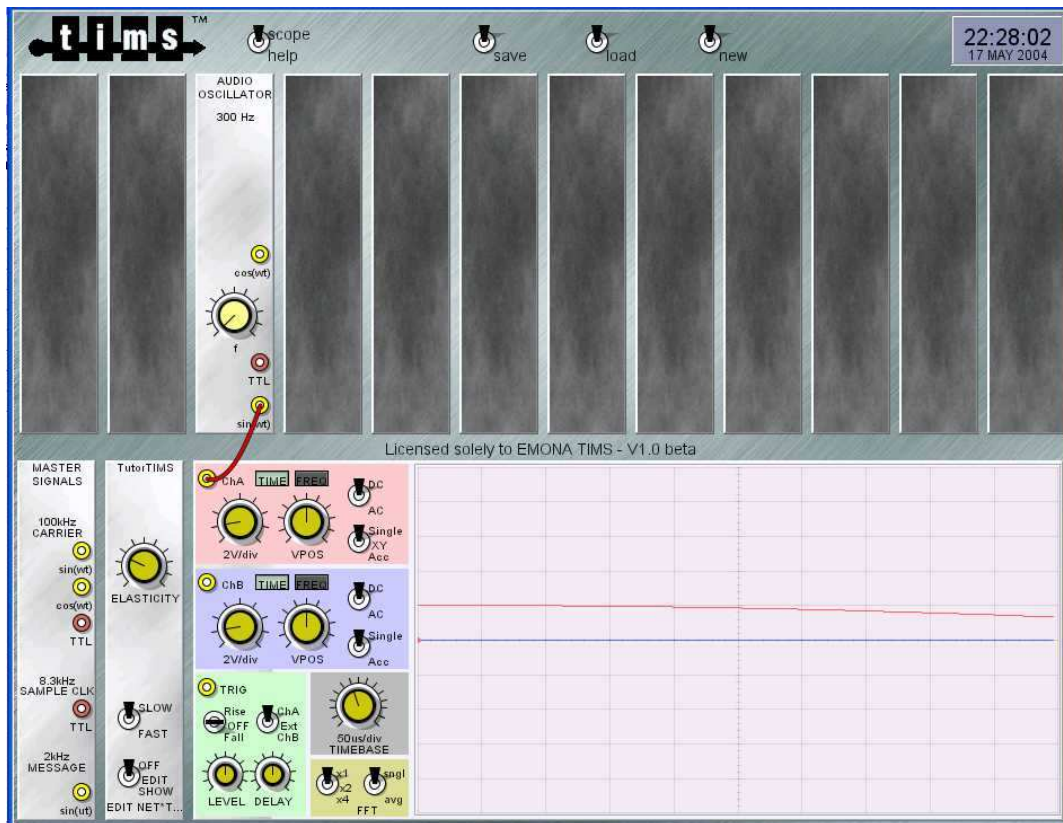
Na horní nabídkové liště máme několik kloubových přepínačů, jejichž funkce nám umožňují základní operace s vytvářeným experimentem:

Scope - Help - umožní přepnutí mezi obrazovkou osciloskopu a nabídkou nápovědy

Save - umožní uložit rozpracovaný projekt do souboru

Load - umožní načíst rozpracovaný projekt ze souboru

New - odstraní rozpracovaný projekt (resetuje práci)



Obr.4.1. Základní obrazovka a vložený modul do virtuálního slotu

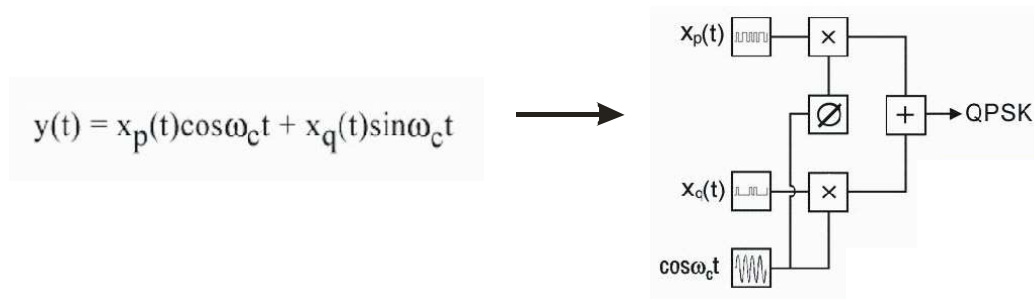
Všechny ostatní zásuvné moduly jsou koncipovány podobně. Levá část modulu je určena pro vstupní signály a vpravo jsou signály výstupní. Je třeba dodržovat zásadu propojování vždy výstupu do vstupu - v opačném případě nedovolí program spoj. Jednotlivé konektory jsou barevně označené a každá barva označuje, pro který typ signálu je zástrčka určena. Vstupy a výstupy se propojují flexibilními vodiči. *Žlutá* zástrčka je určena pro analogové signály. *Červená* pouze pro digitální signály a *zelené* jsou svorky zemnicí.

Vkládání modulů do virtuálních slotů se provádí kliknutím na konkrétní volný slot pravým tlačítkem myši a výběrem ze seznamu možných modulů. Odebrání se provede obdobným způsobem a výběrem REMOVE ze seznamu modulů. Seznam modulů, které lze vybrat je následující:

- ADDER - zásuvný modul
- AUDIO OSCILLATOR - zásuvný modul
- BUFFER AMPLIFIERS - na pevno zachycený modul
- DUAL ANALOG SWITCH - zásuvný modul
- FREQUENCY and EVENT COUNTER - na pevno zachycený modul
- HEADPHONE AMPLIFIER and 3kHz LPF - na pevno zachycený modul
- MASTER SIGNALS - na pevno zachycený modul
- MULTIPLIER - zásuvný modul
- PHASE SHIFTER - zásuvný modul
- QUADRATURE PHASE SPLITTER - zásuvný modul
- SCOPE DISPLAY SELECTOR - na pevno zachycený modul
- SEQUENCE GENERATOR - zásuvný modul

TRUNKS PANEL - na pevno zachycený modul
 TUNEABLE LPF - zásuvný modul
 TWIN PULSE GENERATOR - zásuvný modul
 UTILITIES MODULE - zásuvný modul
 VARIABLE DC - na pevno zachycený modul
 VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR - zásuvný modul
 60kHz LOWPASS FILTER - zásuvný modul

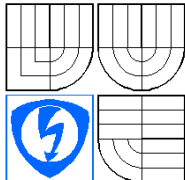
Můžeme si položit otázku jak TIMS pracuje a proč je tak dobrým výukovým systémem. Univerzálním jazykem v telekomunikacích je blokový diagram. TIMS pomocí modulů a signálů převede blokové schéma v reálný obvod, kterým lze editovat, pozorovat a měřit jednotlivé parametry. Na začátku experimentu jsou teoretické poznatky vyjádřené matematickými rovnicemi. Tyto rovnice jsou převedeny na blokový diagram, jak je ukázáno na obr.4.2. Některé bloky jsou jednoduché matematické funkce (např. +), ostatní jsou více složité (např. DETECTOR). Jednotlivé části blokového diagramu jsou konkrétní zásuvné moduly TIMS. Například modul ADDER reprezentuje matematickou funkci plus (+) v blokovém diagramu. Jednotlivé moduly vytvářejí funkce blokového diagramu.



Obr.4.2. Vznik blokového diagramu z matematického odvození

Po správném sestavení jednotlivých modulů lze pozorovat a proměřovat požadovaný experiment. Časové a signálové průběhy si můžeme zobrazit na dvoukanálovém osciloskopu, který je součástí softwarového produktu TutorTIMS.

4.2. Nové laboratorní úlohy pro výukový systém TutorTIMS

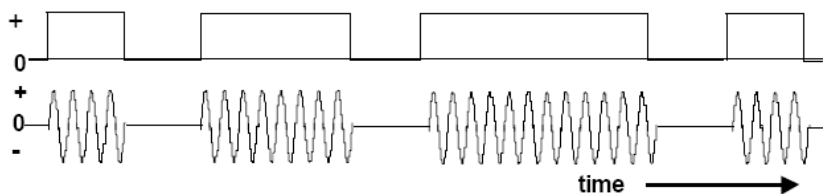
 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ	Předmět	Přístupové a transportní sítě
	Číslo úlohy	1
	Název	Generace a demodulace ASK signálu

4.3. Zadání první nové laboratorní úlohy:

- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro generování ASK signálu tak, aby vyhovovalo blokovému schématu na obr.4.4.
- Zapojte navržený obvod.
- Zobrazte pomocí osciloskopu vstupní datovou posloupnost a výsledný modulovaný signál pomocí 2-ASK.
- Zobrazte časové průběhy TTL sekvence před a po pásmovém omezení.
- Zobrazte oba tyto signály tak, aby bylo možné rozpoznat vliv pásmového omezení na tvar generovaného ASK signálu.
- Vypočítejte dobu trvání jednoho bitu T_b a symbolovou rychlost f_s pro 2-ASK modulaci.
- Odhadněte šířku kmitočtového pásma pro přenos signálů pomocí laditelné dolní propusti podle blokového schématu na obr.4.6.
- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro demodulaci ASK signálu tak, aby vyhovovalo blokovému schématu na obr.4.5.
- Zapojte navržený obvod.
- Zobrazte pomocí osciloskopu vstupní datovou posloupnost a demodulovaný výsledný signál.
- Zobrazte oba tyto signály tak, aby bylo možné porovnat v čem se odlišují.

4.3.1. Pokyny k měření:

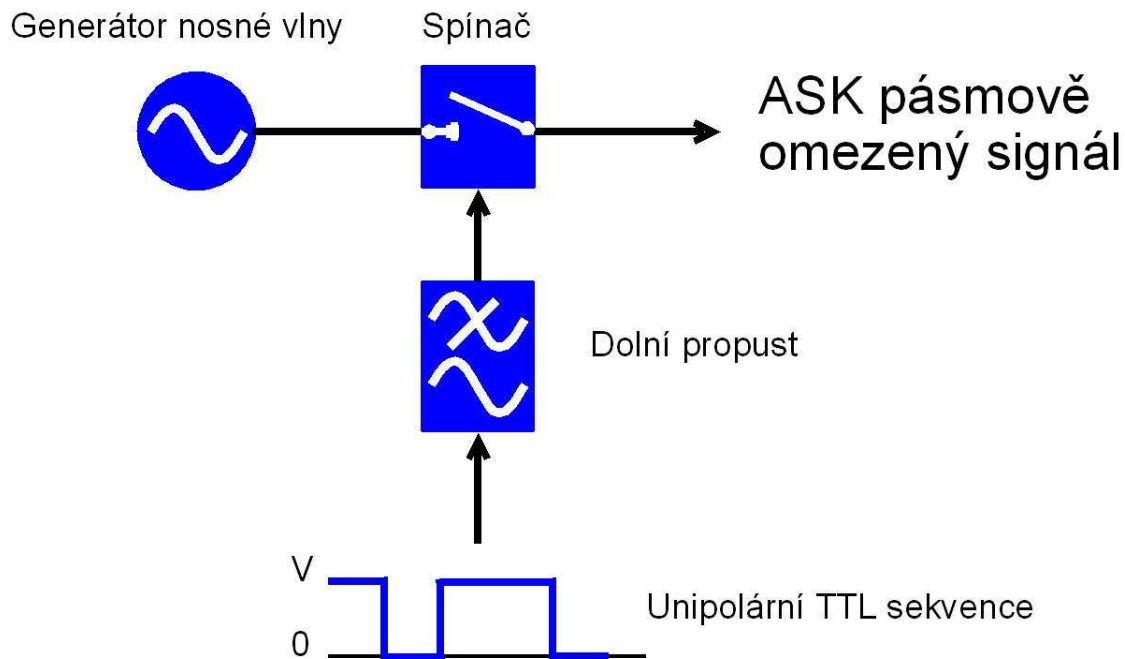
Digitální amplitudová modulace je označena jako ASK (Amplitude shift keying). Pokud přenášená digitální zpráva nabývá pouze dvou hodnot, je nazývána také jako OOK (on – off keying). Na obr.4.3. je znázorněn binární ASK signál společně s binárním tokem dat. Zobrazené signály nemají žádné pásmové omezení.



Obr.4.3. ASK signál (dole) a binární zpráva (nahore)

Na obrázku vidíme ostré přechody při změně stavů modulovaného signálu. To má za následek vznik signálu, který má zbytečně širokou šířku pásma. Pásmové omezení je obecně zaváděno před přenosem, díky čemuž budou tyto přechody zakulaceny. Pásmové omezení může být aplikováno na digitální zprávu nebo na modulovaný signál. Jedna z nevýhod ASK modulace ve srovnání s FSK a PSK je, že ASK modulace nemá stálou obálku. Zpracování zprávy je proto více obtížné.

Blokový diagram základního ASK generátoru s pásmovým omezením digitální zprávy je ukázán na obr. 4.4. Spínač se spíná nebo rozpíná v závislosti na binární sekvenci, která je již pásmově omezena pomocí laditelného filtru typu dolní propust. Významné zmenšení šířky pásma může předcházet chybám přijímače.



Obr.4.4. Blokové schéma generace ASK signálu.

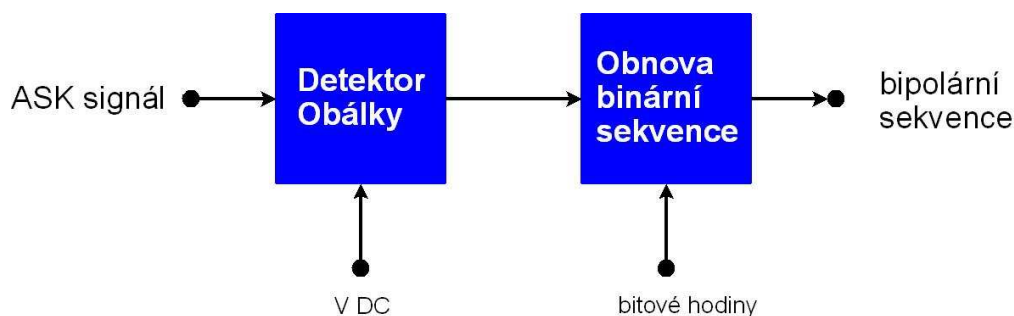
Pro získání binární sekvence je nejlepší využít modul SEQUENCE GENERATOR s přiměřeným hodinovým impulsem. V závislosti na nastavení generátoru může být pásmově omezen bitový tok, nebo může být pásmově omezen ASK signál pomocí pásmové propusti.

Při vhodném nastavení časové základny lze signálové průběhy a jejich vzájemné vztahy zobrazit na softwarovém dvoukanálovém osciloskopu, který je součástí programu TutorTIMS.

ASK signál má dobře ohraničenou obálku, a tak je možné přijmout demodulaci pomocí detektoru obálky nebo synchronního demodulátoru. Demodulace je dvoufázový proces. U přenášeného ASK signálu s pásmovým omezením v tomto experimentu nelze přímo obnovit původní binární sekvenci. Výstup se bude podobat pásmově omezenému signálu. Proto je dalším procesem regenerace binárního bitového toku.

Blokové schéma asynchronní ASK demodulace signálu je zobrazena na obr.4.5. ASK má dobře ohraničenou obálku, a proto detektor obálky může být použit jako první krok v obnovení původního binárního průběhu. Další proces je regenerace pravdivé binární křivky.

Musíme vybrat frekvenci moudře, protože bitová rychlost a šířka pásma filtru se navzájem ovlivňují.

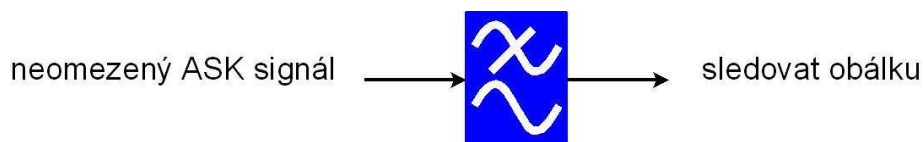


Obr.4.5. Blokové schéma ASK demodulace

Výstupem z demodulátorů nebude kopie binární sekvence TTL křivky, ale pásmově omezený průběh. Úkolem zde bude zobrazit jej na osciloskopu a porovnat s původní TTL sekvencí.

K regeneraci původní TTL křivky musíme použít nějaký druh rozhodovacího zařízení jako např. modul DECISION MAKER, pro obnovení bipolární sekvence z obnovené obálky.

Šířku kmitočtového pásma pro přenos ASK signálů lze odhadnout pomocí laditelné dolní propusti, jak zobrazuje obr.4.6. Šířka pásma je snižována filtrem typu dolní propust do té doby, než můžeme velikost obálky identifikovat. Tento stav ukazuje limitující horní frekvenci přenášeného signálu. Pomocí této hodnoty lze odvodit i dolní limitující frekvenci.

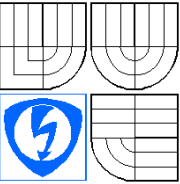


Obr.4.6. Odhad šířky kmitočtového pásma ASK signálu

4.3.2. Kontrolní otázky:

- Vysvětlete proč je demodulovaný ASK signál deformovaný a jak se musí následně upravit.
- Vysvětlete pojmy přenosová rychlost f_b , doba trvání jednoho bitu T_b a symbolová rychlost f_s . Uveďte vzájemné matematické vztahy mezi těmito veličinami.

4.4. Vzorový protokol první laboratorní úlohy

	Předmět Přístupové a transportní sítě	
	Jméno Martin Ťupa DiS.	
	Ročník	Studijní skupina
	Měřeno dne	
Číslo úlohy 1	Název úlohy Generace a demodulace ASK signálu	

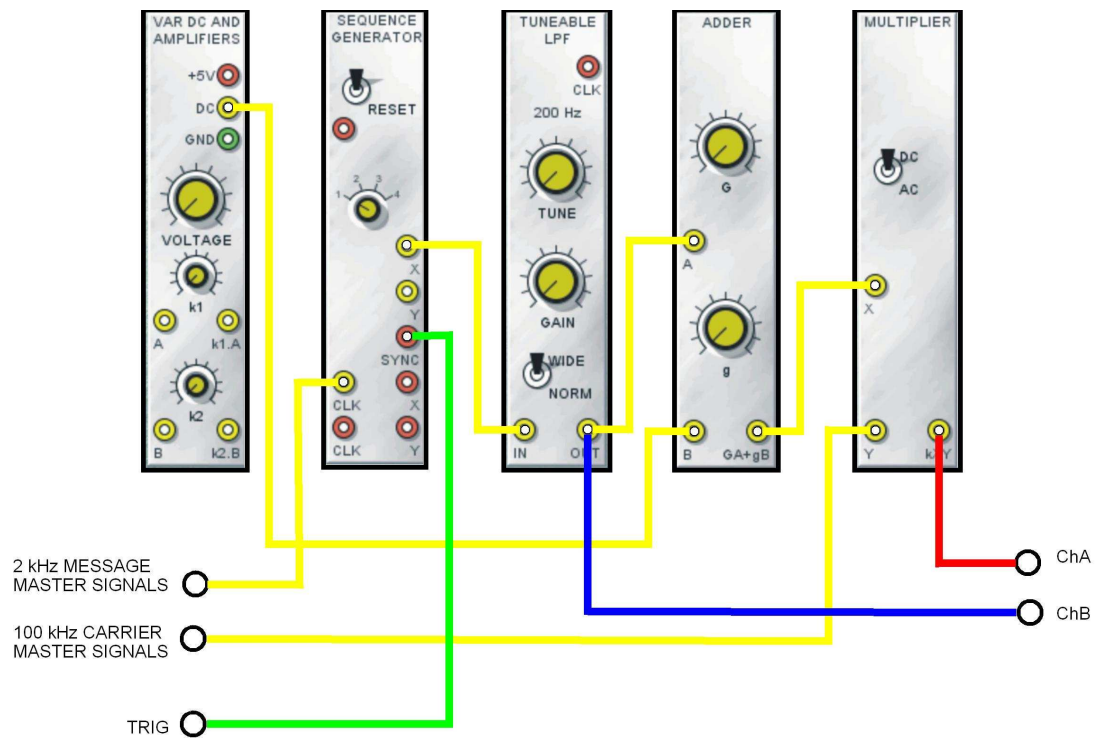
4.4.1. Zadání:

- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro generování ASK signálu tak, aby vyhovovalo blokovému schématu na obr.4.4.
- Zapojte navržený obvod.
- Zobrazte pomocí osciloskopu vstupní datovou posloupnost a výsledný modulovaný signál pomocí 2-ASK.
- Zobrazte časové průběhy TTL sekvence před a po pásmovém omezení.
- Zobrazte oba tyto signály tak, aby bylo možné rozpoznat vliv pásmového omezení na tvar generovaného ASK signálu.
- Vypočítejte dobu trvání jednoho bitu T_b a symbolovou rychlost f_s pro 2-ASK modulaci.
- Odhadněte šířku kmitočtového pásma pro přenos signálů pomocí laditelné dolní propusti podle blokového schématu na obr.4.6.
- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro demodulaci ASK signálu tak, aby vyhovovalo blokovému schématu na obr.4.5.
- Zapojte navržený obvod.
- Zobrazte pomocí osciloskopu vstupní datovou posloupnost a demodulovaný výsledný signál.
- Zobrazte oba tyto signály tak, aby bylo možné porovnat v čem se odlišují.

4.4.2. Generace ASK signálu:

Pro generaci ASK signálu jsem využil sestavení modulů TutorTIMS s modulem MULTIPLIER. Modul MULTIPLIER je použit jako spínač. Nosná vlna může být vytvořena kterýmkoli vhodným zdrojem sinusového průběhu. Ani TTL signál ani analogový průběh nejsou v příslušné napěťové úrovni. Každý vyžaduje amplitudové rozdělení. To je realizováno v modulu ADDER, který bude otáčet polaritu průběhu. Stejnoseměrná složka z modulu VARIABLE DC může být použita k opětovnému nastavení DC úrovně. Požadovaný signál může nabývat hodnot 0 V nebo +2 V, které jsou optimálnější pro analogový vstup

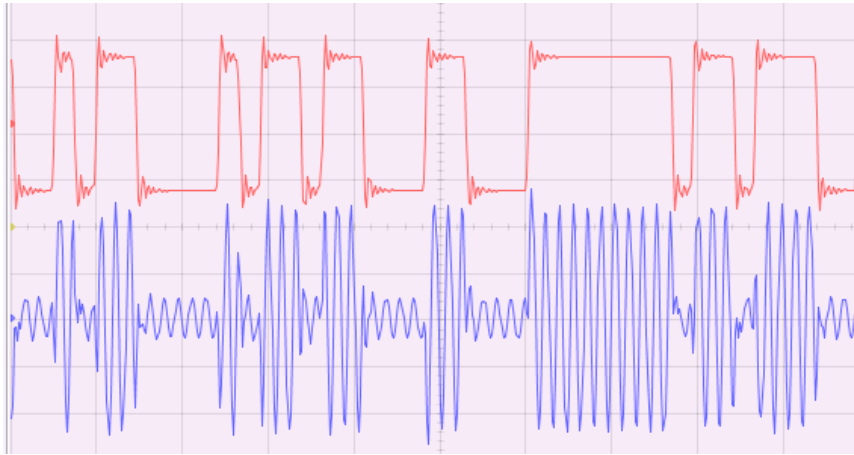
modulu MULTIPLIER. Toto uspořádání je ukázáno na obr.4.7. a vychází z blokového schématu na obr.4.4.



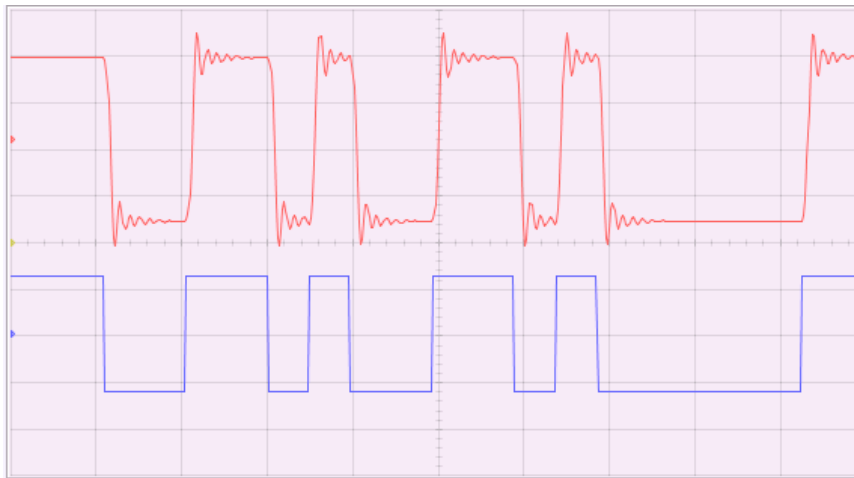
Obr.4.7. Vytvoření ASK generátoru podle blokového diagramu z obr.4.4.

Provozní frekvence modulátoru není omezená audio frekvencí. Jakákoli frekvence nosné vlny dostupná v systému TIMS může být použita, ale je nutné ponechat rychlost dat menší než frekvenci nosné vlny. Pro synchronizaci systému nastavíme vzorkovací kmitočet na 2kHz na modulu SEQUENCE GENERATOR a nastavíme 100 kHz kmitočet nosné vlny u modulu MASTER SIGNALS. Pásmové omezení je vytvořeno pomocí modulu TUNEABLE LPF a je pásmově omezena bitová posloupnost. Na obrazovce osciloskopu lze pozorovat následující průběhy.

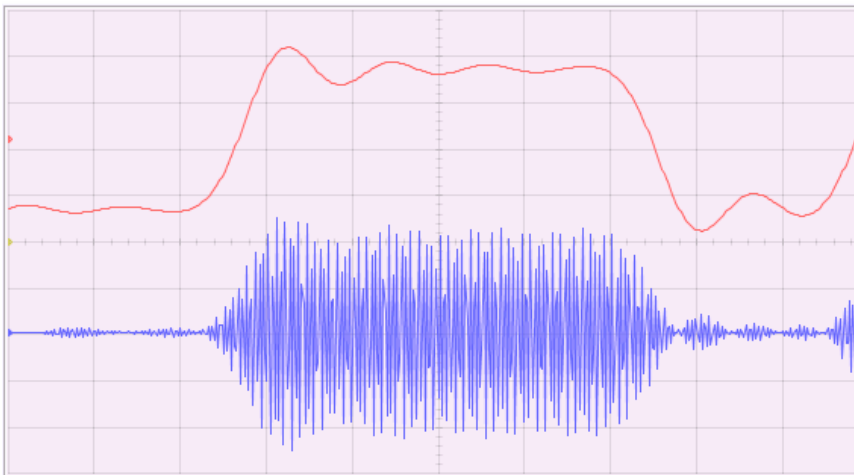
Na obr.4.8. je zobrazena generace ASK signálu (modrá křivka) v závislosti na vstupní unipolární TTL sekvenci (červená křivka), která je pásmově omezena dolní propustí. Porovnání časových průběhů TTL sekvence ilustruje obr.4.9. Modrá křivka ukazuje průběh před vstupem do filtru typu dolní propust, zatímco červená křivka zobrazuje již pásmově omezený TTL signál. Z obrázku je patrné, že ostré přechody TTL sekvence jsou zaobleny. Detailní pohled na pásmové omezení křivky ukazuje obr.4.10.



Obr.4.8. ASK generovaný signál



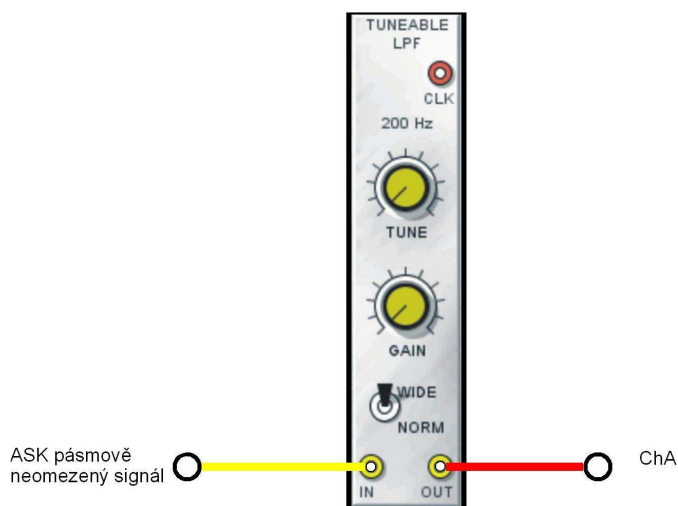
Obr.4.9. Vliv pásmové propusti na TTL sekvenci



Obr.4.10. Detail ASK pásmově omezeného signálu

4.4.3. Odhad šířky kmitočtového pásma ASK signálu

Pro odhad šířky kmitočtového pásma jsem použil modul TUNEABLE LPF, který je zapojen podle obr.4.11. Jedná se o filtr typu dolní propusti. Na modulu je nastavena maximální hodnota kmitočtu 12 000 Hz a na obrazovce lze pozorovat signálový průběh zobrazený na obr.4.12. Z obrázku vyplývá, že každá změna stavu datového signálu se projeví i změnou průběhu sledované křivky (červená linka). Postupně jsem snižoval hodnotu propouštěné frekvence a současně jsem pozoroval čitelnost odezvy křivky na stavové změny TTL signálu. Hodnotu, při které již nemohla být identifikována stavová změna, jsem určil na 3 100 Hz. Tato hodnota určuje horní mez šířky kmitočtového pásma. Nosný signál má kmitočet 2kHz, a tedy dolní mez pásma je 900 Hz. Šířku kmitočtového pásma měřeného ASK signálu jsem tímto experimentem stanovil na 2,2 kHz.



Obr.4.11. Zapojení modulů pro odhad šířky kmitočtového pásma



Obr.4.12. Signálové průběhy na výstupu LPF

4.4.4. Výpočet trvání doby jednoho bitu T_b a symbolové rychlosti f_s ASK modulace

Přenosová rychlost (bitová rychlost) $f_b = 2\text{kHz}$

Doba trvání jednoho bitu T_b je:

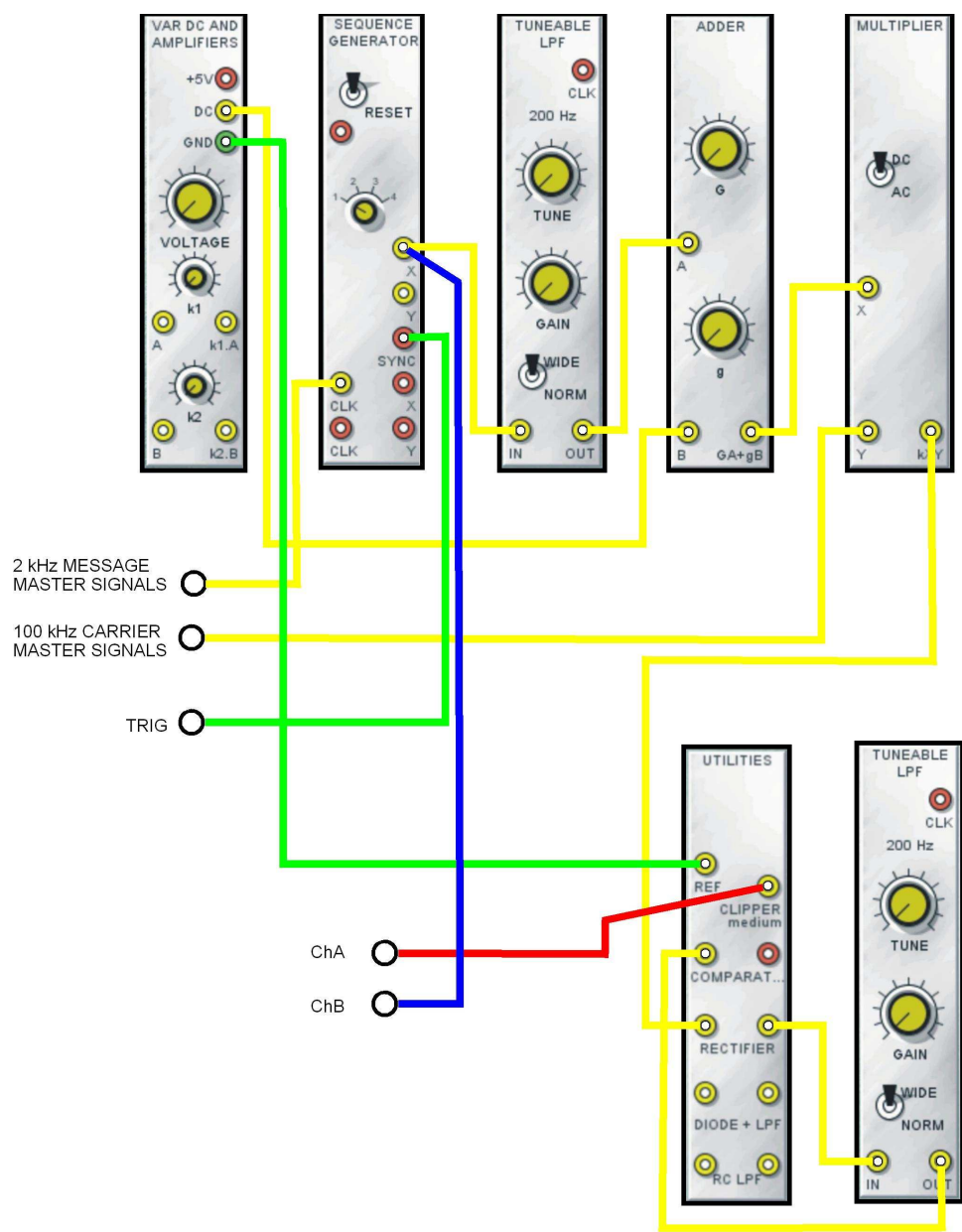
$$T_b = \frac{1}{f_b} = \frac{1}{2000 \text{ Hz}} = 0,0005 \text{ s} = 500 \mu\text{s} \quad (4.1.)$$

Symbolová rychlost f_s pro libovolnou M stavovou modulaci je:

$$f_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{nT_b} = \frac{f_b}{n} = \frac{f_b}{\log_2 M} = \frac{2000}{\log_2 2} = 2000 \text{ [baud]} \quad (4.2.)$$

4.4.5. Demodulace ASK signálu

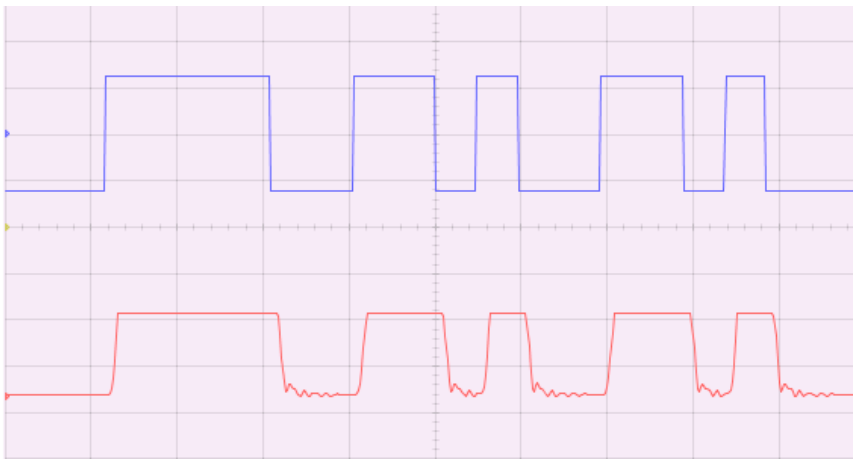
Zapojení modulů programu TutorTIMS pro demodulaci ASK signálu zobrazuje obr.4.13. Toto spojení odpovídá blokovému schématu na obr.4.5. Jako detektor obálky přenášeného ASK signálu jsem použil modul UTILIES. Výstupní signál, zobrazený na obr.4.14., z tohoto modulu nebude kopie binární sekvence TTL křivky, ale pásmově omezený průběh, který odpovídá signálu na obr.4.9. K regeneraci původní TTL křivky jsem opět využil modul UTILIES a to zdířku COMPARATOR. Tento elektrický obvod porovnává vstupní průběh s referenčním napětím a rozhoduje jaká binární hodnota se objeví na výstupním konektoru. Obnovená TTL sekvence je na obr.4.15., kde modrá křivka reprezentuje původní TTL sekvenci a červená křivka ukazuje demodulovaný a obnovený signál.



Obr.4.13. Zapojení modulů pro demodulace ASK signálu



Obr.4.14. První fáze demodulace ASK signálu



Obr.4.15. Druhá fáze demodulace – regenerace TTL křivky

4.4.6. Použité přístroje a pomůcky :

- Osobní počítač PC s operačním systémem Windows XP
- Softwarová verze výukového systému TutorTMS

4.4.7. Odpovědi na kontrolní otázky:

- Vysvětlete proč je demulovaný ASK signál deformovaný a jak se musí následně upravit.

V tomto experimentu je generovaný ASK signál pásmově omezen. V demodulátoru se detekuje obálka přijímaného ASK signálu, která je deformována pásmovým omezením. Tento přijatý signál není ideální kopie původních binárních dat, a proto se musí v druhé fázi demodulace provést regenerace TTL křivky. Toto obnovení sekvence provede elektrický obvod, který porovná přijímaný signál s referenční hodnotou a rozhodne o jaký logický stav se jedná.

- Vysvětlete pojmy přenosová rychlost f_b , doba trvání jednoho bitu T_b a symbolová rychlost f_s . Uveďte vzájemné matematické vztahy mezi těmito veličinami.

Vstupní modulační signál má přenosovou rychlost (bitovou rychlost) f_b , jejíž vztah s dobou trvání jednoho bitu T_b vyjadřuje vzorec 4.3. U libovolné M stavové modulace reprezentuje každý stav nosné skupinu n bitů. Doba trvání jednoho stavu nosné skupiny (symbolu) je dána vztahem 4.5. a vztah 4.6. je pro symbolovou rychlost f_s uvažované M stavové modulace.

$$T_b = \frac{1}{f_b} \quad [s] \quad (4.3.)$$

$$n = \log_2 M \quad [bit] \quad (4.4.)$$

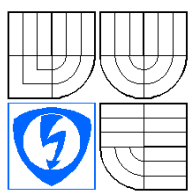
$$T_s = nT_b \quad [s] \quad (4.5.)$$

$$f_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{nT_b} = \frac{f_b}{n} = \frac{f_b}{\log_2 M} \quad [baud] \quad (4.6.)$$

Symbolová rychlost úzce souvisí s šířkou kmitočtového pásma potřebnou pro přenos modulovaných signálů. Přesný obecný vztah mezi těmito veličinami však neexistuje.

4.4.8. Závěr:

V této laboratorní úloze jsem se seznámil s výukovým systémem TutorTIMS a jeho moduly. Cílem experimentu bylo vygenerovat ASK signál s následnou demodulací a regenerace původní TTL křivky. Pomocí blokových schémat ASK modulátoru a demodulátoru jsem navrhl a sestavil moduly TutorTIMS na reálné obvody, které sloužily k proměření a pozorování fyzikálních jevů ASK modulace. Prakticky jsem si ověřil vliv pásmového omezení ASK signálu na šířku kmitočtového pásma a nutnost dvoufázového demodulačního procesu. Zjištěná hodnota šířky pásma v odstavci 4.4.3. je pouze orientační, protože laditelný potenciometr nebyl příliš přesný a odezva na obrazovce osciloskopu taktéž nebyla ideální. Hodnotu šířky pásma lze poměrně přesně určit z kmitočtových spekter příslušných modulovaných signálů.

 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ	Předmět	Přístupové a transportní sítě
	Číslo úlohy	2
	Název	Generace FSK a BPSK signálu

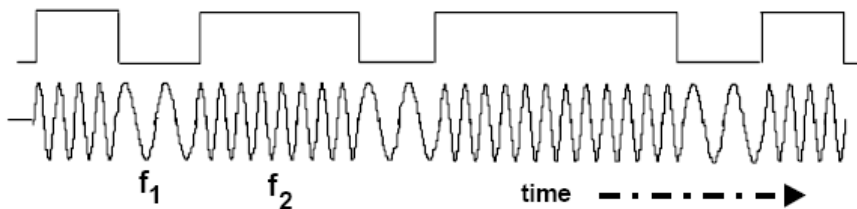
4.5. Zadání druhé nové laboratorní úlohy:

- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro generování FSK signálu tak, aby vyhovovalo blokovému schématu na obr.4.17.
- Zapojte navržený obvod.
- Zobrazte pomocí osciloskopu vstupní datovou posloupnost a výsledný modulovaný signál pomocí 2-FSK.
- Proměřte kmitočty f_1 , f_2 , f_s .
- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro generování CPFSK a na osciloskopu zobrazte vstupní a výstupní signál.
- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro generování BPSK signálu tak, aby vyhovovalo blokovému schématu na obrázku.
- Zapojte navržený obvod.
- Zobrazte pomocí osciloskopu vstupní datovou posloupnost a výsledný modulovaný signál pomocí BPSK.

4.5.1. Pokyny k měření:

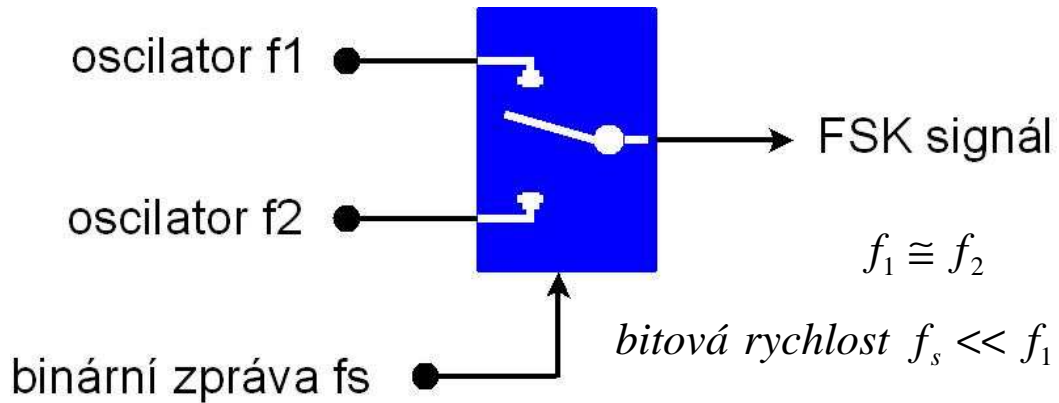
V našem experimentu bude vysílaná zpráva reprezentovaná binárním bitovým tokem, proto bude FSK signál obsahovat pouze dva kmitočty. Při klíčování více stavových datových zpráv je využito více frekvencí.

Generátor rozhoduje kdy je použita jedna frekvence nebo druhá v závislosti na binárním datovém průběhu. Výstup z takového generátoru je ukázán na obr.4.16.



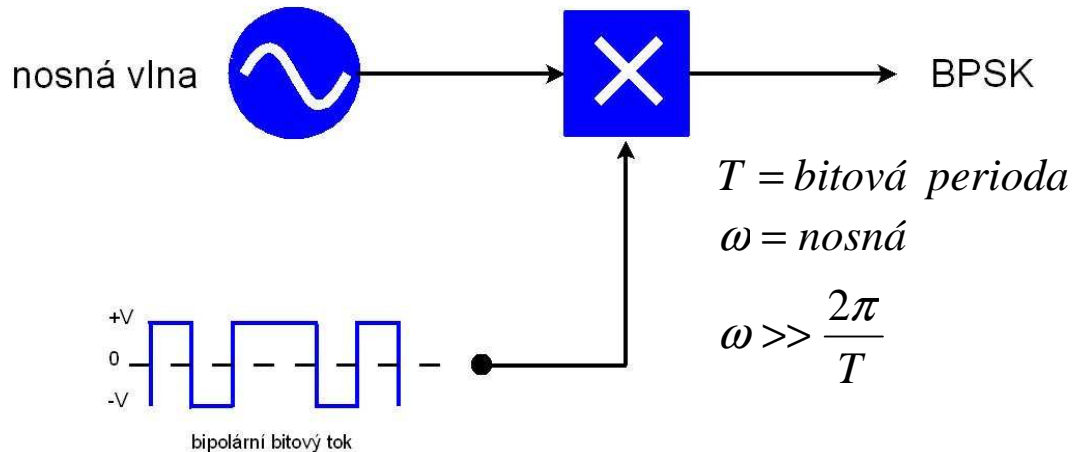
Obr.4.16. FSK křivka odvozená z binární zprávy

Vysílač se může skládat ze dvou oscilátorů, rozdílných kmitočtů f_1 a f_2 , a spínače, který propojuje výstup v kterýkoli časový úsek v závislosti na binární datové sekvenci. Toto ukazuje blokový diagram na obr.4.17.



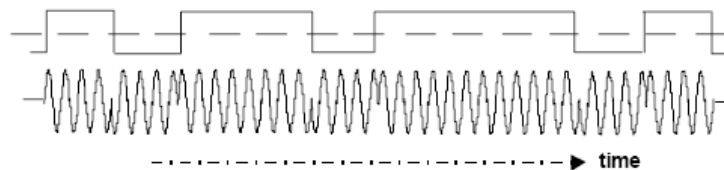
Obr.4.17. Blokové schéma FSK generátoru

Při generaci BPSK křivky je nosný signál sinusového průběhu. Jestliže modulujeme bipolární bitový tok podle schématického zobrazení na obr.4.18., bude polarita křivky otočena při každé změně bitového toku. Podobné je to u sinusové vlny, kdy dochází k otočení fáze (shift). Výstup z modulátoru je BPSK (Binary) signál, občas také nazván jako PRK (phase reversal keying).



Obr.4.18. Generace BPSK signálu

Informace o bitovém toku jsou uloženy ve změně fáze přenášeného signálu. Demodulátor na tyto fázové zvraty bude citlivý. Objevení BPSK signálu v časové oblasti je ukázáno na obr.4.19. Vyšší průběh je průběh binární zprávy.



Obr.4.19. BPSK signál v časové oblasti

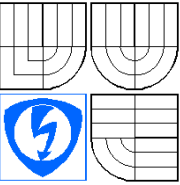
Tvar křivky je symetrický při každém fázovém přechodu. V praxi to poskytně výhodu zjednodušení obnovy bitového průběhu z přijímaného signálu.

Pro pásmové omezení v praxi bude potřeba využít nějakého modulu pro řízení šířky pásma. Pásmové omezení může být provedeno buď základním pásmem nebo frekvencí nosné vlny.

4.5.2. Kontrolní otázky:

- Popište v čem se FSK modulace odlišuje od CPFSK modulace.
- Jaká je souvislost mezi CPFSK modulací a GMSK modulací použitou v systému GSM.
- Uveďte výhody i nevýhody více stavových modulací.

4.6. Vzorový protokol druhé laboratorní úlohy

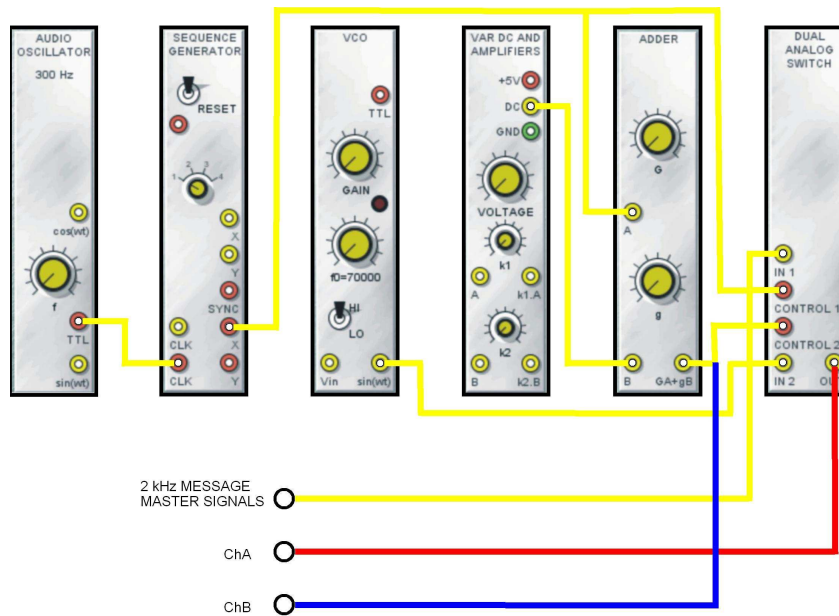
 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ	Předmět Přístupové a transportní sítě	
	Jméno Martin Ťupa DiS.	
	Ročník	Studijní skupina
	Měřeno dne	
Číslo úlohy 2	Název úlohy Generace FSK a BPSK signálu	

4.6.1. Zadání:

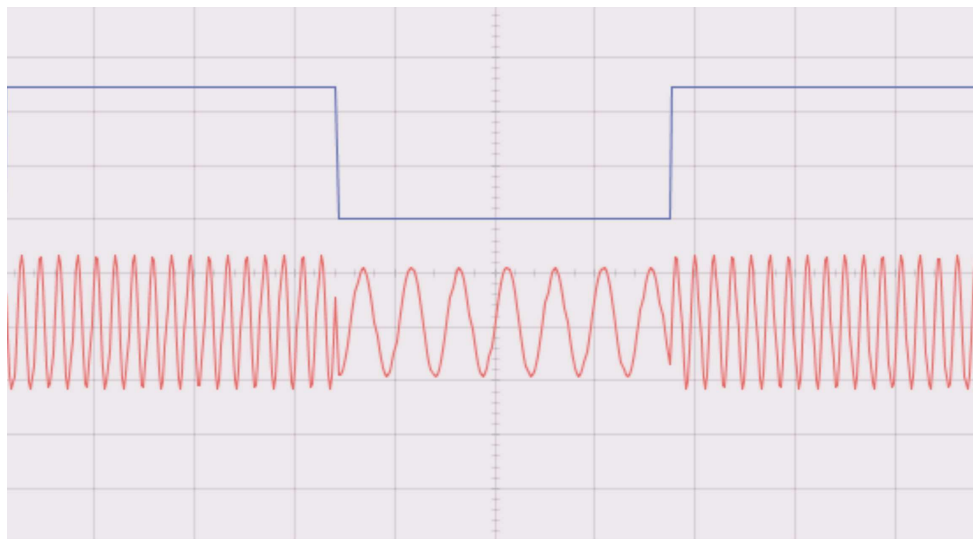
- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro generování FSK signálu tak, aby vyhovovalo blokovému schématu na obr.4.17.
- Zapojte navržený obvod.
- Zobrazte pomocí osciloskopu vstupní datovou posloupnost a výsledný modulovaný signál pomocí 2-FSK.
- Proměřte kmitočty f_1 , f_2 , f_s .
- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro generování CPFSK a na osciloskopu zobrazte vstupní a výstupní signál.
- Navrhněte zapojení pomocí modulů stavebnice TIMS pro generování BPSK signálu tak, aby vyhovovalo blokovému schématu na obrázku.
- Zapojte navržený obvod.
- Zobrazte pomocí osciloskopu vstupní datovou posloupnost a výsledný modulovaný signál pomocí BPSK.

4.6.2. Generace FSK signálu:

Pro generaci FSK signálu jsem navrhl a sestavil obvod z modulů TutorTIMS, jak je ukázáno na obr.4.20. Tento obvod odpovídá blokovému schématu na obr.4.17. Binární datový průběh je získáván z modulu AUDIO OSCILLATOR. Signály o kmitočtech f_1 a f_2 jsou přivedeny z modulu VCO, respektive modulu MASTER SIGNALS, kde je zpráva nastavena na kmitočet 2,083 kHz. Modul DUAL AUDIO SWITCH je používán pro spínání mezi těmito kmitočty a výstupní svorkou v závislosti na binární datové sekvenci. Výsledná generovaná FSK sekvence je ukázána na obr.4.21., kde každé logické úrovni TTL signálu (modrá křivka) odpovídá jiná frekvence (červená křivka).



Obr.4.20. Zapojení modulů TutorTIMS pro generaci FSK signálu



Obr.4.21. Generovaný FSK signál

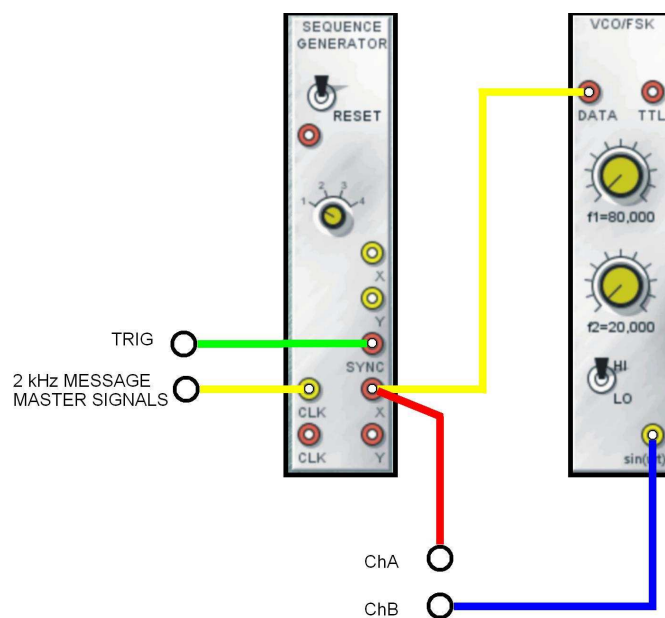
Pomocí osciloskopu, který je součástí softwarové verze TutorTIMS, jsem stanovil hodnoty kmitočtů, které jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Typ modulace	Kmitočet [Hz]		
	f_1	f_2	f_s
CPFSK	115 834	202 142	2 000
FSK	2 083	5 341	300

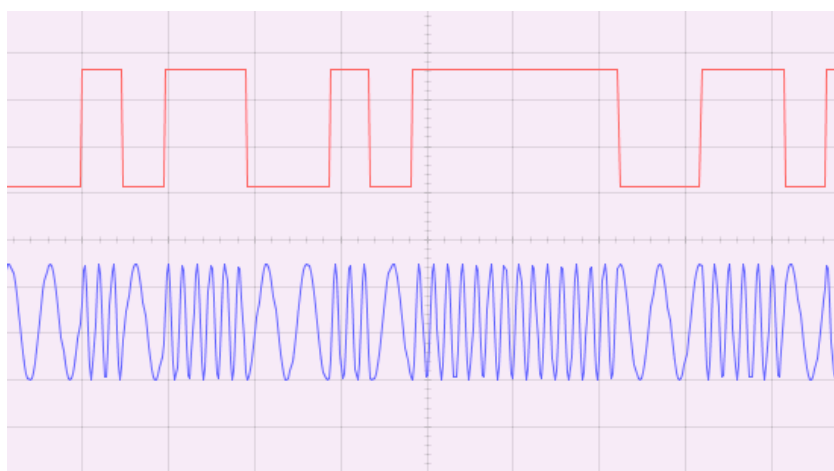
Tab.4.1. Změřené kmitočty signálů

4.6.3. Generace CPFSK signálu:

VCO modul je ideální pro generaci FSK signálu se spojitou fází, jak ukazuje obr.4.22. U CPFSK generace je modul VCO klíčován pomocí zprávy TTL frekvence. Vnitřní rozhodující obvody k hodnotě TTL HI (high) propojí modul VCO k frekvenci f_1 , zatímco TTL LO (low) je spojeno s frekvencí f_2 . Tyto dvě frekvence mohou být v audio rozsahu (přední panel kloubový přepínač LO) nebo ve 100 kHz rozsahu (přední panel přepínač HI). Frekvence f_1 a f_2 jsou nastaveny na panelu proměnlivými odpory RV8 a RV7. Během průběhu TTL HI (binární 1) nebo TTL LO (binární 0) jsou data přepojována na vstupní zdířce. Generované průběhy jsou zobrazeny na obr.4.23., kde červená křivka odpovídá datové sekvenci a modrý průběh je výsledný CPFSK signál.



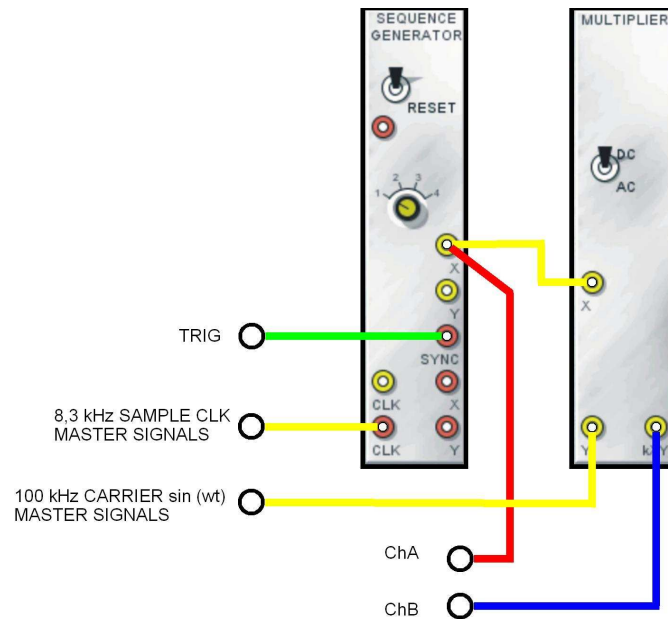
Obr.4.22. CPFSK generace



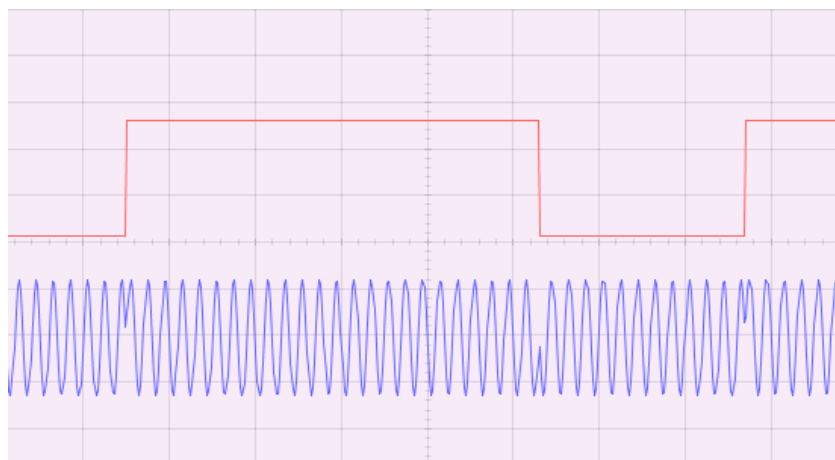
Obr.4.23. Signálové průběhy CPFSK modulace

4.6.4. Generace BPSK signálu:

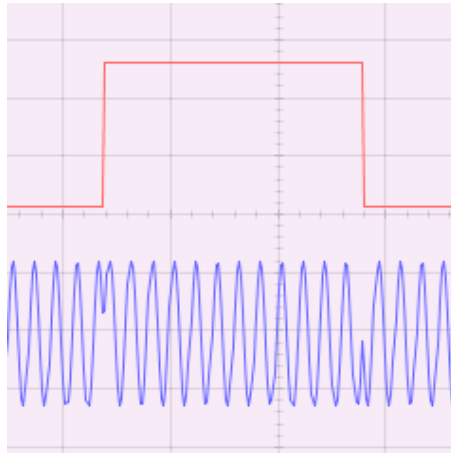
Navrhl jsem zapojení modulů obr.4.24. pro generaci BPSK signálu. Kmitočet nosné vlny je sinusového průběhu o hodnotě 100 kHz a je získáván z modulu MASTER SIGNALS. Stejný modul generuje časový signál o kmitočtu 8,3 kHz pro modul SEQUENCE GENERATOR, který následně vytváří datovou sekvenci – TTL signál. Modul MULTIPLIER v závislosti na datovém toku vytvoří BPSK modulační signál, který zobrazuje obr.4.25.



Obr.4.24. Generace BPSK modulace



Obr.4.25. Časové průběhy BPSK modulace



Obr.4.26. Detail přechodu mezi logickými stavy BPSK modulace

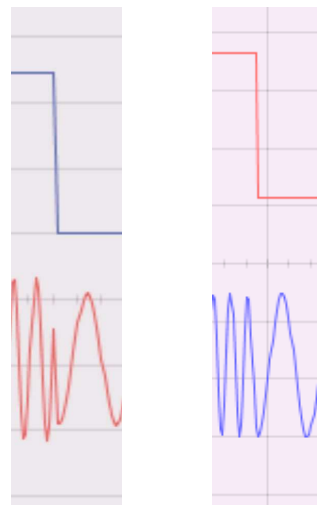
4.6.5. Použité přístroje a pomůcky :

- Osobní počítač PC s operačním systémem Windows XP
- Softwarová verze výukového systému TutorTMS

4.6.6. Kontrolní otázky:

- Popište v čem se FSK modulace odlišuje od CPFSK modulace.

CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying) na rozhraních signálových prvků se u těchto typů klíčování nevyskytují fázové skoky. Modulovaný nosný signál neobsahuje nespojitosti fázových změn. Změny frekvencí se dělají při průchodu nosného signálu nulovou hodnotou. Porovnání FSK a CPFSK modulace při přechodu mezi logickými stavy datové sekvence je ukázáno na obr.4.27.



Obr.4.27. Rozdíl mezi FSK (vlevo) a CPFSK (vpravo) modulace při přechodu z logické úrovně TTL signálu

- Jaká je souvislost mezi CPFSK modulací a GMSK modulací použitou v systému GSM.

V systému GSM je použita modulace GMSK, která je speciálním případem modulace CPM (modulace se spojitou fází - Continuous Phase Modulation). Ta je zobecněním modulace CPFSK (frekvenční klíčování se spojitou fází). Vychází z CPFSK, ale snaží se redukovat šířku pásma. Redukuje spektrum tak, že vstupní data procházejí dolní propustí s frekvenční charakteristikou ve tvaru Gaussovy křivky.

- Uveďte výhody i nevýhody vícestavových modulací.

Největší výhoda vícestavových modulací je ve zvýšení symbolové rychlosti a zúžení kmitočtového spektra signálu. Mezi počtem stavů M nosné a počtem bitů n kódové skupiny platí vztah $M=2^n$, kde n je přirozené číslo. Počet symbolů za sekundu je $n \times$ menší než bitová rychlost. U čtyřstavových modulací vyjadřuje každý stav nosné nějakou dvojitovou kódovou skupinu – dibit, u osmistavových modulací reprezentuje každý symbol nějakou trojbitovou kódovou skupinu – tribit, atd. Potřebujeme tedy více stavů nosné veličiny např. pro čtyřstavovou modulaci : -3V; -1V; +1V; +3V / 0,8kHz; 0,9kHz; 1,0kHz; 1,1kHz/ 0°; 90°; 180°; 270°.

S počtem stavů se komplikuje detekce přijímaného signálu a rostou požadavky na kvalitní přijímač. Vícestavové modulace jsou náchylnější na cizí vlivy jako rušení, šum, atd., které působí na signál na přenosové cestě.

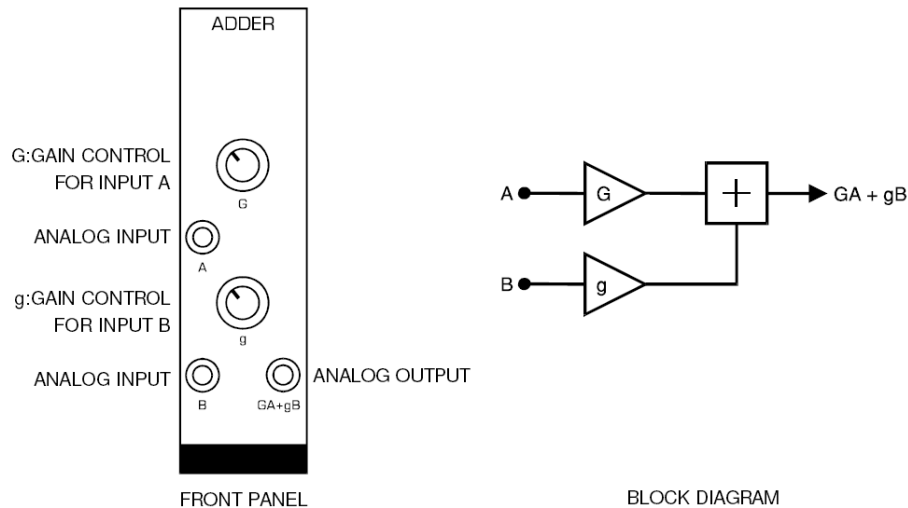
4.6.7. Závěr:

Cílem tohoto laboratorního cvičení byla generace FSK a BPSK modulace. Navrhl jsem a sestavil obvody pro vytvoření FSK a BPSK modulace podle blokových schémat uvedených v zadání laboratorní úlohy. Prakticky jsem si ověřil rozdíly mezi FSK a CPFSK modulací. Změřil jsem hodnoty kmitočtů f_1 , f_2 , které jsou přidělovány logickým hodnotám datového toku o frekvenci f_s . O FSK modulaci lze prohlásit, že se jedná o velice bezpečnou metodu přenosu signálů a tomu odpovídá také vyšší cena zařízení a vyšší energetická náročnost. FSK modulace se používá pro IR datový přenos nebo byla používána ve starších modemech. BPSK je také velice robustní metoda modulace a své využití nachází třeba v satelitní technice.

4.7. Popis použitých modulů výukového programu TutorTMS

4.7.1. ADDER

Dva analogové vstupní signály $A(t)$ a $B(t)$ mohou být sčítány s nastavitelnými proporcemi G a g , jak ukazuje blokový diagram obr.4.28. Výsledný součet těchto signálů je prezentován na výstupu modulu.



Obr.4.28. modul ADDER

Pokud nastavujeme zisky signálů musíme se vyvarovat přetížení následujících modulů. Přetěžování nezaviní nějakou škodu, ale bude znamenat nelineární operaci, která není žádoucí v analogovém systému. ADDER může být také používán jako normální zesilovač a to tak, že používá jen jeden vstup a druhý zisk druhého vstupu je nastaven na minimum. Toto není nutné pro nepoužívaný vstup.

Základní specifikace:

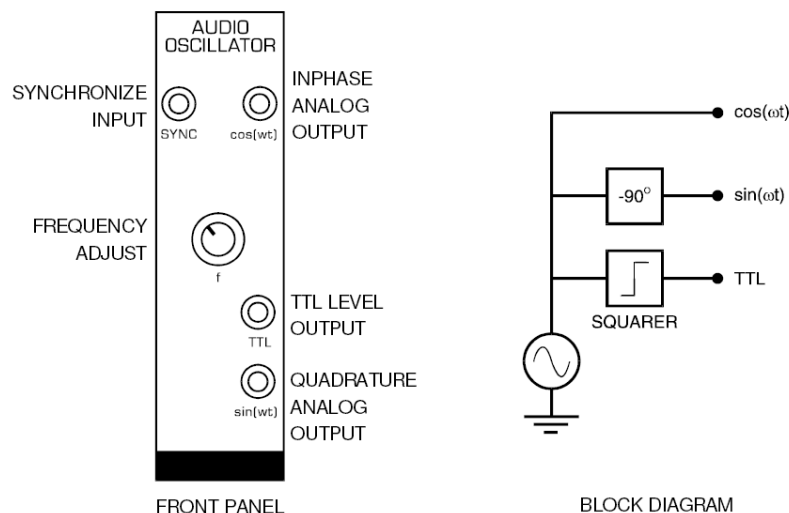
Rozsah zisku: $0 < G < 2$

$0 < g < 2$

Šířky pásma: 1MHz

4.7.2. AUDIO OSCILLATOR

Audio Oscillator je zdroj sinusové vlny o laditelném kmitočtu v rozsahu od 500Hz do 10kHz. Modul poskytuje tři výstupy. Dva výstupy jsou sinusového a kosinusového průběhu. Třetí výstup je digitální TTL signál.



Obr.4.29. modul AUDIO OSCILLATOR

Frekvence signálu na každém ze tří výstupů je stejná a je laditelná otočným potenciometrem označeným f . Oba signály (\cos , \sin) mají pevnou amplitudu a jejich tvarové zakřivení je menší než 0,1%. Oscilátor může být synchronizován k vnějšímu periodickému signálu a to připojením tohoto signálu na vstup $SYNC$. Signál okolo hodnoty 1 V je vhodný k tomuto účelu.

Základní specifikace:

Kmitočtový rozsah: $300\text{Hz} - 10\text{kHz}$

Analogová výstupní úroveň: 4V

Digitální výstup: TTL úroveň

4.7.3. DUAL ANALOG SWITCH

Dva totožné analogové přepínače jsou řízeny digitálními TTL signály. Výstupní signály z obou přepínačů jsou interně sloučeny a prezentovány na výstupní svorku modulu.

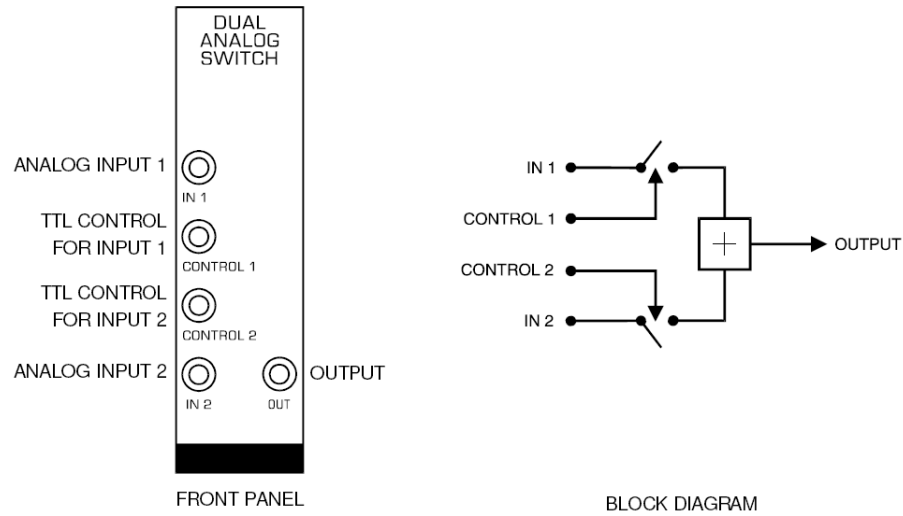
Každý přepínač může být sepnut nezávisle při TTL úrovni *high* u příslušného řídicího vstupu. Pokud je spínač uzavřený je vytvořen mezi každým vstupem a výstupem napěťový obvod.

Základní specifikace:

Analogová vstupní šířka pásma: $> 300\text{kHz}$

Vstupní řídicí úroveň: *pouze TTL*

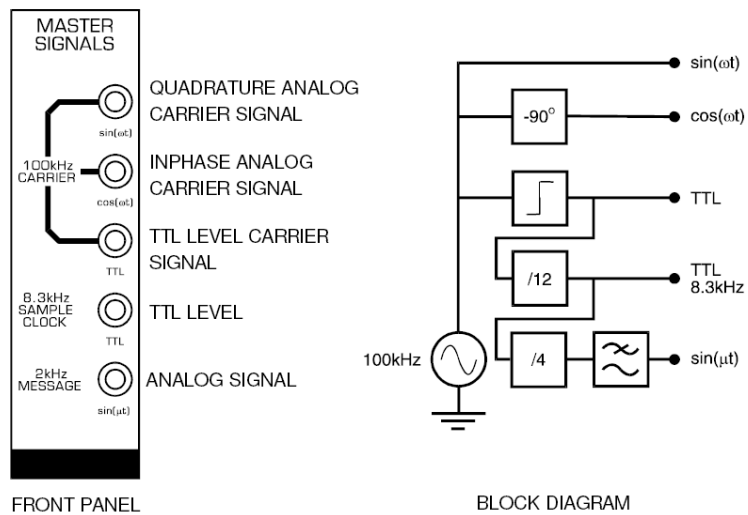
Maximální analogová vstupní úroveň: $\pm 8\text{V}$



Obr.4.30. modul DUAL ANALOG SWITCH

4.7.4. MASTER SIGNALS

Tento modul je na pevno uchycen na hlavním panelu programu TutorTIMS. Pět synchronizovaných, analogových a digitálních signálů je dostupných na tomto modulu. Jejich rozsah je od 2kHz do 100kHz. Funkce a kmitočet každého signálu je ukázána na předním panelu.



Obr.4.31. modul MASTER SIGNALS

Označení signálů:

Nosné signály (CARRIER) jsou 100kHz, který jsou pro modelové situace dostatečně daleko od audio kmitočtu 3kHz.

Hodinové impulzy (SAMPLE CLOCK) 8.3kHz, které mohou být použity pro vzorkování šířky pásma audio signálu (3kHz).

Zpráva (MESSAGE) poskytuje analogový signál audio kmitočtu, který je použit jako nosný při modulacích.

Pět signálů je vytvořeno hlavním krystalovým oscilátorem. Jejich frekvence jsou pevně stanoveny. Výstupní úrovně jsou také fixní. Analogové signály jsou sinusového průběhu s mírným pokřivením menším než 0.1%. Digitální signály jsou všechny standardní TTL úrovně s dobami náběhu kratší než 80ns.

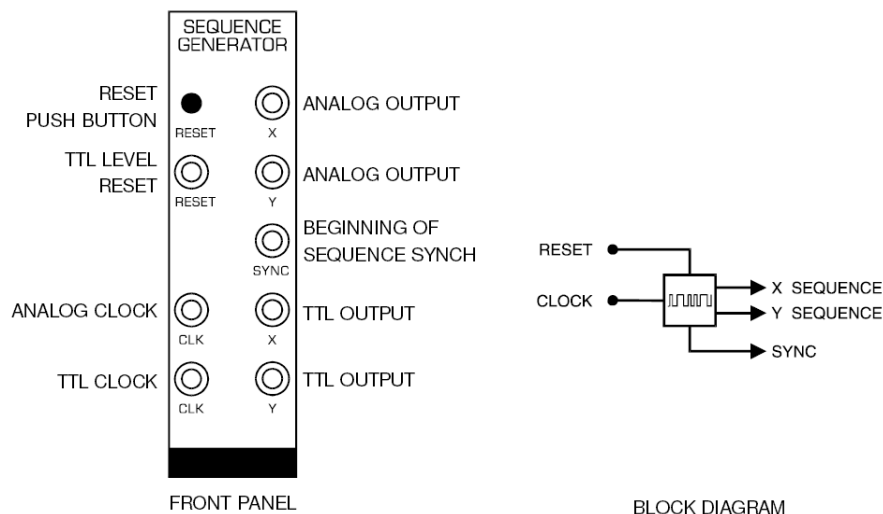
Základní specifikace:

Výstupní frekvence: *Carrier 100kHz*
Sample clock 8.333kHz
Audio 2.083kHz

Výstupní úroveň: *4V, analogový*
TTL úroveň, digitální

4.7.5. SEQUENCE GENERATOR

Generátor sekvence nebo také pseudonáhodný sekvenční generátor. Modul používá obyčejný externí hodinový signál, výstupem z modulu jsou dvě nezávislé sekvence *X* a *Y*. Zdířka označená *SYNC* dodává signál, který stanoví začátek synchronizační sekvence. Sekvence se mohou zastavit nebo restartovat kdykoli pomocí tlačítka *RESET*. Výstupní sekvence *X* a *Y* jsou dostupné jako signál TTL nebo jako analogové úrovně.



Obr.4.32. modul SEQUENCE GENERATOR

Externí hodinový signál musí vyhovovat parametrům modulu. Může to být signál sinusového nebo TTL průběhu. Pro každý tento signál jsou použity rozdílné vstupní zásuvky.

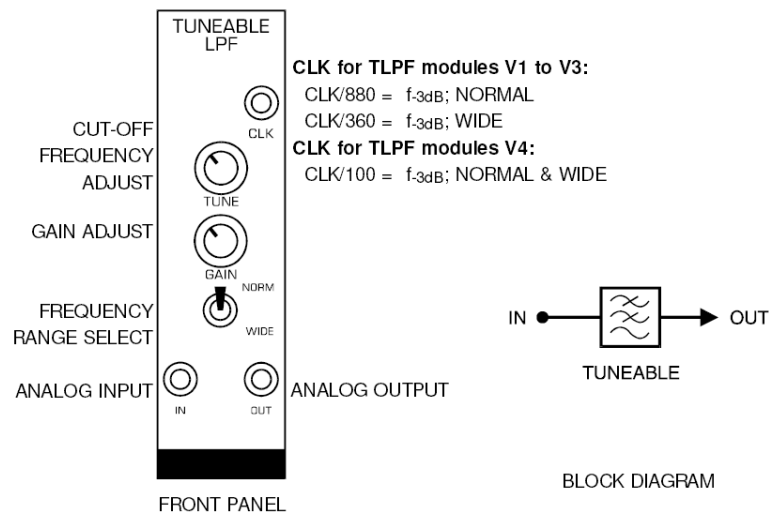
Základní specifikace:

Vstupní hodinový rozsah: *TTL 1Hz do 1MHz*
Analogový < 500Hz do > 10kHz

Počet sekvencí: *4 páry*
 Délky sekvence: 2^5 , 2^8 , 2^8 , 2^{11}

4.7.6. TUNEABLE LPF

Mezní kmitočet tohoto filtru typu dolní propust může být měněn použitím kontroleru *TUNE*. Dva kmitočtové rozsahy, *WIDE* a *NORMAL*, mohou být vybrány na předním panelu pomocí kloubového přepínače. Potenciometrem *GAIN* je možnost měnit amplitudu signálu pokud je to požadováno.



Obr.4.33. modul TUNEABLE LPF

Základní specifikace:

Rozsahy filtru: $900 \text{ Hz} < \text{NORMAL} < 5 \text{ kHz}$
 $2.0 \text{ kHz} < \text{WIDE} < 12 \text{ kHz}$

5. Analyzátor ClearSight

ClearSight je SW protokolový analyzátor využívající hardwarových prostředků osobního počítače PC a síťové karty s příslušným Ethernetovým rozhraním 10/100/1000 Mbit/s. Aplikace má kvalitní grafické uživatelské prostředí, které nabízí řadu nástrojů pro rychlé a efektivní řešení problémů nejrůznějších aplikací z oblasti internetu, emailových služeb, databázových systémů a multimediálních přenosů hlasu a videa. Uživateli poskytuje možnost monitoringu protokolů jednotlivých aplikací v reálném čase, detailní sledování průběhu jednotlivých spojení ve formě komunikačního diagramu včetně časových relací.

Uživatelské prostředí je zobrazeno v intuitivním hyperlinkovém stylu, kde je možno kliknutím na ikony a prvky otevřít detailnější popis. Systém ClearSight umožňuje zobrazení provozu v reálném čase pro okamžitý přehled nad obsahem komunikačního toku. U aplikací jako jsou FTP, Telnet, email, databáze a VoIP je možné přesně zrekonstruovat obsah komunikace z paketů procházejících sítí v reálném čase nebo z předem zachycených a uložených dat.

ClearSight zahrnuje expertní nástroje pro automatickou detekci chyb v zachycených paketech a rozsáhlou možnost filtrování pomocí velkého počtu parametrů. ClearSight při monitorování VoIP komunikace provádí detailní analýzu provozu jak z pohledu sestavování spojování, tak určování kvality hlasu. Podporuje analýzu protokolů jako jsou SIP, H.323, Cisco SKINNY, MGCP, MEGACO a RTSP. Proces výměn paketů mezi více uzly včetně telefonních terminálů a relay serverů je automaticky přiřazen k danému hovoru a následně je celá komunikace zobrazena ve formě příčkového diagramu (ladder view). Celý průběh spojení, od sestavení po ukončení, je možno sledovat v reálném čase (nebo vyvolat z uložených dat). Mimo maximálních, minimálních a středních hodnot intervalů RTP paketů, ztrátovosti a jitteru jsou předkládány i velikosti parametrů kvality řeči MOS a R-faktor.

ClearSight podporuje JPEG (411, 422, 111), H.263 Mode A, Mode B, MPEG4 kodeky. Hlášení QoS příslušného VoIP hovoru může být jednoduše vygenerováno kliknutím na určenou položku. Na Obr.2.1. a 2.2. je zachycen monitoring komunikace přes VoIP a HTTP, kterou jsem uskutečnil v laboratoři. Komunikaci přes VoIP jsem realizoval pomocí softwarového telefonu X-Lite.

The screenshot displays the ClearSight Analyzer interface with the following details:

- Header:** ClearSight Analyzer - Intel(R) PRO/100+ PCI Adapter - Packet Scheduler Miniport (Line speed at 100MB)
- Toolbar:** Monitor, SLA, Alerts, Reports, Traceln, Capture, Buffer, Stopped, 100%, 092, Start, View, Configuration, Help
- Navigation:** How to, Capture buffer, ClearSight, Issues, Problems, Decode, Reports
- Packet List:**

No.	Status	Src Addr	Dst Addr	Len	Protocol	Summary	Rel. Time	Delta Time	Also Time
946		147.229.148.126	147.229.148.135	202	RTP	Sender Report Source description Goodbye	9.135231000	0.014591000	2008-04-19 16:44:56.733280000
947		147.229.148.135	147.229.148.126	214	RTP	Payload type=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=2777595785,...	9.140668000	0.005437000	2008-04-19 16:44:56.738720000
948		147.229.148.135	147.229.148.126	214	RTP	Payload type=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=2777595785,...	9.160637000	0.019969000	2008-04-19 16:44:56.758691000
949		147.229.148.126	147.229.148.22	785	SIP	Request: BYE sip:10048147.229.148.22:5060	9.180013000	0.019376000	2008-04-19 16:44:56.778670000
950		147.229.148.135	147.229.148.126	214	RTP	Payload type=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=2777595785,...	9.180725000	0.000712000	2008-04-19 16:44:56.778790000
951		147.229.148.135	147.229.148.126	214	RTP	Payload type=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=2777595785,...	9.200857000	0.020132000	2008-04-19 16:44:56.798911000
952		147.229.148.135	147.229.148.126	214	RTP	Payload type=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=2777595785,...	9.220707000	0.019850000	2008-04-19 16:44:56.818761000
- Frame 956 (484 bytes on wire, 484 bytes captured):**
 - Ethernet II, Src: Intel_00:15:17:93:32:04 (00:15:17:93:32:04), Dst: Intel_00:15:17:93:32:04 (00:15:17:93:32:04)
 - Internet Protocol, Src: 147.229.148.22 (147.229.148.22), Dst: 147.229.148.126 (147.229.148.126)
 - User Datagram Protocol, Src Port: 5060 (5060), Dst Port: 41894 (41894)
 - Session Initiation Protocol
- Frame Hex View:**

```

Address 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F Text
0000: 00 90 27 1B E6 53 00 15 17 53 32 00 00 45 00 00 00 ..S...S...
0010: 01 D6 30 5D 40 00 80 11 78 5A 99 E5 94 16 93 E5 0102...K2....
0020: 94 7E 13 C4 A3 A6 01 02 26 16 53 49 50 2F 32 2E .....3332..
0030: 30 20 32 30 30 20 4F 4B 0D 0A 56 69 61 3A 20 53 0 200 OK..Via: S
0040: 49 50 2F 32 2E 20 2F 55 44 50 20 31 34 37 2E 32 32 IP/2.0/MDP 147.2
0050: 32 39 2E 31 34 38 2E 31 32 36 3A 34 31 38 39 34 29.148.126:41894
0060: 3B 62 72 61 68 3D 7A 39 68 47 34 62 4B 2D 3E543D0048FE
0070: 64 38 37 35 34 33 2D 62 38 31 31 61 38 32 31 65 487543D114821e
0080: 62 30 33 34 31 34 64 2D 31 2D 2D 64 38 37 35 34 b0341d41--d8754
0090: 33 2D 3B 72 70 6F 72 74 30 34 31 38 39 34 00 0A 3-r:port=41894..
00A0: 43 6F 6E 74 61 63 74 3A 20 3C 72 69 70 3A 31 30 Contact: csip:10
00B0: 30 34 40 31 34 37 2E 32 32 39 2E 31 34 38 2E 30 048147.229.148.2
00C0: 32 3A 35 30 36 30 3E 0D 0A 54 6F 3A 20 22 50 6F 215060..To: "Po
00D0: 63 69 74 61 63 20 6F 64 20 6E 61 70 72 6F 74 69 citac od naproti
00E0: 20 28 42 75 73 69 6E 65 73 73 29 22 3C 73 69 70 (business)"csip
00F0: 3A 31 30 30 31 40 74 65 72 6D 2E 75 74 6B 6F 2E :1001@rcn.utk.
0100: 66 65 65 65 65 2E 76 75 74 62 72 2E 63 7A 3A 35 30 feec.vutbr.cs:50
0110: 36 30 3E 3B 74 61 61 67 3D 31 39 35 32 63 34 32 63 6D>tag=1952:42c
0120: 0D 0A 46 72 6F 6D 3A 20 22 31 30 30 34 22 3C 73 75 .From: "1004"ce
0130: 69 70 3A 31 30 30 34 40 74 65 72 6D 2E 75 74 6B 6F 2E :1001@rcn.utk.
0140: 6F 2E 66 65 65 63 2E 76 75 74 62 72 2E 63 7A 3A 30 0e.fec.vutbr.cs:50
0150: 35 30 3E 3B 74 61 67 3D 36 65 37 38 62 30 5060>tag=6e78B0
0160: 31 65 0D 0A 43 61 6C 6C 2D 49 44 3A 20 5A 54 51 1e..Call-ID: 270
0170: 33 59 7A 6B 6B 4E 47 55 33 4E 6A 4A 6B 4D 47 52 37a8B07B07B80
0180: 6C 59 6D 46 6A 5A 54 59 70 4F 44 42 6B 59 32 49 1YhF27TK00K72I
0190: 77 5A 6D 49 77 4D 6A 63 2E 0D 0A 43 53 65 71 3A wZaM0jbc...CSeq:
01A0: 20 33 20 42 59 45 0D 0A 55 73 65 72 2D 41 67 65 3 3 BYE..User-Age
01B0: 4E 7A 20 33 45 50 6F 6E 65 53 73 74 m.c:300home@rcn
01C0: 65 6D 20 35 2E 31 2E 34 33 39 33 2E 30 0D 0A 43 ea.5.1.4393.O..C
01D0: 6F 6E 74 65 6E 74 2D 4C 65 6E 67 74 68 3A 20 30 ontent-Length: 0
01E0: 0D 0A 0D 0A .....
```
- Footer:** Duration: 0:32:05 Start Time: 04/19/2008 16:14:13 Network Activity: [Progress Bar] Start ClearSight Analyzer - [Untitled] - Wireshark Detail activity in: [Untitled] - 95% - 16:46

Obr.5.1 Monitoring VoIP komunikace

The screenshot displays the ClearSight Analyzer interface with the following details:

- Header:** ClearSight Analyzer - Intel(R) PRO/100+ PCI Adapter - Packet Scheduler Miniport (Line speed at 100MB)
- Toolbar:** Monitor, SLA, Alerts, Reports, Traceln, Capture, Buffer, Stopped, 100%, 247, Start, View, Configuration, Help
- Navigation:** How to, Capture buffer, ClearSight, Issues, Problems, Decode, Reports
- Packet List:**

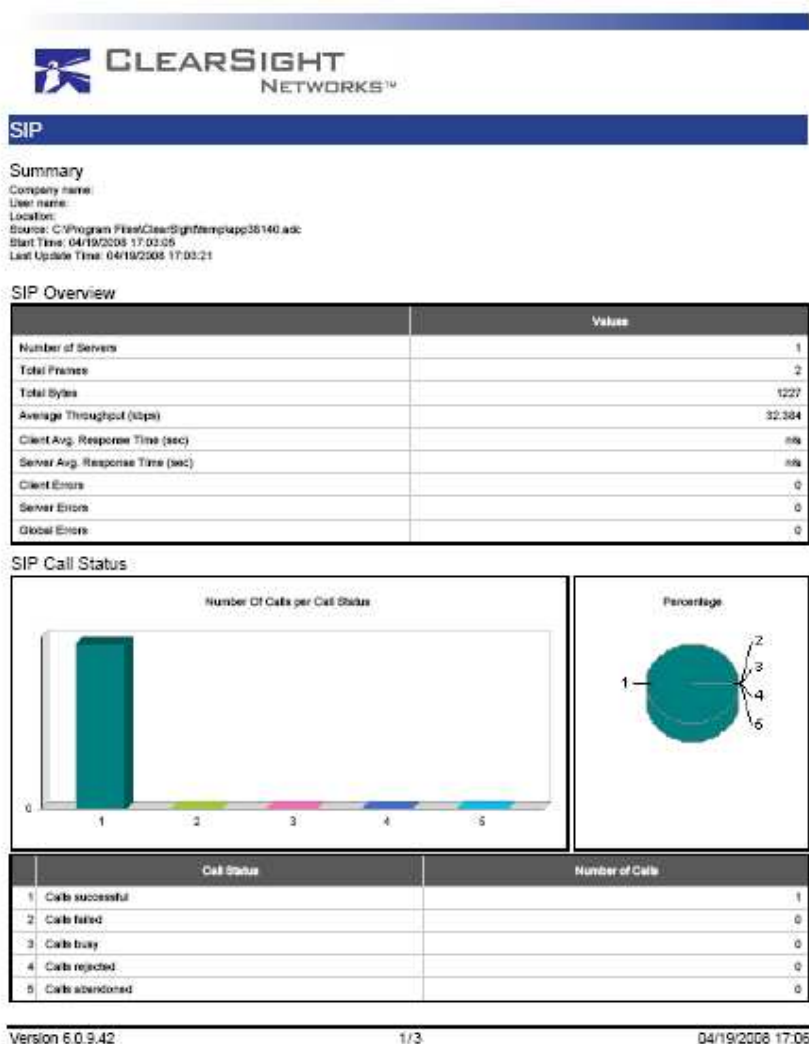
No.	Status	Src Addr	Dst Addr	Len	Protocol	Summary	Rel. Time	Delta Time	Also Time
37		213.199.161.250	147.229.148.126	1514	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]	0.164573000	0.031192000	2008-04-19 16:51:41.976136000
38		213.199.161.250	147.229.148.126	1514	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]	0.165647000	0.001074000	2008-04-19 16:51:41.977210000
39		147.229.148.126	213.199.161.250	54	TCP	1190 > https [ACK] Seq=2736638063 Ack=1891681407...	0.165783000	0.000056000	2008-04-19 16:51:41.977260000
40		213.199.161.250	147.229.148.126	60	TCP	https > 1188 [ACK] Seq=4290527743 Ack=163858073...	0.172957000	0.007224000	2008-04-19 16:51:41.984520000
41		213.199.161.250	147.229.148.126	1120	TLSv1	Server Hello, Certificate, Server Hello Done	0.208660000	0.035763000	2008-04-19 16:51:42.020230000
42		147.229.148.126	213.199.161.250	236	TLSv1	Client Key Exchange, Change Cipher Spec, Encryp...	0.209900000	0.001248000	2008-04-19 16:51:42.021463000
43		213.199.161.250	147.229.148.126	97	TLSv1	Change Cipher Spec, Encrypted Handshake Message	0.254729000	0.044829000	2008-04-19 16:51:42.066292000
44		147.229.148.126	213.199.161.250	1030	TLSv1	Application Data	0.290018000	0.035289000	2008-04-19 16:51:42.101581000
45		213.199.161.250	147.229.148.126	1514	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]	0.333782000	0.043764000	2008-04-19 16:51:42.145345000
46		213.199.161.250	147.229.148.126	679	TLSv1	Application Data	0.334854000	0.001072000	2008-04-19 16:51:42.146417000
47		147.229.148.126	213.199.161.250	54	TCP	1190 > https [ACK] Seq=2736639221 Ack=189168460...	0.334947000	0.000093000	2008-04-19 16:51:42.146510000
48		147.229.148.126	213.199.161.250	54	TCP	1190 > https [FIN, ACK] Seq=2736639221 Ack=1891...	0.335381000	0.000434000	2008-04-19 16:51:42.146944000
49		213.199.161.250	147.229.148.126	60	TCP	https > 1190 [ACK] Seq=1891684602 Ack=273663922...	0.378055000	0.042679000	2008-04-19 16:51:42.189818000
50		147.229.66.233	239.255.255.250	293	SDP	NOTIFY * HTTP/1.1	0.510625000	0.132570000	2008-04-19 16:51:42.322188000
51		147.229.66.233	239.255.255.250	293	SDP	NOTIFY * HTTP/1.1	0.510675000	0.000050000	2008-04-19 16:51:42.322238000
52		147.229.66.233	239.255.255.250	290	SDP	NOTIFY * HTTP/1.1	0.510857000	0.000192000	2008-04-19 16:51:42.322430000
53		147.229.66.233	239.255.255.250	290	SDP	NOTIFY * HTTP/1.1	0.511113000	0.000248000	2008-04-19 16:51:42.322678000
54		147.229.66.233	239.255.255.250	297	SDP	NOTIFY * HTTP/1.1	0.511133000	0.000018000	2008-04-19 16:51:42.322696000
- Frame 39 (54 bytes on wire, 54 bytes captured):**
 - Ethernet II, Src: Intel_00:15:17:93:32:04 (00:15:17:93:32:04), Dst: Intel_00:15:17:93:32:04 (00:15:17:93:32:04)
 - Internet Protocol, Src: 147.229.148.126 (147.229.148.126), Dst: 213.199.161.250 (213.199.161.250)
 - Transmission Control Protocol, Src Port: 1190 (1190), Dst Port: https (443), Seq: 2736638063, Ack: 1891681407, Len: 6
- Frame Hex View:**

```

Address 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F Text
0000: 0D 17 A4 C2 09 00 00 90 27 1B D6 53 08 00 45 00 .....S...S...
0010: 00 28 28 25 40 00 80 06 32 85 93 E5 94 7E D5 C7 ((42...2...
0020: A1 FA 04 A6 01 B8 A3 1D C8 6F 70 E0 C4 7F 50 10 .....0p...P...
0030: FF FF 08 80 00 00 .....
```
- Footer:** Duration: 0:39:35 Start Time: 04/19/2008 16:14:13 Network Activity: [Progress Bar] Start ClearSight Analyzer - [Untitled] - Wireshark 3392 zavl a slavi s Rang... - 95% - 16:53

Obr.5.2. Monitoring HTTP spojenj

ClearSight Reporter je nástroj pro sběr statistik o jednotlivých aplikacích, serverech atd. a jejich dalšího použití pro automatické vytváření reportů. Reporty mohou být založeny na sledování v reálném čase nebo na datech získaných z předchozích monitorování. Reporty mohou být vytištěny ve stejném formátu v jakém se objevují na obrazovce, nebo mohou být exportovány do PDF, HTML nebo RTF formátu. Shromažďováním statistik po delší dobu v databázi umožňuje Reporter uživateli vytvářet reporty dlouhodobějšího charakteru, a tím monitorovat vývoj aplikací, sítě atd. Na obr.5.3. je zobrazena ukázka možných reportů.



Obr.5.3. Report SIP protokolu

Bezplatná alternativa k programu ClearSight Analyzer existuje software Wireshark. Tento software neobsahuje tolik funkcí jako předešlá aplikace a grafické členění zachytávané komunikace je také méně přehledné.

6. Závěr

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku modulování přenášených signálů. V prvních dvou kapitolách této práce jsem se věnoval popisu obecných a fyzikálních vlastností přenosu informací mezi zdrojovým a cílovým místem. Snažil jsem se popsat proč je nutné modulovat přenášené signály a způsoby, kterými je dosaženo modulované vlny. Teoreticky jsem popsal analogovou i digitální modulaci a jejich jednotlivé výhody i nevýhody. Krátce jsem se zmínil o jejich základních parametrech a kódovacích metodách.

Podstatná část této práce je pak věnována výukovému systému TutorTIMS australské firmy Emona Instruments. Pomocí tohoto softwaru lze nasimulovat spoustu experimentů z telekomunikačního oboru. Tento systém názorně prezentuje fyzikální a elektrické vlastnosti, které je možno pozorovat a proměřovat. Zpracoval jsem základní popis ovládání tohoto programu a také jednotlivých zásuvných modulů, které vytvářejí funkční bloky experimentů.

Vytvořil jsem dvě nové laboratorní úlohy, které jsou zaměřeny na digitální modulace a pro svou realizaci využívají prostředí výukového systému TutorTIMS. První laboratorní cvičení je konkrétně zaměřeno na generaci a následnou demodulaci ASK signálu. Druhá laboratorní úloha ukazuje a procvičuje studenty v oblasti generace FSK a BPSK signálu. Obě laboratorní úlohy jsou navrženy tak, aby nutily studenty k samostatné tvůrčí činnosti, k čemuž je zároveň nutné mít základní teoretické znalosti digitálních modulací. Každá úloha obsahuje kontrolní otázky, které prověří pozornost studentů při měření. Součástí předkládané bakalářské práce jsou mnou vypracované vzorové protokoly dvou nových laboratorních úloh. V těchto protokolech jsou uvedeny všechny praktické poznatky a změřené hodnoty získané ve školní laboratoři při měření nových úloh.

V závěru práce jsem se věnoval LAN analyzátoru ClearSight. Popsal jsem tento produkt a provedl jsem monitoring datové komunikace ve školní laboratoři. Získané informace jsem prezentoval v přehledných reportech, které tento program podporuje a které jsou generovány na velice profesionální úrovni.

Cílem této bakalářské práce bylo shromáždit praktické a teoretické informace o digitálních modulacích pro budoucí studenty předmětu Přístupové a transportní sítě. Laboratorní úlohy jsou navrženy a změřeny pomocí softwarové verze TutorTIMS, avšak s mírnými rozdíly je lze aplikovat i na hardwarovou verzi TutorTIMS, která je již také součástí školní laboratoře.

7. Literatura

- [1] EMONA INSTRUMENTS. Manuál k Telecommunications Learning Environment TIMS. Camperdown, Australia 2007.
- [2] PUŽMANOVÁ, R. Moderní komunikační sítě A-Z. Computer Press, Brno 2007.
- [3] ŠKORPIL, V. Digitální komunikační technologie. UTKO, Brno 2002.
- [4] ŽALUD, V. Moderní Radioelektronika. Technická literatura BEN, Praha 2000.
- [5] ŽALUD, V. Radioelektronika. Vydavatelství ČVUT, Praha 1993.
- [6] SVOBODA, J. a kolektiv, Telekomunikační technika díl 1-3. Húthig & BENEŠ, Praha 1999.
- [7] HANUS, S. Bezdrátové a mobilní komunikace. UREL, Brno 2005.
- [8] EMONA TIMS – domovská stránka produktu TutorTIMS. Dostupná z WWW:
<<http://www.tims.com.au>>
- [9] TIMS-301 BASIC MODULES User Manual, Uživatelský manuál k základním modulům systému TIMS