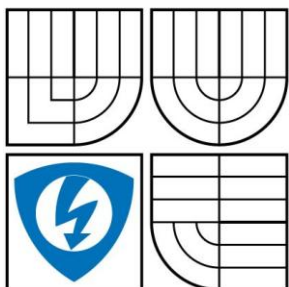


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OPTIMALIZACE TELEKOMUNIKAČNÍHO VÝUKOVÉHO PROSTŘEDÍ

OPTIMIZATION OF TELECOMMUNICATION EDUCATION ENVIRONMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

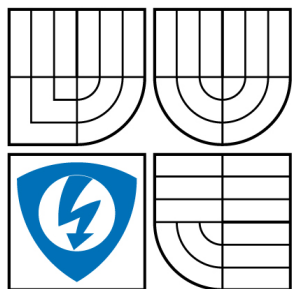
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JOSEF JEŘÁBEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. VLADISLAV ŠKORPIL, CSC.

BRNO 2008



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Jeřábek Josef Bc.
Ročník: 2

ID: 89665
Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace telekomunikačního výukového prostředí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se softwarovou i hardwarovou verzí telekomunikačního výukového prostředí TIMS od firmy Emona Instruments. Optimalizujte ve firemních materiálech navrhované využití tohoto výukového prostředí v laboratorních cvičeních. Podklady zpracujte tak, aby laboratorní cvičení podporovala tvůrčí přístup studentů. Vyberte úlohy vhodné pro pokročilejší měření, věnujte se teorii jednotlivých měření a připravte cca 3 úlohy pro použití ve výuce. Zpracujte veškerou dokumentaci pro laboratorní úlohy, tj. uveďte cíl úlohy, podrobnou teorii, zadání a další vhodné části. Vypracujte též vzorové protokoly. Porovnejte možnosti softwarové a hardwarové verze.

DOPORUČENÁ 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.

Termín zadání: 11.2.2008

Termín odevzdání: 28.5.2008

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

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Josef Jeřábek
Bytem: Husova 494, 79326, Vrbno pod Pradědem
Narozen/a (datum a místo): 21. 9. 1983, Bruntál

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako.....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Optimalizace telekomunikačního výukového prostředí
Vedoucí/ školitel VŠKP: Doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.
Ústav: Ústav telekomunikací
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v * :

☐ tištěné formě	–	počet exemplářů	2
☐ elektronické formě	–	počet exemplářů	2

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

V rámci diplomové práce jsem se seznámil s produktem firmy EMONA INSTRUMENTS ve dvou provedeních: softwarová verze TutorTIMS – Advanced a hardwarová verze TIMS-301, která byla zakoupena do laboratoře předmětů „Přístupové a transportní sítě“ a „Služby telekomunikačních sítí“. Byly vytvořeny celkem tři laboratorní úlohy jak pro softwarovou, tak pro hardwarovou verzi tohoto modulárního systému, všechny podporují tvůrčí přístup studentů a obsahují standardní součásti, kterými jsou popis úlohy pro měřicí pracoviště a vzorový protokol. První úloha je koncipována tak, aby se studenti seznámili s tímto systémem a je zaměřena na amplitudovou modulaci. Následuje dvojice úloh, vytvořených záměrně tak, aby bylo možné je na jednom pracovišti měřit současně. První z nich je zaměřena na praktické ověření poznatků z oblasti amplitudového klíčování, druhá na linkové kódy. Tyto úlohy představují nejlepší výběr z možností, kterých je možné dosáhnout u hardwarové verze systému TIMS-301, vzhledem k aktuálně dostupnému počtu modulů v laboratoři. U softwarové verze nejsme tímto způsobem limitováni, požadavkem však bylo, aby všechny připravené laboratorní úlohy bylo možné zpracovat jak na verzi hardwarové, tak na softwarové. Závěr práce je věnován srovnání těchto dvou verzí společně s možnostmi optimalizace hardwarové verze TIMS.

KLÍČOVÁ SLOVA

TutorTIMS - Advanced, TIMS-301, Zásuvné moduly, Amplitudová modulace, net*TIMS

ABSTRACT

The intended goal within the scope of this master's thesis is to get acquainted with the product of EMONA INSTRUMENTS Company. There are two main concepts: the software version TutorTIMS – Advanced and the hardware version TIMS-301. Both concepts were bought into the laboratory, where the following subjects are being lectured: “Access and transport networks” and “Telecommunication network services”. Three laboratory exercises were prepared for both software version and hardware version. Both versions are modular and all designed exercises support independent and creative approach of students. All exercises also consist of standard parts, which are the description of the exercise and exemplary protocol solution. The first exercise is called “amplitude modulation” and is designed as an introductory exercise. Next are a couple of exercises which are designed to be performed on one workplace at the same time. The first of them is focused on practical verification of facts from amplitude shift keying, the second one focuses on link codes. This couple of exercises is the best choice, considering the hardware version of TIMS-301 and at the present time available modules in the lab. Software version is not limited in such way, but it was required to allow performing all of prepared exercises on both versions. Lastly there is a comparison between the software and hardware version and several options for hardware TIMS optimization.

KEYWORDS

TutorTIMS - Advanced, TIMS-301, Plug-in module, Amplitude modulation, net*TIMS

JEŘÁBEK, J. *Optimalizace telekomunikačního výukového prostředí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 79 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma „Optimalizace telekomunikačního výukového prostředí“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vladislavu Škorpilovi, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah

ÚVOD	14
1 SOFTWAREVÁ VERZE – TUTORTIMS.....	15
1.1 TUTORTIMS – FREEWARE.....	15
1.2 TUTORTIMS – ADVANCED.....	16
1.2.1 Seznámení s GUI TutorTIMS – Advanced	16
1.2.2 Nastavování otočných regulátorů	18
1.2.3 Spojování modulů	18
2 HARDWAROVÁ VERZE TIMS.....	19
2.1 POPIS TIMS-301.....	19
2.2 ZÁSUVNÉ MODULY	20
2.2.1 Pevné moduly na TIMS-301.....	22
2.2.2 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny A.....	22
2.2.3 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny B.....	23
2.2.4 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny C.....	24
2.2.5 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny D.....	24
2.2.6 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny E, F, G.....	24
3 NET*TIMS.....	25
3.1 VYTVÁŘENÍ NET*TIMS EXPERIMENTU	25
3.2 SEZNÁMENÍ S NEJDŮLEŽITĚJŠÍMI TERMÍNY NET*TIMS.....	26
3.3 PŘIPOJENÍ K NET*TIMS EXPERIMENTU	26
4 PICOSCOPE.....	27
4.1 POPIS A ZÁKLADNÍ FUNKCE PROGRAMU PICO SCOPE	27
5 LABORATORNÍ ÚLOHA - AMPLITUDOVÁ MODULACE V SYSTÉMU TIMS29	29
5.1 TEORETICKÝ ÚVOD	29
5.1.1 Hloubka modulace	30
5.2 ZADÁNÍ ÚLOHY	32
5.3 POKYNY K MĚŘENÍ	33
5.4 KONTROLNÍ OTÁZKY	35
5.5 POUŽITÁ LITERATURA.....	35
5.6 VZOROVÝ PROTOKOL.....	37
5.6.1 Zadání:.....	37
5.6.2 Vypracování:.....	37
5.6.3 Odpovědi na kontrolní otázky:.....	43
5.6.4 Závěr:.....	44
6 LABORATORNÍ ÚLOHA – AMPLITUDOVÉ KLÍČOVÁNÍ	45
6.1 TEORETICKÝ ÚVOD	45
6.1.1 Generování ASK	45
6.1.2 Úprava pásma.....	46
6.1.3 Demodulace	46
6.2 ZADÁNÍ ÚLOHY	47

6.3	POKYNY K MĚŘENÍ	47
6.4	KONTROLNÍ OTÁZKY	51
6.5	POUŽITÁ LITERATURA.....	51
6.6	PŘÍLOHA – CELKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ	52
6.7	VZOROVÝ PROTOKOL.....	53
6.7.1	<i>Zadání:</i>	53
6.7.2	<i>Vypracování:</i>	53
6.7.3	<i>Odpovědi na kontrolní otázky:</i>	60
6.7.4	<i>Závěr:</i>	61
7	LABORATORNÍ ÚLOHA – LINKOVÉ KÓDY V SYSTÉMU TMS.....	62
7.1	TEORETICKÝ ÚVOD	62
7.1.1	<i>Moduly</i>	62
7.1.2	<i>Terminologie</i>	63
7.1.3	<i>Dostupné linkové kódy</i>	64
7.1.4	<i>Pásmové omezení</i>	65
7.1.5	<i>Resetování</i>	66
7.2	POKYNY K MĚŘENÍ	66
7.3	KONTROLNÍ OTÁZKY	67
7.4	POUŽITÁ LITERATURA.....	67
7.5	VZOROVÝ PROTOKOL.....	68
7.5.1	<i>Zadání:</i>	68
7.5.2	<i>Vypracování:</i>	68
7.5.3	<i>Odpovědi na kontrolní otázky:</i>	74
7.5.4	<i>Závěr:</i>	74
8	OPTIMALIZACE HARDWAROVÉ VERZE TMS	75
9	SROVNÁNÍ SOFTWARE A HARDWAROVÉ VERZE TMS.....	76
	ZÁVĚR	77
	SEZNAM ZKRATEK	78
	POUŽITÁ LITERATURA	79

Seznam obrázků

OBR. 1.1: TUTORTIMS – FREEWARE VERZE 1.0	15
OBR. 1.2: PŘÍKLAD OBRAZOVKY PROGRAMU TUTORTIMS - ADVANCED	16
OBR. 2.1: ZÁKLADNÍ SYSTÉMOVÁ JEDNOTKA TIMS-301	19
OBR. 2.2: ROZŠÍŘUJÍCÍ 12-TI SLOTOVÝ RACK S PŘÍPOJNÝM KONEKTOREM PRO TIMS-301	20
OBR. 2.3: PŘÍKLAD MODULU	21
OBR. 4.1: GUI PROGRAMU PICO SCOPE	27
OBR. 5.1: BLOKOVÉ SCHÉMA GENERACE AM SIGNÁLU	30
OBR. 5.2: AM MODULACE S $M = 0,5$ (50%)	30
OBR. 5.3: VÝPOČET HLOUBKY AM MODULACE POMOCÍ XY LICHOBĚŽNÍKU	31
OBR. 5.4: SPEKTRUM AM MODULACE S $M = 0,5$ (50%)	31
OBR. 5.5: SCHÉMA ZAPOJENÍ	33
OBR. 5.6: SIGNÁL ZPRÁVY (HORNÍ) A AM SIGNÁL S HLOUBKOU MODULACE S $M = 1$	38
OBR. 5.7: URČENÍ VÝSLEDNÉ ŠPIČKOVÉ AMPLITUDY SIGNÁLU.	38
OBR. 5.8: AM SIGNÁL S HLOUBKOU MODULACE $M = 1$	38
OBR. 5.9: AM SIGNÁL S HLOUBKOU MODULACE $M < 1$	39
OBR. 5.10: AM SIGNÁL S HLOUBKOU MODULACE $M > 1$	39
OBR. 5.11: AM SIGNÁL PRO VÝPOČET HLOUBKY MODULACE ($M < 1$).	40
OBR. 5.12: AM SIGNÁL PRO VÝPOČET HLOUBKY MODULACE ($M > 1$).	40
OBR. 5.13: SPEKTRUM AM SIGNÁLU PRO VÝPOČET HLOUBKY MODULACE ($M = 1$).	41
OBR. 5.14: SPEKTRUM AM SIGNÁLU PRO VÝPOČET HLOUBKY MODULACE ($M < 1$).	41
OBR. 5.15: SPEKTRUM AM SIGNÁLU PRO VÝPOČET HLOUBKY MODULACE ($M > 1$).	42
OBR. 5.16: ZAPOJENÍ MODULŮ A PRŮBĚH VÝSLEDNÉHO AM SIGNÁLU S HLOUBKOU MODULACE $M = 1$	42
OBR. 5.17: TUTORTIMS - AM SIGNÁL S HLOUBKOU MODULACE: A) MENŠÍ NEŽ 1, B) VĚTŠÍ NEŽ 1.	43
OBR. 5.18: TUTORTIMS - AM SIGNÁL V XY ZOBRAZENÍ S HLOUBKOU MODULACE: A) ROVNO 1, B) MENŠÍ NEŽ 1, C) VĚTŠÍ NEŽ 1.	43
OBR. 6.1: ASK SIGNÁL S ODPOVÍDAJÍCÍ BINÁRNÍ POSLOUPNOSTÍ	45
OBR. 6.2: PRINCIP GENEROVÁNÍ ASK SIGNÁLU	45
OBR. 6.3: OŘEZ PÁSMO ASK SIGNÁLU DOLNÍ PROPUSTÍ NEBO PÁSMOVOU PROPUSTÍ.	46
OBR. 6.4: ZPRÁVA (NEJNÍŽE), PÁSMOVĚ OMEZENÝ SIGNÁL (VE STŘEDU), ASK SIGNÁL.	46
OBR. 6.5: DVĚ FÁZE DEMODULAČNÍHO PROCESU	47
OBR. 6.6: GENEROVÁNÍ ASK SIGNÁLU PODLE BLOKOVÉHO SCHÉMATU NA OBR. 6.2	48
OBR. 6.7: GENEROVÁNÍ ASK SIGNÁLU PODLE BLOKOVÉHO SCHÉMATU NA OBR. 6.3	48
OBR. 6.8: DEMODULACE OBÁLKY ASK SIGNÁLU	49
OBR. 6.9: SYNCHRONNÍ DEMODULACE ASK SIGNÁLU	49
OBR. 6.10: BLOKOVÝ DIAGRAM ZAPOJENÍ NA OBRÁZKU 6.11	50
OBR. 6.11: REGENERACE BIPOLÁRNÍ POSLOUPNOSTI	50
OBR. 6.12: ASK BEZ POUŽITÍ LPF MODULU	53
OBR. 6.13: ASK S LPF MODULEM	54
OBR. 6.14: ASK SIGNÁL GENEROVANÝ MODULEM MULTIPLIER	54
OBR. 6.15: DETEKCE OBÁLKY S LPF NASTAVENÝM NA WIDE	54
OBR. 6.16: DETEKCE OBÁLKY SYNCHRONNÍM DEMODULÁTOREM	55
OBR. 6.17: PŮVODNÍ A DEMODULOVANÝ (DODATEČNĚ ZPRACOVANÝ) SIGNÁL	55
OBR. 6.18: UNIPOLÁRNÍ VÝSTUP Z DETEKTORU OBÁLKY (ZELENÝ) A BIPOLÁRNÍ VÝSTUP Z MODULU ADDER (MODRÝ)	56

OBR. 6.19: GENEROVÁNÍ ASK S MODULEM DUAL ANALOG SWITCH.....	56
OBR. 6.20: GENEROVÁNÍ PÁSMOVĚ OMEZENÉHO ASK SIGNÁLU (POMOCÍ MODULU TUNABLE LPF) S MODULEM DUAL ANALOG SWITCH	57
OBR. 6.21: GENEROVÁNÍ ASK SIGNÁLU S MODULEM MULTIPLIER	57
OBR. 6.22: DEMODULACE OBÁLKY ASK SIGNÁLU	57
OBR. 6.23: SYNCHRONNÍ DEMODULACE OBÁLKY ASK SIGNÁLU.....	58
OBR. 6.24: PŮVODNÍ A DEMODULOVANÝ (DODATEČNĚ ZPRACOVANÝ) SIGNÁL VČETNĚ ZAPOJENÍ	59
OBR. 6.25: UNIPOLÁRNÍ VÝSTUP Z DETEKTORU OBÁLKY (ČERVENÝ) A BIPOLÁRNÍ VÝSTUP Z MODULU ADDER (MODRÝ).....	59
OBR. 6.19: VSTUP DO SUBMODULU COMPARATOR (SIN, $\pm 2V$), VÝSTUP ZE SUBMODULU COMPARATOR (STANDARDNÍ TTL, $\pm 5V$).....	60
OBR. 6.20: VSTUP DO SUBMODULU RECTIFIER (BIPOLÁRNÍ, $\pm 2V$), VÝSTUP ZE SUBMODULU RECTIFIER (UNIPOLÁRNÍ, 0 – 4 V)	60
OBR. 7.1: PŘENOSOVÝ SYSTÉM V ZÁKLADNÍM PÁSMU.....	63
OBR. 7.2: LINKOVÉ KÓDY V SYSTÉMU TMS.....	65
OBR. 7.3: ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ OBR. 7.1	66
OBR. 7.4: POROVNÁNÍ ZDROJOVÉ A DEKÓDOVANÉ POSLOUPNOSTI	69
OBR. 7.5: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (MODŘE), NRZ-L SIGNÁL (ČERVENĚ), SPEKTRUM NRZ-L ..	69
OBR. 7.6: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (MODŘE), NRZ-M SIGNÁL (ČERVENĚ), SPEKTRUM NRZ-M	69
OBR. 7.7: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (MODŘE), UNI-RZ SIGNÁL (ČERVENĚ), SPEKTRUM UNI-RZ	69
OBR. 7.8: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (MODŘE), BIP-RZ SIGNÁL (ČERVENĚ), SPEKTRUM BIP-RZ.	70
OBR. 7.9: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (MODŘE), RZ-AMI SIGNÁL (ČERVENĚ), SPEKTRUM RZ-AMI	70
OBR. 7.10: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (MODŘE), BiΦ-L SIGNÁL (ČERVENĚ), SPEKTRUM BiΦ-L ...	70
OBR. 7.11: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (MODŘE), DICODE-NRZ SIGNÁL (ČERVENĚ), SPEKTRUM DICODE-NRZ.....	70
OBR. 7.12: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (MODŘE), DUOBINARY SIGNÁL (ČERVENĚ), SPEKTRUM DUOBINARY	71
OBR. 7.13: POROVNÁNÍ ZDROJOVÉ A DEKÓDOVANÉ POSLOUPNOSTI, SCHÉMA ZAPOJENÍ	71
OBR. 7.14: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (ČERVENĚ), NRZ-L SIGNÁL (MODŘE), SPEKTRUM NRZ-L	72
OBR. 7.15: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (ČERVENĚ), NRZ-M SIGNÁL (MODŘE), SPEKTRUM NRZ-M	72
OBR. 7.16: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (ČERVENĚ), UNI-RZ SIGNÁL (MODŘE), SPEKTRUM UNI-RZ	72
OBR. 7.17: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (ČERVENĚ), BIP-RZ SIGNÁL (MODŘE), SPEKTRUM BIP-RZ	72
OBR. 7.18: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (ČERVENĚ), RZ-AMI SIGNÁL (MODŘE), SPEKTRUM RZ-AMI	73
OBR. 7.19: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (ČERVENĚ), BiΦ-L SIGNÁL (MODŘE), SPEKTRUM BiΦ-L ...	73
OBR. 7.20: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (ČERVENĚ), DICODE-NRZ SIGNÁL (MODŘE), SPEKTRUM DICODE-NRZ.....	73
OBR. 7.21: PŮVODNÍ POSLOUPNOST (ČERVENĚ), DUOBINARY SIGNÁL (MODŘE), SPEKTRUM DUOBINARY	73

Úvod

Výuka v telekomunikačních laboratořích je důležitá součást vzdělávacího procesu na technicky založené vysoké škole. Studenti zde získávají praktické znalosti a zkušenosti s prací na telekomunikačních přístrojích, a proto musí být výuka názorná a pochopitelná. Tímto problémem se zabývá firma Emona Instruments, která vytvořila systém TIMS, který se zaměřuje na jednoduchost, modulárnost a praktickou zkušenost při práci s telekomunikačními technikami.

Cílem diplomové práce je seznámení s výukovým prostředím TIMS od firmy Emona Instruments. V první části práce je rozebrána softwarová verze TutorTIMS a jsou zde popsány její nejdůležitější vlastnosti. Je vytvořen jakýsi manuál na její použití. Další část je věnována hardwarové verzi TIMS-301. Je zde popsán modulový systém, základní systémová jednotka, rozšiřující jednotka, modulové sady A, B, C, D. Následuje popis problematiky vzdáleného ovládání hardwarové verze TIMS přes software neboli tzv. net*TIMS. V další kapitole je popis softwarového osciloskopu používaného s hardwarovým systémem TIMS-301 tzv. PicoScope. Popis tohoto programu je nezbytný pro korektní zvládnutí práce s TIMS-301.

Následující část je věnována konkrétním laboratorním úlohám. Úlohy jsou zpracovány včetně teoretického úvodu, postupu měření a kontrolních otázek a jsou koncipovány tak, aby podněcovaly samostatnou činnost a myšlení studentů. Dále je vždy uveden vypracovaný vzorový protokol. První úloha s názvem amplitudová modulace v systému TIMS, slouží spíše jako seznamovací s hardwarovým i softwarovým systémem TIMS. Vědomosti a znalosti získané v této úloze slouží k úspěšnému zvládnutí následujících úloh. Následující dvojice úloh je zvolena tak, aby ji bylo možno vykonávat současně (paralelně) na jednom hardwarovém zařízení TIMS. Konkrétně v konfiguraci Základní systémová jednotka TIMS-301 a rozšiřující 12-ti slotový rack. K této konfiguraci je potřeba dvou osciloskopů (softwarového PicoScope a hardwarového).

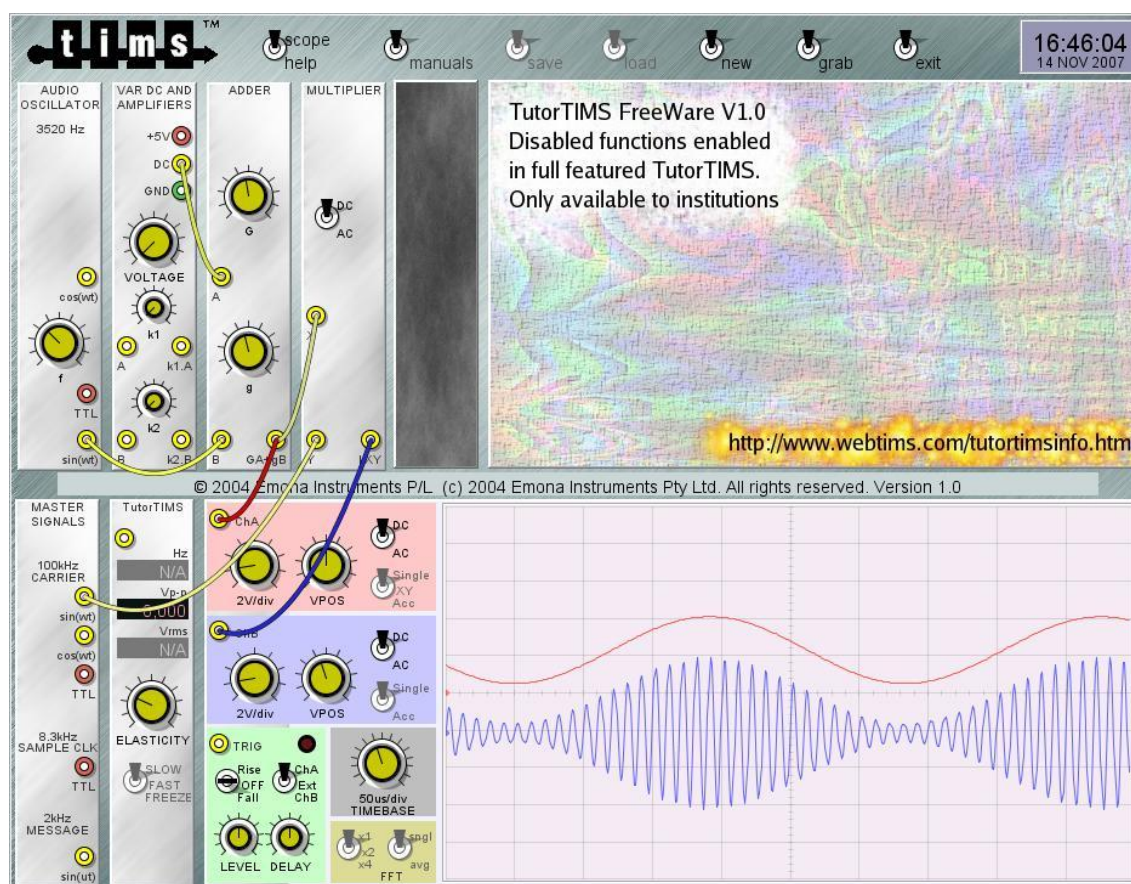
V poslední části diplomové práce se nachází shrnutí optimalizace systému TIMS, je zde navržen vhodný osciloskop a v samém závěru jsou sepsány výhody a nevýhody softwarové a hardwarové verze TIMS.

1 Softwarová verze – TutorTIMS

TutorTIMS (Telecommunication Instructional Modeling System) je softwarová aplikace navržená firmou Emona instruments a slouží pro výuku na univerzitách zaměřených na telekomunikační techniku (především modulace a kódování). Existují tři verze: TutorTIMS – FreeWare, TutorTIMS – Basic a TutorTIMS – Advanced. Aplikace je přizpůsobena tak, že simuluje vlastně skutečnou hardwarovou verzi a používá stejné stavební bloky. Vzhled aplikace je upraven tak, že napodobuje přímo přední panel Emona TIMS Hardware. Pro běh aplikace je nutné mít nainstalovanou a povolenou Javu na počítači. Konkrétně Java Runtime Environment verze 1.4 a vyšší.

1.1 TutorTIMS – FreeWare

Tato verze je poskytnuta na domovských stránkách projektu [7] zdarma ke stažení. Je dostupná pro platformy Windows, Linux a Macintosh. Možnosti FreeWare verze TIMS jsou do značné míry limitovány. Například je zde omezen počet modulů na 5, nelze zde ukládat ani načítat projekty a není zde žádná uživatelská podpora. Tato verze slouží spíše k seznámení se s produkty firmy Emona instruments a pro udělání si představy o uživatelském rozhraní a ovládání programu. GUI TutorTIMS – FreeWare je zobrazeno na následujícím obrázku obr.1.1.



Obr. 1.1: TutorTIMS – FreeWare verze 1.0

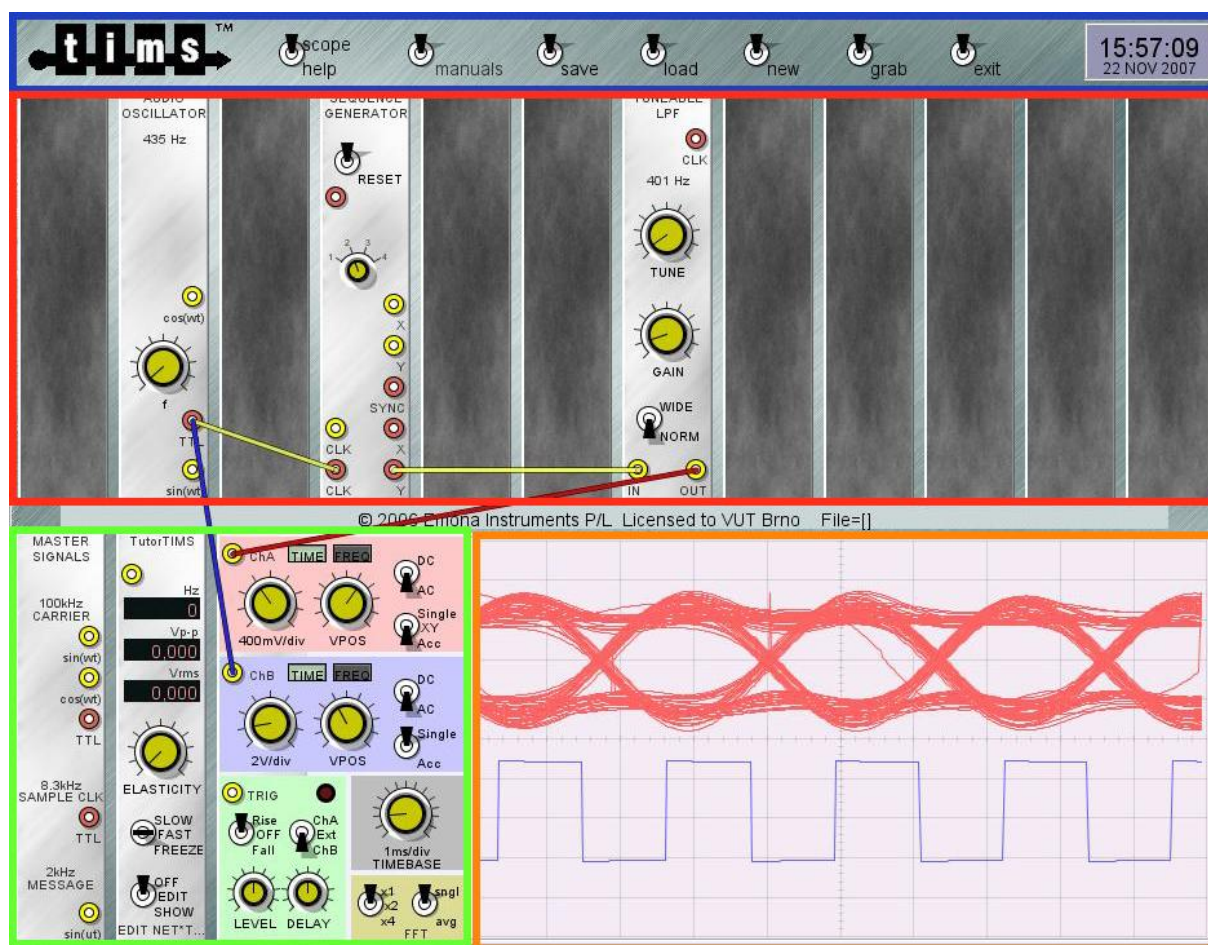
1.2 TutorTIMS – Advanced

Jedná se již o placenou verzi programu. Podporuje všechny volitelné funkce aplikace a je nainstalována v laboratoři PA-429. Zde je i licenční server s připojeným USB hardwarovým klíčem, který je nezbytný pro provoz jednotlivých klientských aplikací v síti. Aplikace je dodávána společně s krátkým flashovým tutoriálem, který vysvětluje základní funkce, dále pak s uživatelským manuálem jednotlivých modulů a také s množstvím předpřipravených experimentů, které lze dále upravovat.

K aplikaci TutorTIMS – Advanced se lze také alternativně připojit přes program vzdálená plocha. Na terminálovém serveru term.utko.feec.vutbr.cz se nachází operační systém MS Windows Server 2008 standard a je zde také zpřístupněna softwarová verze TIMS. Pokud má uživatel vytvořený účet s příslušným oprávněním, může využívat TutorTIMS – Advanced v podstatě odkudkoliv, kde je připojení k internetu.

1.2.1 Seznámení s GUI TutorTIMS – Advanced

Pomocí ikony TutorTIMS-Advanced, umístěné na pracovní ploše nebo v nabídce Start, spustíme aplikaci. Pokračujeme kliknutím na tlačítko *Click here to start* a po chvíli se objeví obrazovka aplikace TutorTIMS – Advanced, která může vypadat např. jako na obr. 2. Skládá ze čtyř hlavních částí. Modře orámovány jsou horní funkční přepínače, červenou pak prostor volitelných modulů, zeleně prostor pevných modulů a oranžově výsledné signály osciloskopu.



Obr. 1.2: Příklad obrazovky programu TutorTIMS - Advanced

a) Horní funkční přepínače:

Nachází se zde 7 přepínačů:

- **Scope Help** – přepínání mezi zobrazením výstupu osciloskopu a nápovědy programu
- **Manuals** – ve verzi TutorTIMS – Advanced otevře prohlížeč s lokálními soubory manuálů a dokumentace k předpřipraveným experimentům. Ve verzi TutorTIMS – FreeWare otevře stránku <http://www.webtims.com/tutortimsinfo.html> s informacemi o produktu TutorTIMS
- **Save** – uložení současného projektu
- **Load** – otevření projektu předpřipraveného nebo vlastního
- **New** – vytvoření nového projektu a odstranění všech modulů najednou
- **Grab** – sejme aktuální obrazovku aplikace a uloží do formátu jpg (vhodné při tvorbě technické zprávy z měření)
- **Exit** – ukončí instanci aplikace

b) Prostor volitelných modulů - množství modulů je závislé na verzi aplikace. Vložení modulu probíhá kliknutím pravého tlačítka myši na volnou pozici a následným výběrem z nabídky 16 základních modulů, 20 rozšířených a 1 expertního. Smazání modulu je stejné s tím rozdílem, že po kliknutí pravým tlačítkem myši zvolíme položku Remove!.

c) Prostor pevných modulů – tato část se dále dělí na modul Master signals, TutorTims modul a moduly pro osciloskop.

Master signals – obsahuje 5 synchronizovaných analogových a digitálních signálů v rozsahu od 2 kHz do 100 kHz. Konkrétně 100 kHz nosné signály pro modelující účely (analogové signály $\sin(\omega t)$ a $\cos(\omega t)$ a digitální signál), dále digitální 8,333kHz vzorkovací kmitočet pro vzorkování frekvenčně omezeného signálu a jako poslední je signál 2 kHz Message, což je poměrově zmenšený nosný analogový signál, který se používá k dosažení zobrazení jednoduchých modulačních schémat.

Signály z modulu Master signals jsou odvozeny z hlavního krystalového oscilátoru, což má za následek nízký frekvenční posun. Frekvence signálů jsou vnitřně zafixovány stejně jako výstupní úroveň. Analogové signály jsou sinusového průběhu a mají zkreslení méně než 0,1%. Digitální signály jsou standardní TTL úrovně s náběžnou hranou menší než 80ns.

TutorTims modul – nachází se napravo od modulu Master signals. Obsahuje analogový vstup pro měření frekvence, špičkové hodnoty napětí a efektivní hodnoty napětí. Tyto hodnoty zobrazuje na odpovídajících displejích. Dále obsahuje otočný regulátor ELASTICITY, který upravuje pružnost vodičů. Pod ním se nacházejí 2 přepínače pro režim zpracování¹ a možnost úpravy experimentu pro net*TIMS.

¹ režim zpracování – vzorky signálu jsou zpracovávány v dávkách a s rychlostí přibližně 10 MHz. Každá dávka vždy obsahuje tolik vzorků, aby byla pokryta celá obrazovka osciloskopu. V režimu slow je po každé dávce pauza 1,5 sekundy. Režim fast pauzu neobsahuje a v režimu freeze se zastaví generování dávek.

Moduly pro osciloskop – jsou odděleny barevně pro každý kanál. Obsahují nastavení měřítka na ose y, polohy signálu na obrazovce, časovou anebo frekvenční osu x atd. Dále obsahují Trigger, FFT a otočný regulátor časové základny.

d) Prostor výsledných signálů osciloskopu – zde jsou zobrazeny barevně odlišené výsledné signály experimentu.

1.2.2 Nastavování otočných regulátorů

Jsou dva způsoby jak nastavit otočný regulátor na požadovanou hodnotu. První je pouze za použití myši. Druhý způsob je aktivace regulátoru kliknutím myši a následné nastavení polohy pomocí šipek vlevo a vpravo. Ani jeden způsob neumožňuje přesné nastavení otočných regulátorů a nastavené hodnoty jsou ve většině případů pouze orientační.

1.2.3 Spojování modulů

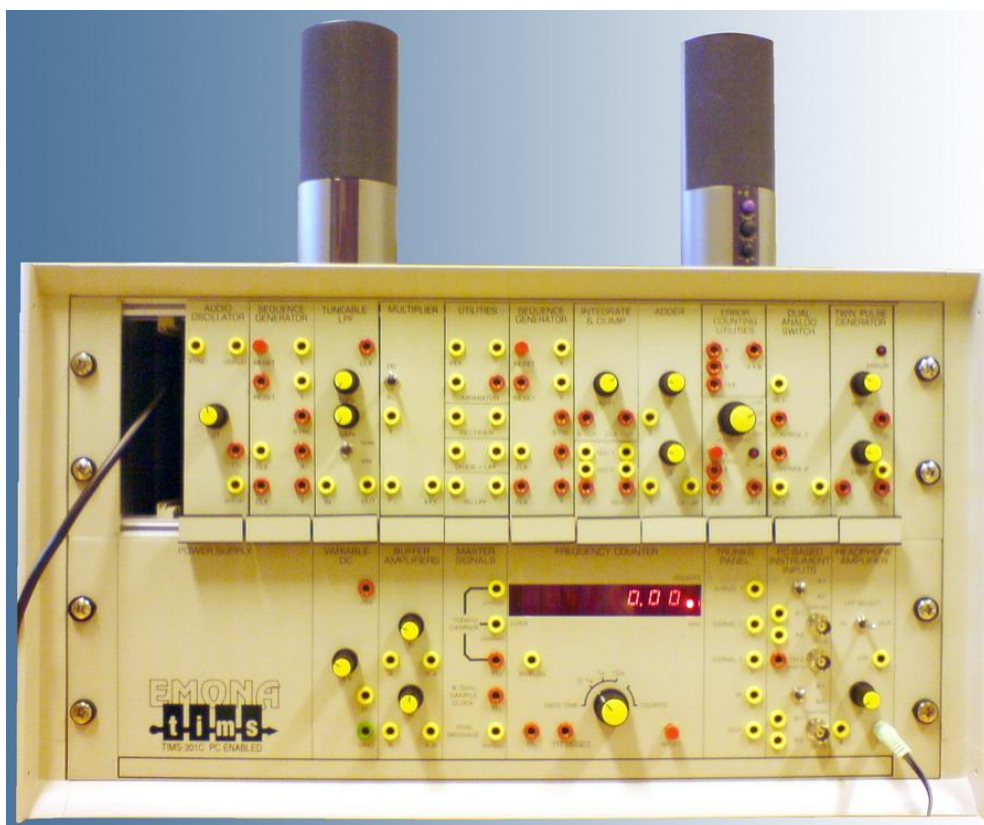
Pokud jsou již vloženy všechny nezbytné moduly pro experiment, je potřeba nyní moduly propojit. To se děje pomocí barevně odlišených konektorů, kde žluté konektory znamenají analogový signál, červené znamenají digitální signály a zelené jsou pro uzemnění. Všeobecně platí, že na levé straně modulů jsou konektory pro vstupní signály a na pravé straně pro signály výstupní. Program nepovoluje spojení dvou výstupních resp.vstupních konektorů. Vlastní vytvoření spoje se provede kliknutím na konektor, čímž se aktivuje a následným kliknutím na jiný požadovaný konektor. Dvojitým kliknutím na konektor se zruší všechna spojení s tímto konektorem.

2 Hardwarová verze TIMS

Hardware verze TIMS (Telecommunication Instructional Modeling System) je vlastně kompletní laboratorní prostředí pro studenty kurzů telekomunikací, zpracování signálů a bezdrátových sítí. Jediným potřebným dodatečným zařízením je osciloskop. Už od svého založení v roce 1971 poskytuje TIMS studentům telekomunikací a elektrotechniky praktickou zkušenost se skutečným modelovacím systémem telekomunikační teorie a techniky. Tento systém je navržen způsobem, aby ho bylo možné neustále rozšiřovat a aktualizovat tak, aby implementoval nejnovější vývojové trendy v digitálních a analogových modulacích a v kódování. TIMS modeluje matematické rovnice, které reprezentují elektrické signály, nebo modeluje blokové diagramy reprezentující telekomunikační systémy. Úkolem TIMS je praktickým způsobem ozřejmit koncept telekomunikačních teorií.

2.1 Popis TIMS-301

V současné době má škola zakoupenou verzi TIMS-301, která obsahuje základní systémovou jednotku a rozšiřující zásuvné moduly skupiny A, B, C, D viz [3] a [4]. Verzi TIMS-301C, která obsahuje i ovládání přes PC, škola momentálně nedisponuje. Tato verze by umožňovala nejen ovládání TIMS přes PC, ale i tvorbu projektů pro net*TIMS a jejich dálkové ovládání přes internet a LAN. Podrobněji se této vlastnosti budu věnovat v samostatné kapitole. Verze TIMS-301 je zobrazena na obrázku obr. 2.1.



Obr. 2.1: Základní systémová jednotka TIMS-301

Jak je patrné z obrázku 2.1, TIMS je zařízení typu dvojité rack. To znamená, že v horní polovině se nacházejí volitelné moduly (maximálně 12) a v dolní polovině se nacházejí moduly pevné společně se zdrojem napájení. Pokud bychom potřebovali z nějakého důvodu rozšířit počet zapojených volitelných modulů, lze tak učinit připojením přídatného 12-ti slotového racku, který je zobrazen na obrázku 2.2. Připojuje se pomocí konektoru, který se zasune do slotu základní systémové jednotky. Přídatný 12-ti slotový rack je přes přípojný konektor i napájen a lze přímo do něj zapojit i volitelný modul, takže se nesníží počet modulových pozic v základní systémové jednotce.

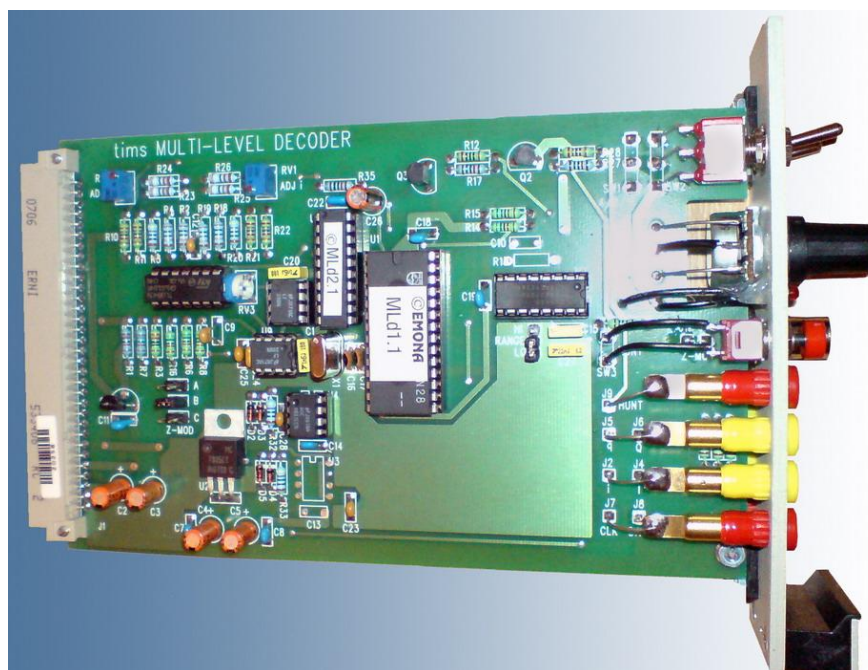


Obr. 2.2: Rozšiřující 12-ti slotový rack s přípojným konektorem pro TIMS-301

2.2 Zásuvné moduly

Moduly jsou vlastně jednoduché elektrické obvody (viz obr. 2.3), které fungují jako základní stavební bloky. Každý modul má specifickou funkci. Existují 4 kategorie funkcí, které může modul zastávat:

- | | | |
|--|---|---------------------------------|
| 1. Generace signálu | – | osciloskopy atd. |
| 2. Zpracování signálu | – | násobičky, filtry atd. |
| 3. Měření signálu | – | čítač frekvence |
| 4. Zpracování digitálního signálu | – | vyžaduje rozšířenou sadu modulů |



Obr. 2.3: Příklad modulu

Na předním panelu modulu se nacházejí 4 mm široké konektory, přičemž na levé straně jsou vstupy a na pravé výstupy. Vstupy mají vysokou impedanci $56\text{k}\Omega$ a výstupy mají nízkou impedanci typicky 330Ω . Toto je záměrné a má to za následek to, že signálové spojení může být vytvořeno nebo zrušeno bez toho, aby se změnila amplituda signálu na výstupu modulu. V žádném modulu nemůže být vytvořen signál, který by poškodil jiný modul. Výstupy mohou být dokonce zkratované nebo propojené bez toho, aby se nějak poškodily. Konektory jsou barevně odlišeny podle druhu signálu. Žlutě jsou označeny analogové signály (4V špičková hodnota napětí), červenou jsou označeny digitální signály (úroveň TTL od 0 do 5Voltů), zeleně je označeno společné nebo systémové uzemnění. Jednotlivé moduly jsou napájeny po připojení do racku.

Dále se na předním panelu modulu nacházejí ovládací prvky, přepínače a otočné regulátory. Úmyslně nejsou na žádném proměnném ovládacím prvku vyznačeny žádné kalibrační značky. Toto je dáno filozofií TIMS: Studenti nastavují a upravují hodnoty sledováním a měřením signálů a tím získají porozumění, cit a nadhled nad činností telekomunikačních procesů.

Moduly se zasouvají do horního racku do jedné z 12 pozic. Připojení nebo odpojení modulu může probíhat i za provozu zařízení a není tedy nutné zařízení při výměně modulu vypnout. Moduly nejsou v pozicích ničím blokovány a proto je nutné při vypořádání vývodů modul přidržet.

2.2.1 Pevné moduly na TIMS-301

- **Buffer Amplifiers** – obsahuje dva nezávislé zesilovače s proměnným ziskem
- **Frequency Counter** – osmi místný čítač frekvence a událostí
- **Headphone Amplifier** and 3kHz LPF – obsahuje zesilovač pro sluchátka nebo reproduktory a dále obsahuje nezávislou dolní propust, která může být zapnuta před zesilovačem
- **Master Signals** – pět analogových a digitálních signálů v rozpětí 2 kHz až 100 kHz
- **Scope Display Selector** – povoluje zobrazit 2 z maximálně 4 různých signálů najednou
- **Trunks Panel** – poskytuje vstupy a výstupy pro signály posílané z/do dalších TIMS systémů
- **Variable DC** – stabilní bipolární zdroj stejnosměrného napětí

2.2.2 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny A

Jedná se o tzv. TIMS-301 BASIC SYSTEM a obsahuje 13 zásuvných modulů ze základní sady.

- **Adder** – sčítačka dvou signálů s možností individuálního zesílení
- **Audio Oscillator** – laditelný sinusový zdroj s nízkým zkreslením o frekvencích 0,5 – 10 kHz
- **Dual Analog Switch** – přepínač analogových signálů s řízením digitálním signálem
- **Multiplier** – násobička dvou analogových signálů
- **Phase Shifter** – hrubé a jemné posouvání fáze analogového signálu
- **Quadrature Phase Splitter** – vstupní analogové signály rozdělí o 90 stupňů
- **Pseudorandom Sequence Generator** – generátor pseudonáhodných analogových i digitálních signálů
- **Tuneable Low Pass Filter** – nastavitelná dolní propust pro analogové signály
- **Twin Pulse Generator** – dvojitý pulzní generátor, přivedení kladné hrany na vstup CLOCK má za následek kladný pulz na výstupu
- **Utilities** – 4 nezávislé funkční bloky: komparátor, půlvlnný usměrňovač, Dioda s dolní propustí, dolní propust
- **Voltage Controlled Oscillator** – napětím řízený oscilátor pracující v režimu VCO s analogovým vstupním napětím nebo FSK generátor s digitálním vstupem.
- **60kHz Low Pass Filter** – eliptická dolní propust s mezním kmitočtem 60 kHz
- **Quadrature Utilities** – 3 nezávislé funkční bloky: 2 nezávislé násobičky a nezávislá sčítačka

2.2.3 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny B

V tomto případě jde o tzv. EVAL-16 SET a obsahuje 16 zásuvných modulů z rozšířené sady. Rozšířená sada zvětšuje rozsah základní sady a dále prohlubuje její možnosti. Konkrétně přidává 4 moduly ze základní sady a 12 modulů ze sady rozšířené.

Přídavné moduly ze základní sady (detaily jsou vysvětleny výše):

- **Phase Shifter**
- **Sequence Generator**
- **Tuneable LPF**
- **VCO**

Přídavné moduly z rozšířené sady:

- **Decision Maker** – umocnění a vyrovnaní šumem porušeného vstupního digitálního signálu a následná reprodukce čistého digitálního signálu
- **Error Counting Utilities** – dva bloky XOR pro porovnávání digitálních signálů a MKO pro klíčování pulzního čítače, ve spojení s jiným TIMS modulem se používá pro uskutečnění měření BER
- **Line-Code Encoder** – datový tok úrovně TTL je souběžně zakódován do 8 linkových kódů (PCM průběh) a 1 předkódovaného duobinárního kódu
- **Line-Code Decoder** – signály generované modulem LINE-CODE ENCODER jsou v tomto modulu dekodovány a je zde opět vytvořen datový tok úrovně TTL.
- **Noise Generator** – širokopásmový zdroj šumu s 12-ti stupňovým výstupním amplitudovým útlumovým článkem (0dB až +22dB po kroku 2dB)
- **TRMS Volt Meter** – širokopásmový voltmetr s velkým LED displejem a DC výstupem s vyrovnávací pamětí
- **100kHz Channel Filters** – tři 100kHz kanály zahrnující filtry pásmovou propust, dolní propust a přímé propojení
- **PCM Encoder** – DAC, který vytváří sériové data TTL úrovně a PCM formátu. Při paralelním spojení dvou těchto modulů je vytvořen TDM systém.
- **PCM Decoder** – DAC, který přijímá sériové digitální data z PCM ENCODER modulu
- **Bit Clock Regeneration** – 4 nezávislé funkční bloky pro obnovení taktovací frekvence libovolně generovaného linkového kódu
- **M-Level Encoder** – kontinuální tok datových bitů TTL úrovně je seskupován do n-tic (kde $n = 2, 3, 4$). Tyto n-tice jsou kódovány tak, aby vytvořily víceúrovňový signál v základním pásmu q a i . Je možno vytvořit 6 různých kódovacích formátů pro tvorbu signálů (QAM, 8-QAM, 16-QAM, 4-PSK, 8-PSK & 16-PSK)
- **M-Level Decoder** – signál z modulu M-LEVEL ENCODER je navzorkován a dekodován do samostatných n-tic a poslán na výstup jako kontinuální sériový datový tok. Je možno dekodovat 7 různých formátů: 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 4-PSK, 8-PSK & 16-PSK a BPSK (pomocí speciálního přepínače)

2.2.4 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny C

Jedná se o sadu TIMS-CDMA Spread Spectrum Module Option, která přidává 3 rozšířené moduly pro experimenty s DSSS a CDMA:

- **Digital Utilities** – modul poskytuje 6 nezávislých děliček, digitální invertor a logický výstup HIGH
- **Multi Sequences Source** – 4 nezávislé funkční bloky: 2 pseudošumové sekvenční generátory s nastavitelnou délkou sekvence, 2 XOR funkce s analogovými a digitálními výstupními úrovněmi pro realizování funkce modulo-2
- **CDMA Decoder** – 4 oddělené funkční bloky používané pro realizování různých DSSS a CDMA přijímacích struktur.

2.2.5 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny D

Jedná se o sadu TIMS-FHSS Frequency Hop Module Option, která přidává 4 rozšířené moduly pro experimenty s FHSS :

- **Integrate & Dump** – Blok digitálního proměnného zpoždění pro vyrovnávání fáze taktovacího kmitočtu s datovým tokem a dále blok vzorkovacího a paměťového obvodu s integrátorem. Dále lze provádět PWM modulaci.
- **Multi Sequences Source**
- **2 x Frequency Hop Synthesizer** – frekvenční syntetizér se sinusovým výstupem o frekvenci 100kHz až 240kHz

2.2.6 Volitelné zásuvné moduly pro TIMS-301 skupiny E, F, G

Tyto sady modulů nemá v současné době škola zakoupené.

- **TIMS-AdvFO Advanced Fiber Optics Option** – 8 rozšiřujících modulů pro demonstraci základních principů vláknových optických spojů
- **TIMS-Trunks Option** – síť pro propojení více TIMS-301/C systémů v laboratoři
- **Circuit Experimenter** – Spojovací pole pro vytváření pokusných obvodů a jejich následné bezpečné připojení k TIMS modulům. Obsahuje 16 digitálních a analogových vstupů a výstupů.

3 net*TIMS

Verze net*TIMS stojí na rozhraní mezi hardwarovou a softwarovou verzí. Zjednodušeně řečeno se dá říct, že jde o softwarem ovládaný hardware. Jak již bylo zmíněno výše, pro tento produkt je potřeba hardwarová verze TIMS-301C, kterou v současné době škola zakoupení nemá. net*TIMS dovoluje učitelům nastavit libovolný hardwarový TIMS experiment v laboratoři a umožňuje studentům vzdálený přístup k tomuto experimentu. net*TIMS funguje na stejném principu jako TIMS-301, to znamená, že studenti nastavují veškeré hardwarové parametry vzdáleně. Zásadní rozdíl oproti TIMS-301 je v tom, že moduly pro net*TIMS nemají na předních panelech otočné regulátory nebo přepínače. Jsou zasunuty do standardní systémové jednotky TIMS-301 a propojeny s net*TIMS serverem. Server se připojuje do LAN/internetu přes ethernetový port. Moduly jsou nastavovány kompletně přes GUI na počítači. Tento počítač se může nacházet v lokální síti nebo kdekoli na internetu. Každý student má přidělenou unikátní relaci experimentu a ovládá experiment přes kontrolní panel ve svém prohlížeči internetu. Je důležité si uvědomit, že studenti pracující s net*TIMS manipulují de facto se skutečným hardwarem a zobrazují skutečné elektrické signály.

K přihlášení do aplikace je potřeba prohlížeč podporující technologii Java. Po zadání adresy experimentu je zobrazeno Javové okno které odpovídá specifickému nastavení net*TIMS experimentu. Student může současně využívat i jiné studijní materiály poskytnuté učitelem. Dále může přepínat, přemostňovat a vkládat hardwarové moduly. Záleží to pouze na nastavení, které vytvoří učitel.

K jednomu net*TIMS experimentu může zároveň přistupovat více studentů z různých míst. Toto se umožněno pomocí víceuživatelského prostředí net*TIMS serveru. Veškerá aktivita studentů může být sledována pomocí záznamu studentských aktivit.

3.1 Vytváření net*TIMS experimentu

Vytvoření experimentu probíhá obvykle ve třech jednoduchých krocích:

1. Sestavení experimentu v softwarovém prostředí TutorTIMS nebo net*TIMS editoru a jeho následné uložení s příponou .tut (např. pokus.tut).
2. Soubor pokus.tut je učitelem nahrán do net*TIMS přes zabezpečený správcovský účet. Právě s tímto souborem manipulují studenti při používání net*TIMS
3. Zbývá pouze fyzicky vložit zásuvné moduly do systému net*TIMS a pospojovat je stejným způsobem jako v bodě 1.

Nyní je již vše připraveno k přihlášení se a vykonání experimentu.

3.2 Seznámení s nejdůležitějšími termíny net*TIMS

V této části budou osvětleny důležité součásti systému net*TIMS, které jsou důležité pro správné pochopení funkce a pro používání systému net*TIMS.

- **net*TIMS obrazovka s experimentem** – GUI podobné programu TutorTIMS
- **net*TIMS moduly** – jedná se o speciální moduly přizpůsobené pro net*TIMS, které mají veškeré ovládací prvky nahrazeny ekvivalentními elektrickými obvody, které lze ovládat na dálku. Dále moduly obsahují kontrolní rozhraní pro komunikaci se net*TIMS serverem
- **net*TIMS rack** – rack s volitelnými zásuvnými moduly kompatibilní s net*TIMS
- **net*TIMS server** – Webový server sloužící pro net*TIMS obrazovku s experimentem a pro osciloskop a multiplexor. Dále ovládá přístup studentů a administrátorské funkce.
- **net*TIMS klient** – softwarová aplikace používaná studenty k zobrazení net*TIMS obrazovky s experimentem. Tato aplikace spolupracuje s net*TIMS serverem a přímo s net*TIMS experimentem. Aplikace může být jak ve formě samostatného programu, tak integrovaná do webového prohlížeče. V obou případech se jedná o aplikaci, která je napsaná v programovacím jazyku JAVA.
- **JRE** – nezbytná aplikační součást pro správnou funkci net*TIMS, která slouží ke spouštění JAVA aplikací a appletů.
- **vstupy osciloskopu pro net*TIMS server** – jedná celkem o 20 vstupů pro osciloskop, z toho 8 pro kanál A, 8 pro kanál B a 4 pro trigger.
- **Serverové indikátory** – pole LED diod, které indikují aktivitu uživatelů a systémovou diagnostiku v reálném čase.
- **Čítač pulzů** – implementace měření BER v net*TIMS
- **Serverové rozhraní** – deska plošných spojů poskytující kontrolní a komunikační rozhraní pro interakci mezi net*TIMS serverem a net*TIMS moduly

3.3 Připojení k net*TIMS experimentu

Pro přihlášení k net*TIMS experimentu se používá webový prohlížeč s adresou www.webtims.com. Na této stránce jsou informace o net*TIMS, dále se zde vyskytují i některé experimenty online a informace o TutorTIMS. Právě z těchto stránek se stahuje samostatná javová aplikace s experimentem pojmenovaná např. `netTimsClient.jar`. Jsou zde uvedeny i přihlašovací údaje, IP adresa net*TIMS serveru a návod ke konkrétnímu experimentu.

Pro spuštění aplikace je nutné připojení k internetu. Staženou javovou aplikaci spustíme a zadáme údaje získané z webových stránek. Nejprve IP adresu net*TIMS serveru a poté jméno a heslo. Následně je zobrazeno již důvěrně známé okno s net*TIMS experimentem, které se ovládá stejným způsobem jako by šlo o aplikaci TutorTIMS.

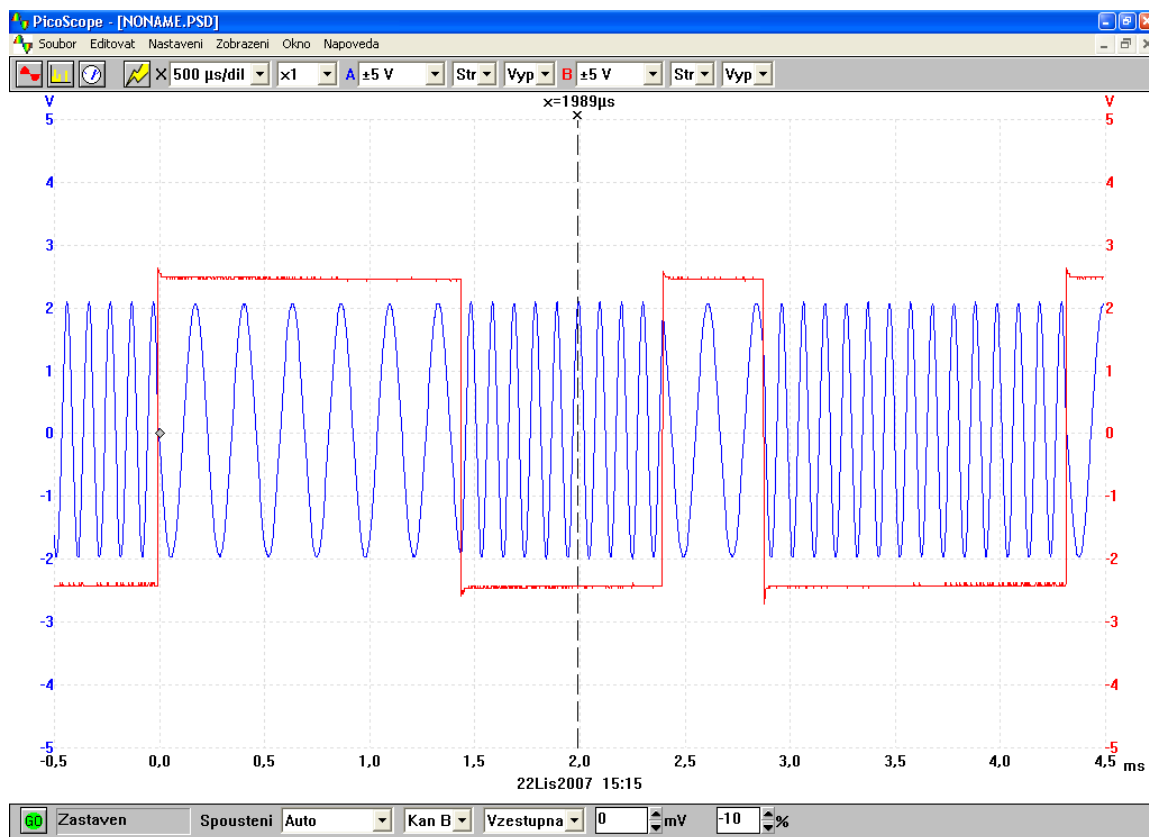
4 PicoScope

V laboratoři PA-429 je k systému TIMS-301 přes paralelní port připojen na PC nainstalovaný softwarový osciloskop. V budoucnu zde bude i druhý hardwarový osciloskop, který umožní simultánní měření dvou úloh najednou.

4.1 Popis a základní funkce programu PicoScope

PicoScope je softwarová aplikace, která nám dovoluje zobrazit na počítači průběhy signálů např. ze systému TIMS-301. Její výhoda spočívá např. v přenosnosti, ceně a zabíraném prostoru. Při použití ve spolupráci s *Pico Technology* Osciloskopem se stává z PicoScope výkonný nástroj pro nahrávání, zpracovávání a zobrazování širokého spektra měření. V PicoScope jsou čtyři zobrazovací režimy, které mohou být použity zvlášť, jako kompozitní náhled, či jako libovolná kombinace. Zobrazovací režimy jsou:

- I. Osciloskop
- II. Spektrální analyzátor
- III. Měřicí přístroj
- IV. XY osciloskop



Obr. 4.1: GUI programu PicoScope

Ovládání programu PicoScope (viz obr. 4.1) probíhá přes hlavní menu, horní ovládací prvky a dolní ovládací prvky. Prostřední část je určena pro zobrazování signálů. Přes hlavní menu je ovládán kompletně celý program a dolní a horní ovládací prvky slouží hlavně k zrychlení a zpohodlnění ovládání. Ovládací prvky a jejich funkce se změny vždy podle toho, jaký režim zobrazení osciloskopu je zvolen.

Horní ovládací prvky (zleva):

- **osciloskop** – zobrazení signálu s časovou osou
- **spektrální analyzátor** – zobrazení spektra signálu
- **měření** – měří např. velikost stejnosměrného (střídavého) napětí signálu atd.
- **automatické nastavení rozsahu** – automaticky nastaví časovou i napěťovou (frekvenční) osu včetně spouštění (trigger)
- **nastavení kanálu A** – zapnutí/vypnutí kanálu + vertikální rozlišení (napětí, úroveň), střídavé nebo stejnosměrné napětí, možnost přesunu signálu na obrazovce
- **nastavení kanálu B** – dtto

Dolní ovládací prvky (zleva):

- **Tlačítko zastavení a spuštění obnovování signálu**
- **nastavení módu spouštění (trigger)** – Auto, opakující se, žádné atd.
- **volba kanálu triggeru** – kanál A, kanál B, externí trigger
- **řízení reakce spouštění na vzestupnou nebo sestupnou hranu**
- **nastavení prahu reakce triggeru**
- **nastavení zpoždění triggeru**

5 Laboratorní úloha - Amplitudová modulace v systému TIMS

Cílem této laboratorní úlohy je modelování amplitudově modulovaného signálu (AM) v hardwarové i softwarové verzi prostředí TIMS, nastavení a měření hloubky modulace různými způsoby.

5.1 Teoretický úvod

V historii byla bezdrátová komunikace uskutečňována telegrafii. Vyzařovaný signál byl přerušovaná rádiová vlna (on/off). Později byla amplituda této vlny modulována hlasovým signálem na rozdíl od on/off telegrafního klíčování. Samotná zpráva byla získána z obálky přijatého signálu. Rádiová vlna byla pojmenována jako nosná, protože vlastně nesla s sebou hlasový signál. Tento proces a signál byl pojmenován amplitudová modulace nebo zkráceně AM. V souvislosti s radiovou komunikací ke konci 20. století několik modulovaných signálů obsahovalo na nosné frekvenci významnou složku. Navzdory faktu, že nosný signál nebyl vyzařován, existovala potřeba tohoto signálu jak na straně vysílače (kde je modulovaný signál vygenerován), tak i na straně přijímače. A tento nosný signál zůstal nezbytným k modulačnímu a demodulačnímu procesu. Používání termínu *nosný signál* se zachovalo až do současnosti. Nynější radiové vysílací přenosy mají nosnou. Tím, že je přenášen i nosný signál, je návrh demodulátoru v přijímači velmi zjednodušen a lze tím ušetřit značné prostředky. Nejčastější metoda generování AM signálu používá modulovaný zesilovač třídy C. Tento zesilovač není dostupný v základní sadě modulů pro TIMS a je velmi dobře zdokumentovaný v učebnicích. Je to metoda generování na vysoké vrstvě (úrovni), kde AM signál je generován přímo na výkonové úrovni pro vyzařování. Stále se tato metoda používá ve vysílačích po celém světě a zahrnuje úrovně od několik desítek W po mnoho MW. Bohužel některé učebnice, které popisují činnost zesilovače třídy C, inklinují k asociování vlastností této specifické metody generace s metodami AM nebo AM generátory obecně. Toto dává vzniknout mnoha špatným představám o problematice, z nichž je nejhorší ta, že je nemožné generovat AM signál s hloubkou modulace překračující 100% bez velkého vysokofrekvenčního zkreslení. V následujícím experimentu uvidíme, že není problém generovat AM signál s hloubkou modulace překračující 100% bez vysokofrekvenčního zkreslení. Následuje vlastní definice AM a hloubky modulace.

Amplitudová modulace (dále jen AM) je jednoduchá spojitá analogová modulace, která se používá např. v komunikačních technologiích pro přenos informací přes radiové vlny. Amplituda nosného signálu se mění v závislosti na změně modulačního signálu. Frekvence a fáze se u AM nemění.

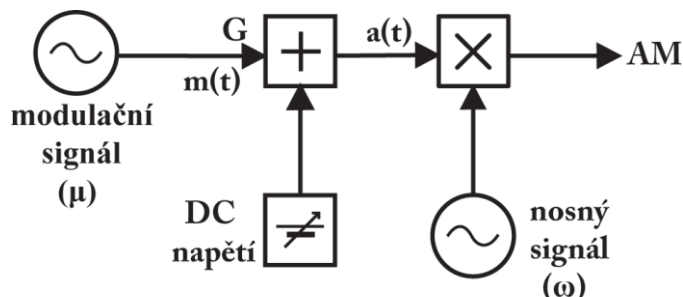
Amplitudově modulovaný signál je definovaný podle rovnice (5-1) [1]:

$$AM = E (1 + m \cdot \cos \mu t) \cos \omega t \quad (5-1)$$

Rovnice (5-1) se dá přepsat na tvar rovnice (5-2) [1] :

$$AM = A(1 + m \cdot \cos \mu t) B \cos \omega t, \quad (5-2)$$

kde E je amplituda AM signálu a odpovídá součinu $A \cdot B$ z rovnice (5-2). Dále m je konstanta odpovídající hloubce modulace a nabývá obvykle hodnot menší než 1. Pro vyjádření hloubky modulace v procentech je potřeba konstantu vynásobit stem. Úhlové kmitočty μ (modulační) a ω (nosný) jsou úhlové frekvence v radiánech za sekundu. μ je nízká frekvence vlastní zprávy dosahující hodnot v rozsahu 300 Hz až 3 kHz a ω je nosná frekvence v TMS zpravidla 100 kHz. Pro potřeby blokového zpracování AM modulace si rozdělíme rovnici (5-2) na 2 termy. Nízkofrekvenční term $A(1 + m \cdot \cos \mu t)$ si pojmenujeme $a(t)$ a vysokofrekvenční term $B \cos \omega t$ jako $c(t)$. Blokové schéma generátoru AM modulace lze vidět na obrázku 5.1.



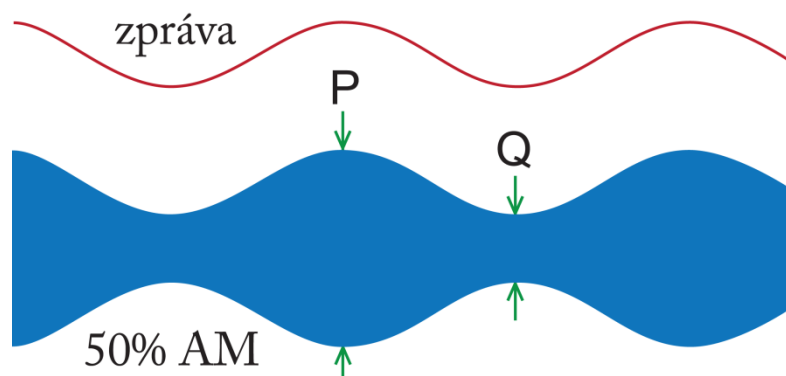
Obr. 5.1: Blokové schéma generace AM signálu

5.1.1 Hloubka modulace

O 100% amplitudové modulaci hovoříme, pokud je splněna podmínka, že $m=1$. Dále bude vysvětleno, jak se k splnění této podmínky dojde. Je vyžadováno, aby amplituda stejnosměrné DC složky (viz obr. 5.1) byla rovna amplitudě střídavé AC složky. Jejich poměr je tedy roven jedné. Na výstupu modulu ADDER je také tento poměr, což zapříčiní nastavení hloubky modulace na velikost jedna. Pokud se zaměříme na nastavení poměru na jedna, tak již není nutné znát absolutní velikost amplitudy A (viz rovnice (5-2)).

Měření hloubky modulace může probíhat např. několika způsoby:

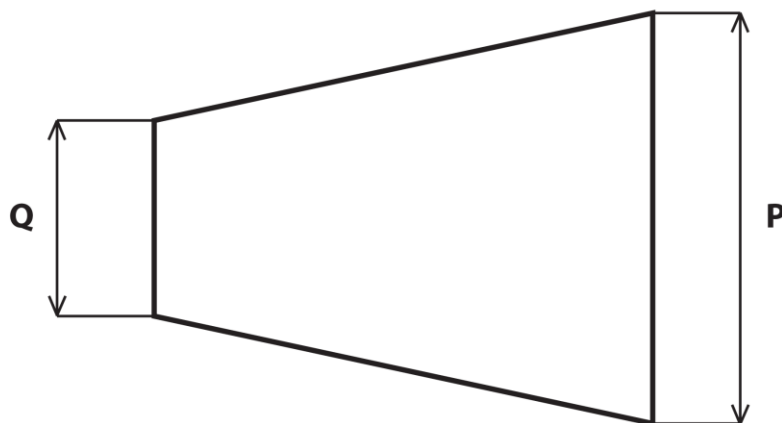
- První způsob je změřit m přímo ze zobrazeného výstupu osciloskopu např. pomocí kurzorů. Jak ukazuje obrázek 5.2. Vlastní výpočet pak probíhá pomocí rovnice (5-3) [1]. P , Q jsou definovány v obrázku 5.2.



Obr. 5.2: AM modulace s $m = 0,5$ (50%)

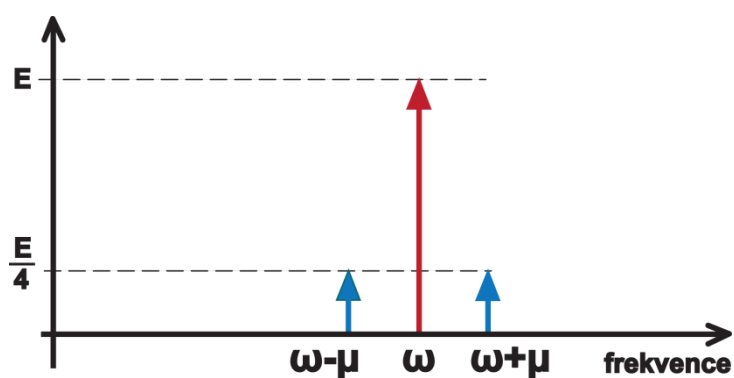
$$m = \frac{P - Q}{P + Q} \quad (5-3)$$

- Rovnice (5-3) pro výpočet hloubky modulace pak lze aplikovat i na tzv. lichoběžníkové zobrazení, kdy na osciloskop v režimu XY přivedeme na vstup signál jak modulační tak modulovaný.



Obr. 5.3: Výpočet hloubky AM modulace pomocí XY lichoběžníku

- Třetí způsob je vypočítat m ze spektra pomocí rovnice (5-4). Levá strana rovnice reprezentuje velikost postranní složky. Z obrázku 5.4 vyplývá, že postranní složky AM, odvozené ze zprávy o frekvenci μ rad/s, se nacházejí na obou stranách nosné složky ve vzdálenosti μ rad/s. Definujme si E jako velikost nosné složky a E_s jako velikost postranní složky.



Obr. 5.4: Spektrum AM modulace s $m = 0,5$ (50%)

$$E_s = \frac{1}{2} mE \quad (5-4)$$

$$\frac{E}{4} = \frac{1}{2}mE \quad (5-5)$$

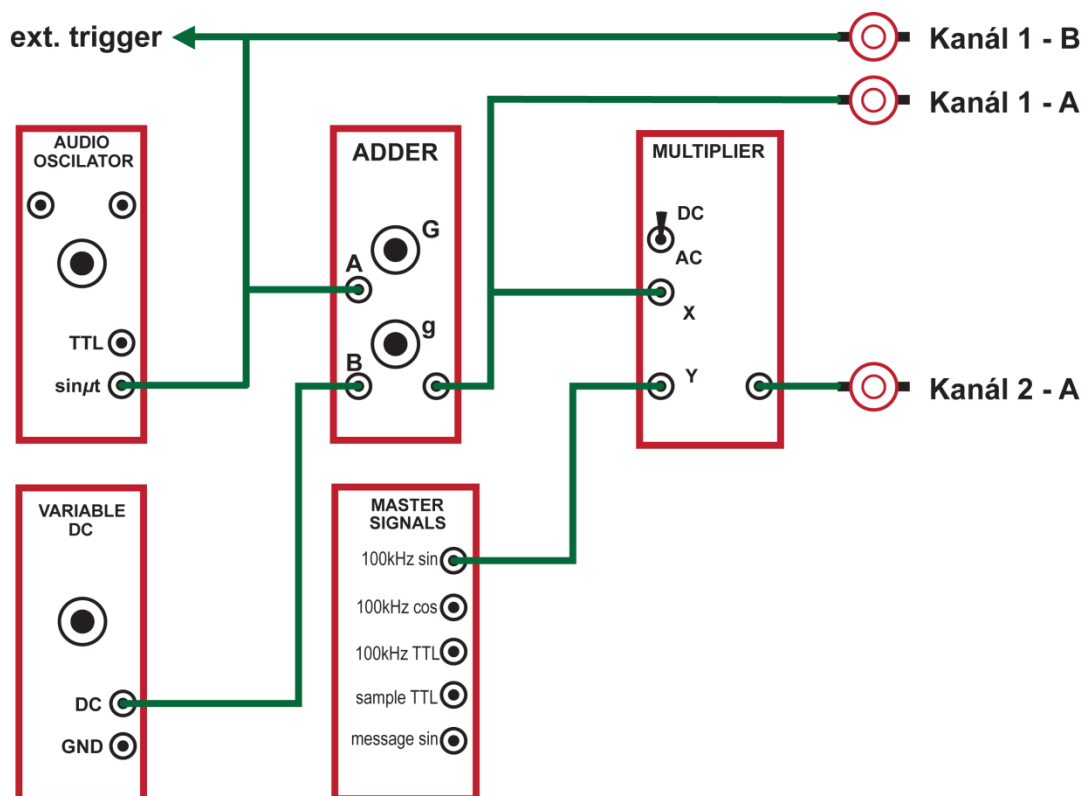
Rovnice (5-5) vznikla obecným dosazením hodnot z obrázku 5.4. Vyplývá z ní, že m je v tomto případě rovno $m = 0,5$.

Pokud bychom měli jiný než harmonický průběh signálu zprávy, tak při $m \leq 1$ bude obálka AM signálu vždy věrnou kopií zprávy. Pokud generujeme AM pomocí sestavení na obr. 5.1, tak hlavní požadavek je, aby amplituda střídavé složky nepřekročila velikost amplitudy stejnosměrné složky (měřeno na výstupu modulu ADDER).

5.2 Zadání úlohy

- 1) Seznámení s hardwarovou verzí TIMS-301.
- 2) Realizace zapojení.
- 3) Ověření teoretických předpokladů.
- 4) Proměnná hloubka modulace.
- 5) Počítání hloubky modulace z průběhů a spektra
- 6) Seznámení se softwarovou verzí TutorTIMS – Advanced
- 7) Simulace bodu 1 zadání v softwarové verzi TIMS a případná úprava zadání pro simulaci v programu TutorTIMS – Advanced.
- 8) Simulace bodu 4 zadání v softwarové verzi TIMS.
- 9) Zobrazení lichoběžníku v XY zobrazení.

5.3 Pokyny k měření



Obr. 5.5: Schéma zapojení

Jak již bylo popsáno v teoretickém úvodu, rozdělíme si signály na nízkofrekvenční term $a(t)$ a nosný (vysokofrekvenční) term $c(t)$.

- **$a(t)$** – Tento term se skládá z DC a AC části (viz rovnice (5-2)) a obě části jsou přivedeny na vstup modulu ADDER. DC část získáme z modulu VARIABLE DC a bude nastavena na amplitudu A na výstupu modulu ADDER. AC část přichází z modulu AUDIO OSCILLATOR a bude nastavena na amplitudu $A.m$ na výstupu modulu ADDER.
- **$c(t)$** – 100 kHz nosná frekvence pochází z pevného modulu MASTER SIGNALS

- ad 1) Zaměřte se obzvláště na moduly SCOPE SELECTOR, FREQUENCY COUNTER, VARIABLE DC, MULTIPLIER a naučte se s nimi pracovat. Všechny moduly jsou podrobně popsány v příloženém manuálu.
- ad 2) Realizujte schéma zapojení podle obr. 5.5 s výjimkou bloku MULTIPLIER. Ten vynechejte. Připojte Kanál 1- A i Kanál 1- B pomocí bloku SCOPE SELECTOR. Pro nastavení vyžadované frekvence (1 kHz) modulu AUDIO OSCILLATOR použijte modul FREQUENCY COUNTER. Přepněte SCOPE SELECTOR do polohy CH1-B a prozkoumejte zprávu, kterou vytváří modul AUDIO OSCILLATOR. Nastavte zobrazení osciloskopu tak, abyste měli na obrazovce dvě až tři periody sinusového signálu. Tento signál osciloskopu přesuňte do horní poloviny obrazovky.

nastavení $a(t)$:

Oba otočné regulátory (G , g) na modulu ADDER otočte úplně proti směru hodinových ručiček. Tímto je odstraněna DC i AC složka zprávy na výstupu modulu ADDER. Nastavte osciloskop tak, aby reagoval na DC a zvolte vhodnou citlivost. Přepněte SCOPE SELECTOR do polohy CH1-A a zobrazený signál posuňte do dolní poloviny obrazovky. Tuto polohu si zaznamenejte. Na modulu VARIABLE DC nastavte hodnotu napětí kolem -2 V. Modul ADDER si přehodí polaritu napětí. Pomocí regulátoru g na modulu ADDER nastavte amplitudu signálu. Zatímco na kanálu CH1-A není žádný signál, otočte regulátorem g po směru hodinových ručiček. Tímto se nastavuje DC složka signálu na vhodnou velikost (cca 1 Volt). Nyní máme nastavenou stejnosměrnou složku zprávy na známou hodnotu. Zbývá nastavit AC složku na stejnou úroveň, abychom docílili poměr rovný jedné.

Sledujte výstup osciloskopu na kanálu 1 – A a zároveň nastavte na modulu ADDER regulátor G do vhodné polohy. Na DC výstupu se objeví superponovaný sinusový průběh zprávy. Zisk regulátoru G nastavujte do té doby, dokud se spodní část sinusového průběhu nedotkne zaznamenané polohy. Nyní je nastavena DC i AC složka na stejnou úroveň a to znamená, že jsme nastavili hloubku modulace na $m=1$.

Nastavení $c(t)$:

Připojte výstup modulu ADDER na vstup X modulu MULTIPLIER. Přepínač na modulu MULTIPLIER nastavte do polohy DC a na druhý vstup Y připojte nosný signál. Jako nosný signál je použit 100 kHz analogový signál z modulu MASTER SIGNALS.

Zobrazení signálu s hloubkou modulace 100%:

Zbývá pouze propojit výstup z modulu MULTIPLIER do kanálu 2 – A. Nastavte osciloskop tak, aby byl signál na obrazovce zřetelný. Vhodným způsobem si tento 100% AM signál zaznamenejte a uveďte ho v technické zprávě.

- ad 3) Změřte špičkovou hodnotu amplitudy výsledného AM signálu při $m = 1$ a potvrďte, že změřená velikost odpovídá teoretickým předpokladům. Nezapomeňte přitom počítat s tzv. k faktorem modulu MULTIPLIER.
- ad 4) Výsledkem bodu 2 je analogově modulovaný signál s hloubkou modulace 1 v dolní polovině a signál zprávy v horní polovině obrazovky osciloskopu. Všimněte si tvaru obálky AM signálu. Zjistíte, že tato obálka přesně kopíruje tvar průběhu signálu zprávy. Již dříve bylo zmíněno, že signál obsahuje i stejnosměrnou složku, ačkoliv se na toto často zapomíná. Přesuňte horní signál zprávy dolů tak, že vlastně vytvoříte signálem zprávy obálku signálu AM.

poznámka: Každý modul zapříčiní malou změnu fáze. Pokud je fázový posun mezi AM signálem a signálem zprávy příliš velký, je možno použít modul PHASE SHIFTER ke korekci tohoto posuvu.

Nyní prozkoumejte účinek proměnného parametru m . Parametr m se proměňuje kontrolérem G na modulu ADDER. Alternativně je možné také použít oba regulátory modulu ADDER, ale hloubka modulace je považována za úměrnou amplitudě AC složky. Ověřte a graficky doložte následující tvrzení:

- $m = 1$ – obálka AM signálu je stejného tvaru jako signál zprávy
- $m < 1$ – obálka AM signálu je stejného tvaru jako signál zprávy
- $m > 1$ – obálka nekopíruje tvar zprávy a její tvar je dán teorií

- ad 5) Pomocí rovnic (5-3) a (5-4) spočítejte velikosti hloubky modulace pro 3 signály z bodu 4. jak pro průběh s časovou osou, tak i s osou frekvenční (ve spektru). Pro měření jednotlivých úrovní můžete použít kurzory.
- ad 6) Podrobně prostudujte ovládání a funkce programu TutorTIMS – Advanced. Naučte se vkládat moduly, propojovat je a operovat se softwarovým osciloskopem.
- ad 7) Sestavte zapojení z bodu 2 v softwarové verzi TIMS. Nastavte AM tak, aby výsledný signál měl hloubku modulace $m = 1$ (použijte např. $G = 0,5$; $g = 0,5$). Signál vhodně zobrazte na osciloskopu a společně se zapojením uveďte v technické zprávě.
- ad 8) Bod 4 proveďte v softwarové verzi TIMS. Výsledkem opět budou 3 obrázky pro různé velikosti hloubky modulace.
- ad 9) Na kanál A osciloskopu přiveďte výstup z modulu ADDER. Na kanál B osciloskopu připojte výstup z modulu MULTIPLIER. Osciloskop přepněte do XY zobrazení a vhodně nastavte signál na obrazovce. Zaznamenejte do technické zprávy opět již dobře známé případy hloubky modulace.

5.4 Kontrolní otázky

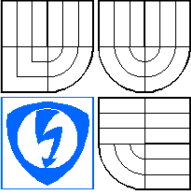
- I. K čemu slouží k faktor modulu MULTIPLIER v hardwarové verzi TIMS-301?
- II. Jaké jsou výhody lichoběžníkového zobrazení AM signálu?

5.5 Použitá literatura

- [1] HOOPER, Tim. *Communication System Modelling with TIMS : Volume A1 - Fundamental Analog Experiments*. 4.9. aktualiz. vyd. Austrálie : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 186 s.
- [2] ŠEBESTA, Vladimír. *Teorie sdělování*. 2. aktualiz. vyd. Brno : VUTIUUM, 2001. 92 s.

-
- [3] ALFRED, Breznik , MANFREDINI, Carlo. TIMS-301 USER MANUAL & BASIC MODULES. 1.6. vyd. Sydney (Austrálie) : EMONA INSTRUMENTS PTY LTD, 2004. 31 s.
- [4] ALFRED, Breznik, MANFREDINI, Carlo. *TIMS ADVANCED MODULES and TIMS SPECIAL APPLICATION MODULES*. 3.6. vyd. Sydney (Austrálie) : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 138 s.
- [5] *Instructor`s Manual to accompany Communication Systems Modelling with TIMS*. 1.1 : Volumes A1, A2, D1, & D2. přeprac. vyd. Sydney (Austrálie) : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 77 s.

5.6 Vzorový protokol

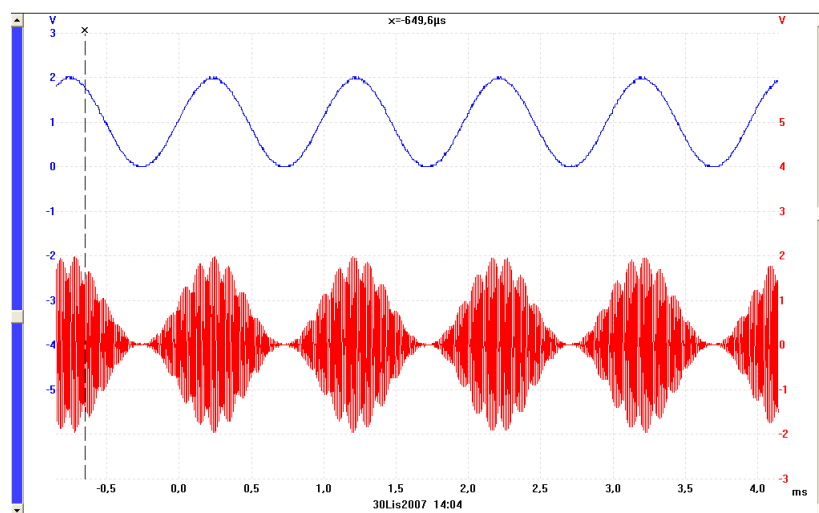
	VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ		Předmět	
			Jméno Bc. Josef Jeřábek	
			Ročník	Studijní skupina
			Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval		Hodnocení		Dne
Číslo úlohy	Název úlohy Amplitudová modulace v systému TIMS			

5.6.1 Zadání:

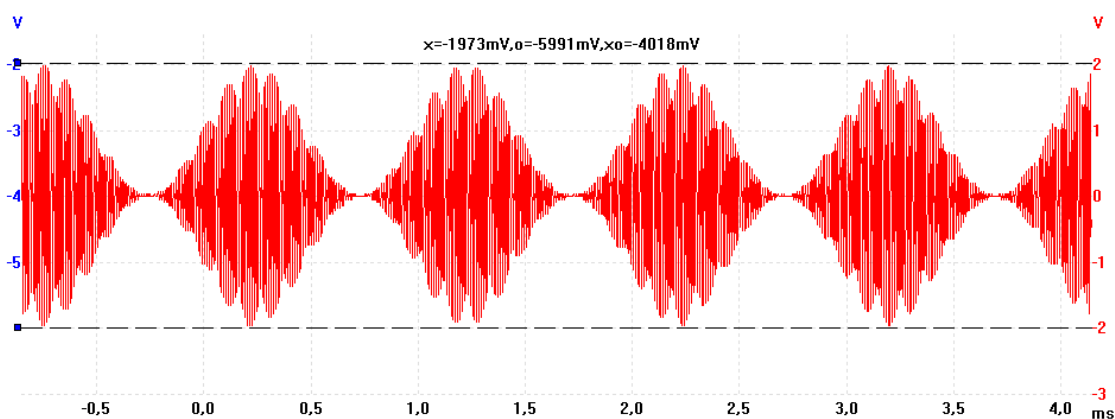
- 1) Seznámení s hardwarovou verzí TIMS-301.
- 2) Realizace zapojení.
- 3) Ověření teoretických předpokladů.
- 4) Proměnná hloubka modulace.
- 5) Počítání hloubky modulace z průběhů a spektra
- 6) Seznámení se softwarovou verzí TutorTIMS – Advanced
- 7) Simulace bodu 1 zadání v softwarové verzi TIMS a případná úprava zadání pro simulaci v programu TutorTIMS – Advanced.
- 8) Simulace bodu 4 zadání v softwarové verzi TIMS.
- 9) Zobrazení lichoběžníku v XY zobrazení.

5.6.2 Vypracování:

- ad 1) Podrobně jsem se seznámil s hardwarovou verzí TIMS-301 a prostudoval přiložené manuály se zaměřením se na moduly SCOPE SELECTOR, FREQUENCY COUNTER, VARIABLE DC, MULTIPLIER.
- ad 2) Realizoval jsem zapojení podle schématu zapojení v teoretickém rozboru. Dále jsem zobrazil AM signál s hloubkou modulace $m = 1$ viz obr. 5.6.

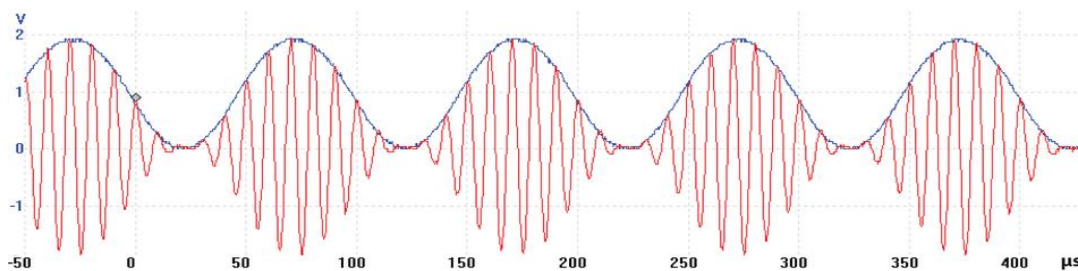
Obr. 5.6: Signál zprávy (horní) a AM signál s hloubkou modulace $m = 1$.

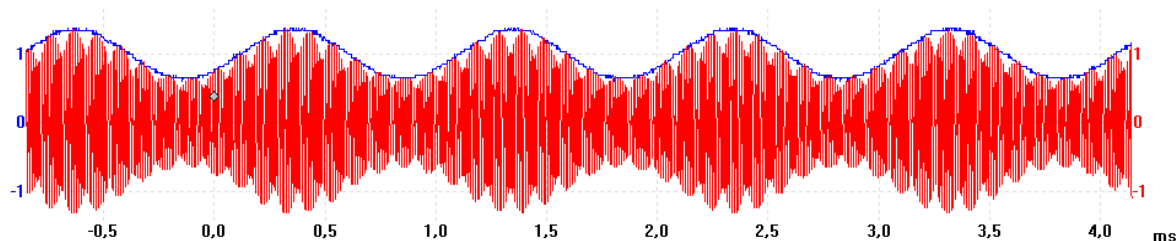
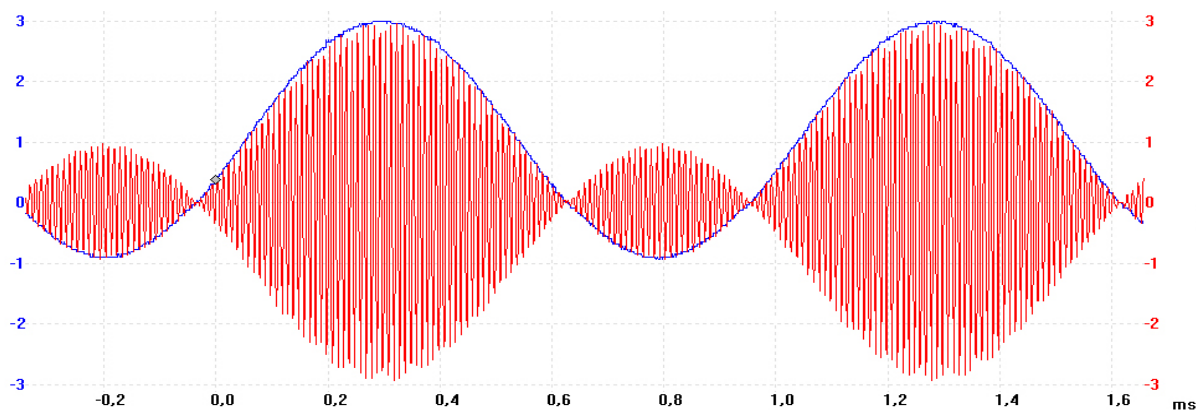
- ad 3) Pomocí kurzorů programu PicoScope jsem určil špičkovou amplitudu signálu na 4V (viz obr. 5.7). Za předpokladu, že úroveň signálu v modulu MULTIPLIER je tzv. k-faktorem snížena na polovinu, je ve skutečnosti úroveň signálu dvojnásobná tedy 8V. Ostatní úrovně zjistíme např. z manuálu k TIMS, nebo pomocí měřicího modulu TRUE RMS VOLTMETER. Do modulu MULTIPLIER vstupují 2 signály (4V pk-pk nosný, 2V pk-pk z modulu ADDER) a zde se násobí na hodnotu 8V a následně se vynásobí i s tzv. k-faktorem který činí $\frac{1}{2}$.



Obr. 5.7: Určení výsledné špičkové amplitudy signálu.

- ad 4) Signál zprávy jsem posunul tak, aby tvořil obálku AM signálu (viz obr. 5.8 – 5.10). Následují obrázky pro jednotlivé velikosti hloubky modulace m .

Obr. 5.8: AM signál s hloubkou modulace $m = 1$.

Obr. 5.9: AM signál s hloubkou modulace $m < 1$.Obr. 5.10: AM signál s hloubkou modulace $m > 1$.

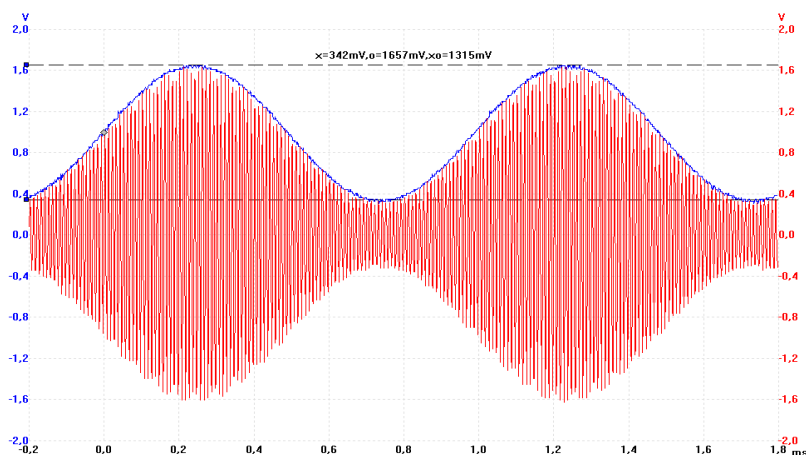
ad 5) Výpočet parametru m pro 3 signály v čase a ve spektru. Pro signál ve spektru jsem zvolil mód zobrazení *průměrování*, který dostatečně odfiltruje šum a dále bylo nutné zvětšit μ na alespoň 5 kHz, aby byl schopen osciloskop signály rozlišit.

a) $m = 1$... signál je zobrazen na obrázku 5.8. Dosazením do rovnice (5-3) dostaneme:
b)

$$m = \frac{P - Q}{P + Q} = \frac{(4 - 0)V}{(4 + 0)V} = 1 \rightarrow 100\% \quad (5-6)$$

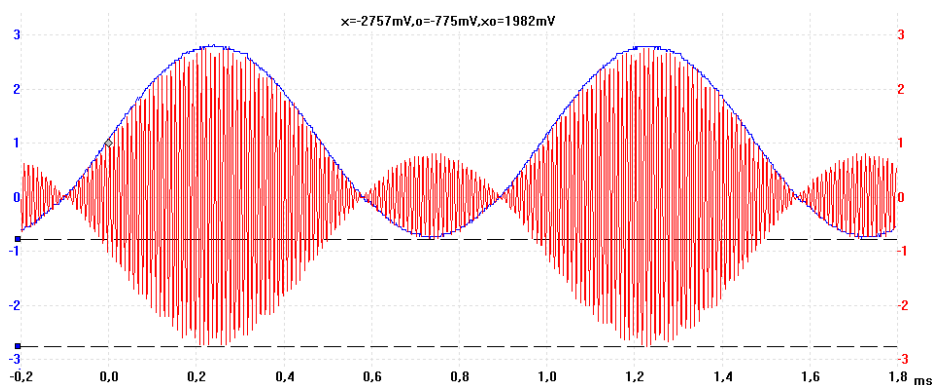
c) $m < 1$... signal je zobrazen i s příslušnými kurzory na obrázku 5.9. Je třeba si uvědomit, že velikosti špičkových amplitud se rovnají dvojnásobku toho, co nám ukázali kurzory.

$$m = \frac{P - Q}{P + Q} = \frac{(3314 - 684)mV}{(3314 + 684)mV} = 0,6578 \rightarrow 68,78\% \quad (5-7)$$

Obr. 5.11: AM signál pro výpočet hloubky modulace ($m < 1$).

- d) $m > 1$... signál je zobrazen i s příslušnými kurzory na obr. 5.12. Pro případ $m > 1$ počítáme s Q jako se zápornou hodnotou.

$$m = \frac{P - Q}{P + Q} = \frac{(5514 - (-1550))mV}{(5514 + (-1550))mV} = 1,7820 \rightarrow 178,20\% \quad (5-8)$$

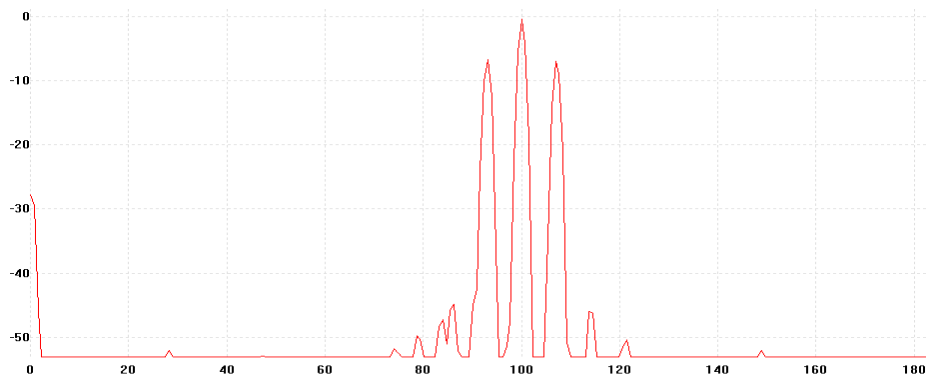
Obr. 5.12: AM signál pro výpočet hloubky modulace ($m > 1$).

- e) $m = 1$... signál je zobrazen na obrázku 5.13. Rovnici (5-4) si upravíme přímo do tvaru, ze kterého vypočítáme m (Všechny hodnoty, které jsme naměřili v dB míře musíme přepočítat na napětí pomocí známého vzorce (5-9)). Hodnoty odečtené z obrázku jsou -0,5dB pro nosnou a -6,5dB pro postranní pásma.

$$dB = 20 \cdot \log(V) \rightarrow V = 10^{\left(\frac{dB}{20}\right)} \quad (5-9)$$

$$E_s = \frac{1}{2} m E \Rightarrow m = \frac{2 \cdot E_s}{E} \quad (5-10)$$

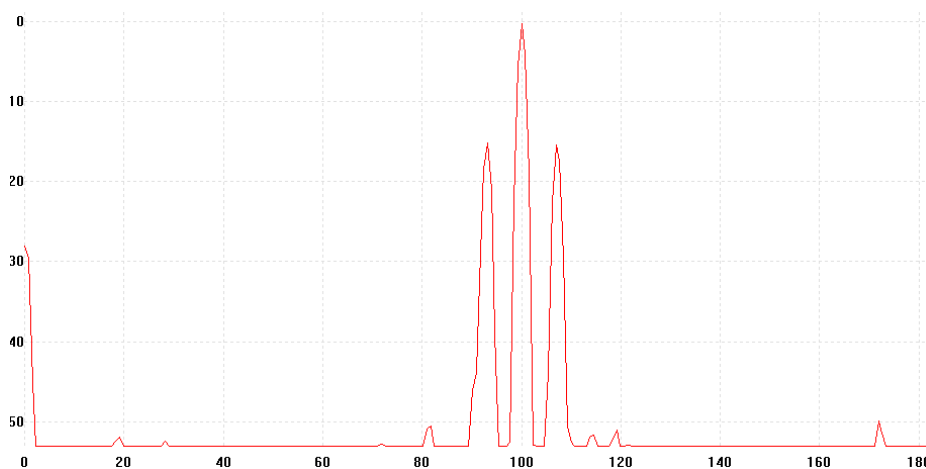
$$m = \frac{2.E_s}{E} = \frac{(2.0,473)V}{(0,944)V} = 1,002 \Rightarrow 100,2\% \quad (5-11)$$



Obr. 5.13: Spektrum AM signálu pro výpočet hloubky modulace ($m = 1$).

- f) $m < 1$... signál je zobrazen na obrázku 5.14. Do rovnice (5-10) dosadíme odečtené a převedené hodnoty (odečtené hodnoty: -0,5dB nosná a -15dB postranní pásmo).

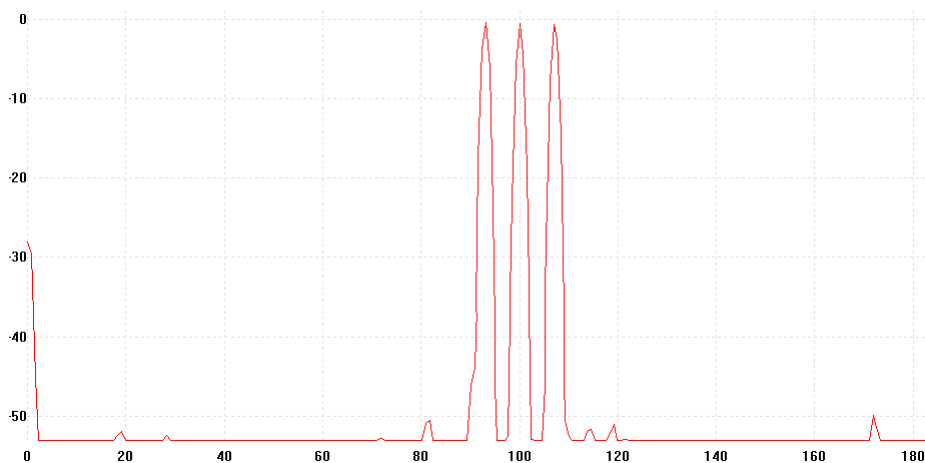
$$m = \frac{2.E_s}{E} = \frac{(2.0,178)V}{(0,944)V} = 0,3557 \Rightarrow 35,57\% \quad (5-12)$$



Obr. 5.14: Spektrum AM signálu pro výpočet hloubky modulace ($m < 1$).

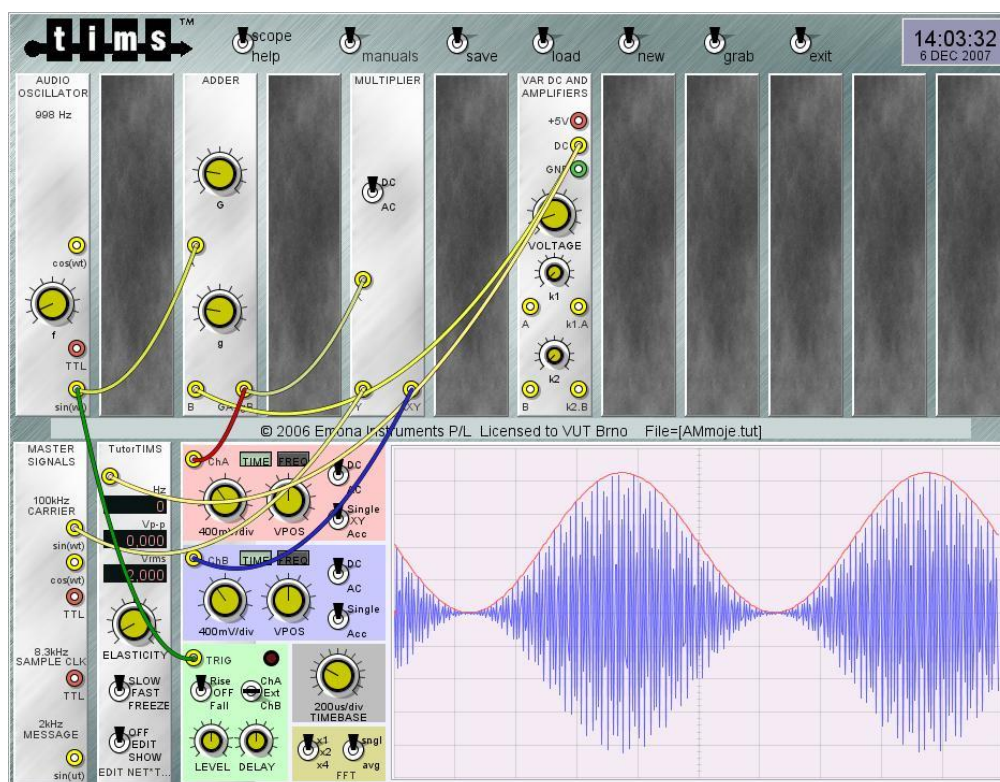
- g) $m > 1$... signál je zobrazen na obrázku 5.15. Do rovnice (5-10) dosadíme odečtené a převedené hodnoty (odečtené hodnoty: -0,5dB nosná a -0,5dB postranní pásmo).

$$m = \frac{2.E_s}{E} = \frac{(2.0,944)V}{(0,944)V} = 2 \Rightarrow 200\% \quad (5-13)$$



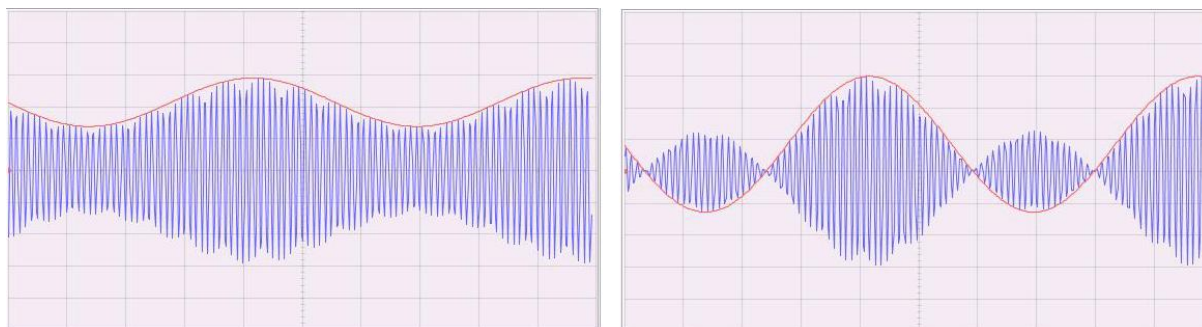
Obr. 5.15: Spektrum AM signálu pro výpočet hloubky modulace ($m > 1$).

- ad 6) Seznámil jsem se se softwarovým TutorTIMS – Advanced a prostudoval ovládání a funkce programu.
- ad 7) Sestavil jsem zapojení z bodu 2 v softwarové verzi TIMS. Pro zobrazení zapojení i s průběhem signálu jsem použil funkci GRAB programu.



Obr. 5.16: Zapojení modulů a průběh výsledného AM signálu s hloubkou modulace $m = 1$.

ad 8) Hloubka modulace $m = 1$ je již zobrazena na obrázku 5.16. Na následujícím obrázku je zobrazena hloubka modulace menší (větší) než 1.

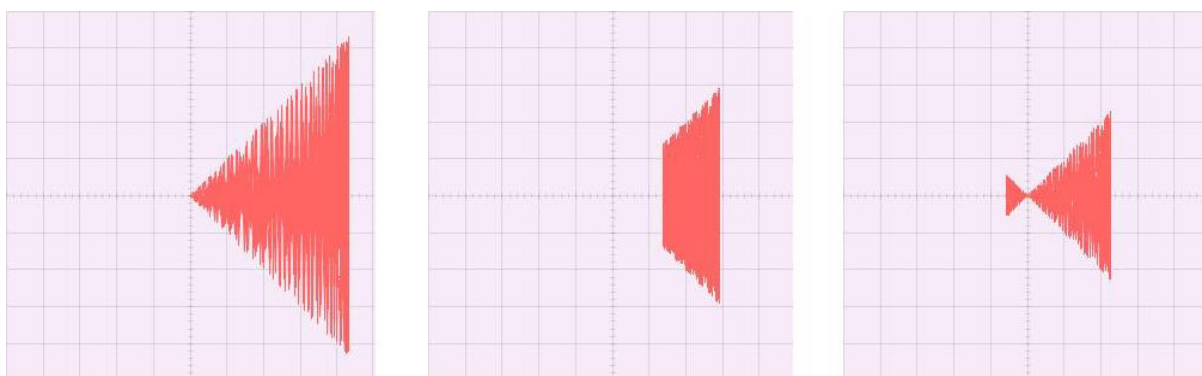


a)

b)

Obr. 5.17: TutorTIMS - AM signál s hloubkou modulace: a) menší než 1, b) větší než 1.

ad 9) Při hloubce modulace $m = 1$ se lichoběžník změní na trojúhelník. Následující obrázky jsou pro hloubku modulace menší (větší, rovno) než 1.



a)

b)

c)

Obr. 5.18: TutorTIMS - AM signál v XY zobrazení s hloubkou modulace: a) rovno 1, b) menší než 1, c) větší než 1.

5.6.3 Odpovědi na kontrolní otázky:

I. K čemu slouží k faktor modulu MULTIPLIER v hardwarové verzi TMS-301?

Modul MULTIPLIER má dva analogové vstupy, které jsou násobeny dohromady. Výsledný produkt je zredukován k -faktorem ($1/2$) proto, aby se standardními vstupními úrovněmi nedošlo k přetížení pozdějších stupňů TMS.

II. Jaké jsou výhody lichoběžníkového zobrazení AM signálu?

Pokud máme jiný průběh signálu než sinusový, tak se hůře určuje hloubka modulace. Pomocí lichoběžníku to lze snadno i např. pro řečový signál.

5.6.4 Závěr:

V této laboratorní úloze jsem se seznámil s hardwarovou verzí TIMS-301 i se softwarovou verzí TutorTIMS–Advanced. V první části jsem realizoval zapojení hardwarové verze a provedl měření hloubky modulace. Při měření ve spektru bylo pro správné zobrazení signálu důležité nastavit μ na větší hodnotu než dle zadání, kvůli nižší rozlišovací schopnosti osciloskopu na rozsahu 195 kHz. Konkrétně z 1 kHz bylo μ nastaveno na 5 MHz. Je to provedeno kvůli tomu, aby se zobrazily postranní složky překryté nosnou složkou. Následoval výpočet hloubky modulace z časových průběhů i ze spektra signálu. Výsledky jsou uvedeny vždy u konkrétního bodu. Dále jsem se seznámil se softwarovou verzí TutorTIMS–Advanced a provedl simulaci stejného zapojení jako v prvním případě. Proměřil jsem hloubku modulace i při tzv. lichoběžníkovém zobrazení. Výsledky měření jsou opět uvedeny u konkrétních bodů zadání. Nakonec jsem odpovídal na kontrolní otázky.

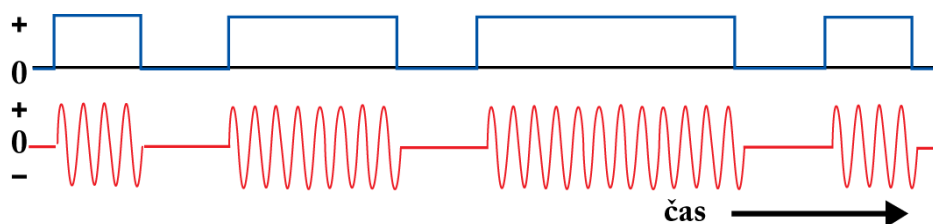
6 Laboratorní úloha – Amplitudové klíčování

Cílem této laboratorní úlohy je modelování amplitudově klíčovaného signálu (ASK) různými metodami v hardwarové i softwarové verzi prostředí TIMS, demodulování obálky ASK a následné zpracování tohoto signálu do původní podoby.

6.1 Teoretický úvod

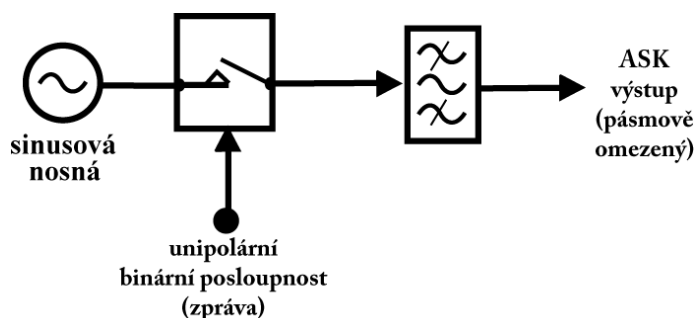
6.1.1 Generování ASK

V souvislosti s digitálními komunikacemi je Amplitudové klíčování (ASK) proces, který ze dvou a více diskretních amplitudových úrovní vytváří sinusový průběh. Počet amplitudových úrovní souvisí s tvarem digitální zprávy. Pro binární sekvenci zprávy to jsou dvě úrovně, ze kterých je jedna typicky nulová. Modulovaný průběh se proto skládá ze shluků sinusovek. Na obrázku 6.1 je ukázán binární ASK signál (spodní) společně s odpovídající binární sekvencí (horní). Ani jeden signál není pásmově omezen.



Obr. 6.1: ASK signál s odpovídající binární posloupností

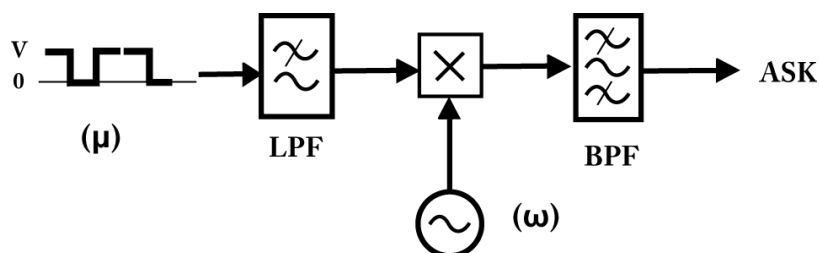
V bodech přechodu jsou ostré nespojitosti, což má za následek zbytečně široké spektrum signálu. Omezení frekvenčního pásma je zavedeno před samotným vysláním signálu. V tomto případě jsou nespojitosti zaokrouhleny. Pásmové omezení může být aplikováno na digitální zprávu nebo na samotný modulovaný signál. Datová rychlost je často volena jako poměr nosné frekvence. Toto je aplikováno na obrázku 1. Jedna z nevýhod ASK (oproti FSK a PSK) je, že nemá konstantní obálku. Tento fakt přispívá k tomu, že je obtížné zpracování ASK signálu (např. zesílení). Na druhou stranu je zde snadná demodulace s detektorem obálky. Na obrázku 6.2 je zobrazen základní ASK generátor, jehož modulace je následována ořezem pásma.



Obr. 6.2: Princip generování ASK signálu

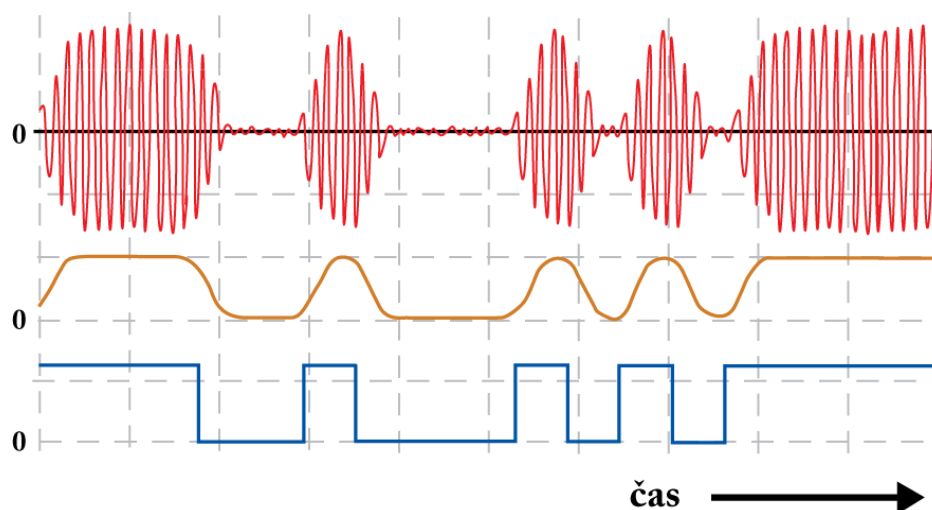
6.1.2 Úprava pásma

Jak již bylo dříve naznačeno, tak ostré nespojitosti průběhu ASK signálu (viz obr. 5.1) znamenají široké frekvenční pásmo. Toto je možné výrazně zredukovat ještě před tím, než nepřipustně vzroste počet chyb přijatých přijímačem. Redukce je provedena ořezem pásma (tvarováním pulzů) ještě před modulací nebo až ořezem ASK signálu po generaci. Obě tyto možnosti jsou zobrazeny na obrázku 6.3, který ukazuje jeden způsob generování použitý i v této laboratorní úloze.



Obr. 6.3: Ořez pásma ASK signálu dolní propustí nebo pásmovou propustí.

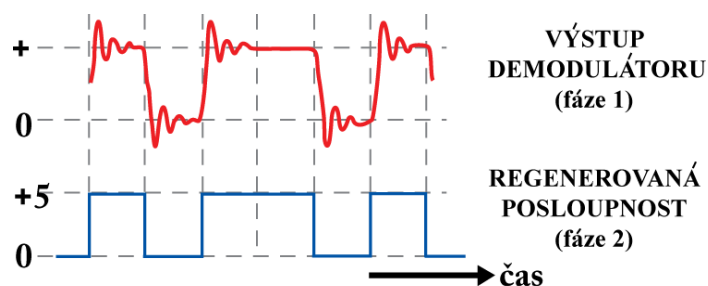
Na obrázku 6.4 jsou zobrazeny signály (pásmově omezené) přítomny v modelu z předcházejícího obrázku. Tvar signálu po pásmovém ořezu závisí na amplitudové a fázové charakteristice použitého filtru.



Obr. 6.4: zpráva (nejníže), pásmově omezený signál (ve středu), ASK signál.

6.1.3 Demodulace

Z obrázků 6.1 a 6.4 je zjevné, že ASK signál má velmi dobře rozpoznatelnou obálku. Tedy lze poměrně lehce demodulovat detektorem obálky, který má jednoduché zapojení. Lze použít i synchronní demodulátor, který ovšem vyžaduje již složitější zapojení. Ani jedna z těchto metod by nebyla schopna obnovit binární posloupnost ASK signálu s omezeným pásmem. Místo toho by jejich výstupy byly také pásmově omezené. Proto by bylo potřeba následné zpracování signálu. Demodulace je tedy dvoufázový proces. V první fázi se obnoví pásmově omezený bitový tok a ve druhé fázi se regeneruje binární bitový tok. Tyto dvě fáze jsou zobrazeny na následujícím obrázku 6.5.



Obr. 6.5: Dvě fáze demodulačního procesu.

6.2 Zadání úlohy

- 1) Generování ASK s modulem DUAL ANALOG SWITCH
- 2) Generování ASK s modulem MULTIPLIER
- 3) Demodulace obálky signálu
- 4) Synchronní demodulace
- 5) Dodatečné zpracování po demodulaci
- 6) Simulace bodu 1 až 5 zadání v softwarové verzi TIMS a případná úprava zadání pro simulaci v programu TutorTIMS – Advanced (zpracujte do bodů 6 až 10)

6.3 Pokyny k měření

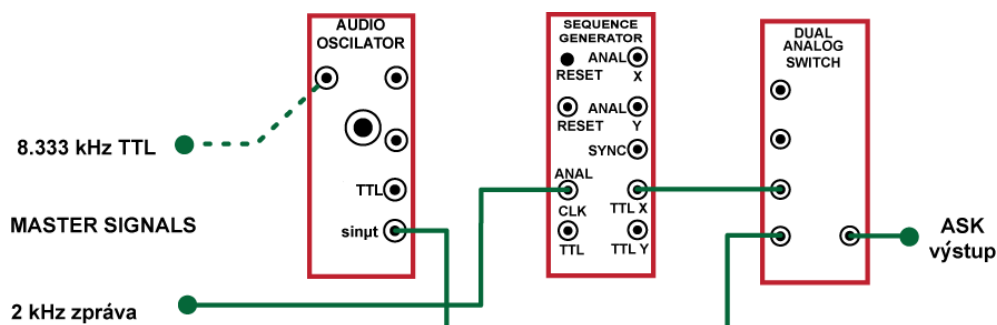
Generování ASK signálu:

Existuje mnoho metod vytváření ASK generátoru se systémem TIMS. Pro všechny z nich platí, že binární sekvenci zprávy je nejlepší získat z modulu SEQUENCE GENERATOR, který je nastavený na příslušnou rychlost. Záleží na nastavení generátoru, jestli je bitový tok pásmově omezen, nebo jestli je filtrován dolní propustí samotný ASK signál. Následují dvě možnosti generování ASK signálu:

- ad 1) Generování ASK s modulem DUAL ANALOG SWITCH

Na obrázku 6.2 v teoretickém úvodu je zobrazeno blokové schéma poměrně jednoduchého generátoru a na obrázku 6.6 je zobrazeno zapojení tohoto blokového schématu pomocí TIMS modulů. Spínač může být modelován polovinou modulu DUAL ANALOG SWITCH. Protože se jedná o analogový spínač, tak je nezbytné, aby byla frekvence nosného signálu v rozsahu frekvencí audio signálu. Např. 15 kHz z modulu VCO. TTL výstup z modulu SEQUENCE GENERATOR je připojen přímo na řídicí vstup modulu DUAL ANALOG SWITCH. Pokud chceme synchronní nosný signál se signálem zprávy, použijeme sinusový výstup z modulu AUDIO OSCILATOR jako nosnou. Pro synchronní zprávu nastavíme oscilátor blízko hodnoty 8,333 kHz (pro měření můžeme použít např. vestavěný pevný modul FREQUENCY

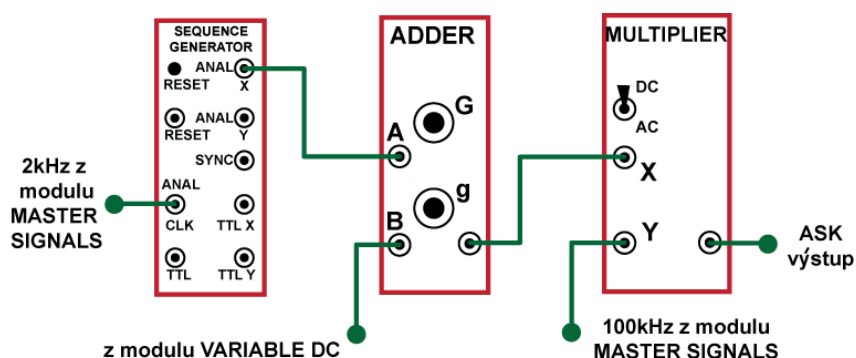
COUNTER) a uzamkneme ji pomocí 8,3 kHz SAMPLE CLOCK z modulu MASTER SIGNALS připojeného do SYNC vstupu modulu AUDIO OSCILLATOR. Pokud bychom chtěli omezené pásmo, tak to lze provést připojením filtru na výstup modulu DUAL ANALOG SWITCH. Výsledkem tohoto bodu zadání bude výstup z osciloskopu (uvedený v technické zprávě), na kterém bude jak původní posloupnost, tak i modulovaný signál. Dále signál pásmově omezený modulem TUNABLE LPF.



Obr. 6.6: Generování ASK signálu podle blokového schématu na obr. 6.2

ad 2) Generování ASK s modulem MULTIPLIER

Modul MULTIPLIER může být použit jako spínač. Nosný signál může pocházet z jakéhokoliv vhodného sinusového zdroje a může mít jakoukoliv frekvenci dostupnou na TIMS zařízení. Druhý vstup modulu MULTIPLIER musí být posloupnost zprávy. TTL a analogová posloupnost nemají vhodnou napěťovou úroveň a proto je potřebné amplitudové normování, které je implementováno v modulu ADDER, který otočí polaritu posloupnosti. Pro resetování DC úrovně je možno použít modul VARIABLE DC. Zapojení modulů generátoru je na obrázku 6.7. Výsledkem tohoto bodu zadání bude výstup z osciloskopu, kde bude původní posloupnost a modulovaný signál.



Obr. 6.7: Generování ASK signálu podle blokového schématu na obr. 6.3

Provozní frekvence tohoto modulátoru nejsou omezeny na audio rozsah a je možné použít jakýkoliv nosný signál, ovšem je nutné udržovat datové frekvence pod nosnými frekvencemi. Pokud chceme synchronní systém (tj. související frekvenci zprávy a nosného signálu), použijeme následující kombinace signálů:

- modul SEQUENCE GENERATOR bude nastaven pomocí 2 kHz MESSAGE (nebo 8,333 kHz SAMPLE CLOCK)
- dále použijeme 100 kHz CARRIER (nebo modul AUDIO OSCILLATOR zamknutý na frekvenci 8,333 kHz SAMPLE CLOCK)

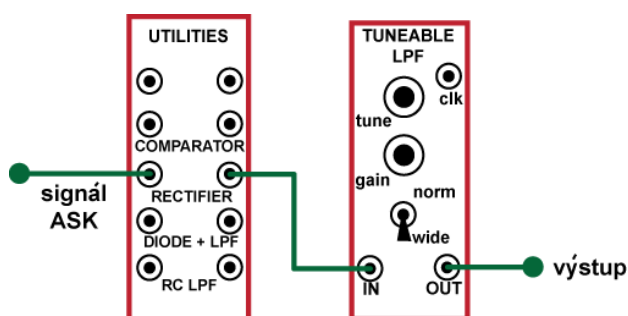
Jakákoliv jiná kombinace frekvence zprávy a nosné je možná, ale ne všechny kombinace budou generovat ASK signál. Pokud bychom chtěli omezené pásmo, tak to lze provést připojením filtru na výstup modulu MULTIPLIER.

Demodulace ASK signálu:

Následuje demodulace ASK signálu. Je užito jak asynchronní tak synchronní metody pro demodulování ASK signálu.

ad 3) Demodulace obálky signálu

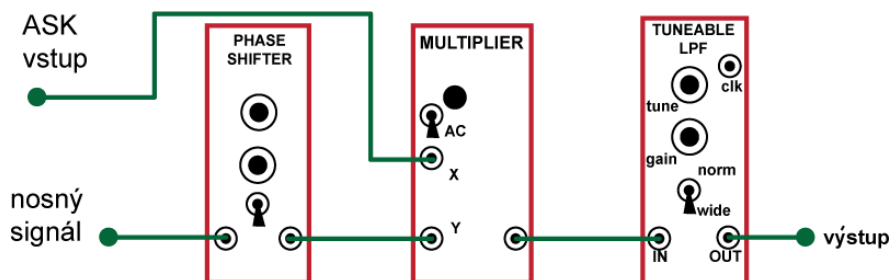
Protože máme jednoznačnou obálku signálu, tak můžeme jako první krok pro znovuzískání originální posloupnosti použít detektor obálky. K regeneraci skutečného binárního průběhu může být použito dalšího zpracovávání. Na obrázku 6.8 je model zapojení pro obnovení obálky z ASK signálu. Při použití tohoto modelu je důležité si uvědomit souvislost mezi datovou rychlostí a šířkou pásma dolní propusti. Výsledný průběh opět uveďte v technické zprávě.



Obr. 6.8: Demodulace obálky ASK signálu

ad 4) Synchronní demodulace

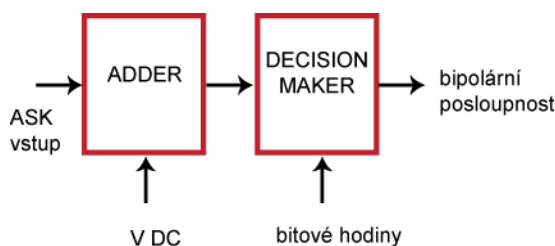
Synchronní demodulátor může být použit pro demodulaci ASK signálu a je zobrazen na obrázku 6.9. Výsledný průběh uveďte v technické zprávě.



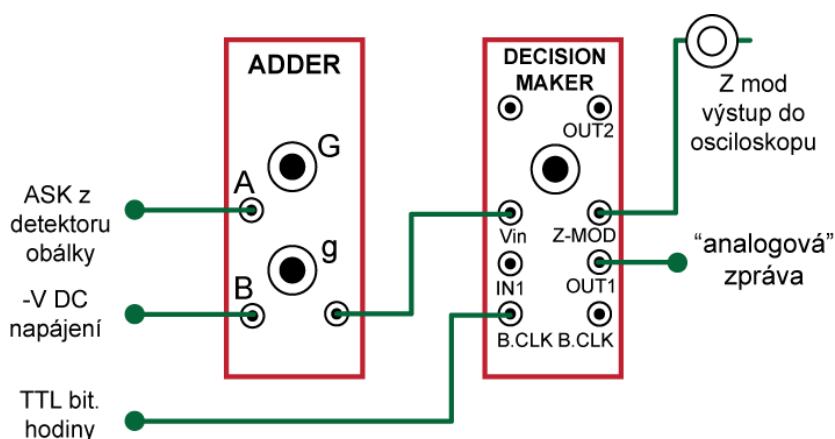
Obr. 6.9: Synchronní demodulace ASK signálu

ad 5) Dodatečné zpracování po demodulaci

Výstupem obou výše zmíněných demodulačních metod není kopie binární posloupnosti TTL signálu. Omezení pásma vytvarovalo průběh jako na obrázku 6.4. K obnově originální binární posloupnosti je potřeba rozhodující zařízení. K tomuto účelu v systému TIMS používáme modul DECISION MAKER. Následuje blokové schéma tohoto rozhodovacího procesu (viz obr. 6.10). Tento model obnoví bipolární posloupnost z regenerované obálky. Na obrázku 6.11 je zobrazen model obrázku 6.10. Výsledný průběh výstupního signálu z modulu DECISION MAKER uveďte v technické zprávě. Dále uveďte výstup z modulu ADDER.



Obr. 6.10: Blokový diagram zapojení na obrázku 6.11



Obr. 6.11: Regenerace bipolární posloupnosti

Následuje seznam důležitých kroků ke korektnímu provedení úkolu 5:

- Převod unipolárního pásmově omezeného signálu z detektoru obálky na bipolární (použitím modulu ADDER) kvůli přizpůsobení signálu přivedeného na vstup modulu DECISION MAKER.
- Nastavení přepínače SW1 na desce modulu DEC. MAKER na hodnotu NRZ-L (kvůli příjmu bipolárního signálu).
- Nastavení bodu rozhodnutí na modulu DECISION MAKER
- Výstupem bude regenerovaný průběh zprávy vycházející z analogového výstupu OUT1. Průběh je bipolární $\pm 2V$ (ne TTL). Stejný proces může být použit pro synchronní demodulátor.

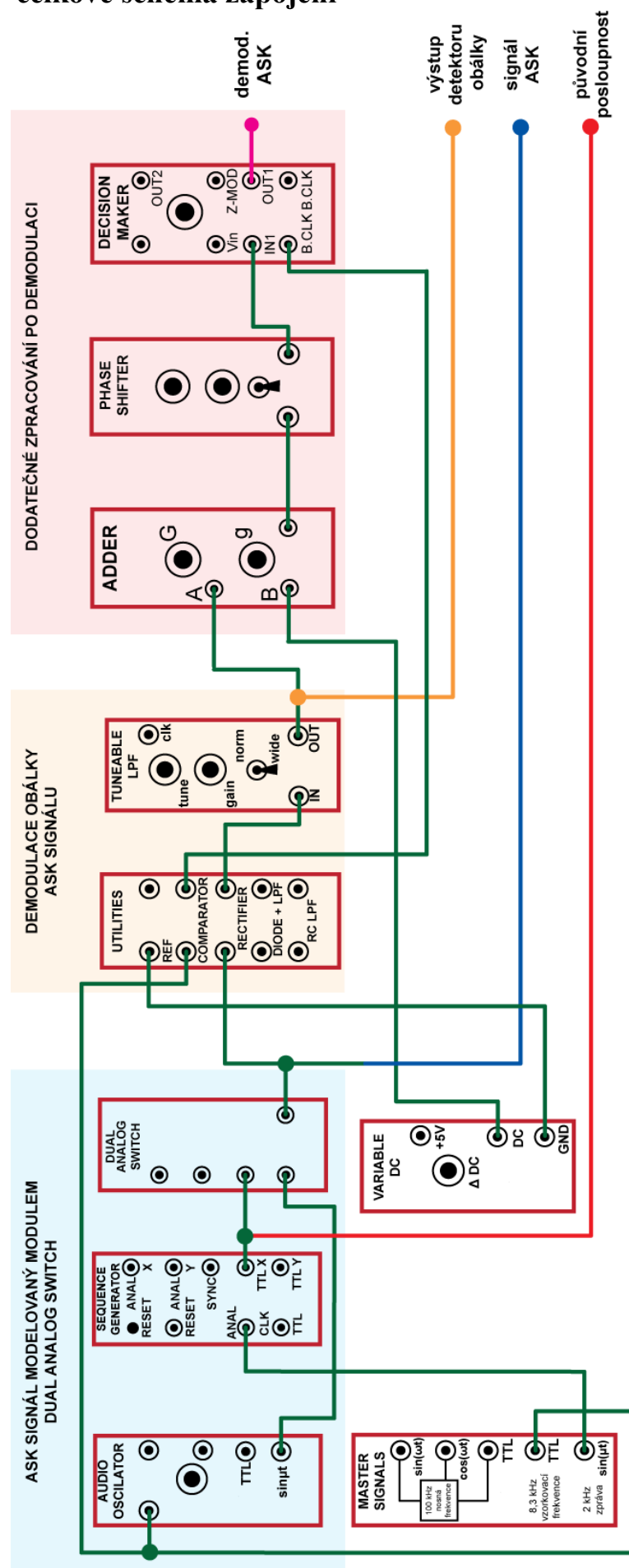
6.4 Kontrolní otázky

- I. Jaký signál je nutné přivést na vstup B.CLK modulu DECISION MAKER? Doložte graficky.
- II. Co provede se signálem RECTIFIER z modulu UTILITIES? Doložte graficky.

6.5 Použitá literatura

- [1] HOOPEER, Tim. *Communication System Modelling with TIMS : Volume D1 - Fundamental Digital Experiments*. 4.9. aktualiz. vyd. Austrálie : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 186 s.
- [2] ŠEBESTA, Vladimír. *Teorie sdělování*. 2. aktualiz. vyd. Brno : VUTUM, 2001. 92 s.
- [3] ALFRED, Breznik , MANFREDINI, Carlo. *TIMS-301 USER MANUAL & BASIC MODULES*. 1.6. vyd. Sydney (Austrálie) : EMONA INSTRUMENTS PTY LTD, 2004. 31 s.
- [4] ALFRED, Breznik, MANFREDINI, Carlo. *TIMS ADVANCED MODULES and TIMS SPECIAL APPLICATION MODULES*. 3.6. vyd. Sydney (Austrálie) : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 138 s.
- [5] *Instructor`s Manual to accompany Communication Systems Modelling with TIMS*. 1.1 : Volumes A1, A2, D1, & D2. přeprac. vyd. Sydney (Austrálie) : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 77 s.

6.6 Příloha – celkové schéma zapojení



6.7 Vzorový protokol

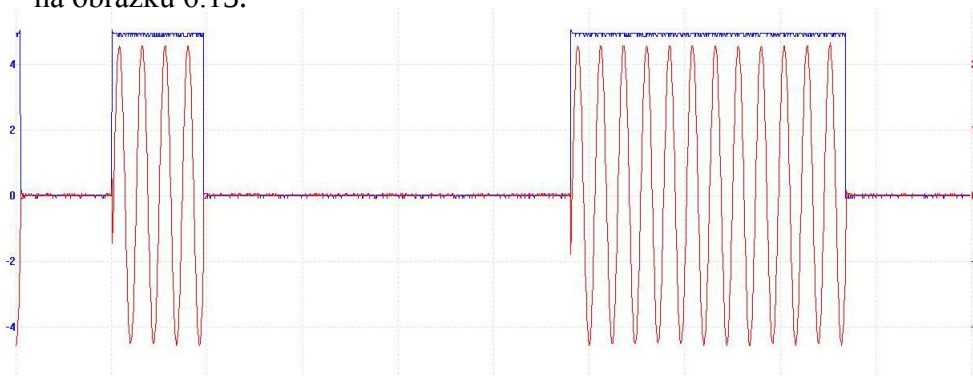
		Předmět	
		Jméno Bc. Josef Jeřábek	
		Ročník	Studijní skupina
		Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval		Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy Amplitudové klíčování		

6.7.1 Zadání:

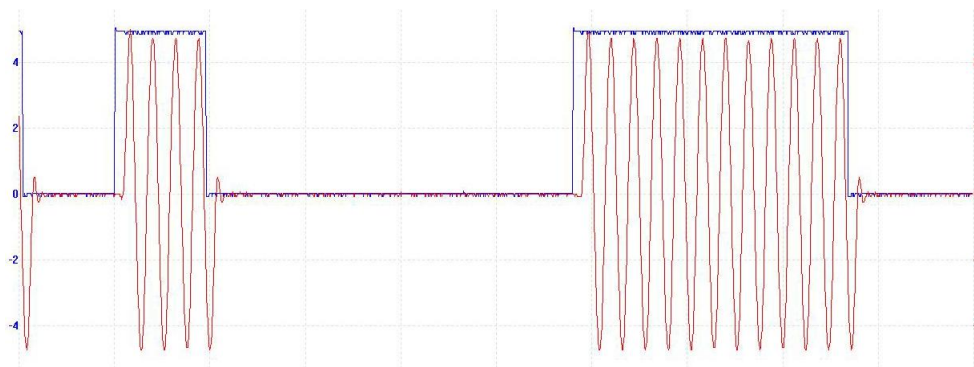
- 1) Generování ASK s modulem DUAL ANALOG SWITCH
- 2) Generování ASK s modulem MULTIPLIER
- 3) Demodulace obálky signálu
- 4) Synchronní demodulace
- 5) Dodatečné zpracování po demodulaci
- 6) Simulace bodu 1 až 5 zadání v softwarové verzi TIMS a případná úprava zadání pro simulaci v programu TutorTIMS – Advanced (zpracujte do bodů 6 až 10)

6.7.2 Vypracování:

- ad a) Sestavil jsem zapojení dle obrázku 6.6. Frekvenci zprávy jsem zvolil 2 kHz a frekvenci nosné jsem synchronizoval pomocí modulu MASTER SIGNALS a AUDIO OSCILLATOR na 8,333 kHz pomocí vestavěného čítače. Výsledný průběh je zobrazen na následujícím obrázku 6.12 (modře je původní posloupnost) a pásmově omezený průběh (s připojeným modulem TUNABLE LPF) je zobrazen na obrázku 6.13.

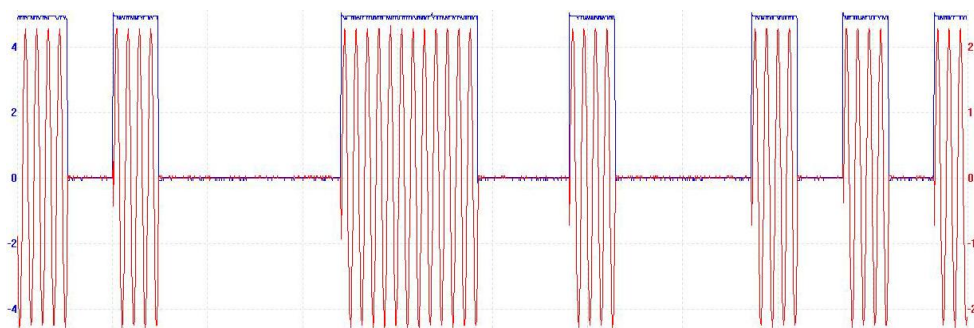


Obr. 6.12: ASK bez použití LPF modulu



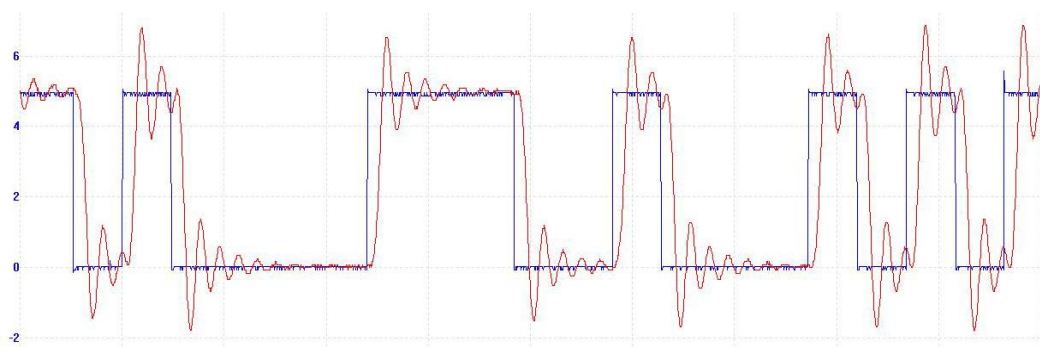
Obr. 6.13: ASK s LPF modulem

- ad 2) Po sestavení zapojení na obr. 6.7 jsem nastavil frekvenci zprávy na 2 kHz a frekvenci nosné na 100kHz. Dále bylo nutné patřičně nastavit modul ADDER pro otočení polarity posloupnosti.



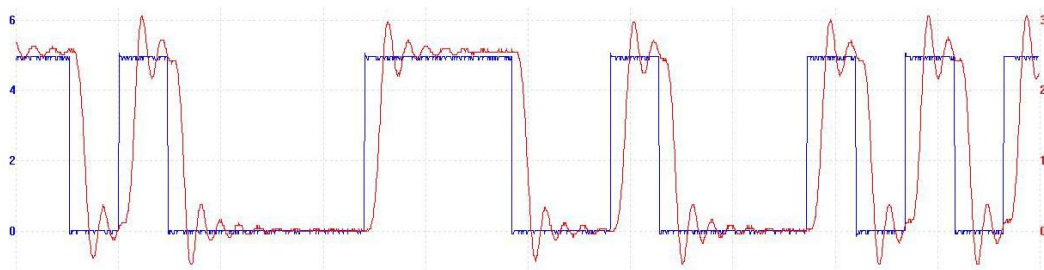
Obr. 6.14: ASK signál generovaný modulem MULTIPLIER

- ad 3) Ke stávajícímu zapojení dle obr. 6.6 jsem přidal zapojení dle obrázku 6.8. Je možné dvojí nastavení modulu TUNABLE LPF. Konkrétně lze vestavěný filtr 7. řádu nastavit přepínačem jak na hodnotu NORM (propustné pásmo 900 Hz – 5 kHz), tak i na WIDE (2 kHz – 12 kHz). Výsledný průběh (nastavení WIDE) je zobrazen na následujícím obrázku 6.14.



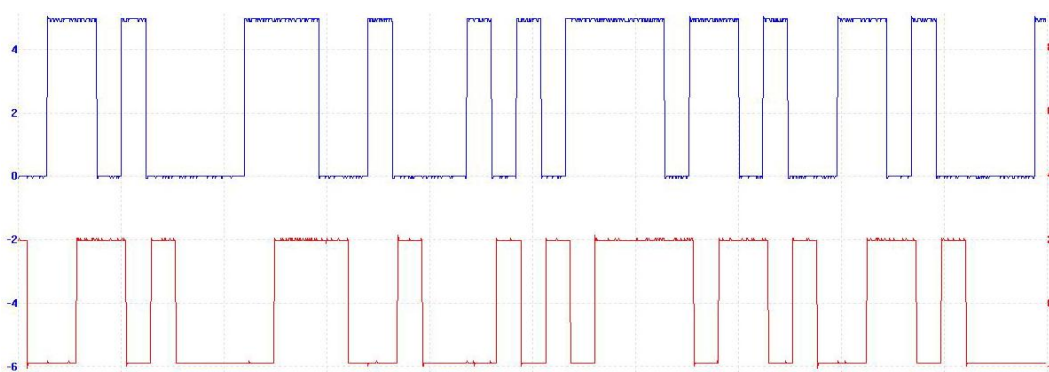
Obr. 6.15: Detekce obálky s LPF nastaveným na WIDE

- ad 4) Synchronní demodulátor jsem použil v kombinaci s generátorem ASK s modulem DUAL ANALOG SWITCH. Z průběhů je patrná vyšší přesnost a menší překmity pulzů oproti předchozí metodě.



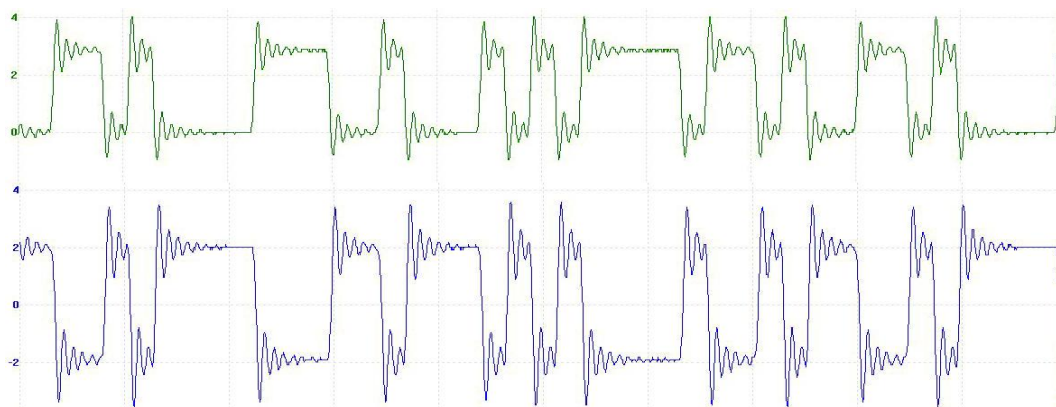
Obr. 6.16: Detekce obálky synchronním demodulátorem

- ad 5) Nyní zbývalo převést aktuální průběh signálu na tvar původního signálu. Toto jsem provedl připojením zapojení dle obr. 6.11 k zapojení původnímu (obr. 6.6 + obr. 6.8). Celkové schéma je v příloze zadání protokolu. Schéma jsem ještě doplnil modulem PHASE SHIFTER, který jsem zapojil na výstup modulu ADDER, čímž jsem otočil fázi signálu o 180° . Dále byla nutná úprava nastavení modulu DECISION MAKER – na desce jsem nastavil přepínač SW2 z polohy EXT na INT (abych byl schopen řídit bod rozhodnutí). Následující úprava spočívala v nastavení přepínače SW1 na desce modulu DEC. MAKER na hodnotu NRZ-L. Další úprava zapojení spočívala v připojení signálu z modulu PHASE SHIFTER na vstup IN1 modulu DECISION MAKERU (namísto Vin). Následující obrázek 6.17 zobrazuje původní posloupnost (modře, 0 – 5 V) a obnovenou demodulovanou bipolární posloupnost (červeně, ± 2 V).



Obr. 6.17: Původní a demodulovaný (dodatečně zpracovaný) signál

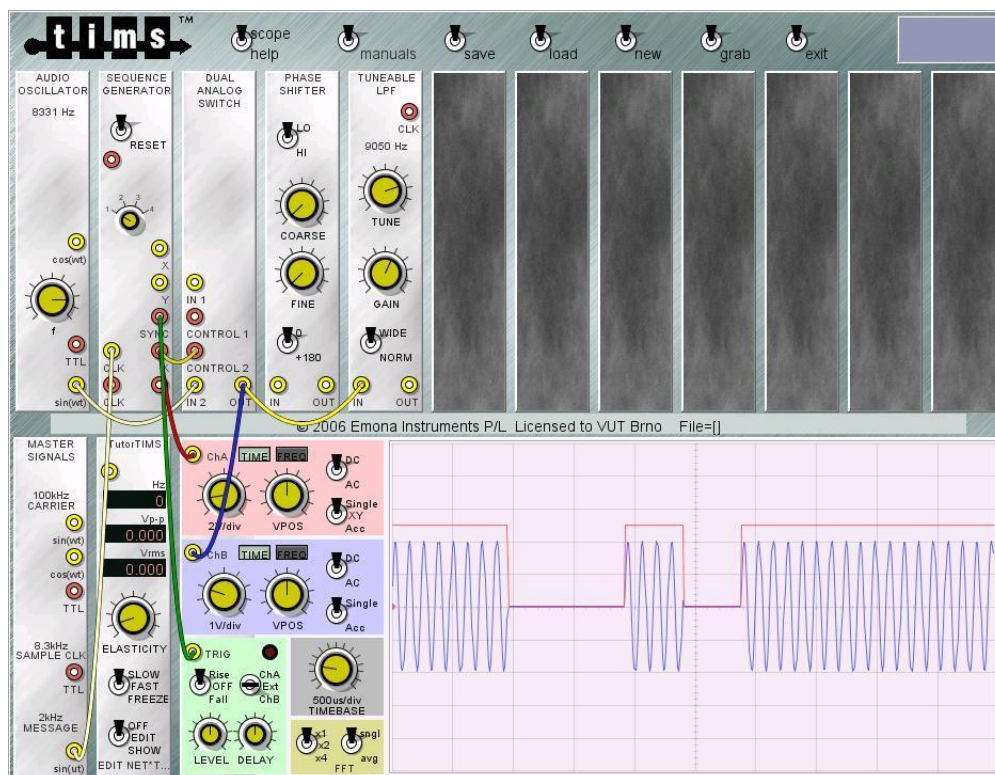
Následuje výstup z modulu ADDER (viz. obr. 6.18). Kde unipolární pásmově omezený signál z detektoru obálky je převeden na bipolární, kvůli přizpůsobení na vstup modulu DECISION MAKER. Lze si také všimnout otočené fáze, která je korigována modulem PHASE SHIFTER zapojeným za modul ADDER.



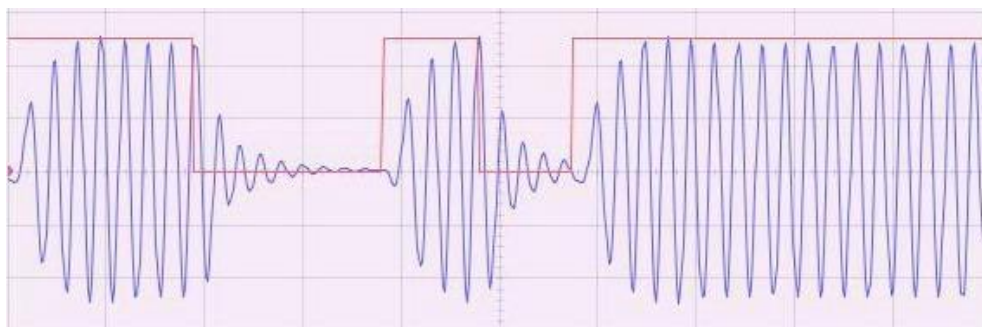
Obr. 6.18: Unipolární výstup z detektoru obálky (zelený) a bipolární výstup z modulu ADDER (modrý).

ad 6) Softwarová verze - Generování ASK s modulem DUAL ANALOG SWITCH:

Sestavil jsem zapojení dle obrázku 6.6 v softwarové verzi TutorTIMS-Advanced. Nastavení frekvence zprávy a nosné frekvence jsem zvolil stejně jako v případě hardwarové verze TIMS. Frekvenci nosné zde nebylo nutné synchronizovat z modulu MASTER SIGNALS kvůli možnosti přesnějšího nastavování softwarové verze a dále kvůli absenci synchronizačního vstupu modulu AUDIO OSCILLATOR. Výsledný průběh včetně zapojení je zobrazen na následujícím obrázku 6.19 (červeně je původní posloupnost) a pásmově omezený průběh (s připojeným modulem TUNABLE LPF) je zobrazen na obrázku 6.20.



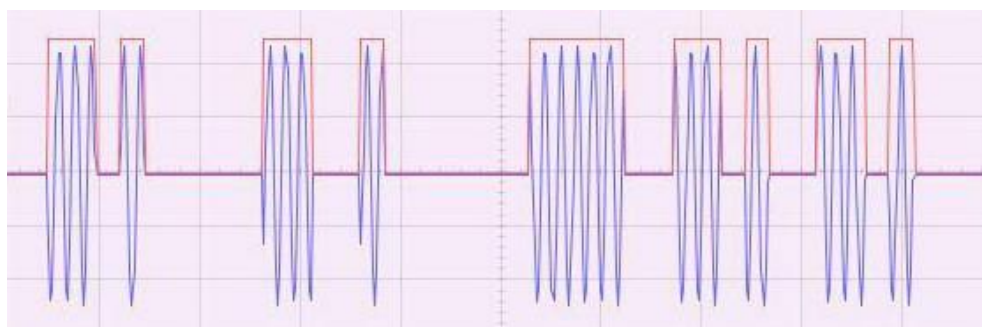
Obr. 6.19: Generování ASK s modulem DUAL ANALOG SWITCH



Obr. 6.20: Generování pásmově omezeného ASK signálu (pomocí modulu TUNABLE LPF) s modulem DUAL ANALOG SWITCH

ad 7) Softwarová verze - Generování ASK s modulem MULTIPLIER:

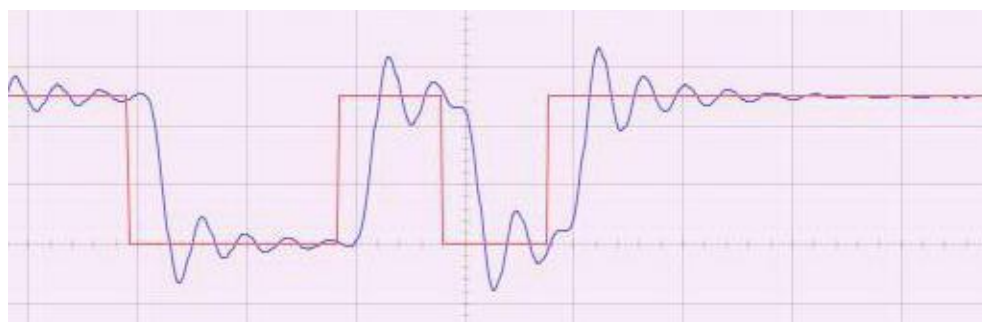
Sestavil jsem zapojení na obr. 6.7 v softwarové verzi TIMS. Nastavení frekvencí jsem ponechal dle hardwarové verze. Na následujícím obrázku 6.21 je zobrazen výsledný průběh.



Obr. 6.21: Generování ASK signálu s modulem MULTIPLIER

ad 8) Softwarová verze – Demodulace obálky:

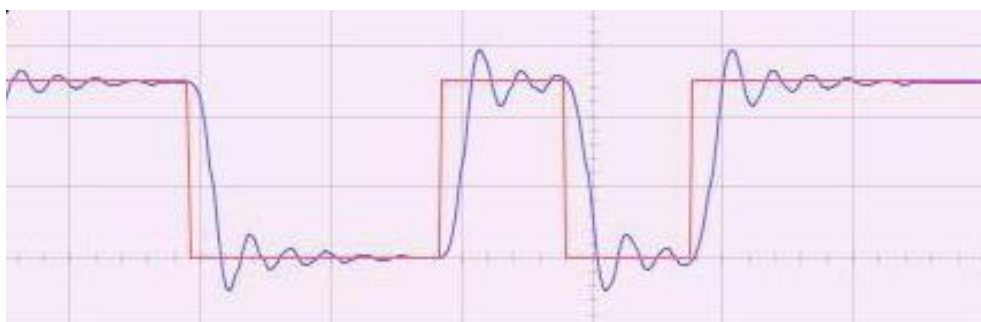
K zapojení z bodu 6 jsem přidal moduly pro detekci obálky (obr. 6.8). Je možné dvojí nastavení modulu TUNABLE LPF. Mezi nastavením (a doladěním) NORM a WIDE není pro zvolené frekvence na výsledný průběh zásadní rozdíl. Výsledný průběh (nastavení NORM) je zobrazen na následujícím obrázku 6.22.



Obr. 6.22: Demodulace obálky ASK signálu

ad 9) Softwarová verze – synchronní demodulace:

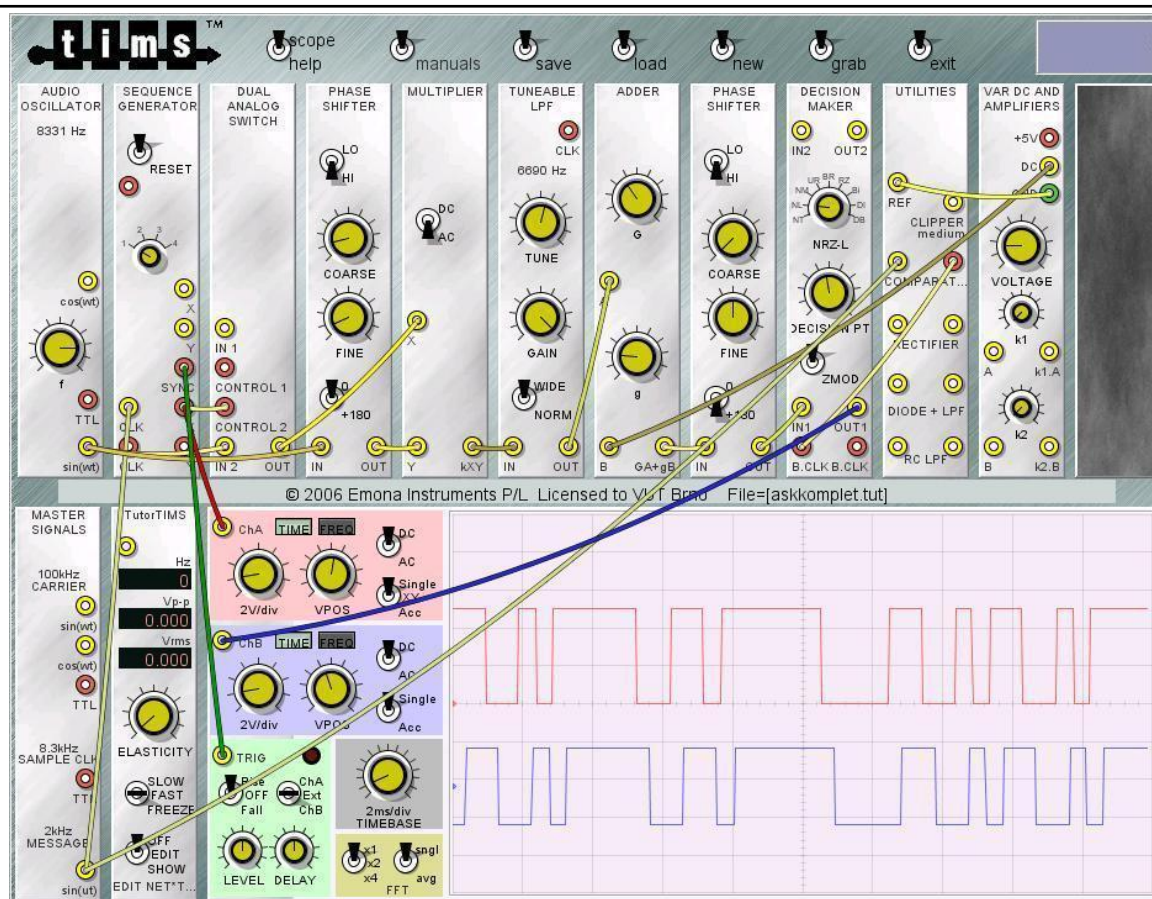
Synchronní demodulátor jsem použil v kombinaci s generátorem ASK s modulem DUAL ANALOG SWITCH, ačkoliv by šlo použít i zapojení s modulem MULTIPLIER (v softwarové verzi není omezení počtu stejných modulů). Z průběhů je patrná vyšší přesnost a menší překmity pulzů oproti předchozí metodě. Je ovšem velmi důležité korektní nastavení filtru v modulu TUNABLE LPF jinak dochází k nepřesnostem a zkreslení průběhu.



Obr. 6.23: Synchronní demodulace obálky ASK signálu.

ad 10) Softwarová verze – Dodatečné zpracování po demodulaci:

V následujícím bodu je převeden aktuální průběh signálu (viz. Obr. 6.23) na tvar původního signálu. Toto jsem provedl připojením zapojení dle obr. 6.11 k zapojení původnímu (obr. 6.6 + obr. 6.8). Celkové schéma včetně výsledného průběhu je na následujícím obrázku 6.24. Schéma jsem ještě doplnil modulem PHASE SHIFTER, který jsem zapojil na výstup modulu ADDER, čímž jsem otočil fázi signálu o 180° . Dále bylo nutné správné nastavení modulu DECISION MAKER pro příjem signálu NRZ-L (pomocí otočného přepínače). Další úprava spočívala v připojení signálu z modulu PHASE SHIFTER na vstup IN1 modulu DECISION MAKERU, protože softwarový modul neobsahuje vstup Vin, který automaticky nastavuje rozhodovací úroveň. Následující obrázek 6.24 zobrazuje původní posloupnost (červeně, 0 – 5 V) a obnovenou demodulovanou bipolární posloupnost (modře, $\pm 2V$).



Obr. 6.24: Původní a demodulovaný (dodatečně zpracovaný) signál včetně zapojení

Následuje výstup z modulu ADDER (viz. obr. 6.25). Kde je unipolární pásmově omezený signál z detektoru obálky převeden na bipolární, kvůli přizpůsobení na vstup modulu DECISION MAKER. Lze si také všimnout otočené fáze, která je korigována modulem PHASE SHIFTER zapojeným za modul ADDER.

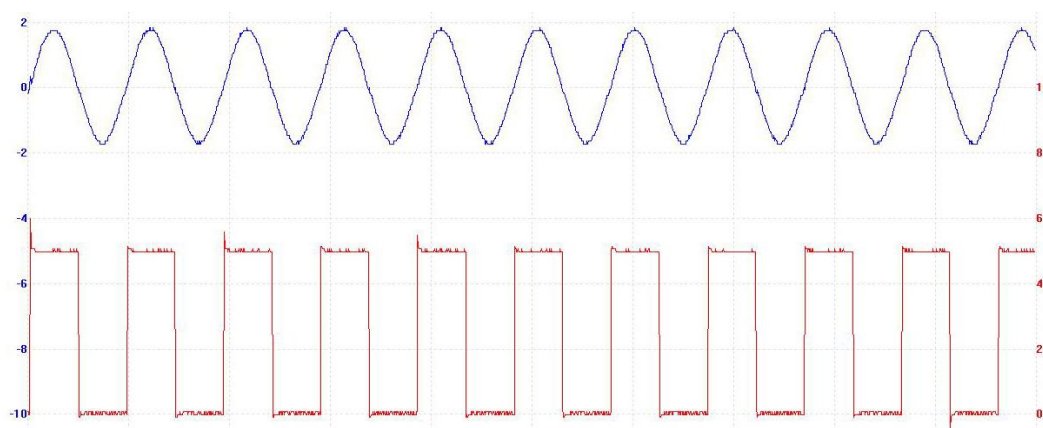


Obr. 6.25: Unipolární výstup z detektoru obálky (červený) a bipolární výstup z modulu ADDER (modrý).

6.7.3 Odpovědi na kontrolní otázky:

- I. Jaký signál je nutné přivést na vstup B.CLK modulu DECISION MAKER? Doložte graficky.

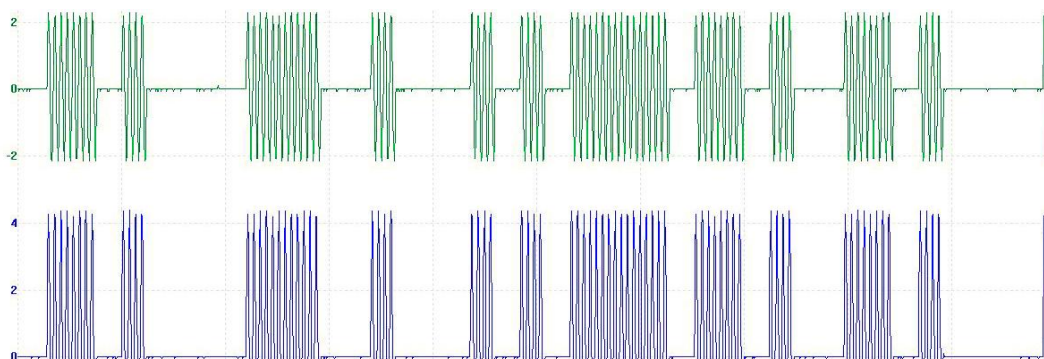
Vstup B.CLK modulu DECISION MAKER je navržen pro operace s TMS standardní frekvencí 2,083 kHz, která je dostupná na pevném modulu MASTER SIGNALS. Tento analogový signál ovšem musí být převeden na TTL použitím modulu UTILITIES a submodulu COMPARATOR. Pro správnou funkci submodulu COMPARATOR je nutné uzemnit modul UTILITIES přes vstup REF.



Obr. 6.19: Vstup do submodulu COMPARATOR (sin, $\pm 2V$), výstup ze submodulu COMPARATOR (standardní TTL, $\pm 5V$)

- II. Co provede se signálem RECTIFIER z modulu UTILITIES? Doložte graficky.

Výstupní bipolární signál z modulátoru ASK je převeden na unipolární variantu díky submodulu RECTIFIER, který je vlastně usměrňovač a ukrojí zápornou složku a převede ji do kladné části (resp. posune celý signál do kladných hodnot).



Obr. 6.20: Vstup do submodulu RECTIFIER (bipolární, $\pm 2V$), výstup ze submodulu RECTIFIER (unipolární, 0 – 4 V)

6.7.4 Závěr:

V této laboratorní úloze jsem se seznámil s možnostmi generování, demodulace a dodatečné úpravy ASK signálu v hardwarové verzi TIMS-301 i v softwarové verzi TutorTIMS – Advanced. V první části jsem realizoval generování ASK signálu jak pomocí modulu DUAL ANALOG SWITCH, tak pomocí modulu MULTIPLIER. Mezi těmito metodami není ve výsledku zásadní rozdíl a volba určité metody závisí spíše na dostupnosti modulů pro další práci s hardwarovou verzí TIMS (Netýká se softwarové verze, protože tam omezení není). Následovala realizace demodulátoru. Zde také není zásadní rozdíl mezi metodami (výsledné průběhy jsou vždy uvedeny u příslušného bodu zadání). Následovala dodatečná úprava demodulovaného signálu pomocí modulu DECISION MAKER. Zde bylo velmi důležité správné nastavení modulu a také přivedení signálu B.CLK v korektním tvaru na vstup modulu (viz. kontrolní otázky). Pokud srovnám výsledky softwarové a hardwarové verze TIMS, lze konstatovat, že softwarová verze emuluje hardwarovou na vysoké úrovni a rozdíly jsou zanedbatelné.

7 Laboratorní úloha – Linkové kódy v systému TIMS

Cílem této laboratorní úlohy je seznámení se s linkovými kódy, jejich používání a dekodování. Úloha slouží také k seznámení se s moduly LINE-CODE ENCODER a LINE-CODE DECODER.

7.1 Teoretický úvod

Existuje mnoho důvodů k používání linkového kódování. Každý z kódů, které budou níže probrány, nabízí jednu nebo více z následujících výhod:

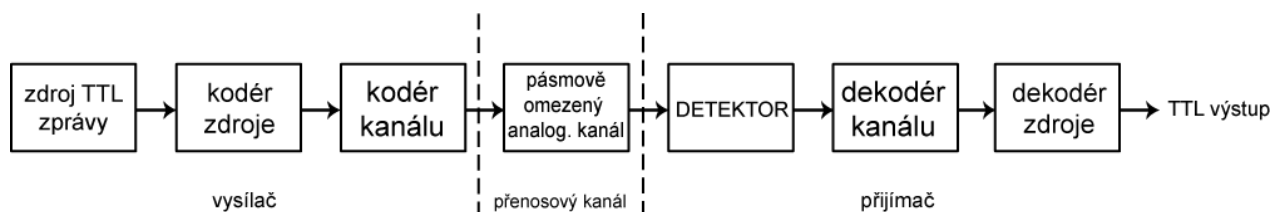
- *Tvarování a posun spektra bez modulace či filtrování* – toto je důležité v aplikacích s telefonními linkami např. kde přenosová charakteristika je silně utlumena pod frekvencí 300 Hz.
- *Obnovení bitových hodin* (časování) může být zjednodušeno.
- *Eliminace stejnosměrné složky* – toto umožňuje AC spojení mezi jednotlivými stupni (jako v telefonních linkách).
- *Schopnost detekce chyb*
- *Využití šířky pásma* – možnosti posílání vyšší rychlostí než jiné schémata přes stejnou šířku pásma.

Modul LINE-CODE ENCODER slouží přinejmenším jako rozhraní mezi signály TTL úrovně vysílače a mezi těmi z analogového kanálu. Podobně modul LINE-CODE DECODER slouží jako rozhraní mezi analogovými signály v přenosovém kanálu a signály požadovanými digitálním přijímačem, které mají TTL úrovně.

7.1.1 Moduly

Dva nové moduly, které budou představeny, se nazývají LINE-CODE ENCODER a LINE-CODE DECODER. V této úloze nebude pojednáváno o tom, jak probíhá samostatné kódování a dekodování. To už je na studentovi, aby prozkoumal průběhy jednotlivých kódů a porovnával je s původní TTL posloupností. V digitálních přenosových systémech je konečné digitální zpracování prováděno na signálu před tím, než je připojen na analogový kanál, ačkoliv zde může probíhat současně i tvarování průběhů a pásmové omezení. Proto v systému TIMS modul LINE-CODE ENCODER přijímá TTL vstup a výstup je přijatelný pro přenos přes analogový kanál. Více o modulech LINE-CODE ENCODER a LINE-CODE DECODER naleznete v [4]. Na výstupu kanálu je signál se standardní TIMS analogovou úrovní (nebo menší). Signál může být narušen šumem a obnoven detektorem (v systému TIMS se jedná o modul DECISION MAKER). Nakonec výstup z detektoru přichází na vstup modulu LINE-CODE DECODER a ten jej převede opět na binární TTL formát. Předcházející linkovému kodéru může být kodér zdroje s odpovídajícím dekodérem zdroje na straně přijímače. Toto je

zobrazeno na následujícím obrázku 7.1, kde je zobrazeno blokové schéma digitálního přenosového systému v základním pásmu. Ukazuje uspořádání modulů LINE-CODE ENCODER a LINE-CODE DECODER. Omezení přenosového pásma je zobrazeno koncentrované do samotného kanálu, ale může být i rozloženo mezi vysílač, kanál a přijímač.



Obr. 7.1: Přenosový systém v základním pásmu

Modul LINE-CODE ENCODER slouží jako zdroj systémových bitových hodin. Ty jsou řízeny signálem *master clock* o frekvenci 8,333 kHz z modulu MASTER SIGNALS a dále je signál *master clock* podělen faktorem 4, kvůli odvození nezbytných vnitřních časovacích signálů o frekvenci 2,083 kHz. Výsledná frekvence 2,083 kHz je použita jako vhodný zdroj TTL signálu pro systémové bitové hodiny. Protože modul LINE-CODE DECODER musí přijatý signál zpracovat, přináší časové zpoždění. Proto poskytuje i znovu načasované bitové hodiny v případě, že by bylo potřeba nějakého dalšího zpracování.

7.1.2 Terminologie

- V popisu binárního průběhu se často setkáváme se slovem *značka* (mark) a jeho opakem *mezera* (space). Toto je historický odkaz ke značce a mezeře telegrafisty. V digitální terminologii moderní doby se těmito výrazům říká HI (vysoká úroveň) a LO (nízká úroveň), neboli logická 1 a logická 0.
- Unipolární signalizace, kde „1“ je reprezentována konečnou napětíovou úrovní V ve voltech a „0“ je reprezentována nulovým napětím.
- Pokud nerozlišujeme Polární a Bipolární signalizaci tak se jedná o signál, kde „1“ je reprezentována jako „+V“ a „0“ je reprezentována jako „-V“. Přidává se zde i AMI pokud se pracuje s tříúrovňovým signálem, který používá „+V“ a „-V“ střídavě pro „1“ a nulovou úroveň pro „0“.

Toto rozlišování se používá i v [4] a v tomto textu. Nicméně v jiné literatuře se můžeme setkat s rozlišováním těchto pojmů, proto následuje vysvětlení:

- Polární signalizace – „1“ je reprezentována s konečnou napětíovou úrovní „+V“ voltů a „0“ je reprezentována jako „-V“ voltů.
- Bipolární signalizace – „1“ je reprezentována střídavě jako „+V“ a „-V“ a „0“ jako nulová hladina napětí.
- Termín RZ je zkratka anglického *return to zero*, což znamená návrat na nulovou hladinu. Toto naznačuje, že jednotlivý průběh se vrátí na nulovou hladinu po konečnou část datové „1“, což se typicky děje v polovině intervalu. Termín NRZ

je zkratka anglického *non-return to zero*, což znamená, že tento jednotlivý průběh se nevrátí na nulovou hladinu během bitového intervalu reprezentujícího datovou „1“.

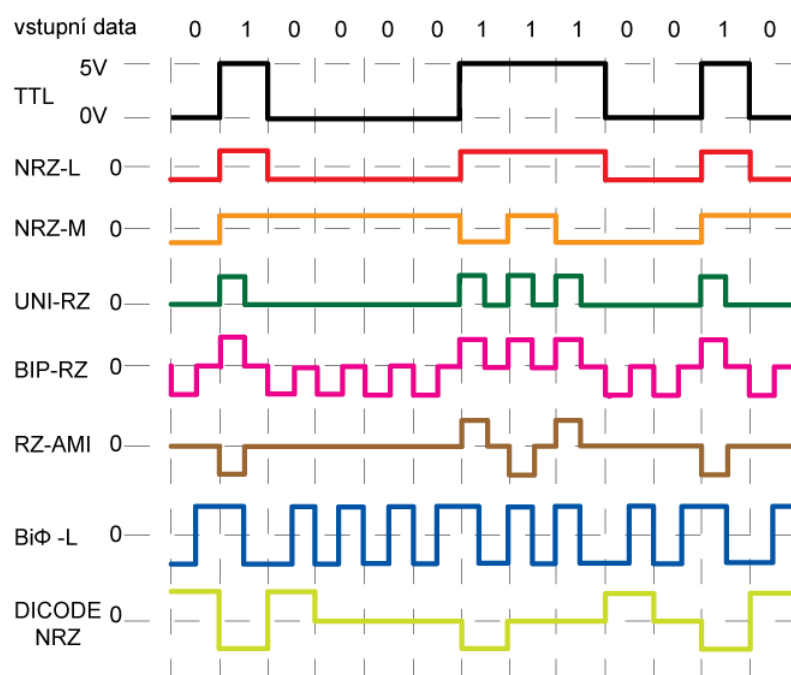
- Používání *L* nebo *M* se může zdát jako rozporuplné. Podrobněji je to vysvětleno v [4].
- Dva sinusové průběhy jsou opačné, pokud jejich rozdíl fází je 180° .

7.1.3 Dostupné linkové kódy

Pro TTL vstupní signál jsou k dispozici následující výstupní signály z modulu LINE-CODE ENCODER:

- NRZ-L (non-return to zero – level): bipolární signál, jenž je oproti zdrojovému signálu pouze odlišný v měřítku.
- NRZ-M (dtto – Mark): bipolární signál s přechodem na začátku každé „1“ a beze změny při „0“. „M“ odkazuje na inverzi při značce. Jedná se o diferenciální kód. Dekodér dá správný výstup nezávisle na polaritě na vstupu.
- UNI-RZ (uni-polar – return to zero): Jedná se o signál, který má nulový výstup, pokud je vstupem „0“ a má pulzy s poloviční šířkou pokud je vstup „1“. Tento průběh má významnou stejnosměrnou složku.
- BIP-RZ (bipolar return to zero): Jedná se o tříúrovňový signál, kde výstup je pulz s poloviční šířkou „+Ve“, pokud je na vstupu „1“. Pokud je na vstupu „0“, tak na výstupu je pulz s poloviční šířkou „-Ve“. Pro každý pulz platí, že je zde návrat k nulové hladině v druhé polovině každé bitové periody.
- RZ-AMI (return to zero – alternate mark inversion): Jde o tříúrovňový signál, kde pulz s poloviční šířkou je na výstupu, pokud je na vstupu „1“ a nulová hladina na výstupu pokud je vstup „0“. Toto by bylo stejné jako UNI-RZ, ale dodatečně je zde inverze polarity každého střídavého výstupního pulzu.
- BiΦ-L (biphase – level): Jinak nazýván také Manchester. Jde o bipolární $\pm V$ volty. Pro každý vstup „1“ je odpovídající přechod od „+V“ k „-V“ v prostředku intervalu. Pro každý vstup „0“ je odpovídající přechod z „-V“ do „+V“ v prostředku intervalu.
- DICODE-NRZ (Di-code non-return to zero): Tříúrovňový signál. Pro každý přechod vstupního signálu existuje výstupní pulz s opačnou polaritou než předcházející pulz. Pokud není na vstupu žádný přechod, tak na výstupu je nulová úroveň.

Linkové kódy nabízené modulem LINE-CODE ENCODER jsou zobrazeny na obrázku 7.2. Kódy pochází z [4], kde je i podrobnější vysvětlení.



Obr. 7.2: Linkové kódy v systému TIMS

Výstupní průběhy jednotlivých kódů mají upraveny amplitudy, kvůli přizpůsobení pro analogový TIMS kanál. Pokud připojíme tyto průběhy (výstup z modulu LINE-CODE ENCODER) na vstup modulu LINE-CODE DECODER, tak jsou dekódovány zpět do originální TTL posloupnosti.

7.1.4 Pásmové omezení

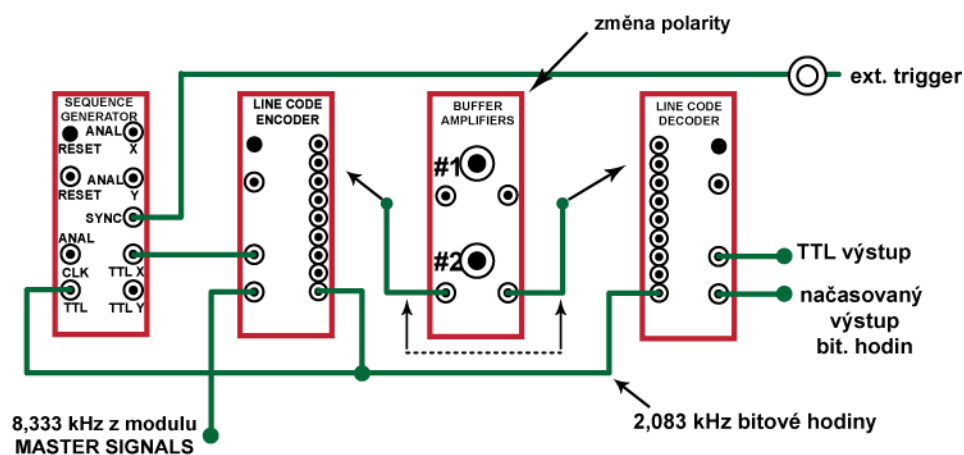
Nehledě na druh použitého linkového kódu, je zvykem omezení pásma těchto průběhů před tím, než jsou poslány do přenosového kanálu nebo do modulátoru. Jakmile je použito pásmové omezení, tak jsou jednotlivé pulzy rozprostřeny v časové ose a interferují se sousedními pulzy. Tyto interference vyvolávají problém mezisymbolových přeslechů ISI (inter-symbol interference). Studie ISI je mimo rozsah tohoto textu a v praxi nemůže být ignorována. Pásmové omezení (např. tvarováním pulzů) může být provedeno vhodně navrženým filtrem, kterým je možné kontrolovat i ISI. Existuje alternativní přístup k této metodě a to je tzv. *duobinary encoding* neboli duobinární kódování. Bylo vynalezeno panem A. Lenderem. Na rozdíl od předchozích linkových kódů, tento druh kódování je nelineární a tak nemůže být popsáno jednoduchými pravidly. Podrobný popis tohoto druhu kódování je v [4].

7.1.5 Resetování

Resetování modulu LINE-CODE ENCODER a DECODER po připojení *master clock* nebo po přerušení hodin není striktně nezbytné pro všechny kódy. Ale je to mnohem jednodušší to udělat pro všechny kódy, než si pamatovat pro které kódy je to nezbytné.

7.2 Pokyny k měření

Na obrázku 7.3 se nachází zjednodušený model obrázku 7.1. Není zde zdrojové kódování či dekódování, kanál v základním pásmu a ani detekce. Pro účel tohoto experimentu je to ovšem dostatečné a potvrzuje to operace modulů linkového kódování.



Obr. 7.3: Zjednodušené schéma zapojení obr. 7.1

Pokud byl zvolen určitý kód a zpráva byla úspěšně dekódována bez chyby, měl by být zahrnut do přenosové cesty i modul BUFFER AMPLIFIERS. Připojením tohoto modulu dojde ke změně polarity v přenosovém kanálu. Pokud nedojde ke změně dekódované posloupnosti, je použitý kód necitlivý na změnu polarity. Všimněte si, že modul LINE-CODE DECODER vyžaduje pro úspěšné dekódování vstupní signál s amplitudou blízko TMS analogové vztahné úrovně (± 2 Vpp). V normálních aplikacích je toto zajištěno, protože modul dostane vstupní signál z modulu DECISION MAKER.

- Prostudujte *TMS Advanced Modules User Manual* [4] kvůli více detailům o modulech LINE-CODE DECODER a ENCODER.
- Zvolte krátkou posloupnost vysílacího zdroje (modulu SEQUENCE GENERATOR)
- Zobrazte si výchozí posloupnost z modulu SEQUENCE GENERATOR a porovnejte ji s dekódovanou posloupností z výstupu DATA modulu LINE-CODE DECODER.
- Volte jednotlivé druhy kódů a jejich průběhy i s původní posloupností zaznamenejte graficky do technické zprávy. Zobrazte i spektrum příslušného kódu.

- e) Body b) až d) proveďte i v softwarové verzi TIMS, případně přizpůsobte schéma zapojení softwarové verzi.

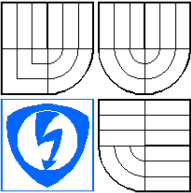
7.3 Kontrolní otázky

- I. Jaké jiné zpoždění, kromě nevyhnutelného zpoždění analogového filtru, jste si všimli?
- II. Jaký je rozdíl z hlediska spektra mezi signály NRZ-L, NRZ-M, UNI-RZ, BIP-RZ a signály RZ-AMI, BiΦ-L, DICODE-NRZ?

7.4 Použitá literatura

- [1] HOOPEER, Tim. *Communication System Modelling with TIMS : Volume D1 - Fundamental Digital Experiments*. 4.9. aktualiz. vyd. Austrálie : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 186 s.
- [2] ŠEBESTA, Vladimír. *Teorie sdělování*. 2. aktualiz. vyd. Brno : VUTUM, 2001. 92 s.
- [3] ALFRED, Breznik , MANFREDINI, Carlo. *TIMS-301 USER MANUAL & BASIC MODULES*. 1.6. vyd. Sydney (Austrálie) : EMONA INSTRUMENTS PTY LTD, 2004. 31 s.
- [4] ALFRED, Breznik, MANFREDINI, Carlo. *TIMS ADVANCED MODULES and TIMS SPECIAL APPLICATION MODULES*. 3.6. vyd. Sydney (Austrálie) : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 138 s.
- [5] *Instructor`s Manual to accompany Communication Systems Modelling with TIMS*. 1.1 : Volumes A1, A2, D1, & D2. přeprac. vyd. Sydney (Austrálie) : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 77 s.

7.5 Vzorový protokol

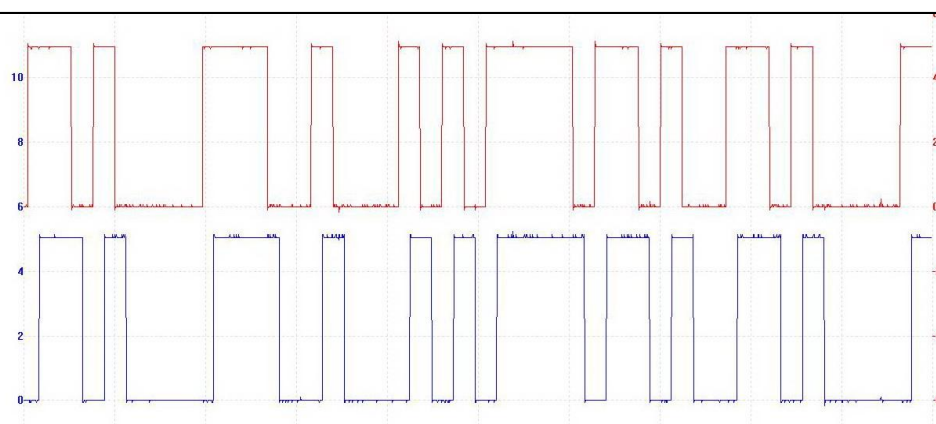
	Předmět	
	Jméno Bc. Josef Jeřábek	
	Ročník	Studijní skupina
	Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval	Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy Linkové kódy v systému TIMS	

7.5.1 Zadání:

- Prostudujte *TIMS Advanced Modules User Manual* [4] kvůli více detailům o modulech LINE-CODE DECODER a ENCODER.
- Zvolte krátkou posloupnost vysílacího zdroje (modulu SEQUENCE GENERATOR)
- Zobrazte si výchozí posloupnost z modulu SEQUENCE GENERATOR a porovnejte ji s dekodovanou posloupností z výstupu DATA modulu LINE-CODE DECODER.
- Volte jednotlivé druhy kódů a jejich průběhy i s původní posloupností zaznamenejte graficky do technické zprávy. Zobrazte i spektrum příslušného kódu.
- Body b) až d) proveďte i v softwarové verzi TIMS, případně přizpůsobte schéma zapojení softwarové verzi.

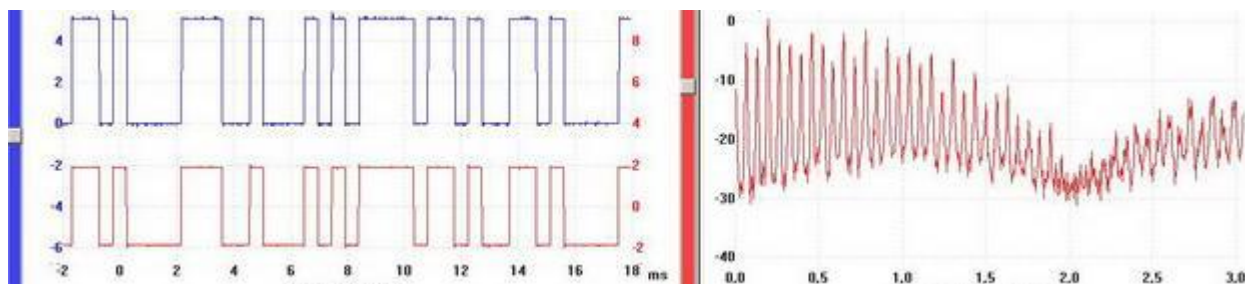
7.5.2 Vypracování:

- ad a) V literatuře [4] jsem prostudoval vlastnosti modulů LINE-CODE DECODER a LINE-CODE ENCODER
- ad b) Sestavil jsem zapojení dle obr. 7.3. Zvolil jsem krátkou posloupnost vysílacího zdroje modulu SEQUENCE GENERATOR viz [3]. Na PCB desce modulu jsem nastavil switch SW1 do polohy "00". Délka posloupnosti byla tedy 2⁵.
- ad c) Zobrazil jsem výchozí posloupnost vysílanou modulem SEQUENCE GENERATOR a na druhém kanálu dekodovanou posloupnost modulem LINE-CODE DECODER. Posloupnosti jsou shodné, pouze časově posunuté. Zpoždění je dáno jednak užitím analogového filtru a jednak zpožděním, které vzniká při zpracování signálu v modulech LINE-CODE DECODER a ENCODER. Výsledné průběhy jsou zobrazeny na obr. 7.4.

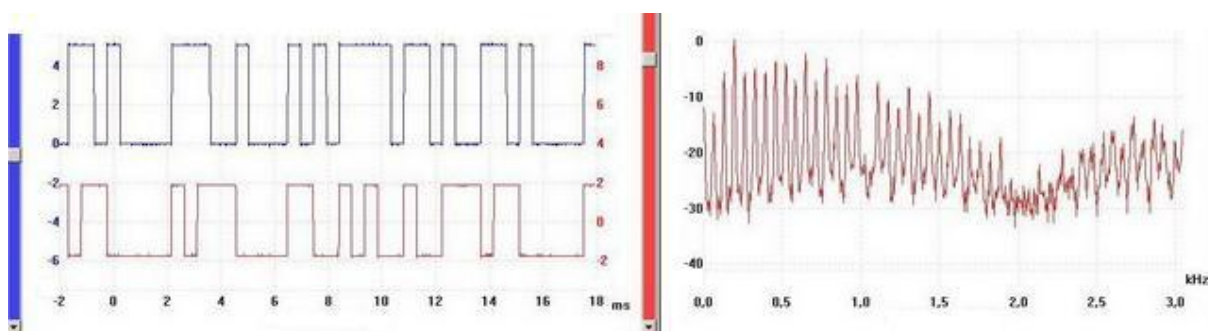


Obr. 7.4: Porovnání zdrojové a dekódované posloupnosti

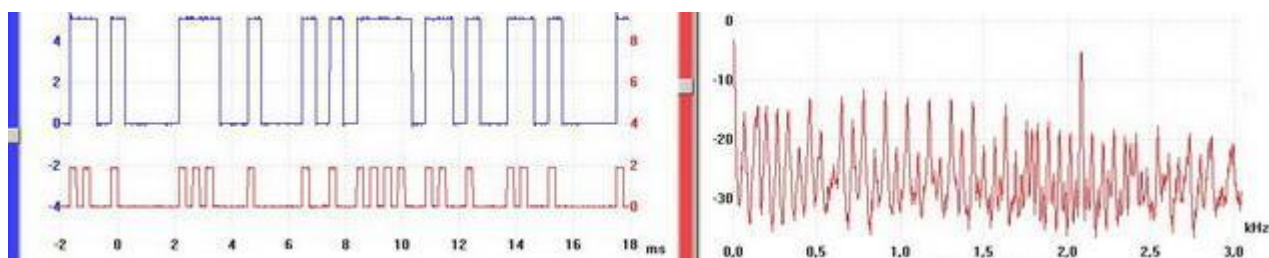
ad d) Zvolil jsem postupně jednotlivé druhy kódů na modulu LINE-CODE ENCODER a zaznamenal jejich průběhy i se spektrem. Mezi jednotlivými kódy jsem resetoval jak modul LINE-CODE ENCODER tak SEQUENCE GENERATOR. Dále bylo nezbytné připojit *sync* výstup modulu SEQUENCE GENERATOR s *ext. trig.* vstupem osciloskopu. Výsledné průběhy jsou zobrazeny na obrázcích níže.



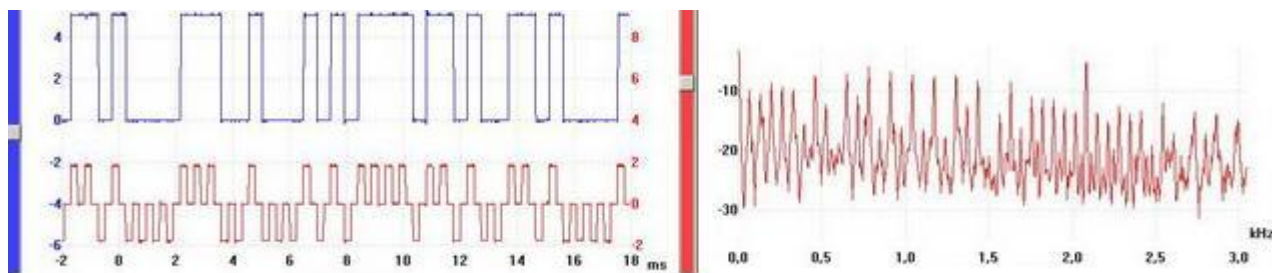
Obr. 7.5: Původní posloupnost (modře), NRZ-L signál (červeně), spektrum NRZ-L



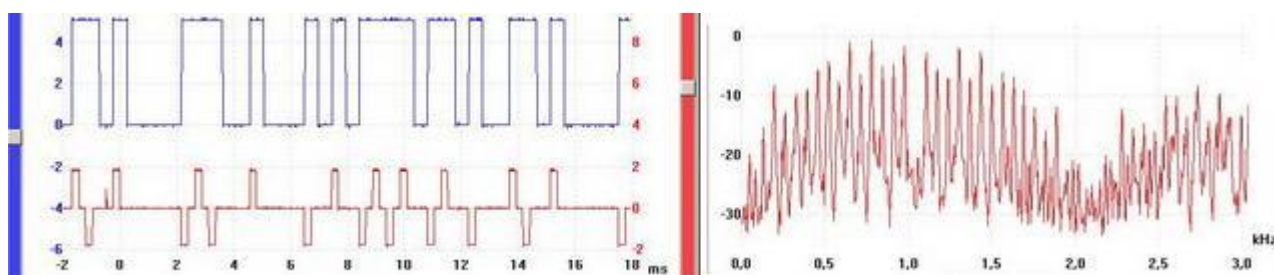
Obr. 7.6: Původní posloupnost (modře), NRZ-M signál (červeně), spektrum NRZ-M



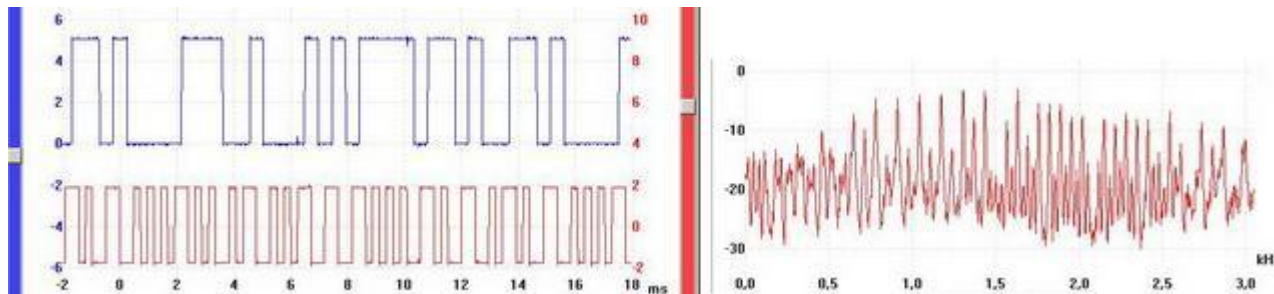
Obr. 7.7: Původní posloupnost (modře), UNI-RZ signál (červeně), spektrum UNI-RZ



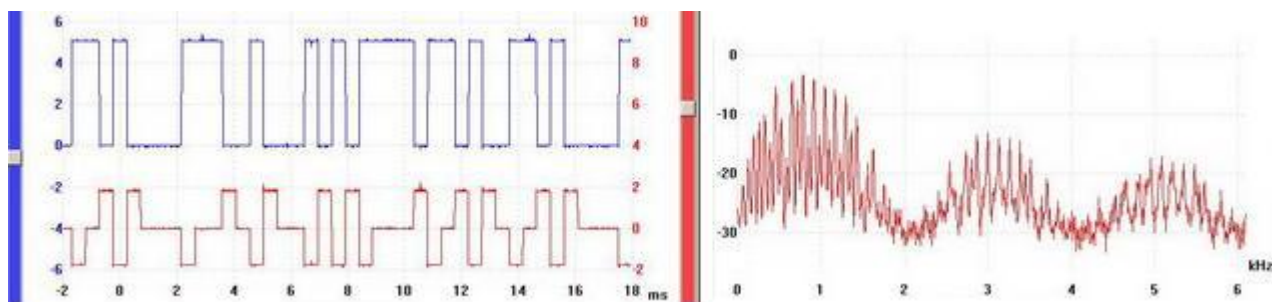
Obr. 7.8: Původní posloupnost (modře), BIP-RZ signál (červeně), spektrum BIP-RZ



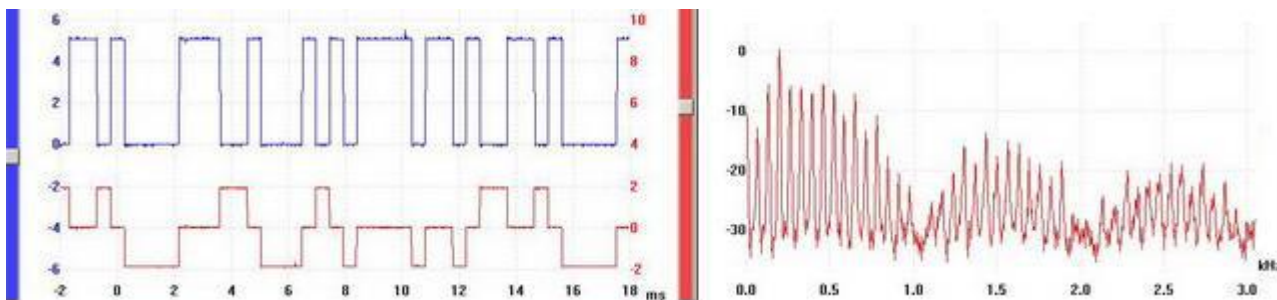
Obr. 7.9: Původní posloupnost (modře), RZ-AMI signál (červeně), spektrum RZ-AMI



Obr. 7.10: Původní posloupnost (modře), $\text{Bi}\Phi\text{-L}$ signál (červeně), spektrum $\text{Bi}\Phi\text{-L}$

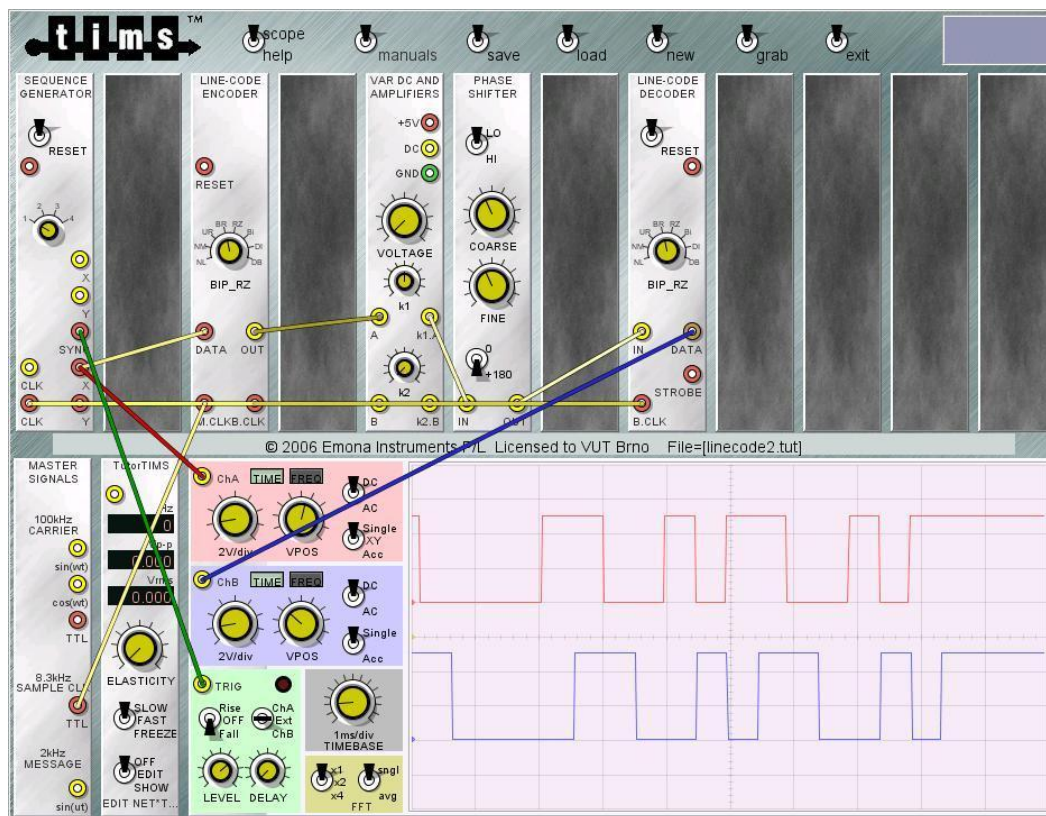


Obr. 7.11: Původní posloupnost (modře), DICODE-NRZ signál (červeně), spektrum DICODE-NRZ



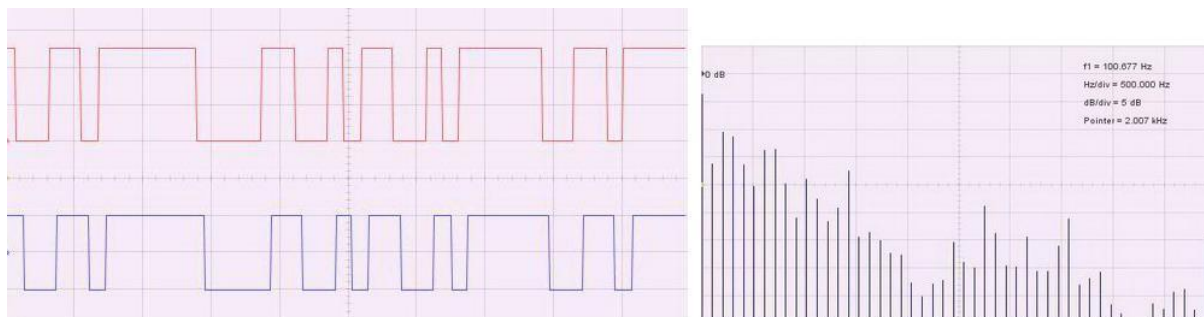
Obr. 7.12: Původní posloupnost (modře), duobinary signál (červeně), spektrum duobinary

- ad e) Zvolil jsem krátkou posloupnost softwarového modulu SEQUENCE GENERATOR – poloha 1 přepínače předního panelu.
- ad f) Modifikoval jsem zapojení z obr. 7.3 pro softwarovou verzi TMS. Vstup *M.CLK* modulu LINE-CODE ENCODER je připojen k signálu 8,3 kHz *sample clock* z modulu MASTER SIGNALS a signál je následně vydělen čtyřmi a předán na výstup *B.CLK*. Jedná se o bitové hodiny pro ostatní moduly. Výstup *B.CLK* modulu LINE-CODE ENCODER je připojen ke vstupům *CLK* modulu SEQUENCE GENERATOR a *B.CLK* modulu LINE-CODE DECODER. Výsledné schéma je na obr. 7.13 včetně původní (červené) a dekódované (modré) posloupnosti. Je zde opět patrné zpoždění mezi původní posloupností a dekódovanou (je ovšem zobrazena pouze malá část posloupnosti, kvůli omezení velikosti softwarového osciloskopu). Je to dáno zpožděním filtru a zpožděním, které vzniká díky zpracování moduly LINE-CODE ENCODER a DECODER.

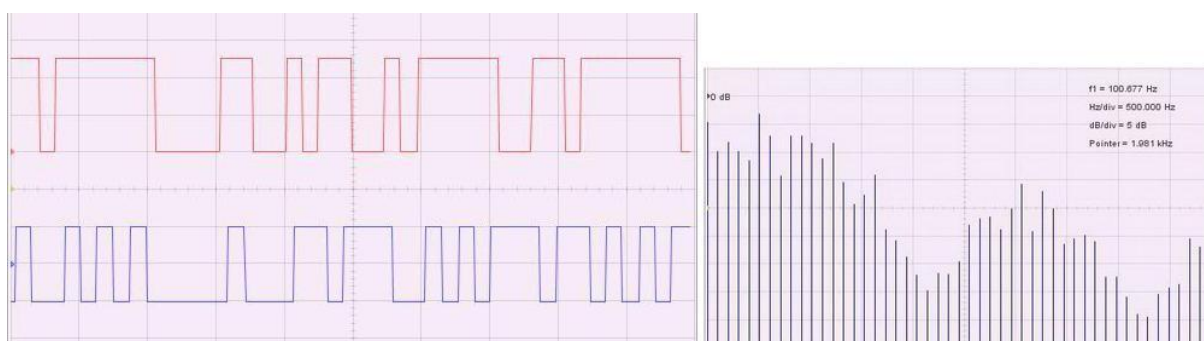


Obr. 7.13: Porovnání zdrojové a dekódované posloupnosti, schéma zapojení

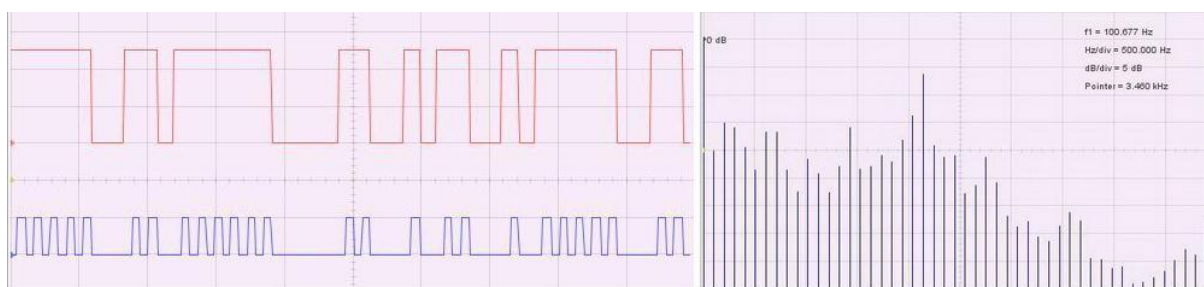
- ad g) Následně jsem volil jednotlivé druhy kódů jako v případě hardwarové verze. Mezi jednotlivými druhy kódů jsem resetoval modul LINE-CODE ENCODER, ačkoliv to mnohdy nebylo nezbytné (dle doporučení [4]). Výsledné průběhy jsou zobrazeny na obrázcích níže. Z obrázku 7.14 je díky ukazatelům patrné, že vstupní posloupnosti je unipolární (0 – 5 V) a výstupní posloupnosti je bipolární (± 2 V).



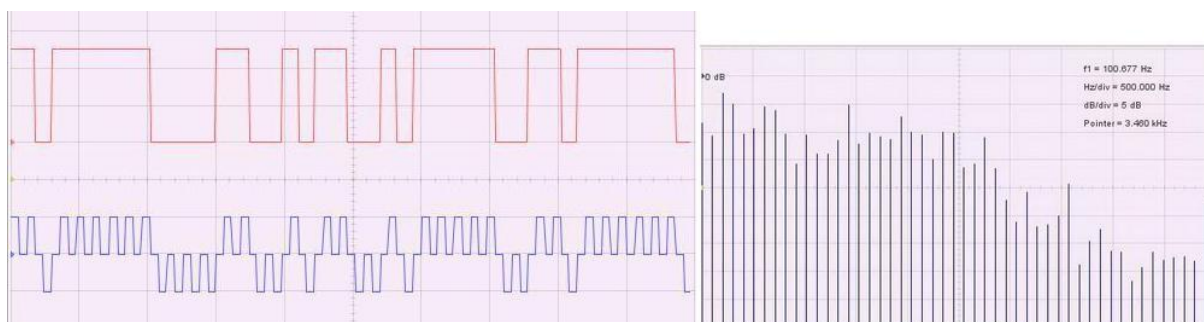
Obr. 7.14: Původní posloupnost (červeně), NRZ-L signál (modře), spektrum NRZ-L



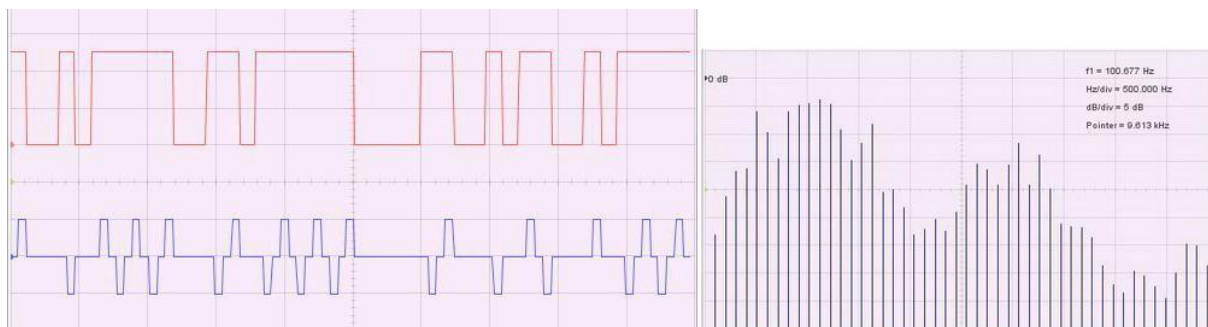
Obr. 7.15: Původní posloupnost (červeně), NRZ-M signál (modře), spektrum NRZ-M



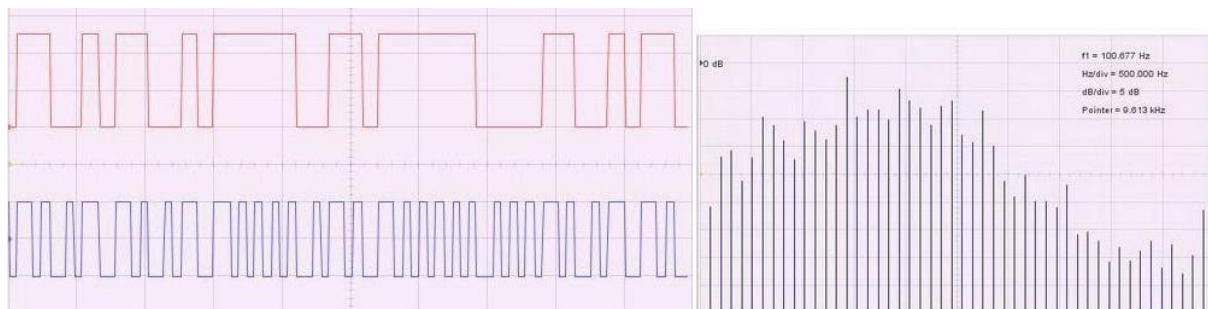
Obr. 7.16: Původní posloupnost (červeně), UNI-RZ signál (modře), spektrum UNI-RZ



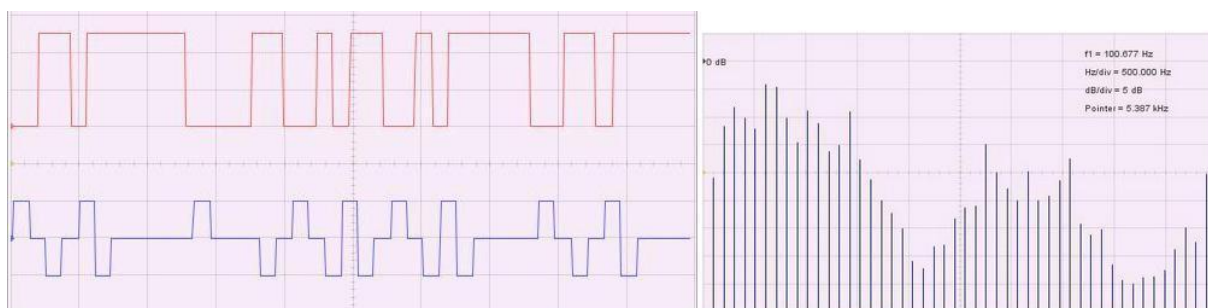
Obr. 7.17: Původní posloupnost (červeně), BIP-RZ signál (modře), spektrum BIP-RZ



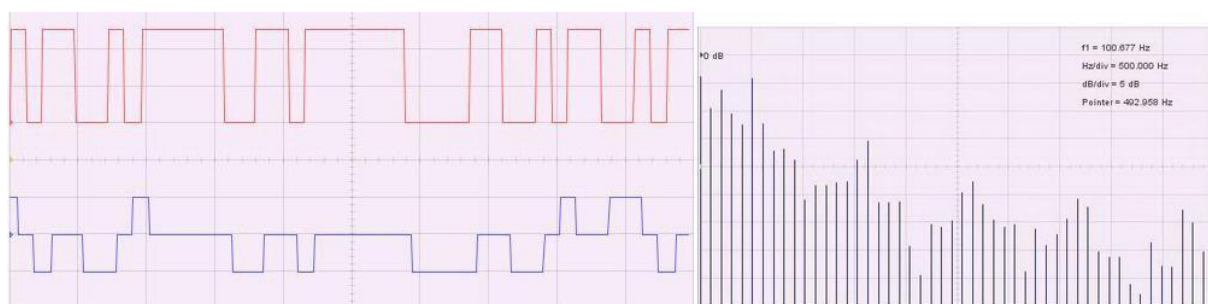
Obr. 7.18: Původní posloupnost (červeně), RZ-AMI signál (modře), spektrum RZ-AMI



Obr. 7.19: Původní posloupnost (červeně), BiΦ-L signál (modře), spektrum BiΦ-L



Obr. 7.20: Původní posloupnost (červeně), DICODE-NRZ signál (modře), spektrum DICODE-NRZ



Obr. 7.21: Původní posloupnost (červeně), duobinary signál (modře), spektrum duobinary

7.5.3 Odpovědi na kontrolní otázky:

I. Jaké jiné zpoždění, kromě nevyhnutelného zpoždění analogového filtru, jste si všimli?

Kromě zpoždění analogového filtru se zde nachází také zpoždění, způsobené zpracováním signálu v modulech LINE-CODE ENCODER a LINE-CODE DECODER.

II. Jaký je rozdíl z hlediska spektra mezi signály NRZ-L, NRZ-M, UNI-RZ, BIP-RZ a signály RZ-AMI, BiΦ-L, DICODE-NRZ?

Základní rozdíl tkví v tom, že druhá skupina signálů (RZ-AMI, BiΦ-L, DICODE-NRZ) oproti první (NRZ-L, NRZ-M, UNI-RZ, BIP-RZ) postrádá stejnosměrnou složku signálu (ve spektru na frekvenční ose na pozici 0).

7.5.4 Závěr:

V této laboratorní úloze jsem se seznámil s možnostmi kódování a dekódování signálu pro analogový přenosový kanál pomocí linkových kódů a modulů LINE-CODE ENCODER a LINE-CODE DECODER. Úloha je implementována jak v hardwarové verzi TIMS-301, tak i v softwarové verzi TutorTIMS–Advanced. V první části jsem realizoval porovnání kódované a dekódované posloupnosti. Posloupnost se shodovala v obou verzích TIMS. Pouze byla časově posunuta kvůli zpoždění z filtru a zpoždění, které vzniká zpracováním signálu v modulech LINE-CODE ENCODER a LINE-CODE DECODER. Následovalo užití všech dostupných druhů linkových kódů a jejich spekter. U každého bodu zadání jsou uvedeny příslušné průběhy.

8 Optimalizace hardwarové verze TIMS

Optimalizace hardwarové verze telekomunikačního výukového prostředí TIMS spočívá ve využití jednoho systému TIMS-301 k provádění více různých experimentů najednou.

Optimalizace se týká pouze hardwarové verze TIMS-301, protože softwarová verze TutorTIMS – Advanced je program napsaný v jazyku Java, a tudíž by k optimalizaci bylo potřeba zdrojových kódů aplikace a svolení výrobce. Nicméně by softwarová aplikace mohla být upravena např. z hlediska optimalizace výkonu, kde ani na serveru s dvěma čtyřjádrovými procesory aplikace na *FAST mode* nereaguje okamžitě (nedochází k plynulé reakci např. výstupu softwarového osciloskopu) a nedokáže optimálně využít výkon tohoto serveru. Další zlepšení softwarové aplikace by mohlo spočívat např. ve zlepšení ovládání osciloskopu a změně systému propojování (při velkém počtu propojených uzlů přestává být model přehledný).

Hardwarová verze TIMS-301 je navržena pro vykonávání pouze jednoho experimentu v jednom okamžiku studentem nebo skupinou studentů. Mým úkolem bylo překonat toto omezení a navrhnout takové úlohy, které by bylo možné vykonávat najednou dvěma studenty (skupinami) na jednom zařízení, ovšem za cenu určitých ústupků. Předpoklady pro tuto optimalizaci jsou přítomnost rozšiřujícího 12-ti slotového racku připojeného do základní systémové jednotky a dále druhý osciloskop. Vytvoří se tak vlastně dvě pracoviště namísto jednoho. Nevýhodou je, že ve 12-ti slotovém rozšiřujícím racku nejsou přítomny pevné moduly, proto je nutné např. signály z modulu MASTER SIGNALS vést z druhého pracoviště. Další nevýhodou je, že obě pracoviště mají k dispozici pouze 24 pozic pro volitelné zásuvné moduly, což limituje komplexnost paralelně prováděných úloh. Další faktor ovlivňující podobu paralelně prováděných úloh je množství a typ jednotlivých volitelných zásuvných modulů. Dvě skupiny studentů používají vlastně pouze jednu sadu volitelných rozšiřujících modulů. Nelze tedy používat stejný modul najednou dvěma skupinami. Následující faktor je nepřítomnost učitelského systému TIMS-301C, přes který by mohl učitel posílat studentům např. signály pro demodulaci. Následek tohoto je opět omezení komplexnosti paralelně prováděných úloh.

Jak již bylo napsáno výše, jeden z předpokladů paralelního vykonávání dvou úloh na hardwarovém TIMS-301 je druhý osciloskop. Tento druhý osciloskop může být také softwarový. Mým úkolem ovšem bylo vybrat vhodný hardwarový osciloskop. Tento úkol není jednoduchý vzhledem k tomu, že nemám možnost navržený osciloskop se systémem TIMS-301 vyzkoušet a jediný zachytný bod, podle kterého provádím výběr, jsou parametry jak osciloskopu, tak systému TIMS-301. Vybral jsem čtyři vhodné kandidáty a rozdělil je do tří skupin podle jejich vlastností (a samozřejmě s tím související cenou).

- Základní model: Digitální osciloskop EZ Digital DS 1080C
- Standardní modely: Digitální osciloskop EZ Digital WideView 1520
 Digitální osciloskop Tektronix TDS 2024B
- Nadstandardní model: Digitální osciloskop HP/Agilent Technologies DSO 6012A

9 Srovnání softwarové a hardwarové verze TIMS

V následující kapitole je výčtové srovnání softwarové verze TIMS (TutorTIMS – Advanced) a hardwarové verze (TIMS-301).

Softwarová verze:

- + cena
- + možnost práce několika studentů najednou (multilicence)
- + několikanásobné užití stejného modulu
- + možnost práce odkudkoliv díky vzdálené ploše
- + bezpečnost práce na systému TIMS
- + možnost snímání aktuálního zapojení (funkce *grab*)
- pouze 12 pozic pro volitelné moduly (omezení komplexnosti)
- chybí praktická zkušenost s hardwarovým zařízením
- nedostatečné zobrazovací schopnosti osciloskopu
- absence modulu TRUNKS
- při velkém počtu propojení nepřehlednost
- špatná optimalizace výkonu aplikace

Hardwarová verze :

- + použití až 24 volitelných modulů
- + dobré zobrazovací schopnosti osciloskopu
- + možnost připojení hardwarového osciloskopu
- + propojení s PC
- + praktická zkušenost práce se zařízením
- cena
- práce pouze jedné skupiny studentů najednou (bez optimalizace)
- fyzické omezení počtu stejných modulů
- možnost poškození zařízení (křehké zpracování)
- při velkém počtu propojení nepřehlednost

Závěr

V první části této práce jsem se seznámil se softwarovou i hardwarovou verzí telekomunikačního výukového prostředí TIMS od firmy Emona Instruments. Vytvořil jsem návod na používání softwarové verze. V další kapitole jsem popsal podrobněji hardwarovou verzi a její modulový systém. Následuje popis jednotlivých modulových sad zakoupených Ústavem telekomunikací. Sady E, F, G sice nejsou zatím zakoupeny, ale jejich případná budoucí koupě by zajistila další velké rozšíření palety možných experimentů se systémem TIMS. Sada E obsahuje experimenty z vláknové optiky a sada G obsahuje experimentální desku pro tvorbu vlastních zapojení.

Za velmi důležitou považuji sadu F, která obsahuje tzv. modulovou sadu TRUNKS. S touto sadou lze propojit více systémů TIMS-301 a lze např. posílat studentům (z učitelského systému) sadu předem připravených signálů, které studenti využijí pro tvorbu komplexnějších úloh. Protože již např. nemusí tvořit modulátor určitého signálu a stačí jim pouze demodulátor. Toto vede k značné úspoře počtu použitých modulů a zvyšuje to i rozsah možných experimentů. Bez této modulové sady a dalšího systému TIMS je tvorba pokročilých komplexních experimentů značně obtížná a snižují se možnosti použití celé hardwarové verze TIMS.

Dále jsou v diplomové práci uvedeny laboratorní úlohy. První je pro seznámení se systémem TIMS a k získání vědomostí a znalostí, které jsou nezbytné pro úspěšné zvládnutí následující dvojice úloh. Následující dvojice úloh je optimalizována pro paralelní řešení a vyžaduje připojení rozšiřujícího 12-ti slotového racku a druhého osciloskopu. Dále jsem vybral i vhodné kandidáty na digitální osciloskop, který by se používal se systémem TIMS-301.

Hlavní nedostatky softwarové verze vidím v absenci skutečné praktické zkušenosti s hardwarovými moduly (jejich zapojování, připojování vodičů atp.). Další nedostatek spatřuji v nedostatečných zobrazovacích schopnostech osciloskopu, pouze 12-ti pozicích pro moduly, v absenci modulu TRUNKS a ve slabé výkonové optimalizaci aplikace. Naproti tomu výhody softwarové verze jsou nižší cena, možnost práce několika studentů najednou, několikanásobné užití stejných modulů, možnost práce prakticky odkudkoliv a bezpečnost práce na systému TIMS. Výhody hardwarové verze vyplývají z nevýhod softwarové verze.

Seznam zkratek

ASK	- Amplitude shift keying	- amplitudové klíčování
BER	- Bit error rate	- bitová chybovost
BiΦ-L	- Biphas - level	
BPSK	- Binary phase-shift keying	- binární fázové klíčování
CDMA	- Code division multiple access	- vícenásobný přístup s kódovým multiplexem
DAC	- Digital to analog converter	- digitálně analogový převodník
DSSS	- Direct sequence spread spektrum	- přímé rozprostřené spektrum
FSK	- Frequency-shift keying	- frekvenční klíčování
GUI	- Graphical user interface	- grafické uživatelské rozhraní
JRE	- Java runtime environment	- provozní prostředí JAVA
LAN	- Local area network	- lokální síť
MKO		- monostabilní klopný obvod
NRZ-L	- Non-return to zero – level	
NRZ-M	- Non-return to zero - mark	
PCM	- Pulse-code modulation	- pulzní kódová modulace
RZ-AMI	- Return to zero – alternate mark inversion	
PSK	- Phase-shift keying	- fázové klíčování
PWM	- Pulse-width modulation	- pulzně šířková modulace
QAM	- Quadrature amplitude modulation	- kvadrurní amplitudová modulace
TDM	- Time-division multiplexing	- časové multiplexování
TIMS	- Telecommunication Instructional Modeling System	- telekomunikační výukový modelový systém
UNI-RZ	- unipolar - return to zero	
USB	- Universal Serial Bus	- univerzální sériová sběrnice
VCO	- Voltage controlled oscilátor	- napětím řízený oscilátor
WWW	- World wide web	- světová síť

Použitá literatura

- [1] HOOPER, T. *Communication System Modelling with TIMS: Volume A1 - Fundamental Analog Experiments*. 4.9. aktualiz. vyd. Austrálie : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 186 s.
- [2] ŠEBESTA, V. *Teorie sdělování*. 2. aktualiz. vyd. Brno : VUTUM, 2001. 92 s.
- [3] ALFRED, Breznik , MANFREDINI, Carlo. *TIMS-301 USER MANUAL & BASIC MODULES*. 1.6. vyd. Sydney (Austrálie) : EMONA INSTRUMENTS PTY LTD, 2004. 31 s.
- [4] ALFRED, B., MANFREDINI, C. *TIMS ADVANCED MODULES and TIMS SPECIAL APPLICATION MODULES*. 3.6. vyd. Sydney (Austrálie) : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 138 s.
- [5] *Instructor`s Manual to accompany Communication Systems Modelling with TIMS*. 1.1 : Volumes A1, A2, D1, & D2. přeprac. vyd. Sydney (Austrálie) : Emona Instruments Pty Ltd, 2005. 77 s.
- [6] *EMONA TIMS - Main features of TIMS* [online], *PDF dokument*: Dostupný z WWW: <<http://pdf.qpsk.com/tims8p-v22-au-a4s.pdf>>.
- [7] *EMONA TIMS* [online] - *domovská stránka projektu*. Dostupný z WWW: <<http://www.tims.com.au/>>.
- [8] *Net*TIMS Guide*. 2.3. vyd. Sydney (Austrálie) : Emona Instruments Pty Ltd, c2005. 10 s. *PDF dokument*: Dostupný z WWW: <http://www.webtims.com/NetTIMS-Guide-2_3.pdf>.
- [9] PUŽMANOVÁ, R. *Moderní komunikační sítě A-Z*. Computer Press, Brno 2007
- [10] ŠKORPIL, V. *Digitální komunikační technologie*. UTKO, Brno 2002.
- [11] *Wikipedia* [online]. 2001 [cit. 2007-12-01]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page>.
- [12] *PicoScope - User Guide*. 1.7. vyd. St Neots (UK) : Pico Technology Ltd, c2006. 88 s.