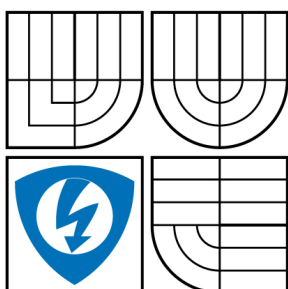




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ PŘENOSOVÉHO ZAŘÍZENÍ VE VÝUCE

EFFECTIVE USAGE OF TRANSMISSION EQUIPMENT IN EDUCATION PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

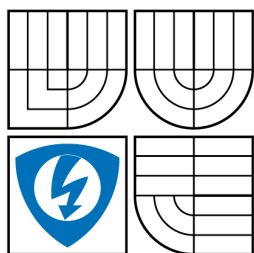
MARTIN ROSENBERG

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VLADISLAV ŠKORPIL, CSc.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Martin Rosenberg

ID: 72905

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Efektivní využití přenosového zařízení ve výuce

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte doporučení ITU-T G.703 zaměřené na rámec E1. Využití rámce E1 uvažujte na v laboratoři dostupných přenosových zařízení PCM30U, PCM 30U-F4 a na nově získaném PCM30U-OCH firmy TTC Marconi, a s. Dále se věnujte analýze E1 moderními testery, např. PUMA. Navrhněte efektivní využití všech uvažovaných zařízení v laboratorní výuce předmětu Přístupové a transportní sítě, výsledky popište a optimalizujte. K ovládní PCM30-OCH připravte přehledný manuál. Navrhněte a realizujte minimálně tři nové laboratorní úlohy do jmenovaného předmětu. V nově navržených úlohách lze kromě výše požadovaných rozborů alternativně využít také moderní výukový systém TIMS, který je v laboratoři k dispozici. Pro nově navržené úlohy zpracujte zadání se vzorovými protokoly.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] TTC Marconi. Manuál k PCM30U-OCH. TTC, Praha 2006
- [2] PUŽMANOVÁ, R. Moderní komunikační sítě A-Z. Computer Press, Brno 2007
- [3] ŠKORPIL, V. Digitální komunikační technologie. UTKO, Brno 2002.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 2.6.2009

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

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Cieľom mojej bakalárskej práce bolo navrhnúť efektívne využitie zariadení, ktoré sú k dispozícii pre výuku v predmete Prístupové a transportné siete a vypracovať na nich tri laboratórne úlohy. Všetky vypracované úlohy obsahujú podrobný teoretický popis, ktorý sa týka danej problematiky, zadanie úlohy, blokové schémy pre lepšie pochopenie úlohy a podrobné pokyny k samotnému meraniu. Po vypracovaní boli tieto úlohy premerané a boli k nim vypracované vzorové protokoly.

Prvá úloha je spracovaná pomocou analyzátora PUMA 4300E. Cieľom je oboznámiť študentov so štruktúrou rámca E1 a meraním tvaru impulzu na linke. Druhá úloha je zameraná na analýzu štruktúry rámca STS-1, ktorý sa využíva v sieťach SONET. Táto úloha je realizovaná na výukovom systéme TutorTIMS. Posledná úloha je vypracovaná na hardwarovej verzii tohto systému, zariadení TMS 301. Jej cieľom je oboznámiť študentov s bitovou synchronizáciou, jej obnovením a meraním jej kvality. Posledná kapitola je venovaná zariadeniu TMS 301. Jej účelom je zefektívniť používanie systému.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

rámec E1, dátový rámec STS-1, bitová synchronizácia, TutorTIMS, TMS 301, PUMA 4300E.

ABSTRACT

The essential goal of my bachelor thesis was to propose effective usage of equipments, which are available for educational process in Accesses and Transports Networks course and elaborate tree laboratory exercises on these devices. All of my developed exercises contain detailed theoretical description, which is focused on actual thesis, layout of the exercise, block diagrams for better understanding of problem and detail instructions for individual measuring. After completion of guide, these exercises were remeasured and exemplary protocol was developed.

The first task is processed with analyser PUMA 4300E. The main issue is to introduce the structure of E1 frame and measuring of pulse shape on E1 line to students. The second exercise is focused on analysis a structure of STS-1 frame, which is currently used in SONET networks. This practice is realized on TutorTIMS educational system. The last exercise is running on hardware version of this system, device TMS 301. The goal is to introduce students the bit clock, regeneration of the bit clock and measuring quality of the bit clock. The last chapter is dedicated to device TMS 301. The primary purpose of this chapter is to make the usage of the system more effective.

KEYWORDS:

E1 frame, STS-1 data frame, bit clock, TutorTIMS, TMS 301, PUMA 4300E.

ROSENBERG, M. *Efektivní využití přenosového zařízení ve výuce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 72 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Efektivní využití přenosového zařízení ve výuce jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu 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 23.5.2009

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladislav Škorpilovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování bakalářské práce.

V Brně dne 23.5.2009

.....

podpis autora

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV	8
ZOZNAM TABULIEK	10
ÚVOD	11
1 LABORATÓRNA ÚLOHA S VYUŽITÍM ANALYZÁTORA PUMA 4300E	12
1.1 Analyzátor PUMA 4300E	12
1.1.1 Popis	12
1.1.2 Funkcie analyzátoru PUMA 4300E.....	14
1.2 Plesiochronná digitálna hierarchia.....	15
1.2.1 Základný popis	15
1.2.2 Rámec E1	16
1.2.3 Multirámec E1.....	18
1.3 Monitorovanie linky E1 pomocou analyzátoru PUMA 4300E	19
1.3.1 Zadanie a vypracovanie.....	19
1.3.2 Vzorový protokol	25
2 LABORATÓRNA ÚLOHA S VYUŽITÍM SYSTÉMU TUTOR TIMS	29
2.1 Výukový systém TutorTIMS.....	29
2.1.1 Základný popis	29
2.2 Synchronna digitálna hierarchia	30
2.2.1 Rozdiel medzi SDH a PDH.....	32
2.2.2 Základná štruktúra SONET/SHD dátového rámca	33
2.3 Multiplexovanie a demultiplexovanie STS-1 dátového rámca.....	36
2.3.1 Popis a vypracovanie.....	36
2.3.2 Vzorový protokol	44
3 LABORATÓRNA ÚLOHA S VYUŽITÍM SYSTÉMU TIMS 301	48
3.1 Systém TIMS 301	48
3.1.1 Základný popis systému TIMS 301	48
3.1.2 Základný popis programu PicoScope.....	49
3.2 Obnovenie bitovej synchronizácie.....	50
3.2.1 Popis a vypracovanie.....	50

3.2.2	Vzorový protokol	58
4	EFEKTÍVNE VYUŽITIE ZARIADENIA TIMS 301 V BUDÚCNOSTI.....	63
4.1	Súčasný stav zariadenia TIMS 301	63
4.2	Zoznam dostupných úloh.....	66
5	ZÁVER.....	68
	LITERATÚRA.....	71
	ZOZNAM SKRATIEK.....	72

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1: Analyzátor PUMA 4300E.....	12
Obr. 1.2: Zadný panel analyzátoru PUMA 4300E.....	13
Obr. 1.3: Princíp multiplexovania v PDH.....	15
Obr. 1.4: Multirámcová synchronizácia.....	18
Obr. 1.5: Principiálna schéma zapojenia pracoviska.....	21
Obr. 1.6: Princíp merania tvaru impulzu.....	24
Obr. 1.7: Tolerančná maska impulzu a tvar skutočného impulzu.....	27
Obr. 2.1: Základné užívateľské rozhranie simulátoru TIMS.....	30
Obr. 2.2: Prepojenie ADM modulov (ADD/DROP MULTIPLEXERI).....	31
Obr. 2.3: Štruktúra rámca STS-1.....	34
Obr. 2.4: Blokový diagram multiplexoru SONET/SDH používaného v systéme TIMS.....	36
Obr. 2.5: Modul SONET/SDH TIMS-STS-1 MUX.....	37
Obr. 2.6: Štruktúra STS-1 rámca.....	38
Obr. 2.7: Schéma zapojenia SONET/SDH multiplexora a demultiplexora.....	39
Obr. 2.8: Pripojenie AUDIO OSCILLATORA do zapojenia.....	40
Obr. 2.9: Princíp multiplexovania a demultiplexovania v sieti SONET.....	41
Obr. 2.10: Schéma zapojenia modulov pre multiplexovania a demultiplexovanie STS-1 rámca.....	42
Obr. 2.11: Štruktúra TIMS-STS-1 rámca.....	45
Obr. 2.12: Porovnanie vstupného a výstupného odfiltrovaného signálu.....	46
Obr. 2.13: Porovnanie vstupného a výstupného signálu pri vypnutej detekcii hlavičiek.....	47
Obr. 3.1: Zariadenie TIMS 301 (hlavná časť).....	48
Obr. 3.2: Užívateľské rozhranie programu PicoScope.....	50
Obr. 3.3: Princíp získania bitovej synchronizácie z dát, ktoré v obsahujú zložku bitovej synchronizácie.....	51
Obr. 3.4: Modul BIT CLOCK REGENERATION.....	52
Obr. 3.5: Princíp merania kvality bitovej synchronizácie.....	53
Obr. 3.6: Schéma zapojenia modulov pre obnovu bitovej synchronizácie.....	54
Obr. 3.7: Schéma prepojenia modulov pre meranie kvality bitovej synchronizácie.....	56
Obr. 3.8: Princíp linkového kódu UNI-RZ.....	59
Obr. 3.9: Zmena sínusového signálu na TTL signál.....	59

<u>Obr. 3.10: Oneskorenie medzi referenčným signálom a obnoveným signálom.....</u>	<u>60</u>
<u>Obr. 3.11: Súbeh referenčného signálu a obnoveného signálu po zmene fázy v PHASE SHIFTER.....</u>	<u>61</u>

ZOZNAM TABULIEK

<u>Tab. 1.1: Hierarchické stupne PDH a ich rýchlosti pre európske usporiadanie.....</u>	<u>16</u>
<u>Tab. 1.2: Hierarchické stupne PDH a ich rýchlosti pre americké usporiadanie.....</u>	<u>16</u>
<u>Tab. 1.3: Štruktúra synchronizačného timeslotu.....</u>	<u>17</u>
<u>Tab. 1.4: Rozvod R15.....</u>	<u>20</u>
<u>Tab. 1.5: Nastavenie parametrov analyzátora.....</u>	<u>22</u>
<u>Tab. 1.6: Namerané hodnoty impulzu.....</u>	<u>27</u>
<u>Tab. 2.1: Popis rámcov SHD a SONET a ich rýchlosti podľa jednotlivých urovní.....</u>	<u>32</u>
<u>Tab. 3.1: Nastavenie prepínača SW1 na karte BIT CLOCK REGENERATION.....</u>	<u>55</u>
<u>Tab. 4.1: Zoznam chýbajúcich modulov pre základné digitálne úlohy.....</u>	<u>63</u>
<u>Tab. 4.2: Zoznam chýbajúcich modulov pre pokročilé digitálne úlohy.....</u>	<u>64</u>
<u>Tab. 4.3: Zoznam chýbajúcich modulov pre pokročilé analógové úlohy.....</u>	<u>64</u>
<u>Tab. 4.4: Zoznam chýbajúcich modulov pre expertné digitálne úlohy.....</u>	<u>65</u>
<u>Tab. 5.1: Zoznam úloh, ktoré môžu byť spracované na zariadení TIMS 301 so súčasným vybavením modulov.....</u>	<u>66</u>

ÚVOD

Predmet Prístupové a transportné siete preberá spôsoby pripojenia koncových zariadení sietí – telefónnych prístrojov, faxov, počítačov atď., pomocou pevných či mobilných prístupových sietí, ku koncovým spojovacím uzlom transportnej siete. Praktická časť tohto predmetu – laboratórne cvičenia, umožňuje študentom overiť si teoretické vedomosti ohľadne fungovania sietí, pripojení sieťových zariadení ku koncovým uzlom sietí, princípy multiplexovania, nastavovanie telefónnych ústrední, atď.

Témou mojej bakalárskej práce je preštudovanie súčasného stavu laboratória a navrhnutie úloh, ktoré by využili doposiaľ nevyužitý potenciál zariadení, ktoré sa v laboratóriu nachádzajú. Jedná sa predovšetkým o analyzátory PUMA 4300E a SunLite, o prenosové zariadenie PCM30U-OCH, ako aj o moderný výukový systém TIMS. Na vybraných zariadeniach je mojím hlavným cieľom vytvoriť tri laboratórne úlohy. K vytvoreným úlohám podrobne spracujem teóriu pre lepšie pochopenie problematiky a vypracujem vzorové protokoly.

V prvej kapitole mám v úmysle využiť zariadenie PUMA 4300E. Zariadenie dokáže detailne monitorovať linku a dekódovať aj hlas, ktorý sa na linke nachádza. Preto sa v tejto úlohe plánujem zaoberať analyzovaním telefónnej linky. Linka E1 patrí do Plesiochrónnej digitálnej hierarchie, ktorá je v súčasnej dobe nahradzovaná Synchronnou digitálnou hierarchiou, popr. sieťou SONET. Preto sa chcem v druhej kapitole venovať práve týmto modernejším prenosovým technológiám. Pomocou výukového systému TutorTIMS budem analyzovať štruktúru rámca SONET. Len málo úloh je vytvorených na hardwarovej verzii zariadenia TIMS. Preto sa pokúsim navrhnúť tretiu laboratórnu úlohu práve na tomto zariadení. Úlohy na softwarovej a hardwarovej verzii systému TIMS sa budem snažiť formulovať spôsobom, ktorý bude motivovať študentov k tvorivej činnosti. Zadanie vzťahu k zariadeniu PCM30U-OCH sa v priebehu semestra pozmenilo. Súčasnú úlohu na tomto zariadení prestali správne pracovať z neznámeho dôvodu. Pokúsim sa preto tento problém odstrániť a uviesť zariadenie do pôvodného stavu. V poslednej kapitole by som chcel prebrať bližšie systém TIMS 301, ktorý je napriek svojej veľkej perspektíve pomerne málo vo výuke využívaný. Hlavným dôvodom je nedostatok, popr. absencia určitých modulov. Vytvorím teda prehľadné tabuľky modulov, ktoré chýbajú a úloh, ktoré je možné spracovať. Vypracujem návrhy, ako toto zariadenie čo najefektívnejšie využiť.

1 LABORATÓRNA ÚLOHA S VYUŽITÍM ANALYZÁTORA PUMA 4300E

1.1 Analyzátor PUMA 4300E

1.1.1 Popis

Analyzátor PUMA 4300E je univerzálny analyzátor a tester pre dátové aj telefónne rozhrania. Je vybavený funkciami pre komplexnú analýzu v sieťach PCM (E1), ISDN, FRAME RELAY, V5. Medzi základné funkcie patrí meranie chybovosti v oboch smeroch, meranie pulzu digitálneho signálu, generovanie a meranie oneskorenia, monitorovanie PCM kanálov. Na obrázku 1.1 je znázornený tento analyzátor aj s popisom jednotlivých častí predného panelu.

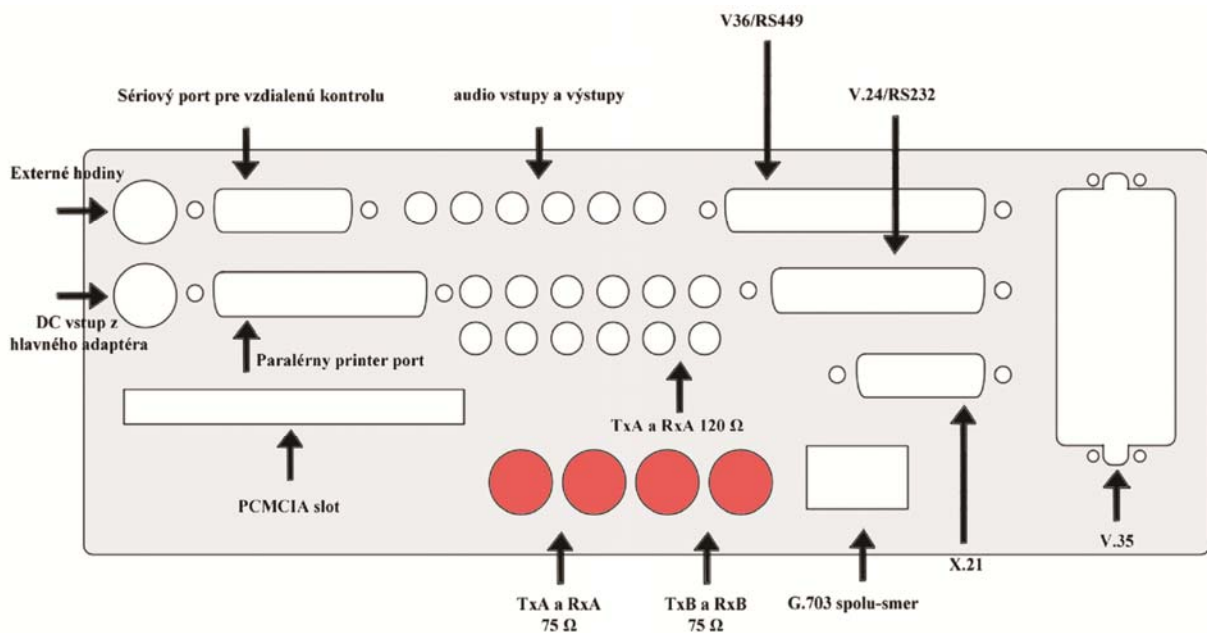
Dva nezávislé prijímacie porty zariadenia Puma 4300E dovoľujú monitorovať oba smery E1 linky. Aktivita na každom timeslote je zistená a zobrazená na displeji analyzátoru. Kanál obsahuje zobrazenie „pripraveného“ kanála (*idle*), meranie chybovosti kanála (*BERT*), signalizačného a použitého kanála (*used*). Každý kanál môže byť pomocou kurzorov detailne zobrazený. Súčasťou zariadenia je aj dekodér hlasu, pomocou ktorého je možné na vedení detekovať hlas, dekodovať ho a vypočítať.



Obr. 1.1: Analyzátor PUMA 4300E

1. 16 dvojfarebných indikátorov
2. LCD display (640x480)
3. Mikrofón a reproduktor (pre rozprávanie do kanálu alebo pre odposluch z kanálu)
4. HOT KEYS (rýchle klávesy, kontrolné tlačidlá)
5. Kurzory
6. Číslicové tlačidlá
7. Kontrast
8. Napájanie
9. Stav batérie

Analyzátor PUMA je v porovnaní s analyzátorom E1 výrazne zložitejší a komplexnejší. Na zadnom paneli prístroja je niekoľko rozhraní, ktorými sa dajú jeho funkcie rozšíriť. Na obrázku 1.2. je zobrazený zadný panel analyzátora s popisom.



Obr. 1.2: Zadný panel analyzátora PUMA 4300E

1.1.2 Funkcie analyzátora PUMA 4300E

Analyzátor PUMA má mnoho funkcií a zvládne mnoho rôznych testov. V nasledujúcom texte je uvedených len niekoľko vybraných funkcií:

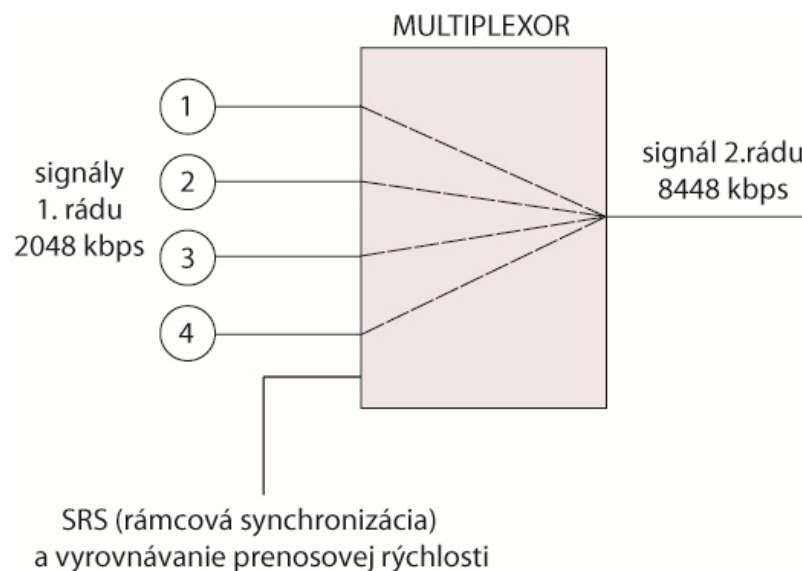
- Sledovanie 2.048 Mbps okruhov – prístroj umožňuje sledovať oba smery linky E1 priamo za prevádzky. Vďaka zabudovanému kóderu a dekóderu môžeme testovať prítomnosť hlasu v danom PCM kanále.
- Analýza PCM E1 okruhov – riešenie problémov: chybné pripojenie, dátové chyby, chybné zariadenie, preventívne sledovanie zariadenia, t.j. sledovanie frekvencie, tvaru pulzu.
- Testovanie fyzickej vrstvy
- VF testovanie
- Odkrývanie problémov časového charakteru

V predchádzajúcom texte sú uvedené len základné funkcie analyzátora, podrobný popis je v užívateľskom manuály [6].

1.2 Plesiochronná digitálna hierarchia

1.2.1 Základný popis

Plesiochronná digitálna hierarchia (*PDH- Plesiochronous Digital Hierarchy*) je technológia používaná v telekomunikačných sieťach pre prenos veľkého množstva dát cez digitálne prenosové zariadenia ako napr. optické linky, mikrovlnné rádiové systémy, atď. Termín „plesiochronous“ je odvodený z gréčtiny a voľne preložený ako „blízkočasový“, čo zodpovedá faktu, že PDH sieť funguje v stave, keď rozdielne časti siete sú takmer, ale nie dokonale synchronizované. V súčasnosti vo väčšine telekomunikačných systémov je PDH nahradzované modernejšou sieťou SDH – synchronná digitálna hierarchia (*SDH - Synchronous Digital Hierarchy*) alebo SONET – synchronná optická sieť (*SONET – Synchronous Optical Networking*). PDH dovoľuje prenos dátových tokov, ktoré majú rovnakú rýchlosť, ale dovoľuje aj zmenu rýchlosti okolo určitej normálovej hodnoty, pretože tieto signály nemajú oproti signálom vyššieho rádu presne stanovený časový vzťah. Na obrázku 1.3 je znázornené ako sa jednotlivé toky nižších rádov multiplexujú do toku vyššieho rádu, využíva sa časové delenie kanálu.



Obr. 1.3: Princíp multiplexovania v PDH

V tabuľke 1.1 resp. tabuľke 1.2 sú uvedené prenosové rýchlosti v PDH rôznych rádoch s prenosovou rýchlosťou kanála 64 kbps pre európske, resp. americké usporiadanie.

Tab. 1.1: Hierarchické stupne PDH a ich rýchlosti pre európske usporiadanie

Rád	Prenosová rýchlosť	Počet tel. kanálov	Typické využitie
0	64 kbps	1	Spojenie z miestnej ústredne k účastníkovi
1	2 Mbps	30	Prepojenia miestnych ústrední
2	8 Mbps	120	Prepojenia miestnych ústrední
3	34 Mbps	480	Prepojenia miestnych ústrední
4	140 Mbps	1920	Vysokokapacitné prepojenie veľkých ústrední
5	565 Mbps	7680	Vysokokapacitné prepojenie veľkých ústrední
6	2,4 Gbps	30720	Budúce veľkokapacitné systémy

Tab. 1.2: Hierarchické stupne PDH a ich rýchlosti pre americké usporiadanie

Rád	Prenosová rýchlosť	Počet tel. kanálov	Označenie hierarchie
0	64 kbps	1	DS0
1	1,5 Mbps	24	DS1 alebo T1
2	6,3 Mbps	96	DS2 alebo T2
3	45 Mbps	672	DS3 alebo T3
4	274 Mbps	4032	DS4 alebo T4

1.2.2 Rámec E1

E1, nazývaný tiež „dvojmegabit“ je signálom 1. rádu v európskej PDH (*Plesiochronná digitálna hierarchia*). Rámec E1 sa skladá z 32 timeslotov (označenie 0 až 31), jeho dĺžka je 125 μ s. Jeden timeslot sa skladá sa z 8 bitov. Z toho vyplýva prenosová rýchlosť 2048 kbps (32 timeslotov \times 8 bit \times 8000 Hz) a tiež aj označenie ako „dvojmegabitová“ linka. Jeden timeslot je teda schopný prenášať dáta rýchlosťou 64 kbps (8 bit \times 8000 Hz).

Pre prenos užívateľských dát je možné použiť 30 timeslotov, pretože prvý timeslot (označenie č.0) je použitý pre rámcovú synchronizáciu a prenos služobných informácií napr. alarmy, 17ty timeslot (označenie č.17) taktiež nie je možné použiť, tento timeslot je určený pre signalizáciu.

V tabuľke 1.3 je uvedená štruktúra synchronizačného timeslotu.

Tab.1.3: Štruktúra synchronizačného timeslotu

timeslot 0	bit 1	bit 2	bit 3	bit 4	bit 5	bit 6	bit 7	bit 8
párne rámce	X	0	0	1	1	0	1	1
nepárne rámce	X	1	A	N	N	N	N	N

Bit A - indikácia poplachu (alarmu) vzdialenému prenosovému zariadeniu

Bit X - môže byť použitý operátorom v medzinárodnej prevádzke

Bity N - môžu byť použité v národnej prevádzke

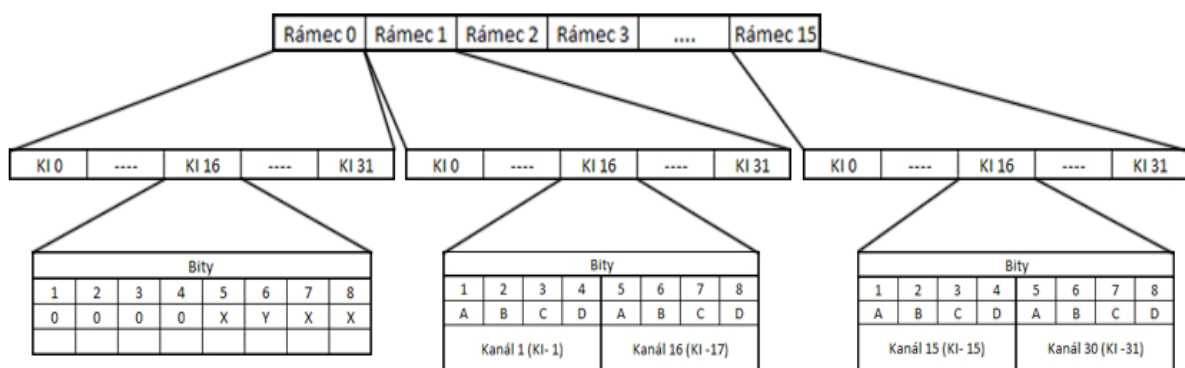
V každom párnom rámci je v timeslote č.0 prenášaná rámcová synchronizácia v zložení 001101. V nepárnom rámci je na pozícii druhého symbolu nahradená 0 symbolom 1, čím sa uľahčuje rozpoznanie synchronizačných rámcov. V prípade, že synchronizačná skupina je 3-krát za sebou prijatá chybné, hoci je chybná len v jednom bite, je synchronizácia vyhodnotená ako stratená. Pre obnovenie synchronizácie musí prísť správne vyhodnotená synchronizačná skupina, následne nepárny rámec a opätovne správne prijatá synchronizačná skupina sa pokladá za opätovné nadviazanie synchronizácie.

Linka E1 sa používa ako pre prenos dát, tak pre prenos hlasu, prípadne je možné oba režimy kombinovať. V dátovom režime je koncovému užívateľovi k dispozícii rýchlosť od 64 kbps (1 timeslot) až do maximálnej rýchlosti 1984 kbps (31 timeslotov po 64 Kbit/s). Pre prenos hlasu je možné v každom timeslote prenášať jeden hovor v digitálnej kvalite PCM. Na jednej linke môže teda prebiehať 30 hovorov a zostávajúci timeslot (väčšinou č.16) sa použije pre signalizáciu.

Ak chceme kombinovať prenos hlasu a dát musíme použiť multiplexor, ktorý rozdelí E1 linku na dve časti. Prvá obsahuje napr. prvých 14 kanálov pre hovory a jeden timeslot pre signalizáciu a pripojuje sa k pobočkovej ústredni (PBX). Druhá časť používa zvyšných 16 timeslotov o celkovej rýchlosti 1024 Kbit/s a pripojuje sa napr. do smerovaču pre pripojenie do internetu. Tento pomer timeslotov bol len príklad, počet timeslotov pridelených pre hlas a pre dáta je možné meniť.

1.2.3 Multiráamec E1

Odporúčania CCITT (*ITU-T*) popisujú aj zloženie multiráamca E1. Multiráamec je zložený zo 16 rámcov, dĺžka rámcu je 125 μ s, čiže dĺžka multiráamca je 2 ms. Multiráamcová synchronizácia sa označuje ako MFAS (*Multiframe Alignment Signal*). Synchronskupina 0000 je umiestnená v prvom rámcu (*ráamec č.0*) multiráamca (*16 rámcov*). Prvý ráamec obsahuje 32 kanálových intervalov, v 17 kanálovom intervale je umiestnená synchronskupina na pozícii prvých 4 bitov, ako je viditeľné na obrázku 1.4.



Obr.1.4: Multiráamcová synchronizácia

Rámce sú prenášané pomocou 30 telefónnych kanálov na kanálových intervaloch 1-15 a 17-31. V každom telefónnom kanály sú 4 synchronizačné kanály a, b, c, d. Pre 30kanálové systémy sú použité iba kanály a, b. Symbol c má hodnotu 0, symbol d má hodnotu 1. Bit označený Y na šiestej pozícii kanálového intervalu č.16 ráamca R0 sa používa na poplachový signál straty MFAS. Tento typ signalizácie sa nazýva CAS (*Channel Associated Signalling*). V digitálnom spojovaní sa tiež používa centralizovaná signalizácia CCS (*Common Channel Signalling*) s využitím signalizačného systému SS7. Potom je možné pre prenos dát využiť 31 kanálových intervalov. Podrobnejší popis je uvedený v literatúre [1] a [4].

1.3 Monitorovanie linky E1 pomocou analyzátoru PUMA 4300E

1.3.1 Zadanie a vypracovanie

Cieľ laboratórnej úlohy:

Overenie štruktúry rámca E1, prítomnosť signalizačných a synchronizačných timeslotov, ako aj overenie špecifických bitov v timeslotoch rámca E1 so zameraním na signalizačné bity. Pozorovať tvar impulzu a vyhodnotiť jeho parametre a splnenie požiadaviek ITU.

Zadanie:

1. Oboznámte sa s pracoviskom a so zariadeniami na pracovisku.
2. Realizujte horúcu linku pomocou prenosového zariadenia PCM30U a prepájacieho poľa PCM30U-F4.
3. Zoznámte sa s analyzátorom PUMA 4300E a pripojte ho k zrealizovanej horkej linke.
4. Analyzujte linku E1 pomocou analyzátoru.
5. Zmerajte tvar impulzu E1 a vyhodnoťte, či vyhovuje tolerančnej maske.
6. Uveďte pracovisko do pôvodného stavu a vypracujte protokol.

Použité prístroje:

- Analyzátor PUMA 4300
- 2x prenosové zariadenie PCM30U so spojovacím poľom PCM30-F4
- 2x telefónny prístroj
- Prepájacie káble

Vypracovanie:

Realizácia horkej linky pomocou PCM30U a PCM30U-F4:

Linku realizujte pomocou rozvodného poľa R15. Program cross-connectu pre túto úlohu je nastavený automaticky. Horúcu linku zrealizujete prepojením kanálov 3 a 18 na oboch zariadeniach nasledovne:

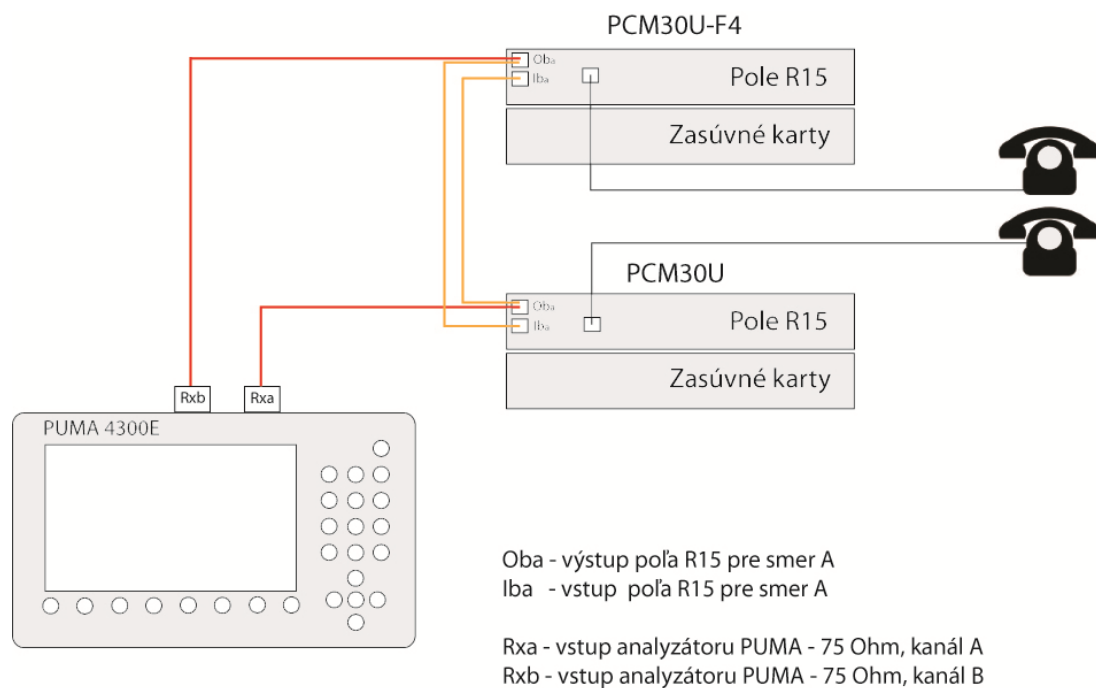
1. Pomocou tabuľky 1.4 sa zoznámte s logickým usporiadaním kanálov a štruktúrou poľa.

Tab. 1.4: Rozvod R15

Rozvod R15															
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	5b 10b	
Ob _A Ob _B	5l 5O	20l 20O	5M 20M	20p 20x	10l 10O	25l 25O	10M 25M	15l 15O	30l 30O	15M 30M	30p 30x1	30x2 30x3			
5 (pozice KJ)				10 (pozice KJ)				15 (pozice KJ)							
5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a	5a 10a		
Oa _A Oa _B	5l 5O	20l 20O	5E 20E	5p 5x	10l 10O	25l 25O	10E 25E	15l 15O	30l 30O	15E 30E	15p 15x1	15x2 15x3			
4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b	4b 9b		
lb _A lb _B	4l 4O	19l 19O	4E 19E	19p 19x	9l 9O	24l 24O	9M 24M	14l 14O	29l 29O	14M 29M	29p 29x1	29x2 29x3			
4 (pozice KJ)				9 (pozice KJ)				14 (pozice KJ)							
4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a	4a 9a		
la _A la _B	4l 4O	19l 19O	4E 19E	4p 4x	9l 9O	24l 24O	9E 24E	14l 14O	29l 29O	14E 29E	14p 14x1	14x2 14x3			
3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b	3b 8b		
STS ₁ 102	3l 3O	18l 18O	3M 18M	18p 18x	8l 8O	23l 23O	8M 23M	13l 13O	28l 28O	13M 28M	28p 28x1	28x2 28x3			
3 (pozice KJ)				8 (pozice KJ)				13 (pozice KJ)							
3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a	3a 8a		
STS ₂ 101	3l 3O	18l 18O	3E 18E	3p 3x	8l 8O	23l 23O	8E 23E	13l 13O	28l 28O	13E 28E	13p 13x1	13x2 13x3			
2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b	2b 7b		
Ob _C Ob _D	2l 2O	17l 17O	2M 17M	17p 17x	7l 7O	22l 22O	7M 22M	12l 12O	27l 27O	12M 27M	27p 27x1	27x2 27x3			
2 (pozice KJ)				7 (pozice KJ)				12 (pozice KJ)							
2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a	2a 7a		
Oa _C Oa _D	2l 2O	17l 17O	2E 17E	2p 2x	7l 7O	22l 22O	7E 22E	12l 12O	27l 27O	12E 27E	12p 12x1	12x2 12x3			
1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b	1b 6b		
lb _C lb _D	1l 1O	16l 16O	1M 16M	16p 16x	6l 6O	21l 21O	6M 21M	11l 11O	26l 26O	11M 26M	26p 26x1	26x2 26x3			
1 (pozice KJ)				6 (pozice KJ)				11 (pozice KJ)							
1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a	1a 6a		
la _C la _D	1l 1O	16l 16O	1E 16E	1p 1x	6l 6O	21l 21O	6E 21E	11l 11O	26l 26O	11E 26E	11p 11x1	11x2 11x3			
Připojení na jednotku:															
UI, UI-16	vstup/výstup hovoru pár O				vstup hovoru				I	PO	viz. figura V.24/V.28 (RS232)				
UII, UII-16	vstup/výstup hovoru pár O				výstup hovoru				O	DV36	viz. figura V.11				
MB, UT	vstup/výstup hovoru pár O				vstup signalizace				E	P64	viz. figura G.703				
EM2	vstup/výstup hovoru pár O				výstup signalizace				M	SMM/A	viz. figura V.24/V.28 (RS232)				
	vstup signalizace				E	blok přenašečů				P	SMM/B	zakázáno vyvádět přes rozvaděč			
	výstup signalizace				M										
	blok přenašečů				P										

Táto tabuľka popisuje vyvedenie kanálových jednotiek ku kontaktnému poľu R 15. Údaje v šedej zóne sú pozičné, v bielej časti konštrukčného charakteru (nás nezaujímajú). V dvojtýpci 0 (vľ. rozvod) označenie OA, OB, Oc, OD a IA, IB, IC, ID udáva O (*output - výstup*) a I (*input - vstup*) v smeroch A, B, C, D prepojavacieho pola CC. Zariadenie PCM30U prepája len do smeru A, PCM30U-F4 do všetkých smerov. Konektory 5a a 5b (*Oba*) tvoria výstup zo zariadenia do smeru A, obdobne je to aj pre vstup. Prepojenie oboch zariadení realizujeme práve pomocou týchto vstupov, resp. výstupov.

- Číslo v hlavnom poli tabuľky 1.4 z intervalu 1 až 15 udávajú pozíciu kanálových jednotiek. Na 3. pozícii kanálovej jednotky vyhľadajte výstup kanálu č.3 označený ako 3O. (obdobne sa postupuje pri kanále č.18, tj. 18O). Pripojte na tento výstup telefónny prístroj. Akciu opakujte pre druhé zariadenie. Z toho vyplýva, že pripojením tel. prístrojov na výstupy 3O resp. 18O na oboch zariadeniach zrealizujeme horkú linku. Funkčnosť linky následne overte.



Obr. 1.5: Principiálna schéma zapojenia pracoviska

Ovládanie zariadenia PUMA 4300 E, analýza linky E1 .

- Oboznámte sa s analyzátorom PUMA. Podľa schémy zapojenia zobrazenej na obrázku 1.5 pripojte výstup smeru A z oboch zariadení na vstupy kanálov RxA, resp. RxB analyzátoru. Pripojenie sa realizuje pomocou zachytávacích svoriek. Zapojenie je trošku obtiažnejšie zrealizovať.
- Zapnite analyzátor PUMA 4300E.

5. Ovládanie analyzátoru:

Ovládanie analyzátoru je intuitívne a jednoduché vzhľadom na dobre spracované grafické prostredie. Pri zapnutí je dôležité prístroj nastaviť pre potreby nášho merania.

V menu sa pohybujeme navigačnými šípkami ↓←↑→ umiestenými v pravom dolnom rohu prístroja. Tlačidlom RUN/STOP spustíme aktuálny test bez ohľadu na aktuálne umiestnenie navigačných šípok. Zobrazenie záznamu volíme šípkou doprava → (*obdoba enteru*). Tlačidlá F1-F8 slúžia pre konfiguráciu a zobrazenie detailov súvisiacich s daným meraním.

Hlavné menu sa skladá zo 4 položiek, do položiek System Setup (*nastavenia systému*) a Options (*všeobecné nastavenia*) nevstupujte, sú pre nás irelevantné. Význam pre nás majú položky Test Mode (*mód testovania*) a Interface Setup (*nastavenie rozhrania*). Prejdite do menu Test Mode a z možností vyberte E1, voľbu potvrdíte. Následne prejdite do menu Interface Setup a skontrolujte či nastavenia pre kanál A aj pre kanál B odpovedajú hodnotám uvedeným v tabuľke 1.5. V prípade odlišnosti nastavenia opravte.

Tab. 1.5: Nastavenie parametrov analyzátoru

Interface	E1
Port	75 Ω
Termination	Monitor
Line Coding	HDB3
Tx source	Pattern

6. Spustenie analýzy:

Vráťte sa do hlavného menu a tlačidlom RUN/STOP spustite analýzu linky E1 medzi zariadením PCM30U a PCM30U-F4. V prípade chybného hlásenia skontrolujte pripojenie konektorov a pomocou tlačidla F2 meranie opakujte, až kým sa nezobrazí pre obe zariadenia stav NO FAULTS (*bez závad*).

7. Analýza linky:

Pre analýzu využime kanál A, kanál B bude slúžiť len ako informačný. Informácie o jednotlivých kanáloch získate presunom na konkrétny kanálový interval pomocou $\downarrow\leftarrow\uparrow\rightarrow$. Oboznámte sa s jednotlivými druhmi hlásení pre rôzne rámce, oboznámte sa hlavne s kanálmi 00 a 16. Analyzujte jednotlivé kanály a získané informácie doplňte do vzorového protokolu.

8. Sledovanie zmien na linke E1 pri signalizácii hovoru:

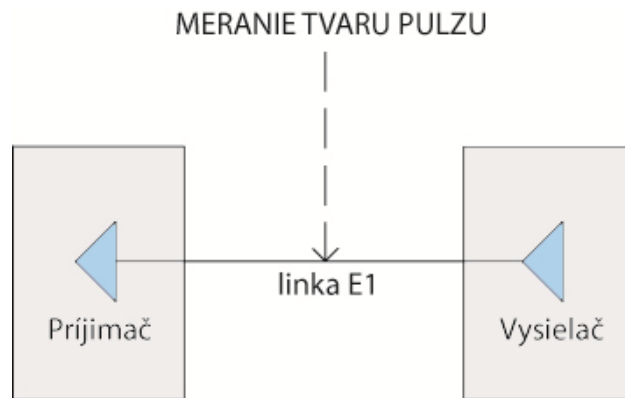
Zobrazte kanál č.16. Realizujte vyzváňanie horkej linky a sledujte zmeny na jednotlivých kanáloch. Následne zmeňte na prepojovacom poli F4 horkú linku na kanál č.18. Opakujte vyzváňanie a pomocou získaných informácií vyplňte vzorový protokol.

9. Overenie prenosu hlasu cez linku E1:

Na linke E1 sme doposiaľ overili len prítomnosť signalizácie, overte preto analyzátorom PUMA a následne reproduktujte hlas prenášaný po vedení. V pravom hornom rohu aktivujte reproduktor tlačidlom znaku reproduktora (+,- *upravujú hlasitosť*). Z reproduktora by malo byť následne počuť ako zvuk vyzváňania, tak aj hlas prenášaný po linke.

Meranie tvaru impulzu:

V prenosových systémoch E1 sú signály rušené, vkladané a sprístupnené v určitých bodoch prenosovej cesty. Pre spoľahlivý príjem, monitorovanie alebo prístup k týmto signálom sa musia najskôr prispôbiť parametrom ako sú napr. šírka pulzu (*pulse width*), čas nábehu (*rise time*), amplitúda (*amplitude*), podkmit (*undershoot*) a prekmit (*overshoot*). Ak sa pulz v tomto mieste zhoduje s maskou ITU, bude prijímač schopný tento signál bez problémov dekódovať. Princíp merania tvaru impulzu je znázornený na obrázku 1.6. Pre pulz E1 je na ose x uvedený čas v nanosekundách, v ose y je veľkosť amplitúdy vo Voltoch.



Obr. 1.6: Princíp merania tvaru impulzu

1. Zapojenie pracoviska:

Odpojte zrealizovanú horkú linku. Výstup zariadenia PCM30U pripojte na vstup kanála A analyzátoru PUMA.

2. Nastavenie analyzátoru a meranie tvaru impulzu:

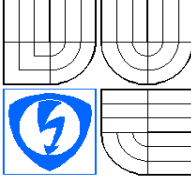
V analyzátore prejdite do hlavného menu a rozbaľte položku Test Mode (kurzorom →), vyberte možnosť Pulse Mask a výber potvrdíte. V položke Interface Setup zmeňte parameter Termination na *Term.* a zmenu potvrdíte. Tlačidlom RUN/STOP spustite meranie tvaru impulzu, overte či pulz E1 vyhovuje maske (*graf je vykreslený v maske*) a do vzorového protokolu doplňte namerané hodnoty a načrtnite tvar impulzu.

Po dokončení úlohy upravte pracovisko do pôvodného stavu a vyplnený protokol odovzdajte vyučujúcemu.

Použitá literatúra:

Informácie potrebné pre realizáciu úlohy čerpané z [1], [3], [5], [6], [7].

1.3.2 Vzorový protokol

 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ	Předmět Prístupové a transportné siete	
	Jméno Martin Rosenberg	
	Ročník	Studijní skupina
	Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval	Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy Monitorovanie linky E1 pomocou analyzátoru PUMA	

Po pozornom preštudovaní problematiky a vypracovaní laboratórnej úlohy odpovedzte na nasledujúce otázky.

Analyzovanie linky E1:

Aký typ rámca sa nachádza na timeslote č.0 ?

synchronizačný

Aký je rozdiel medzi FAS a NFAS?

FAS (Frame Alligment Signaling) je označenie pre párne synchronizačné rámce, NFAS pre nepárne

K čomu slúžia bity A a SiA až Si8?

A sa používa na indikáciu poplachu a bity SiA-Si8 môžu byť použité v národnej prevádzke

Aký typ rámca sa nachádza na timeslot č.16?

signalizačný

Čo znamená CAS?

Je to typ signalizácie využívanej na linkách E1, CAS (Channel Associated Signaling)

Čo znamená MFAS?

Multirámcová synchronizácia MFAS (Multiframe Alignment Signaling)

Čo znamená, keď je timeslot označený BERT?

Chybné dáta, BERT (Bit Error Rate Transmission)

Čo znamená, keď je timeslot označený USED?

Aktuálne sa na timeslote nachádzajú užitočné dáta. Kanál je v stave "použitý"

Čo znamená, keď je kanál označený IDLE?

Aktuálne sa na timeslote nenachádzajú užitočné dáta. Kanál je v stave "pripravený"

Pre ktorý timeslot sa v prvom prípade zmenila signalizácia pri podvihnutí tel. prístroja a prečo?

Zmenila sa pre timeslot č.3, pretože je na ňom realizovaná horúca linka

Pre ktorý kanál po zmene prepojenia sa zmenila signalizácia pri podvihnutí tel.prístroja a prečo?

Zmenila sa pre timeslot č.19, pretože horúca linka je realizovaná na výstupe č.18, ale keďže je 16ty timeslot využitý pre signalizáciu, zmenilo sa označenie kanálov (o jedno vyššie)

Prečo je frekvencia oboch kanálov 2048005 Hz?

Pretože prenosová rýchlosť linky E1 je 2048 kbps. Tejto rýchlosti odpovedá frekvencia 2048 kHz.

Meranie tvaru impulzu:

Spĺňa zariadenie PCM30U tvar impulzu požiadavky ITU, ak nespĺňa, prečo?

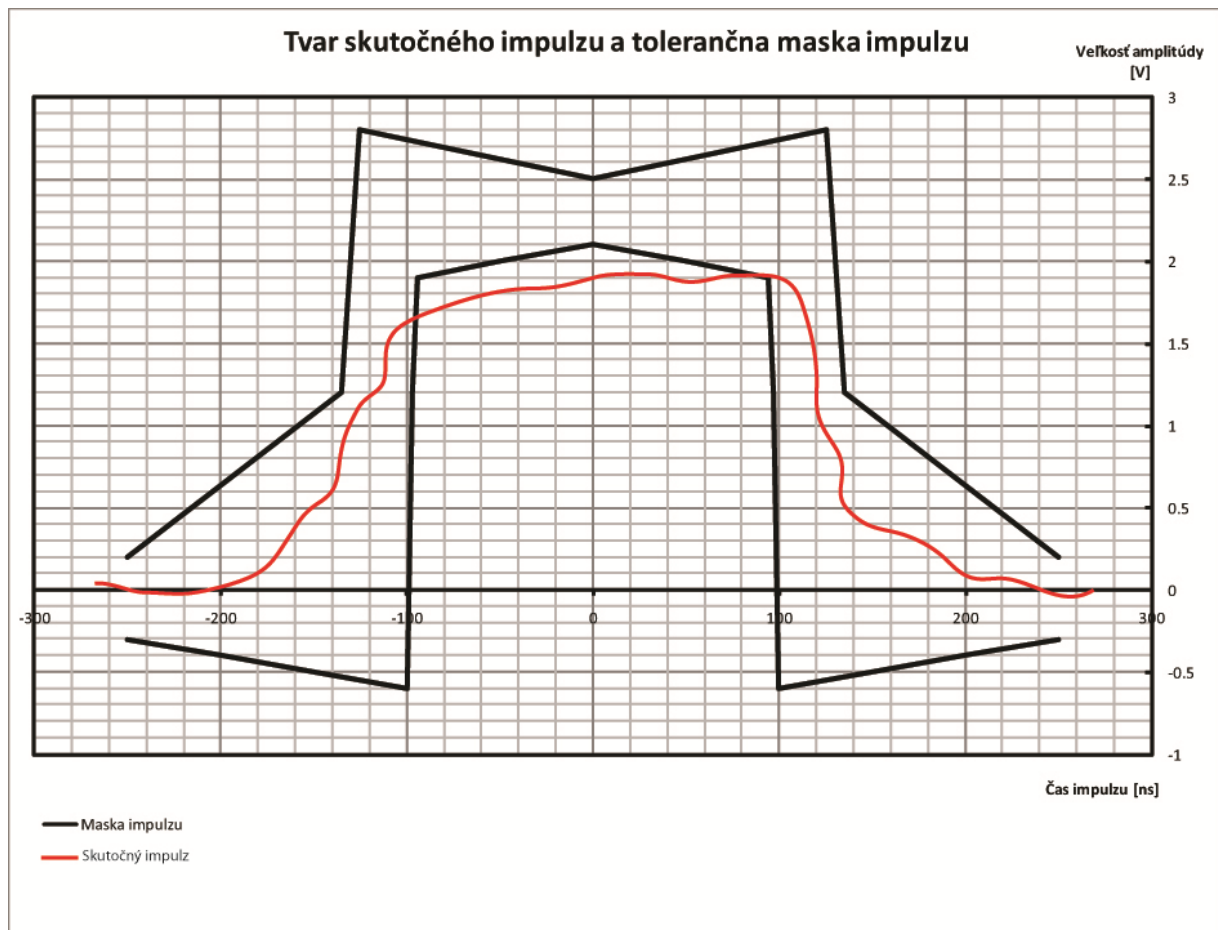
V našom prípade nespĺňalo požiadavky, chybu impulzu mohli spôsobiť kontakty pripojovacích káblov

Do tabuľky 1.6 vyplňte namerané hodnoty tvaru impulzu pre zariadenie PCM30U:

Tab. 1.6: Namerané hodnoty impulzu

Šírka impulzu (Pulse width)	232 ns
Amplitúda (Pulse Level)	2.26 V
Čas nábehu (Rising Edge)	133 ns
Čas dobehu (Falling Edge)	149 ns
Podkmit (undershoot)	0,13%
Prekmit (overshoot)	0.12%

Do obrázku 1.7 načrtnite priebeh impulzu do impulznej masky:



Obr. 1.7: Tolerančná maska impulzu a tvar skutočného impulzu

Záver:

V tejto laboratórnej úlohe sme sa zamerali na analýzu linky E1, overili sme existenciu špecifických bitov ako v signalizačnom, tak aj synchronizačnom timeslote. Realizáciou horkej linky sme overili zmenu signalizačného bitu na konkrétnom timeslote. Prítomnosť hlasu sme pomocou analyzátoru dekódovali a vypočuli. V druhej časti úlohy sme analyzovali tvar impulzu E1, vyhodnotili, či vyhovuje impulznej maske podľa ITU a následne sme výsledný graf načrtli. V úlohe sme si overili teoretické znalosti, získané z prednášok.

2 LABORATÓRNA ÚLOHA S VYUŽITÍM SYSTÉMU TUTOR TIMS

2.1 Výukový systém TutorTIMS

2.1.1 Základný popis

TIMS (Telecommunications Instructional Modelling System) od firmy EMONA INSTRUMENTS je program určený pre simuláciu telekomunikačných princípov, modulácií a kódovaní bez nutnosti potreby použitia mnohých prístrojov. TIMS je praktický a názorne ukázkový výukový systém určený prevažne pre vysoké školy technického zamerania. Umožňuje vytvoriť a simulovať experimenty pomocou blokových schém a matematických rovníc. Hlavná výhoda je, že využíva rovnaké blokové schémy ako hardwarová verzia, ale na rozdiel od nej ho môže využívať viac študentov súčasne. K simulačným pokusom môžu študenti využiť radu predpripravených úloh, ktoré sú súčasťou distribúcie.

TIMS je naprogramovaný v jazyku JAVA, na stránkach výrobcu je možnosť stiahnuť demoverziu tohto programu, ktorá však umožňuje použitie len niekoľkých funkcií. Škola má zakúpenú sieťovú licenciu, pre prácu v programe mimo školy je možné pripojiť sa školský server cez vzdialenú plochu.

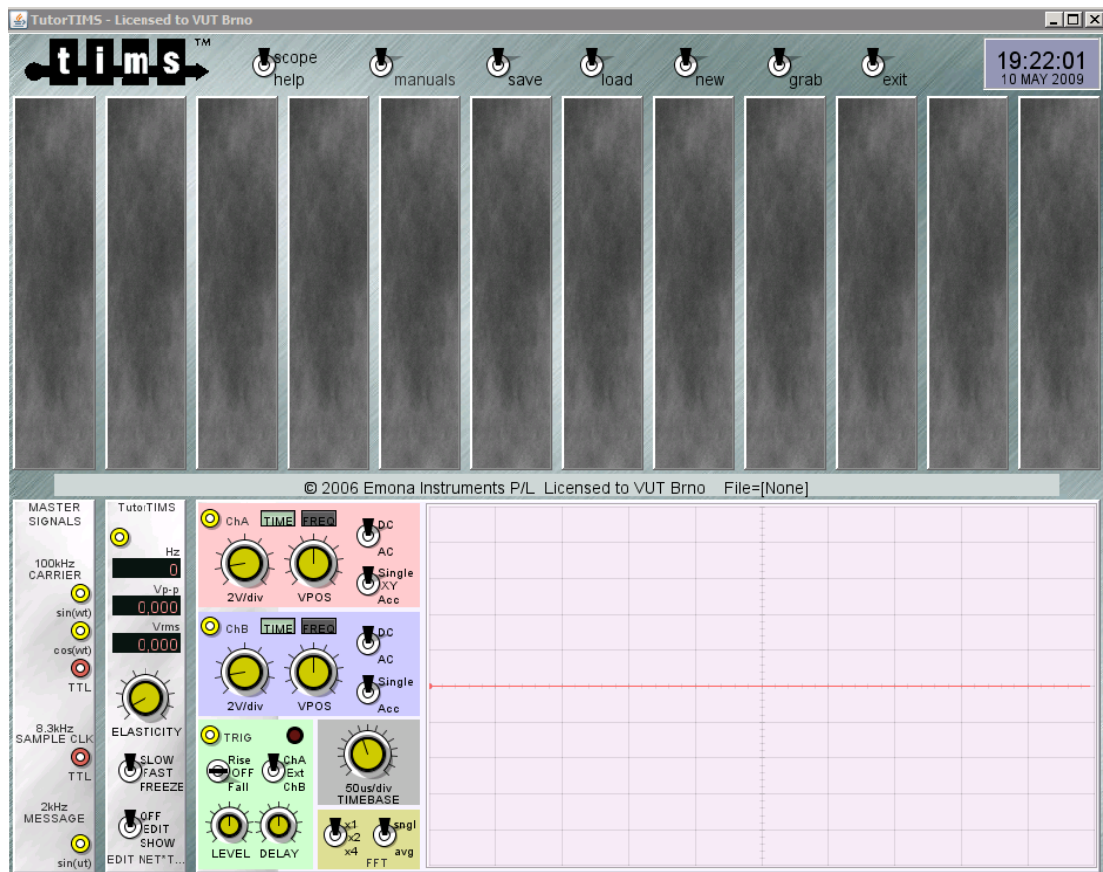
Pracovné prostredie je znázornené na obrázku 2.1. V hornej časti zariadenia sa nachádza 12 slotov pre prídavné moduly. Pravým tlačítkom na myši sa dostaneme do ponuky modulov, k dispozícii máme 3 kategórie modulov – základné, pokročilé a posledná skupina sú expert moduly. Každý modul má niekoľko farebných svoriek pre pripojenie vodičov, žlté konektory značia, že sa jedná o analógový signál, červené sa týkajú digitálnych signálov a zelené uzemnenia. Na základnej obrazovke sa nachádzajú aj moduly, ktoré sú v programe dané napevno:

- MASTER SIGNAL - slúži ako generátor hlavných signálov.
- TutorTIMS – slúži ako voltmeter, merač frekvencie.
- ChA a ChB – slúžia na zobrazenie priebehov na výstupe.
- TIMEBASE – nastavuje sa ním časová základňa výsledných priebehov.

Spájanie jednotlivých modulov sa uskutočňuje pomocou myši, kde ľavým kliknutím na konektory prepojíme dané moduly a pravým kliknutím spojenie odoberieme. Dôležité je

ešte pripomenúť, že simulátor TutorTIMS nedovoľuje prepojenie výstupu resp. vstupu na iný výstup resp. vstup.

Ovládanie programu je intuitívne a vysokoškolský študent musí princíp a fungovanie simulátora bez problémov pochopiť a zvládnuť. Viac informácií o ovládaní programu ako aj o funkčnosti jednotlivých modulov je uvedené v priložených manuáloch [9], [10].



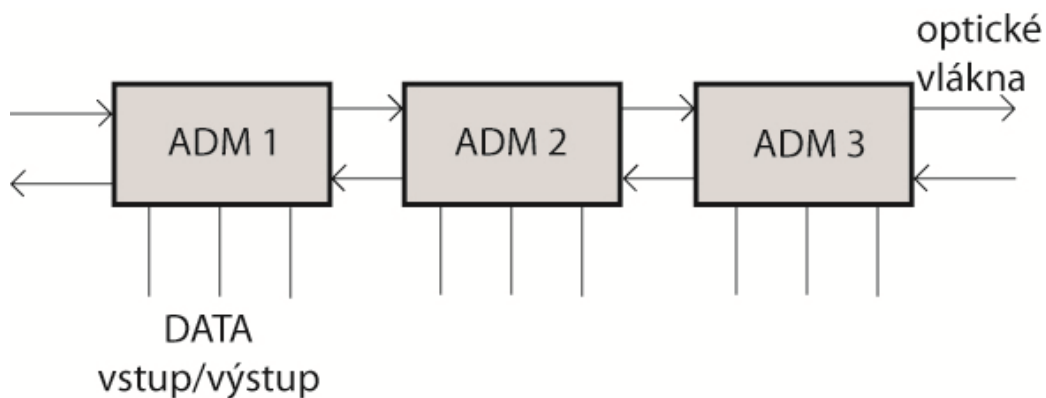
Obr. 2.1: Základné užívateľské rozhranie simulátora TutorTIMS

2.2 Synchronná digitálna hierarchia

Synchronná optická sieť (*SONET-Synchronous Optical Networking*) a Synchronná digitálna hierarchia (*SDH-Synchronous Digital Hierarchy*) sú dva multiplexné protokoly pre prenos niekoľkých digitálnych dátových tokov za použitia laserov alebo svetelných diód cez optickú linku. SDH bola vytvorená, aby nahradila staršiu Plesiochrónnu digitálnu hierarchiu (*PDH- Plesiochronous Digital Hierarchy*) z dôvodu prenosu väčšieho množstva telefónnych hovorov a dát po rovnakom vlákne a bez synchronizačných problémov. Tieto dva protokoly

boli originálne navrhnuté pre prenos komunikácie po okruhoch od rôznych zdrojov. V tomto bode však nastal problém so synchronizáciou, pretože každý zdroj pracoval na mierne inej frekvencii a s inou fázou. V dnešnej dobe SONET dovoľuje prenos množstva rozličných okruhov z rôznych zdrojov pomocou jedného rámcového protokolu. Z tohto vyplýva, že SONET nie je komunikačný protokol, ale transportný. Pre protokoly ako napr. TCP/IP, ATM bola vnútorná štruktúra predtým používaná pre prenos spojovo-orientovaných liniek odstránená a nahradená veľkým, kaskádovým rámcom, do ktorého boli umiestené rámce ATM, IP pakety alebo Ethernet.

SONET/SDH siete sú konfigurované ako lineárne siete, kde SONET/SDH moduly známe ako ADD/DROP Multiplexeri (*ADMs*) sú pospájané medzi sebou v rade, ako je načrtnuté na obrázku 2.2. Medzi ADM modulmi môžu byť dve alebo štyri vlákna s jedným vláknom nastaveným pre údržbu, služby ako napr. ochrana, záloha. ADM moduly sú zariadenia, kde dáta vstupujú a vystupujú zo siete. Toky dát môžu byť rôznych úrovní ako je uvedené v tabuľke 2.1. Oba protokoly, SDH a SONET sú v dnešnej dobe široko používané. SONET v USA a Kanade a SDH v ostatných častiach sveta.



Obr. 2.2: Prepojenie ADM modulov (ADD/DROP Multiplexers)

Tab. 2.1: Popis rámcov SDH a SONET a ich rýchlosti podľa jednotlivých úrovní.

SONET úroveň optickej nosnej	SONET formát rámca	SHD úroveň a formát rámca	Dátová šírka pásma (kbps)	Rýchlosť linky (kbps)
OC-1	STS-1	STM-0	50, 112	51, 840
OC-3	STS-3	STM-1	150, 336	155, 520
OC-12	STS-12	STM-4	601, 344	622, 080
OC-24	STS-24	-	1 202, 688	1 244, 160
OC-48	STS-48	STM-16	2 405, 376	2 488, 320
OC-192	STS-192	STM-64	9 621, 504	9 953, 280
OC-768	STS-768	STM-256	38 486, 016	39 813, 120
OC-3072	STS-3072	STM-1024	153 944, 064	159 252, 240

Protokoly sú štandardizované podľa nasledujúcich inštitúcií:

- SDH (*Synchrónna Digitálna Hierarchia*) štandard bol vytvorený Medzinárodnou telekomunikačnou úniou (*ITU - International Telecommunication Union*) a je zdokumentovaný v štandarde G.707 a v jeho rozšírení G.708.
- SONET (Synchrónna optická sieť) štandard je definovaný v GR-253 CORE od Telcordii a v T1.105 od inštitúcie ANSI (*Inštitúcia pre americké národné štandardy*).

2.2.1 Rozdiel medzi SDH a PDH

SDH sa od PDH rozlišuje presnými intervalmi, ktoré sú použité pre prenos dát. Dáta sú veľmi presne synchronizované naprieč celou sieťou pomocou atómových hodín. Tento synchronizačný systém umožňuje pracovať synchrónne po celej medzinárodnej sieti, významne redukuje počet používaných vyrovnávajúcich pamätí medzi prvkami siete.

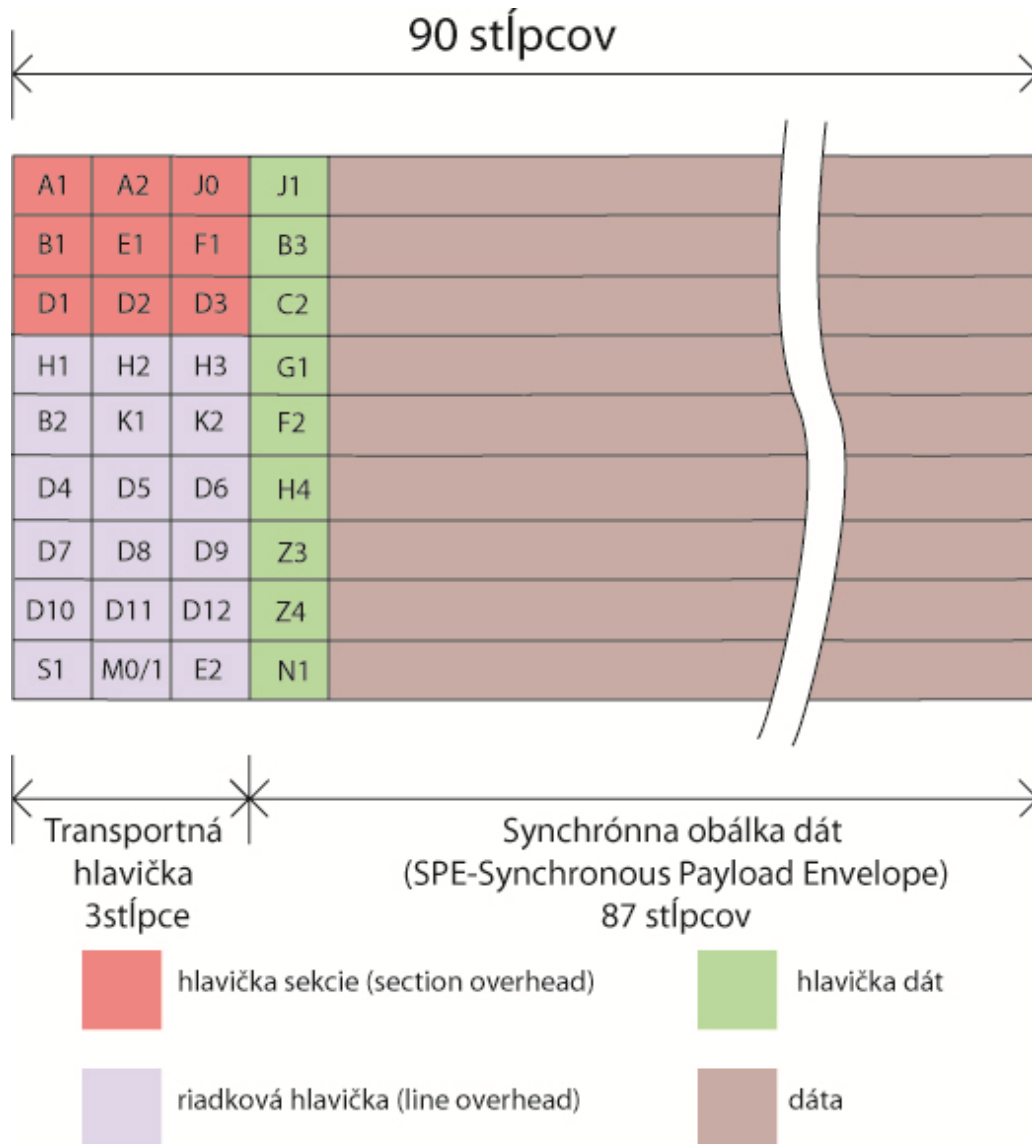
SONET aj SDH môžu byť využité pre zabalenie predchádzajúcich prenosových štandardov ako napr. PDH, alebo použité pre priamu podporu ATM (*Asynchrónny prenosový mód*), taktiež nazývané ako POS networking (*Packet over SONET/SDH networking- Sieť*

paketov cez SONET/SDH). Je nepresné považovať SHD a SONET za komunikačný protokol, viac sa dajú považovať za spoločné a viac účelové prenosové kontajneri pre prenos hlasu a dát. Základný formát SDH signálu dovoľuje prenášať množstvo rozličných služieb práve pomocou týchto Virtuálnych kontajnerov (*VC-Virtual Container*), pretože ich šírka pásma je flexibilná.

2.2.2 Základná štruktúra SONET/SHD dátového rámca

V oboch sieťach – PDH aj SDH – je rámec veľký 125 μ s (8000 rámcov/s). Na rozdiel od Ethernetu, kde sa prenáša hlavička a potom dáta, u SDH a SONETU sa hlavička a dáta prekrývajú, čiže je prenesená časť hlavičky a následne časť dát. Základnou rámcovou jednotkou v SDH je STM-1 (*Synchronous Transport Module level-1*), ktorý pracuje rýchlosťou 155,52 Mbit/s. Rámec sa skladá z 9 riadkov a 270 stĺpcov. V sieti SONET tejto jednotke odpovedá STS-3c (*Synchronous Transport Signal -3*), ale jej funkcionality, veľkosť a bitová rýchlosť sú rovnaké ako pre STM-1.

SONET ponúka základnú jednotku prenosu, STS-1 (*Synchronous Transport Signal -1*), pracujúci rýchlosťou 51,84 Mbit/s, čo je presne 1/3 rýchlosti STM1/STS-3c. Základný SONET rámec je zobrazený na obrázku 2.3. Skladá sa z 9 riadkov po 90 bytoch, z čoho vyplýva celkovo 810 bytov. Prenos je sériový, to znamená, že prvý je prenášaný byte naľavo v prvom riadku, potom druhý byte v prvom riadku, po poslednom 90 byte sa akcia opakuje pre druhý riadok, atď. Byte sa prenáša od tzv. MSB (Most significant bit) – bit s najväčšou váhou. Prvé tri stĺpce sa nazývajú Transport Overhead (*TOH*) – transportná hlavička. Zvyšných 87 stĺpcov sa nazýva Synchronous Payload Envelope (*SPE*)- obálka dát. V prvom stĺpci SPE sa nachádza Payload Overhead (*POH*) - hlavička dát. Ako bolo uvedené, dĺžka rámca je 125 μ s a to bez ohľadu na rýchlosť linky. Ako sa zvyšuje rýchlosť linky, veľkosť rámca narastá, aby sa zachoval prenos 8000 rámcov za sekundu. Transportná hlavička je rozdelená na dve časti- hlavička sekcie (*SOH- Section Overhead*) a hlavička riadku (*LOH- Line Overhead*). Prvé tri riadky v TOH sú SOH a zvyšných šesť je LOH.



Obr. 2.3: Štruktúra rámca STS-1

Význam jednotlivých byte v hlavičke sekcie (SOH- Section Overhead):

- A1, A2 – používajú sa pre identifikáciu začiatku rámca SHD/SONET.
- J0 – používa sa pre overenie prenosu medzi dvomi sekciami pomocou 16bytového slova.
- B1 – indikuje bitovú chybovosť prijímacej strane.
- E1 – nachádza sa v prvom STS-1, používa sa pre zvukový kanál pre test optickej linky.
- F1 – nachádza sa v prvom STS-1, používa ho poskytovateľ služby.
- D1,D2,D3 – sa nachádzajú v prvom rámci STS-1, formujú komunikačný kanál, používajú sa pre prenos alarmov, údržbu, kontrolu, monitorovanie, atď.

Význam jednotlivých byte v hlavičke riadku (LOH- Line Overhead):

- H1, H2 – súvisia s „plávaním“ SPE v SONET rámci, môže začínať v jednom a končiť v druhom. Tieto byte vytvárajú pointeri na tieto miesta.
- H3 – potvrdenie negatívnej frekvencie.
- B2 – používa sa pre scrambling.
- K1, K2 – používajú sa pre ochranu, hlásia alarmy, chyby atď. Prenášajú sa po chránenej linke.
- D4-D12 – používajú sa pre prenos administratívnych správ.
- S1 - nachádza sa v prvom STS-1, súvisí so synchronizáciou.
- Z1 – nedefinovaný.
- M0 – počet zistených chýb.
- M1 – indikácia chýb.
- Z2 – nedefinovaný.
- E2 – nedefinovaný.

SONET/SDH MULTIPLEXOVANIE:

Spojením troch rámcov STS-1s dostaneme rámec nazývaný STS-3. Prekrývanie bytov je nasledujúce: prvý byte z prvého STS-1 (*A1*) je prenesený, následne je prenesený prvý byte (*A1*) druhého STS-1 a následne prvý byte (*A1*) tretieho STS-1, atď. Tento spôsob multiplexovania sa používa pre všetky úrovne SONETU a SDH. Pre úplnosť treba dodať, že nie všetky byty z rámca STS-1 sú prenášané v zmultiplexovanom rámci, niektoré sú vynechané. Princíp multiplexovania SONET rámca bude zadaním nasledujúcej laboratórnej úlohy.

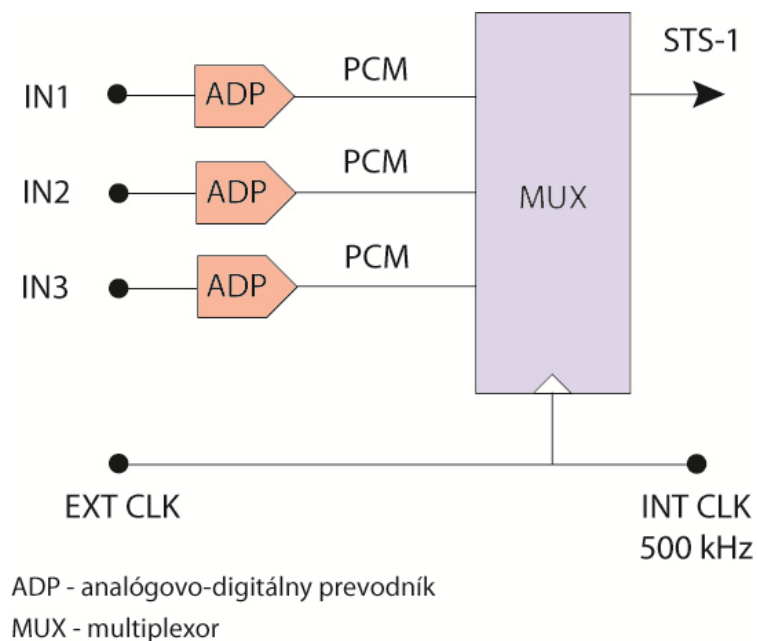
Podrobnejší popis problematiky sietí SONET a SHD je uvedený v literatúre [11], [12].

2.3 Multiplexovanie a demultiplexovanie STS-1 dátového rámca

2.3.1 Popis a vypracovanie

TIMS obsahuje niekoľko modulov, ktoré dokážu simulovať princípy siete SONET, vrátane optickej linky (v škole dostupné len v softwarovej verzii moduly MUX a DEMUX). Prvým krokom v procese multiplexovania je vytvorenie tzv. signálu najnižšej úrovne – základného signálu. Tento signál je uvedený ako synchronný prenosový signál úrovne 1 (*STS-1 - synchronous transport signal-level 1*) a je odvodený od základného informačného kanála. Pracuje rýchlosťou 51,84 Mbps, ale v zariadení TIMS je jeho rýchlosť znížená na 500 kbps.

Až 28 týchto základných kanálov je možné zmultiplexovať do jediného rámca v sieti SONET. Na zariadení TIMS bol pre tento účel vytvorený modul SONET/SDH TIMS STS-1 MUX, ktorý multiplexuje tri základné kanály. Práve použitie tohto modulu je základom nasledujúcej laboratórnej úlohy. Princíp jeho funkčnosti je znázornený na obrázku 2.4.



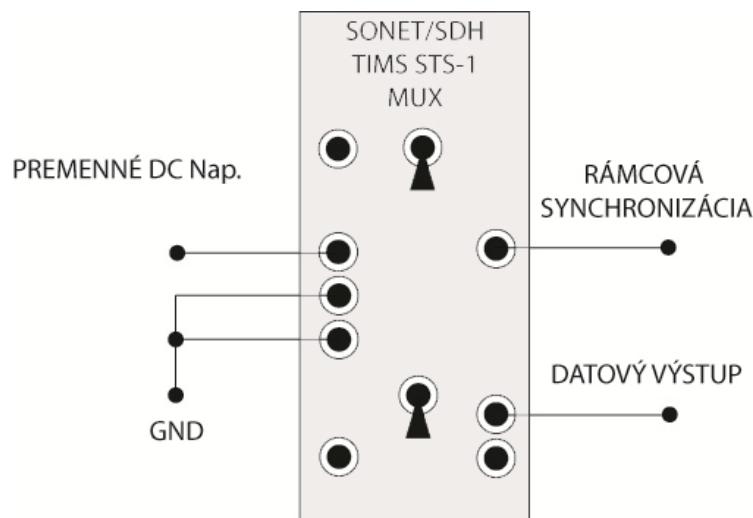
Obr. 2.4: Blokový diagram multiplexora SONET/SDH použitého v zariadení TIMS.

Vstup multiplexoru tvoria tri nezávislé vstupy. Signál je prevedený do digitálnej formy pomocou analógovo-digitálnych prevodníkov. Na vstup modulu je možné pripojiť externé hodiny, v prípade, že hodiny nebudú pripojené, použije sa frekvencia vnútorných hodín 500 kHz.

Na tejto frekvencii závisí vzorkovacia frekvencia troch vstupných signálov podľa nasledujúceho vzorca:

$$f_{vz} = \frac{(f_{clk})}{40} \text{ [KHz]} , \quad (2.1)$$

kde číslo 40 značí počet bitov v rámci. Maximálna frekvencia signálov, ktoré prichádzajú na vstupy IN1, IN2 a IN3 je 6,25 kHz (Nyquistov teorém).



Obr. 2.5: Modul SONET/SDH TMS-STS-1 MUX

Na obrázku 2.5 je načrtnutý vzhľad predného panelu spomínaného modulu. Tri nezávislé vstupy prevádzajú analógové dáta na 7bitové digitálne slovo. Tieto analógové vstupy neobsahujú antialiasingové filtre. Dátový výstup je sériový a obsahuje TMS STS-1 rámec. Dĺžka tohto rámca je 40 bitov. Výstup rámcovej synchronizácie slúži pre identifikáciu začiatku rámca TMS STS-1. Predný panel taktiež obsahuje dva polohové prepínače.

MOD SWITCH (prepínač módu):

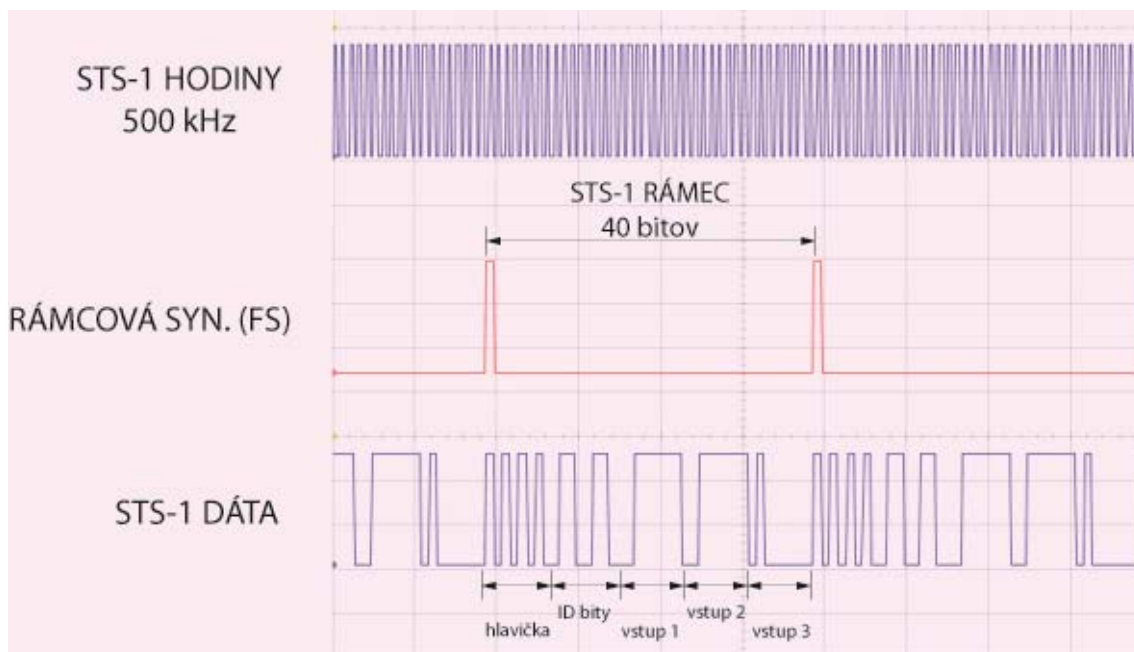
- Pozícia 1 – Vytvorenie falošnej hlavičky nahradením identifikačného bytu (FLAG) druhou hlavičkou.
- Pozícia 2 – Kontrolný bit v identifikačnom (FLAG) bite je nastavený na 1 (SONET/SDH DEMUX- kontrolná dióda svieti).
- Pozícia 3 – Kontrolný bit v identifikačnom (FLAG) bite je nastavený na 0 (SONET/SDH DEMUX- kontrolná dióda nesvieti).

BIT SUBSTITUTION SWITCH (prepínač nahradzovania bitov)

Tento mód ilustruje prínos modifikovania dát za účelom pridania prechodov do bitového toku. Pridaním prechodov do dát sa uľahčí na prijímajúcej strane obnova bitovej synchronizácie, ktorá poist'uje stabilitu obnovovania prijímaných dát. V prípade, že je tento prepínač v polohe OFF, každý dátový byte prenáša 7bitovú PCM hodnotu, podľa vstupov IN1, IN2, IN3, a MSB (most significant bit)- najvýznamnejší bit – je nastavený na 0. Ak je prepínač v polohe ON, tak sú určité dátové byty s bitovou kombináciou niekoľkých prechodov nahradené unikátnou hodnotou.

STS-1 dátový výstup:

Výstup z multiplexora je sériový tok 40bitových STS-1 rámcov TTL digitálneho signálu. Každý rámec obsahuje hlavičku (HEADER), identifikačný byte (FLAG) a tri PCM dátové byty. Štruktúra STS-1 dátového rámca je znázornená na obrázku 2.6.



Obr. 2.6: Štruktúra STS-1 rámca

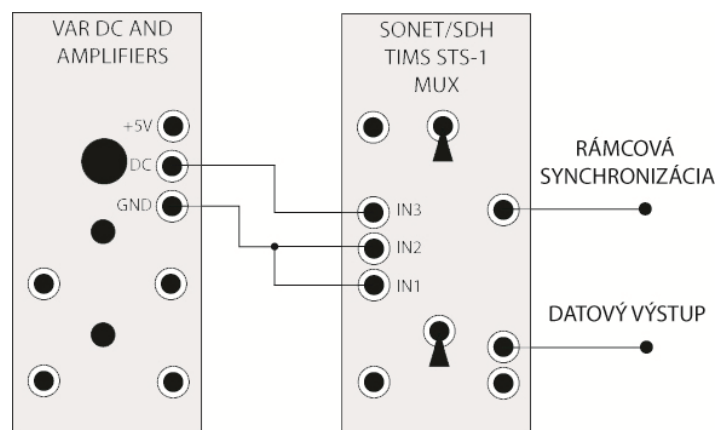
Bytová hlavička je fixne nastavená na hexadecimálnu hodnotu AA, binárne 10101010. Identifikačný byte, od najvýznamnejšieho bitu po najmenej významný, má bity zoradené nasledovne: 0 F2 F1 0 0 1 1 CONTROL. Bity F1 a F2 sa nastavujú na doske modulu multiplexora. Bit CONTROL sa nastavuje pomocou prepínača módu na prednej maske

multiplexora a slúži k rozsvieteniu LED diódy na strane demultiplexoru. Dátové byty obsahujú 7 bitov, ktoré reprezentujú PCM dáta a 1 bit, ktorý je nastavený podľa prepínača BIT SUBSTITUTION.

MULTIPLEXOVANIE

Postup:

1. Podľa schémy zapojenia uvedenej na obrázku 2.7 zapojte moduly VAR DC AND AMPLIFIERS a SONET/SDH MUX. Na začiatok pre lepšie pochopenie štruktúry rámca STS-1 použijeme jednosmerné napätie. Vstupy IN1 a IN2 uzemnite. Prepínač módu uveďte do polohy 3 a prepínač BIT SUBSTITUTION do polohy OFF (pre jednoduchosť).



Obr. 2.7: Schéma zapojenia SONET/SDH multiplexora a demultiplexora.

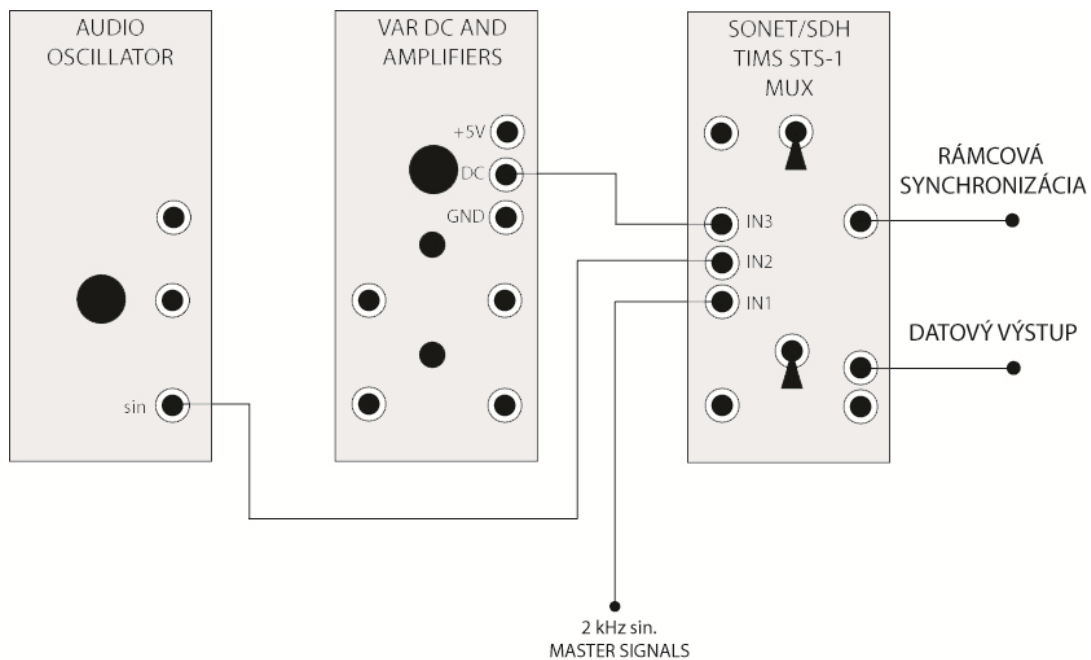
2. Zobrazte si na osciloskope priebeh rámcovej synchronizácie a STS-1 rámcov, ktoré sa nachádzajú na dátovom výstupe. Na module VAR DC meňte veľkosť DC napätia privádzaného na vstup IN3 a určite, kde sa v STS-1 rámci nachádza hodnota tohto PCM slova. Priebehy zastavte a overte, či sa v rámci STS-1 nachádzajú predpokladané byty (hlavička, id byte). Obrázok vyexportujte v prílohe do výsledného protokolu.
3. Keďže doposiaľ nie sú pripojené externé hodiny, sú použité vnútorné, ktorých frekvencia je 500 kHz. Podľa vzorca 2.1 vypočítajte frekvenciu rámcovej synchronizácie STS-1 rámca. Pripojte výstup na modul TutorT1MS a zmerajte

frekvenciu. Vypočítanú a zmeranú frekvenciu porovnajte. Zo zmeraných hodnôt vypočítajte aj dĺžku rámca a dĺžku jedného bitu.

- Princíp bitovej substitúcie je najlepšie predviesť, keď sú všetky tri PCM slová rovné 0. Tento jav je možné dosiahnuť jednoduchým pripojením všetkých vstupov na DC napätie 0V. Po zrealizovaní zapojenia nastavte prepínač bit substitution do pozície ON. Všimnite si, že do PCM dát bolo pridaných niekoľko prechodov. Pridaním týchto prechodov do dát sa na prijímajúcej strane uľahčí regenerácia bitovej synchronizácie. Nahrádzovanie týchto bitov inými bitmi nie je náhodné, nahrádzajú sa len určité kombinácie, nahrádzovanie sa realizuje pomocou priloženej tabuľky (*nie je podstatou tohto merania*).

V skutočnej sieti SONET sa pre predchádzaniu periód s malým počtom prechodov používa metóda scramblingu. V prípade veľkého zhluku dát, kde sa opakujú jednotky alebo nuly môže dôjsť k strate celkovej synchronizácie.

- Pridajte do zapojenia AUDIO OSCILLATOR podľa obrázku 2.8 a pripojte sínusový signál na vstup IN2 ($f=300\text{Hz}$), na vstup IN1 pripojte 2 kHz sínusový signál z modulu MASTERS SIGNALS.

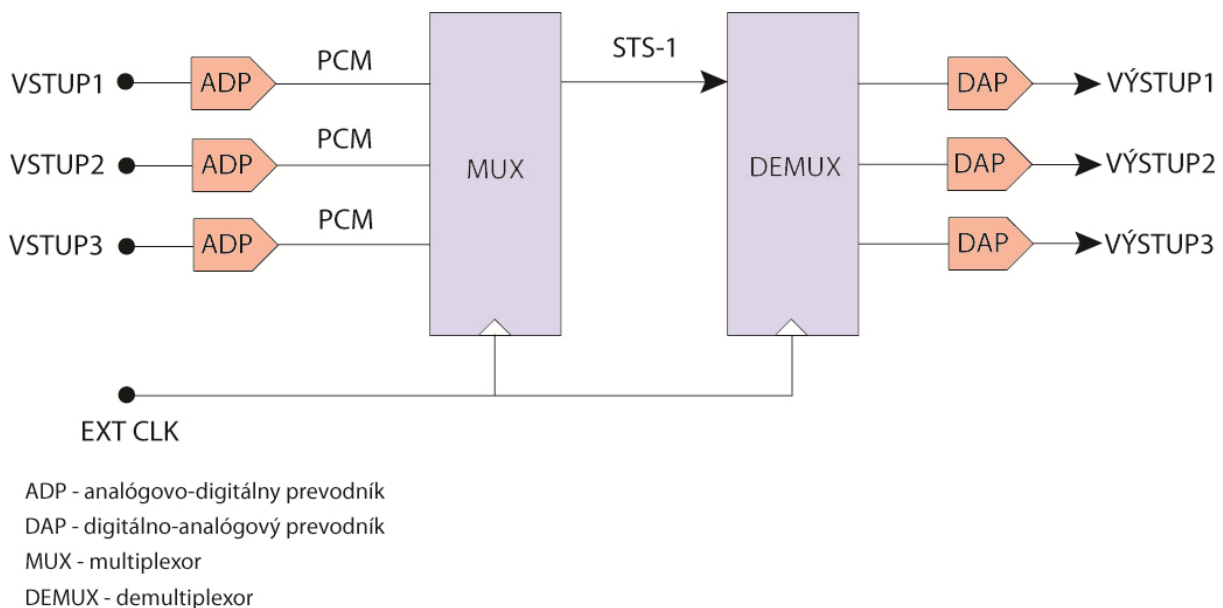


Obr. 2.8: Pripojenie AUDIO OSCILLATORU do zapojenia

6. Sledujte zmeny v STS-1 rámci. Je veľmi obtiažne sledovať priebeh striedavého napätia aj keď je sledovaný priebeh periodický. Preto sa zameriame na byte hlavičky a identifikačný byte, ktoré preskúmame podrobnejšie.

DEMULPLEXOVANIE

STS-1 rámec vytvorený v prechádzajúcich bodoch je prenášaný po simulovanom metalickom vedení do demultiplexoru, kde sa z rámca získavajú pôvodné dáta. V skutočnej sieti SONET sa pre prenos dát využíva optická linka. Zariadenie TIMS dokáže simulovať aj prenos po optickej linke, avšak v školskej verzii moduly na to potrebné chýbajú. Na obrázku 2.9 je znázornený princíp multiplexovania a demultiplexovania rámcov STS-1 v zariadení TIMS.



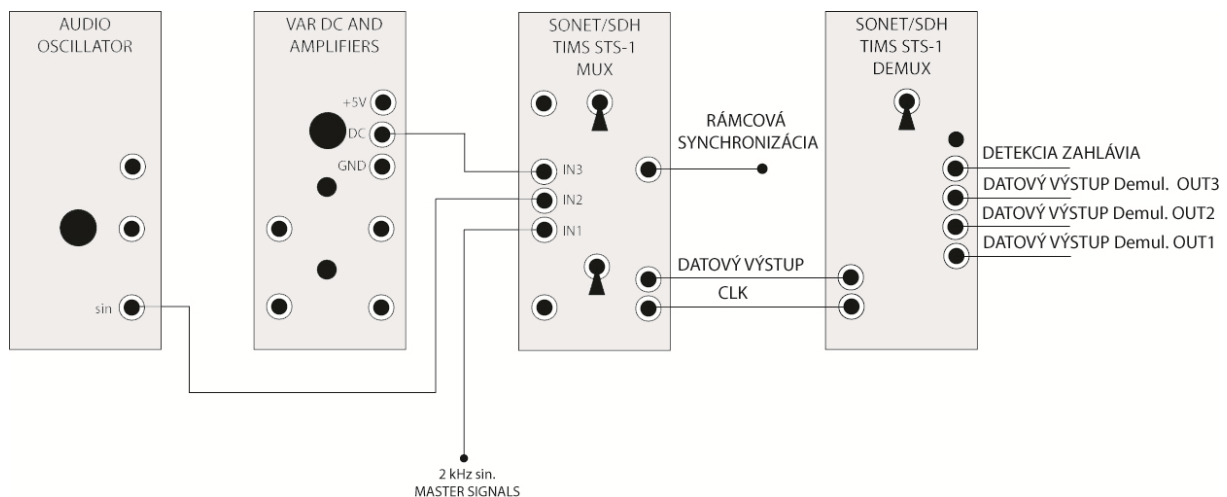
Obr. 2.9: Princíp multiplexovania a demultiplexovania v sieti SONET

V nasledujúcich bodoch si vysvetlíme dôležitosť hlavičky v STS-1 rámci a názorne odsimulujeme STS-1 rámec s „falošnou“ hlavičkou.

V sériovom toku dát je nevyhnutné nejakým spôsobom informovať prijímajúcu stranu kedy začína nový rámec, pretože rámcová synchronizácia sa obyčajne neprenáša. Bitová synchronizácia slúži k identifikovaniu presného umiestnenia bitu v rámci. Keď poznáme prvý bit v rámci, mohli by sme s jeho pomocou identifikovať ostatné bity v rámci, ktorý ma pevnú dĺžku a vychádzajúc z určenej rámcovej štruktúry, by sme definovali bity, ktoré odpovedajú

bytom v rámci (*header, flag, dáta*). Bitová synchronizácia sa prenáša spolu s dátami a na prijímacej strane sa z dát obnovuje. Unikátne usporiadanie bitov, ktoré špecifikuje pozíciu v rámci sa nazýva hlavička (*header*). V „skutočnom“ SONETE je hlavička zahrnutá v SOH (*section overhead*). Je to dvojbytový kód (*F628h*) používaný pre zarovnanie rámcov. Tieto bity unikátne identifikujú začiatok každého STS-1 rámca. V rámci STS-1 používanom v zariadení TIMS má hlavička štruktúru 10101010 a nachádza sa na pozícii prvého bytu v 5bytovom rámci. Kontrolný byte v skutočnej sieti SONET definuje zdroj dát.

- Podľa obrázok [2.10](#) pridajte do zapojenia modul demultiplexora. Na vstup hodinových impulzov pripojte výstup hodín z multiplexora.

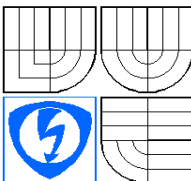


Obr. 2.10: Schéma zapojenia modulov pre multiplexovania a demultiplexovanie STS-1 rámca

- Vypnite pre lepšiu názornosť bitovú substitúciu a zobrazte si výstup STS-1 rámca z multiplexoru na osciloskope. Pre jednoduchosť môžete na vstupy opäť pripojiť DC napätie. V STS-1 rámci je na prvý pohľad zreteľná hlavička a identifikačný byte. Prepnutím prepínača módu do polohy 1 nahradíte identifikačný byte druhou hlavičkou. Tento jav na strane prijímača spôsobí (ak nie je prijímač voči takémuto javu ošetrený) stratu synchronizácie, čo bude viesť k nesprávnemu obnoveniu dát, pretože prijímač zle vyhodnotí začiatok rámca. Prepínač módu v polohe 2 nastaví bit CONTROL v identifikačnom byte na 1, čo signalizuje LED dióda na panely demultiplexoru. Poloha 3 nastavený tento bit do stavu 0.

9. Sledovanie priebehu na výstupe demultiplexora pre DC napätie nemá význam, preto na ľubovoľný vstup pripojte sínusový signál a sledujte ho na výstupe. Uistite sa, že nemáte zapnuté generovanie falošných hlavičiek. Prepínač FALSE HEADER REJECT pracuje na princípe pevnej dĺžky STS-1 rámca, teda 40 bitov. To znamená, že po rozoznaní pravej hlavičky nasledujúcich 40 bitov hlavičky ignoruje.
10. Určite ste si všimli, že výstupný sínusový signál nemá hladký priebeh ale je skreslený. Čím je to spôsobené a ako je tento jav možné odstrániť? Po odstránení skreslenia porovnajte priebeh zo skutočným priebehom na vstupe a grafy vyexportujte.
11. Skúste zmeniť frekvenciu vstupného sínusového signálu na AUDIO OSCILLATORE a pozorujte výstup. Prečo pri frekvencií cca 6,25 kHz zmizol signál z výstupu demultiplexoru resp. sa výrazne zmení? Jedná sa Nyquistov teorém? Vysvetlite.
12. Ponechajte zobrazený na osciloskope vstupný sínusový signál a rekonštruovaný signál. Nastavte frekvenciu na AUDIO OSCILLATORE na 300 Hz pre lepšie zobrazenie priebehov. Signály sú veľmi podobné. Vypnite na module demultiplexoru detekciu falošných hlavičiek. Výsledný zrekonštruovaný signál sa zmení na nepoznanie. Prečo je tomu tak aj keď nie je aktivovaná generácia falošných hlavičiek?
13. Zobrazte si na osciloskope rámcovú synchronizáciu z výstupu multiplexora a detekciu hlavičiek z výstupu demultiplexora. Aktivujte generáciu falošných hlavičiek a vypnite detekciu falošných hlavičiek. Prečo je detekcia hlavičiek oneskorená oproti rámcovej synchronizácii? Pokúste sa pomocou DC napätia vytvoriť vzor hlavičky pre PCM dáta.
14. Skúste porozmýšľať, akým spôsobom by bolo možné obísť detekciu falošných hlavičiek u modulu demultiplexora.
15. Uveďte pracovisko do pôvodného stavu, odpovedzte na otázky v jednotlivých bodoch zadania a vypracovaný protokol odovzdajte vyučujúcemu.

2.3.2 Vzorový protokol

 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ	Předmět Prístupové a transportné siete	
	Jméno Martin Rosenberg	
	Ročník	Studijní skupina
	Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval	Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy SONET PCM dátový rámec	

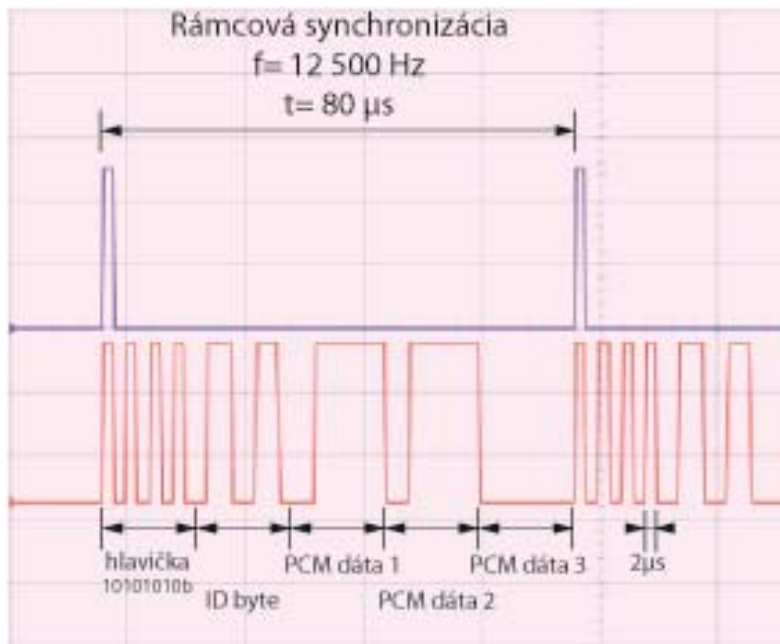
Cieľ laboratórnej úlohy:

PDH - Plesiochrónna digitálna hierarchia je nahradzovaná SDH – Synchronnou digitálnou hierarchiou. V tejto laboratórnej úlohe sme pomocou výukového systému TutorTIMS sledovali princípy multiplexovania a demultiplexovania dátových tokov tohto moderného prenosového systému.

Analyzovanie TMS STS-1 dátového rámca - MULTIPLEXOVANIE:

V prvej časti úlohy sme sa zamerali na princíp multiplexovania základných signálov do jedného TMS STS-1 rámca. Označenie rámca TMS je z dôvodu, že sa nejedná o presnú kópiu rámca, ktorý je použitý v skutočnej sieti SONET. STS-1 rámec dosahuje rýchlosť 51,84 Mbps, v systéme TMS je rýchlosť znížená na 500 kbps. TMS STS-1 rámec sa od skutočného líši vo viacerých smeroch, princíp však ostal zachovaný.

Podľa zadania sme zapojili multiplexor SONET a na vstup sme priviedli jednosmerné napätie. Sledovali sme výstupný TMS STS-1 rámec, jeho priebeh a vysvetlenie jednotlivých bytov je znázornené na obrázok 2.11.



Obr. 2.11: Štruktúra TMS STS-1 dátového rámca

Frekvencia vnútorných hodín multiplexora je 500 kHz, pri známej dĺžke TMS STS-1 dátového rámca, ktorá je 40 bitov, sme vypočítali vzorkovaciu frekvenciu podľa nasledujúceho vzorca:

$$f_{vz} = \frac{(\text{STS1 frekvencia hodín})}{40} = \frac{500 \text{ kHz}}{40} = 12,5 \text{ [kHz]} \quad (2.2)$$

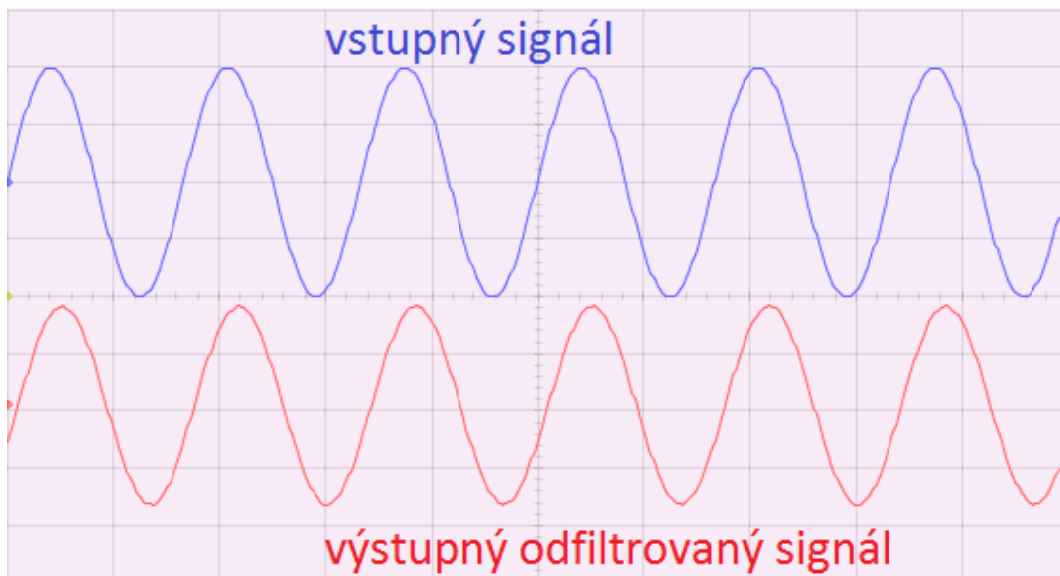
Z uvedenej frekvencie sme vypočítali aj dĺžku trvania jedného rámca a jedného bitu. Vypočítané hodnoty sú vyznačené v obrázku 2.11.

Pri periódach, v ktorých je minimálny počet prechodov medzi 1 a 0, t.j. po sebe nasledujú veľké zhľuky rovnakých symbolov, môže dôjsť k strate synchronizácie a tým pádom aj k znehodnoteniu dát. Skutočná sieť SONET rieši tento problém metódou tzn. scramblingu. Je to pseudonáhodné rozloženie spektra signálu. Systém TMS tento problém simuluje metódou bitovej substitúcie, kde sú byty, ktoré obsahujú málo prechodov nahradené inými bytami podľa určitej tabuľky.

Analyzovanie TMS STS-1 dátového rámca - DEMULTIPLEXOVANIE:

Na vstup multiplexora sme pripojili napätie sínusového priebehu. Zrekonštruovaný signál však nemal hladký priebeh. Tento jav nastal kvôli tomu, že na vstupe multiplexora nie

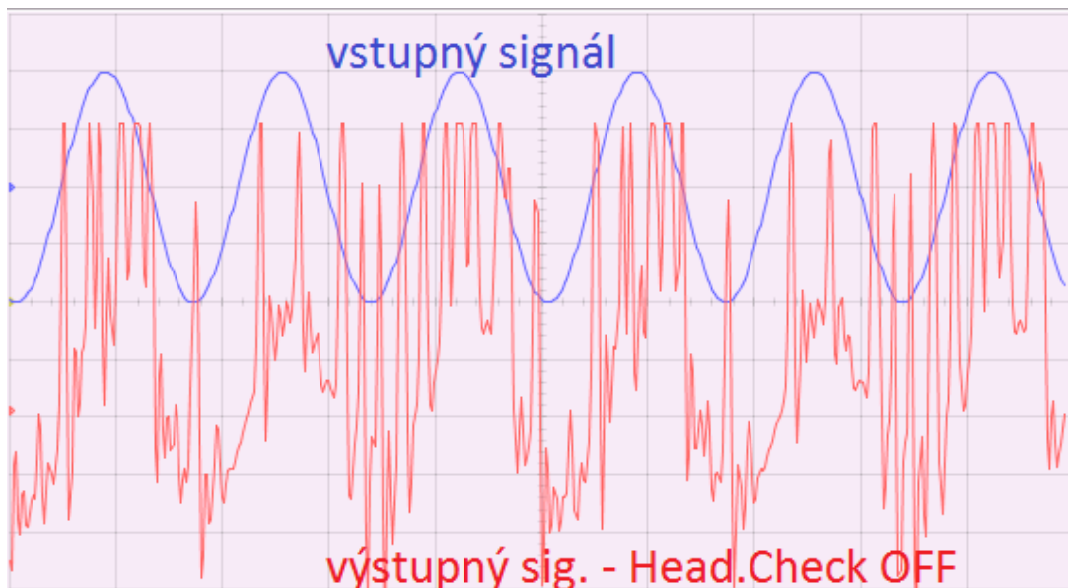
sú antialiasingové filtre. Do zapojenia sme preto pripojili dolnú priepusť a zrekonštruovaný signál sme ňou prefilterovali. Výsledný signál je znázornený na obrázku [2.12](#).



Obr. 2.12: Porovnanie vstupného a výstupného odfiltrovaného signálu

V ďalšom bode zadania bolo našou úlohou zistiť, prečo signál na vstupe, ktorý má frekvenciu 6,25 kHz zmizne, resp. výrazne zmení svoj priebeh. Tento jav vznikne kvôli nesplneniu vzorkovacieho teorému, ktorý hovorí, že vzorkovacia frekvencia musí byť minimálne 2x väčšia ako frekvencia vzorkovaného signálu. Už v predchádzajúcom bode sme vypočítali vzorkovaniu frekvenciu 12 500 Hz. Z toho jasne vyplýva aj najväčšia možná frekvencia vstupného signálu, tj. $12500/2=6250$ Hz.

V poslednej časti úlohy sme zisťovali vplyv hlavičky na tvar zrekonštruovaného signálu. Dokonca aj pri vypnutej možnosti generácie falošných hlavičiek výstupný signál falošné hlavičky obsahoval. Vzniklo to tým, že na vstupe sme mali sínusový priebeh, ktorý sa mení v čase. Pri určitých hodnotách jeho PCM dátové slovo malo tvar 10101010b, čo spôsobilo vznik falošnej hlavičky a tým pádom aj skreslenie signálu. Na obrázku [2.13](#) je tento jav znázornený.



Obr. 2.13: Porovnanie vstupného signálu a výstupného pri vypnutej detekcii falošných hlavičiek

Zobrazili sme si tiež priebehy rámcovej synchronizácie a detekcií hlavičiek. Hlavičky boli oneskorené oproti rámcovej synchronizácii, pretože rámcová synchronizácia reaguje na začiatok rámca, pričom detekcia hlavičiek na koniec hlavičky v TIMS STS-1 rámci.

Pri teoretickom rozobraní funkčnosti detekcie falošných hlavičiek, sme dospeli k záveru, akým je možné túto detekciu obísť. Pri zapnutej možnosti detekcie, systém rozpozná hlavičku a ďalších 40 bitov hlavičky ignoruje. Z toho vyplýva, že pracuje periodicky. Keby sme pomocou DC napätia nastavili pre určité PCM dáta tvar 10101010b, tak aby nastala periodičita, došlo by k zlému vyhodnoteniu hlavičiek.

Záver:

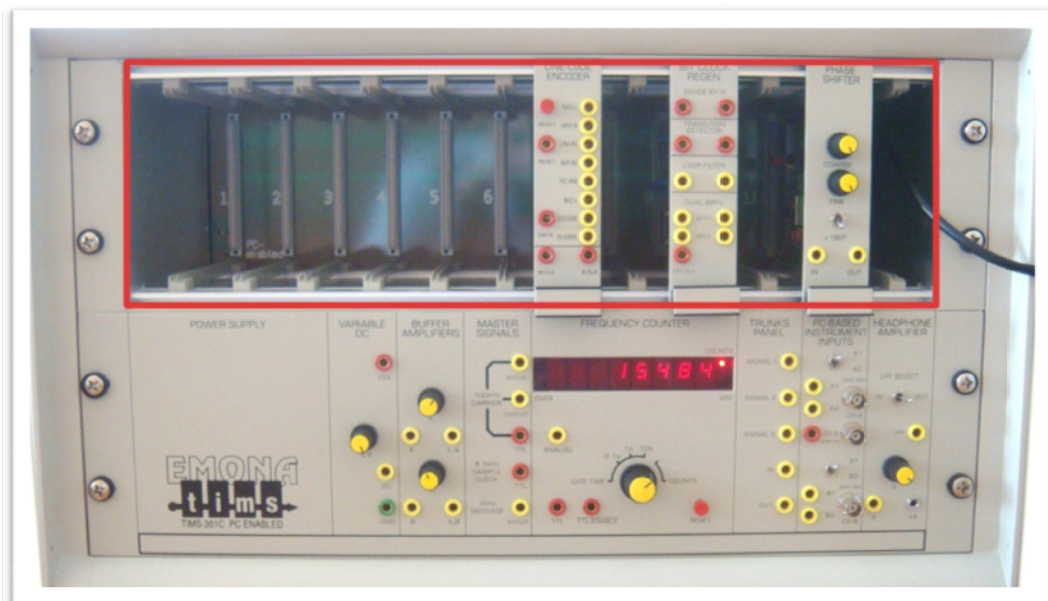
V laboratórnej úlohe sme sa oboznámili s princípmi multiplexovania a demultiplexovania SONET dátových rámcov. Pomocou osciloskopu sme sledovali štruktúru rámcov a overovali, či sa zhoduje z teóriou. Názorne sme si ukázali, aký vplyv má vzorkovacia frekvencia na celkový tvar zrekonštruovaného signálu. Princípmi funkčnosti hlavičiek sme si priblížili problém synchronizácie dátových rámcov, ako aj vplyv jej straty na výsledné vyhodnotenie prijatých dát. V závere úlohy sme sa pokúsili o individuálne riešenie problému týkajúceho sa antialiasingu a detekcií falošných hlavičiek.

3 LABORATÓRNA ÚLOHA S VYUŽITÍM SYSTÉMU TIMS 301

3.1 Systém TIMS 301

3.1.1 Základný popis systému TIMS 301

Hardwarová verzia TIMSU nesie označenie 301. Na rozdiel od softwarovej verzie na hardwarovej nemôže pracovať viac žiakov súčasne. Výhodou však je presnejšia práca s jednotlivými modulmi. Pri prepájaní modulov musia byť študenti sústredený na daný obvod, pretože na rozdiel od softwarovej verzie sa môžu ľahko „zamotať“. Z celkové hľadiska je využitie hardwarovej verzie pre študenta prínosnejšie, pretože jednotlivé moduly je potrebné pre daný experiment individuálne nastavovať, čím sa študent dostane bližšie k jadrú problému. TIMS 301 je znázornený na obrázku 3.1. Základná skriňa TIMS-u obsahuje 8 upevnených modulov ako aj 12 slotov pre prídavné moduly (červený obdĺžnik na obrázku 3.1).



Obr. 3.1: Zariadenie TIMS 301 (hlavná časť)

Moduly tvoria základné elektrické obvody a ich funkčnosť je v podstate primitívna. Každý modul, napevno umiestnený alebo pridaný do slotu, má špecifickú funkciu.

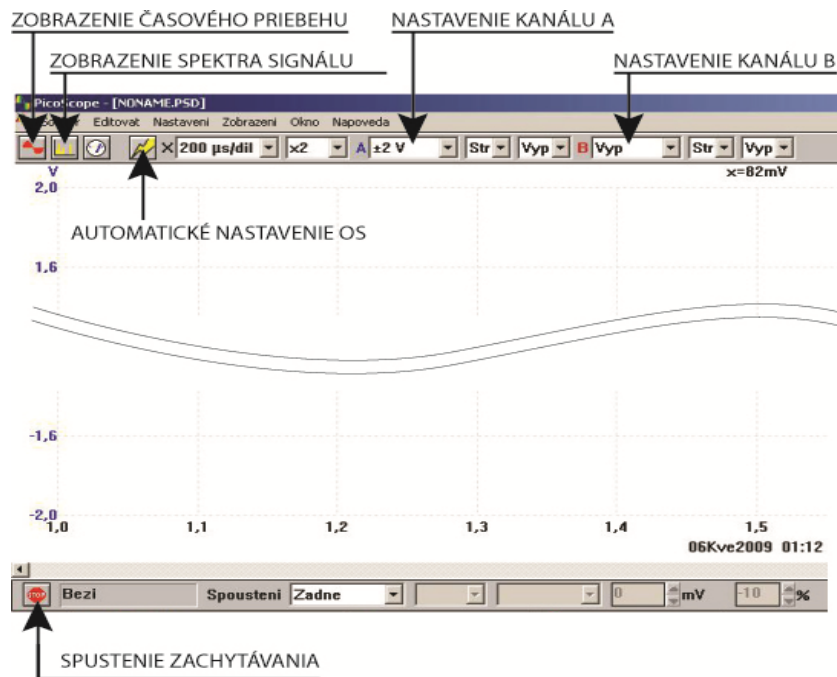
Základné funkcie spadajú do troch kategórií:

- Generovanie signálov (*oscilátory, atď*)
- Spracovanie signálov (*násobičky, filtre, atď*)
- Meranie signálov (*čítač frekvencie*)

Kombináciou týchto modulov je možné vytvoriť radu experimentov, pomocou ktorých je možné prakticky si vyskúšať znalosti nadobudnuté na prednáškach. V škole je zakúpená mierne rozšírená verzia, čiže počet dostupných modulov je oproti základnej verzii o niečo vyšší. Celkovo je k dispozícii 30 prídavných modulov, niektoré sú k dispozícii aj vo väčšom počte.

3.1.2 Základný popis programu PicoScope

Výsledné priebehy experimentov je možné sledovať, merať a upravovať pomocou počítača, na ktorom je nainštalovaný program na to určený. Zariadenie je pripojené k počítaču pomocou sériového rozhrania. Užívateľské prostredie medzi zariadením a študentmi tvorí program *PicoScope*. Jeho základné užívateľské rozhranie je zobrazené na obrázku 3.2. V podstate sa skladá len z jedného okna, v ktorom je možné zobraziť, jeden alebo oba kanály súčasne. Okrem časového priebehu signálu dokáže zobraziť aj spektrum signálu. Parametrami v hornej lište, nad priebehmi, je umožnené výsledné priebehy upraviť do požadovaného grafického tvaru a následne priebehy vyexportovať. Za pozornosť stojí aj spodná lišta, kde pomocou tlačítka GO a STOP priebeh spúšťame, resp. zastavujeme. Meranie veličín, ako je čas alebo amplitúda, sa vykonáva priamym kliknutím do okna programu a následným ťahaním myši kolmo na osu, na ktorej chceme merať danú veličinu. Karta s názvom PC-BASED INSTRUMENT INPUT na zariadení TIMS 301 slúži pre pripojenie priebehov, ktoré sa majú na obrazovke programu zobraziť. Dôležitý je modul FREQUENCY COUNTER, ktorý má obdobnú funkciu ako modul TutorTIMS na softwarovej verzii a t.j. meranie frekvencie. Viac informácií o zariadení TIMS 301 ako aj o programe PicoScope je uvedených v priložených manuáloch [9], [10], poprípade priamo na stránkach výrobcu [8].



Obr. 3.2: Užívateľské rozhranie programu PicoScope

3.2 Obnovenie bitovej synchronizácie

3.2.1 Popis a vypracovanie

Cieľ laboratórnej úlohy:

Oboznámiť sa s bitovou synchronizáciou a následne si prakticky vyskúšať jej obnovenie, obnovenú bitovú synchronizáciu porovnať so základnou systémovou bitovou synchronizáciou a overiť „kvalitu“ obnovenia.

Teoretický úvod:

Prijímače v digitálnych systémoch môžu vyžadovať synchronizáciu minimálne na troch rôznych úrovniach:

- Synchronizácia nosných signálov
- Bitová synchronizácia
- Rámcová synchronizácia

Táto úloha je zameraná práve na bitovú synchronizáciu. Predpokladá sa, že signál je prenášaný v základnom pásme, alebo že je získaný z vyššej nosnej frekvencie, z ktorej bol

demodulovaný. Získanie bitovej synchronizácie z prichádzajúcich dát nie je triviálna záležitosť, preto väčšina experimentov na zariadeniach TMS využíva „kradnutú“ synchronizáciu a to z dôvodu jednak, že je to pohodlnejšie, ale v prvom rade z dôvodu odbúrania pozornosti od tohto problému a sústredenia sa na vlastný problém merania.

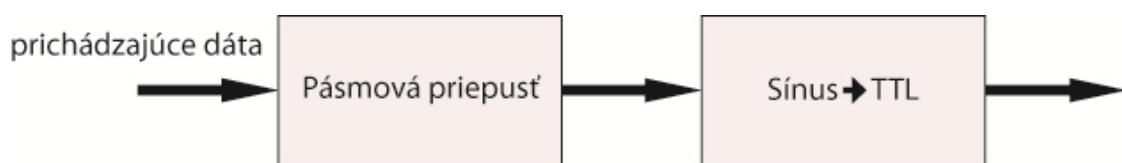
Regenerovanie bitovej synchronizácie nie je v skutočných digitálnych prenosoch možné obísť. Rámcová synchronizácia sa neprenáša. Na prijímacej strane musí zariadenie nejakým spôsobom rozpoznať začiatok rámca a identifikovať jednotlivé byty v rámci. V sieti SONET sa používa technika scramblingu, ktorá pseudonáhodne rozloží spektrum signálu a tým uľahčí prijímaču regeneráciu bitovej synchronizácie. Keby sa v spektre signálu nachádzalo veľa núl alebo jednotiek za sebou, synchronizácia by sa mohla stratiť. Podľa techník, ktoré vedú k obnoveniu bitovej synchronizácie rozoznávame dva základné typy:

- Open loop (*otvorená slučka*)
- Closed loop (*uzatvorená slučka*)

V tejto úlohe sa pracuje s typom Open loop.

Open loop (otvorená slučka):

Ak je v spektre dátového toku obsiahnutá zložka bitovej synchronizácie môže byť z dát pomocou *pásmovej priepusti* extrahovaná. Na obrázku 3.3 je znázornený najzákladnejší princíp získania bitovej synchronizácie z dát, v ktorých je obsiahnutá bitová zložka synchronizácie.



Obr. 3.3: Princíp získania bitovej syn. z dát, ktoré obsahujú zložku bit. synch.

Closed loop (uzatvorená slučka):

Obvody pracujúce s týmto typom získavania bitovej synchronizácie využívajú spätnú väzbu. Porovnávajú prijaté a očakávané dáta. Tento systém môže zahrňovať aj posielanie známych sekvencií – „tréningových“, ktoré prijímač používa pre overenie synchronizácie. Celkovo je tento typ synchronizácie lepší a presnejší, ale zároveň je aj výrazne drahší.

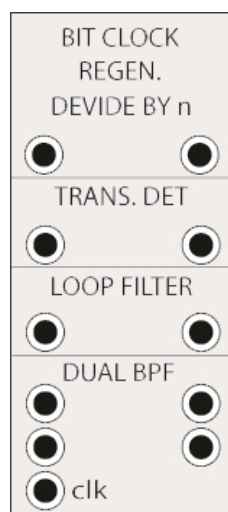
Oneskorenie:

Hoci frekvencia získanej bitovej synchronizácie môže byť správna, systém môže trpieť časovým oneskorením a to ako u lineárnych modulácií, tak aj pri nelineárnych. Zatiaľ čo pri lineárnych moduláciách sa dá tento jav potlačiť obmedzením amplitúdy, pri nelineárnych moduláciách je to obtiažnejšie.

Modul BIT CLOCK REGENERATION:

Tento modul je základným modulom použitým v tejto úlohe. Predná strana modulu je znázornená na obrázku 3.4. Obsahuje štyri nezávislé moduly, ktoré sú navrhnuté pre obnovenie bitovej synchronizácie všetkých TMS signálov.

Pre túto úlohu sú najdôležitejšie dve nezávislé, vysoko kvalitné pásmové priepuste, označené ako BPF#1 a BPF#2. Oba filtre poskytujú redukciu časového oneskorenia a hlavne odvodenie bitovej synchronizácie. Na doske modulu sa nachádzajú prepínače pomocou ktorých je možné prepnúť zdroj hodín pre filter (*bližšie vysvetlené v nasledujúcom texte*). Vnútorne hodiny majú frekvenciu 2 083 Hz.



Obr. 3.4: Modul BIT CLOCK REGENERATION

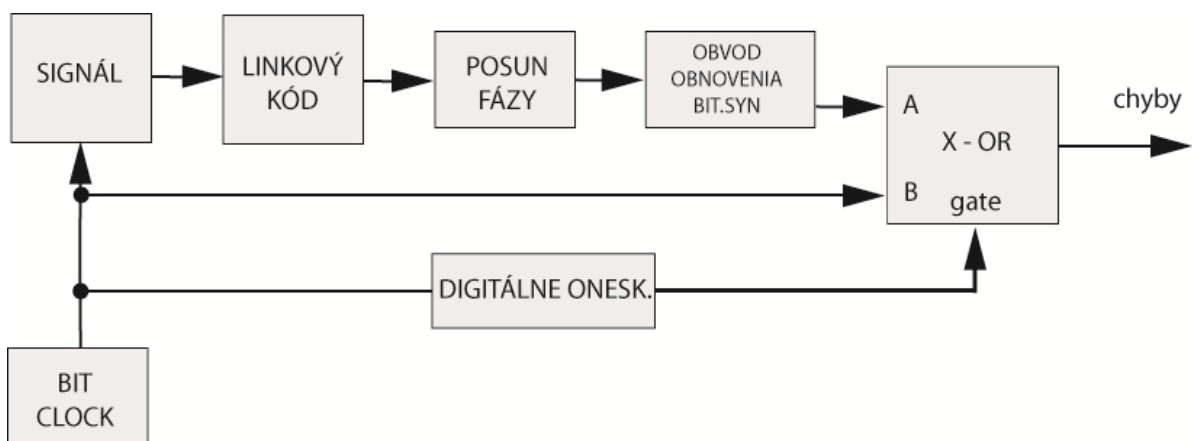
Dobrym zdrojom dát je kóder linkových kódov riadený sekvenčným generátorom o frekvencií 2 084 Hz, ktorý generuje bitové toky rôznych charakteristík.

Kvalita bitovej synchronizácie:

Meraním bitovej chybovosti sa overí celková vlastnosť systému. Toto meranie je zamerané len ja jednu zložku z tohto systému a to je meranie „kvality“ obnovej bitovej

frekvencie. Termín „kvalita“ je dosť nejednoznačný, odpovedá frekvenčnej a fázovej stabilite, oneskoreniu atď.

Podstata merania kvality obnovenej bitovej synchronizácie spočíva v jej porovnaní so systémovými hodinami pomocou logického obvodu exclusive-OR. Tento logický obvod je zahrnutý v module ERROR COUNTING UTILITIES. Princíp porovnávania týchto dvoch signálov je znázornený na obrázku 3.5. Fázu sínusového signálu z výstupu pásmovej priepusti je možné meniť a tým signál zarovnať s referenčnými bitovými hodinami. Digitálne oneskorenie pripojené na hradlo logického obvodu slúži pre kontrolu práve prebiehajúceho porovnávania.



Obr. 3.5 – Princíp merania kvality bitovej synchronizácie

Vypracovanie:

Použitie nasledovných modulov je pre danú úlohu nevyhnutné:

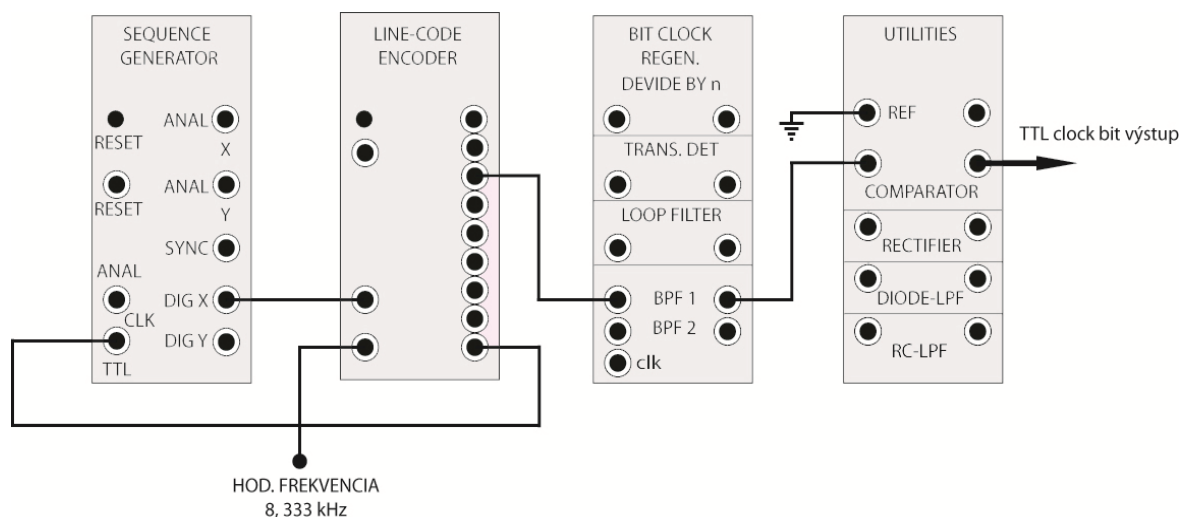
- MASTER SIGNALS – generujú základné signály, v tomto prípade základnú vzorkovaciu frekvenciu 8 kHz.
- SEQUENCE GENERATOR – generuje dve nezávislé pseudonáhodné sekvencie dát podľa vstupnej frekvencie.
- LINE-CODE ENCODER – kóduje dáta, ktoré prichádzajú na vstup podľa rôznych algoritmov v závislosti na vstupnej frekvencii. V tomto prípade je dôležitý spomenúť, že výstup B.CLK delí vstupnú frekvenciu štyrmi.

- BIT CLOCK REG. – obsahuje obvody, ktoré regenerujú bitové hodiny v podobe harmonického signálu.
- UTILITIES – blok *comparation* slúži na prevod harmonického signálu na digitálny (*sínusový signál na TTL*).
- PHASE SHIFTER – slúži na posúvanie fázy.
- INTEGRATE & DUMP – v tomto prípade sa blok využije pre digitálne oneskorenie TTL hodinového signálu.
- ERROR COUNTING UTILITIES – logickým obvodom X-OR porovnáva dva vstupné dátové toky.

Postup:

Obnovenie bitovej synchronizácie:

1. Podľa schémy zapojenia uvedenej na obrázku 3.6 vyhľadajte moduly potrebné pre laboratórnu úlohu a pripravte si prepojovacie káble.



Obr. 3.6: Schéma prepojenia modulov pre obnovenie bitovej synchronizácie

2. V našom prípade je nutné moduly LINE-CODE ENCODER a BIT CLOCK REGEN. zasunúť do voľných slotov, ostatné moduly sú buď pevnou súčasťou HW verzie TIMS-u alebo sú v pripojenom stojane najčastejšie používaných modulov. Je nutné na karte modulu BIT CLOCK REGEN. skontrolovať a prípadne upraviť prepínač SW1 podľa tabuľky 3.1.

Tab. 3.1: Nastavenie prepínaču SW1 na karte modulu BIT CLOCK REGEN.

Poloha špecifického prepínača SW1	STAV
Ľavý prepínač	Nastavený hore
Pravý prepínač	Nastavený dole

Týmto nastavíme frekvenciu BPF1 na 2 043 kHz a pre BPF2 necháme možnosť meniť frekvenciu externe.

- Podľa schémy zapojenia na obrázku 3.6 prepojte SEQUENCE GENERATOR a LINE-CODE ENCODER. Ako výstup LINE-CODE ENCODER-u vyberte UNI-RZ (*Unipolar Return-Zero*) a prived'te ho na vstup osciloskopu pre kanál A (*A1*), na kanál B (*B1*) pripojte výstup TTL X z modulu SEQ.GENERATOR-u. Je dôležité si uvedomiť už spomenutý fakt, že hodinová frekvencia, ktorá je vedená z výstupu kóderu na vstup sekvenčného generátoru je 4x menšia ako vstupná frekvencia 8 kHz.

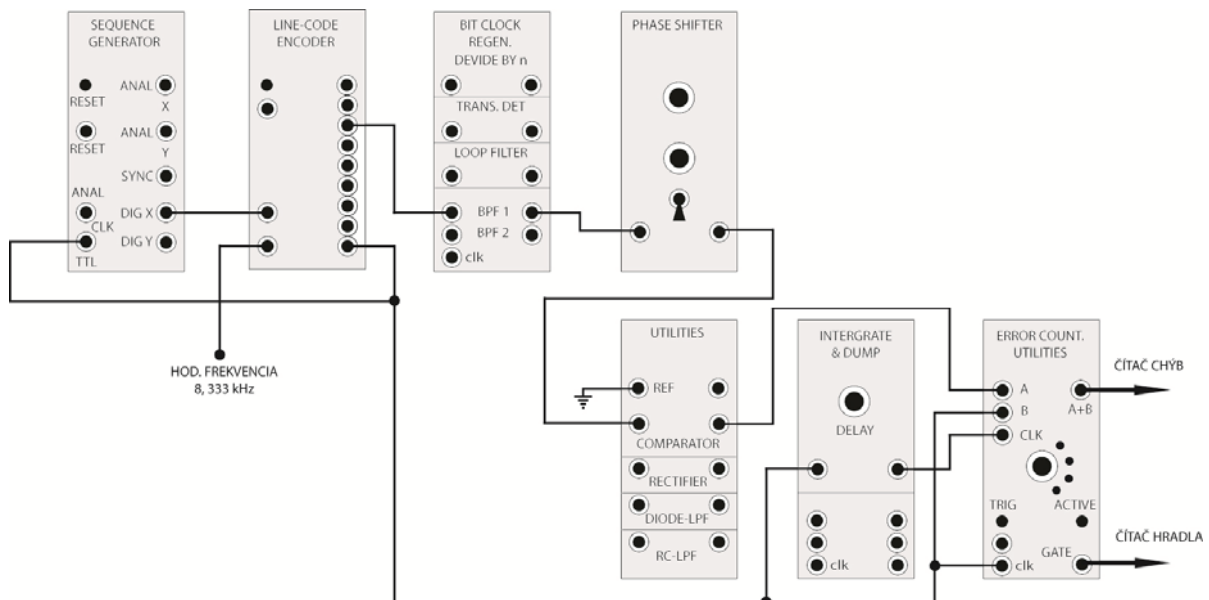
Kód RZ (Return to Zero) - signál sa neustále vracia k nule, medzi dvoma po sebe nasledujúcimi jednotkami prechádza signál na úroveň $\log 0$. Bohužiaľ na osciloskope PicoScope môžeme zobrazit' len dva priebehy súčasne, zobrazte si výstup UNI-RZ a výstup TTL-X z SEQ.GEN. a overte funkčnosť algoritmu. Priebehy vyexportujte a pridajte do výsledného protokolu. Prejdite si všetky linkové kódy, ich priebehy si zobrazte na osciloskope a vyvod'te záver, ktoré linkové kódy nesú vo svojom spektre zložku bitovej synchronizácie (viac o linkových kódoch v laboratórnej úlohe: *Linkové kódy*).

- Prepojte podľa schémy zapojenia zostávajúce dva moduly, BIT CLOCK REGEN. a UTILITIES. Modul BIT CLOCK REG. pomocou pásmovej priepusti (*BPF1*) vygeneruje z dát harmonickú zložku bitových hodín. Zobrazte si priebeh harmonického signálu na osciloskope a porovnajte ho z referenčnými systémovými hodinami a usúďte, či sa fáza oboch signálov rovná. Zmena amplitúdy sínusového signálu sa bude meniť v dôsledku modulácie.
- Aby bolo možné zmerať frekvenciu signálu musíme ho pomocou modulu UTILITIES a jeho časti *comparison*. previesť na TTL signál. Nezapodíťte modul UTILITIES uzemniť! Zobrazte si na osciloskope priebeh harmonického signálu ako aj priebeh

TTL signálu, grafy vyexportujte a vložte do vypracovaného protokolu. Na čítači frekvencie si zobrazte výslednú frekvenciu bitovej synchronizácie. Pre zaujímavosť si zobrazte frekvencie aj ostatných linkových kódov, ktoré nesú zložku bitovej synchronizácie. (spomenuté v bode 3).

Meranie kvality bitovej synchronizácie:

- Zmeňte schému prepojenia modulov podľa obrázku 3.7. Je nutné modul PHASE SHIFTER zasunúť do voľného slotu (uistite sa, že sú jeho potenciometre nastavené na minimum a prepínač na module je v dolnej polohe a prepínač na doske modulu v polohe *LO*).



Obr. 3.7: Schéma prepojenia modulov pre meranie kvality bitovej synchronizácie

- Na module FREQUENCY COUNTER prepnite potenciometer na položku COUNTS. V tomto móde sa bude na displeji zobrazovať počet chýb z modulu ERROR COUNTING UTILITIES. Pripojte tento výstup na vstup merača.
- Najskôr na oba vstupy merača chýb prived'te signály referenčných hodín a zobrazte si ich priebehy na osciloskope, je zrejmé, že sú totožné a počet chýb na merači nenarastá.

9. Na vstup A merača chýb pripojte obnovený signál a porovnajte ho s referenčným. Odčítajte oneskorenie a graf vyexportujte a vložte do protokolu.
10. Postupne prepínajte kanál B medzi vstupom hodín a vstupom B na module merača chýb pri zmene digitálneho oneskorenia na module INTEGRATE & DUMP a vysvetlite prečo a kedy začne počet chýb prudko stúpať. Výsledky uveďte do protokolu.
11. Nastavte fázový posun na module PHASE SHIFTER, aby bolo oneskorenie medzi obnoveným a referenčným signálom čo najmenšie. Následné graf vyexportuje a priložte do protokolu.
12. Po dokončení cvičenia moduly odpojte a uložte do zásobníka, káble poskrúcajte a vypracujte protokol. Výsledný protokol bude obsahovať vyexportované grafy a budú v ňom zodpovedané kontrolné otázky.

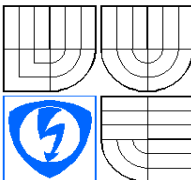
Kontrolné otázky:

1. Aký rozdiel medzi typom bitovej synchronizácie Open loop a Closed loop? Vysvetlite.
2. Aký typ filtru sa zvyčajne používa pre obnovu bitovej synchronizácie?
3. Aké faktory určujú „kvalitu“ bitovej synchronizácie?

Literatúra:

Použitá literatúra [8], [9], [10].

3.2.2 Vzorový protokol

 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ	Předmět Prístupové a transportné siete	
	Jméno Martin Rosenberg	
	Ročník	Studijní skupina
	Spolupracoval	Měřeno dne
Kontroloval	Hodnocení	Dne
Číslo úlohy	Název úlohy Obnovenie bitovej synchronizácie s použitím systému TMS 301	

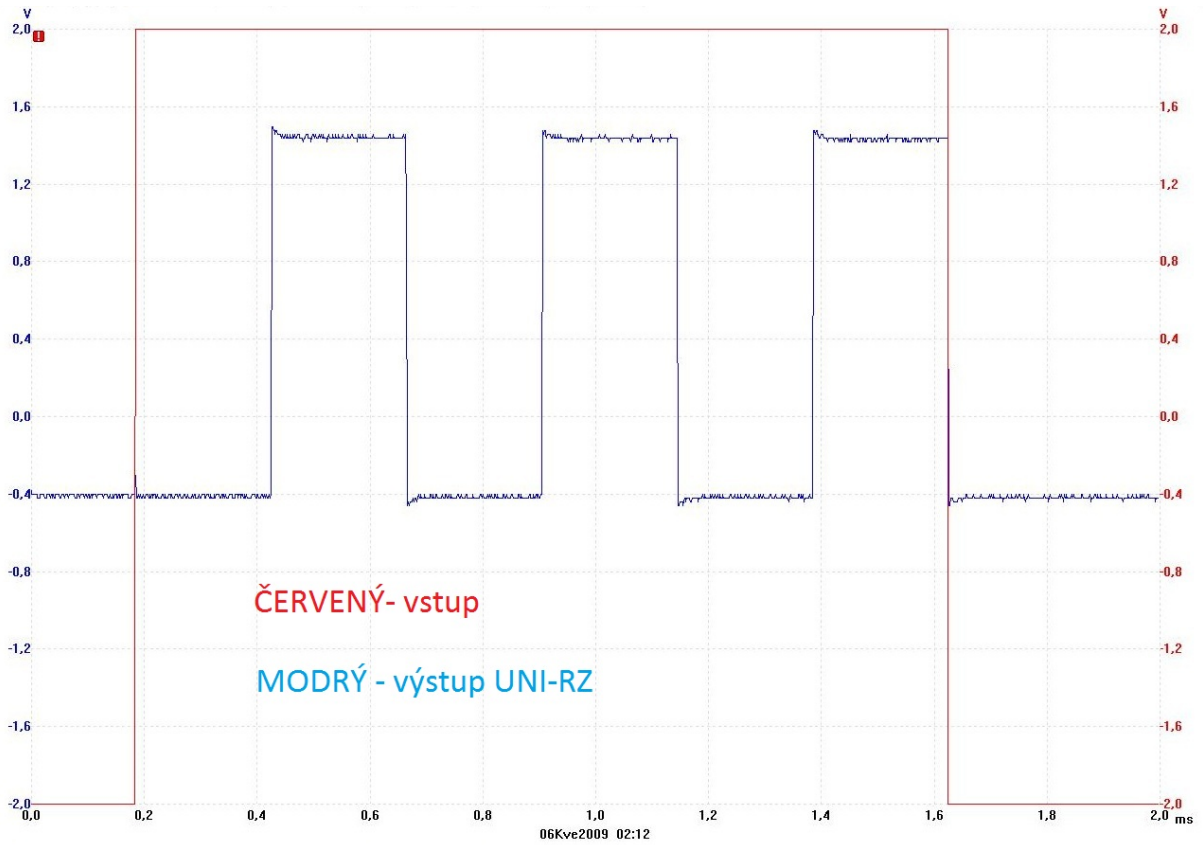
Cieľ úlohy:

Z dôvodu, že bitová synchronizácia je nesmierne dôležitá pre správne obnovenie prijatých dát v digitálnych systémoch, sme si v tejto úlohe vyskúšali jej obnovenie a následne sme zmerali jej kvalitu a závislosť na zmene fázy a digitálnom oneskorení.

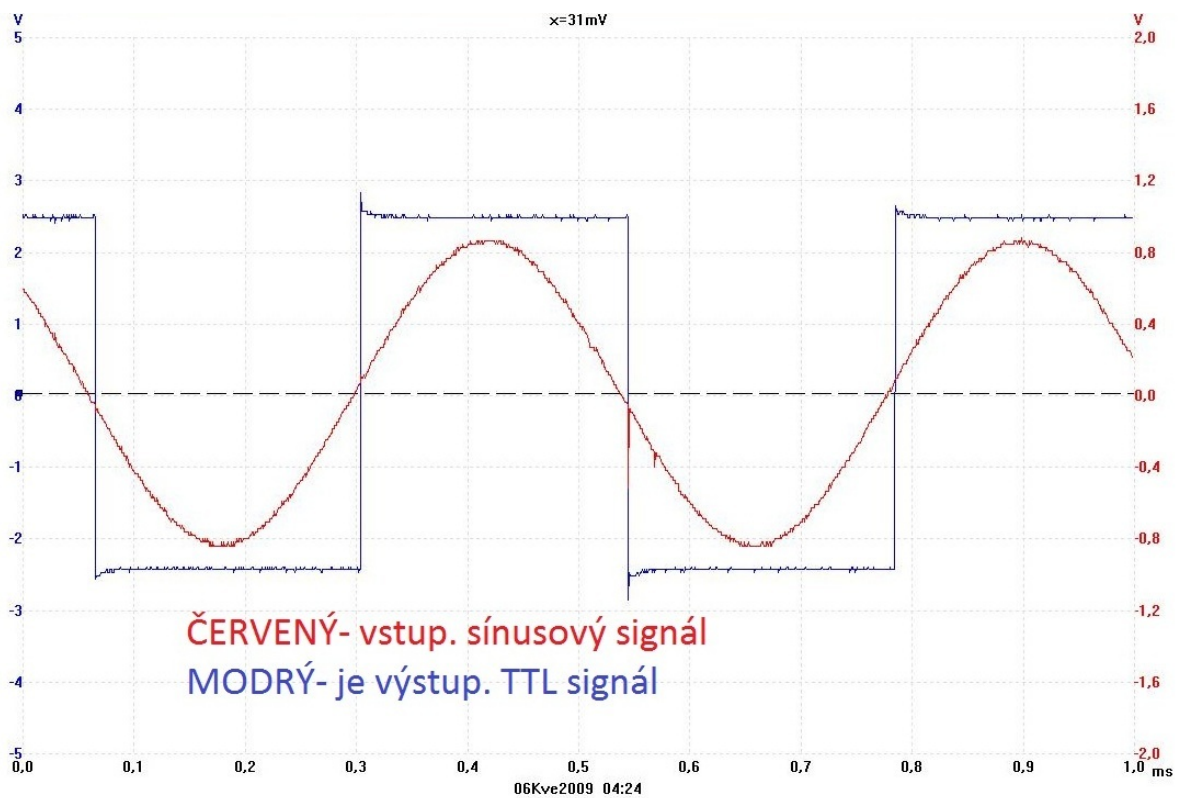
1.časť – *Obnovenie bitovej synchronizácie:*

Ako zdroj dátového toku sme si zvolili linkový kód UNI-RZ, čo v preklade znamená unipolárny kód s návratom k nule. Okrem neho nesú zložku bitovej synchronizácie aj kódy BIP-RZ a BiΦ-L. Ako je na obrázku [3.8](#) vidieť, kód UNI-RZ sa neustále vracia k nule. Na obrázku [3.8](#) nie je znázornený priebeh hodinového impulzu, ale aj tak je zreteľné, že medzi dvoma po sebe idúcimi jednotkami na vstupe, čo je v našom prípade výstup z SEQ.GENERATOR-a, sa pri príchode hodinového impulzu signál UNI-RZ prepne do logickej 0. Signál UNI-RZ vlastne svojou šírkou kopíruje hodinový impulz.

Tento signál v sebe nesie zložku bitovej synchronizácie, ktorú sa nám vďaka obvodu v module BIT CLOCK REGENERATION, pomocou zabudovanej pásmovej priepusti s medzným kmitočtom 2 083 Hz, podarí vyselektovať. Výsledný signál je sínusový, obvodom *comparison* v module UTILITIES sme ho previedli na TTL signál. Z obrázku [3.9](#) je možné vyčítať ako tento obvod pracuje pri preklápaní sínusového signálu.



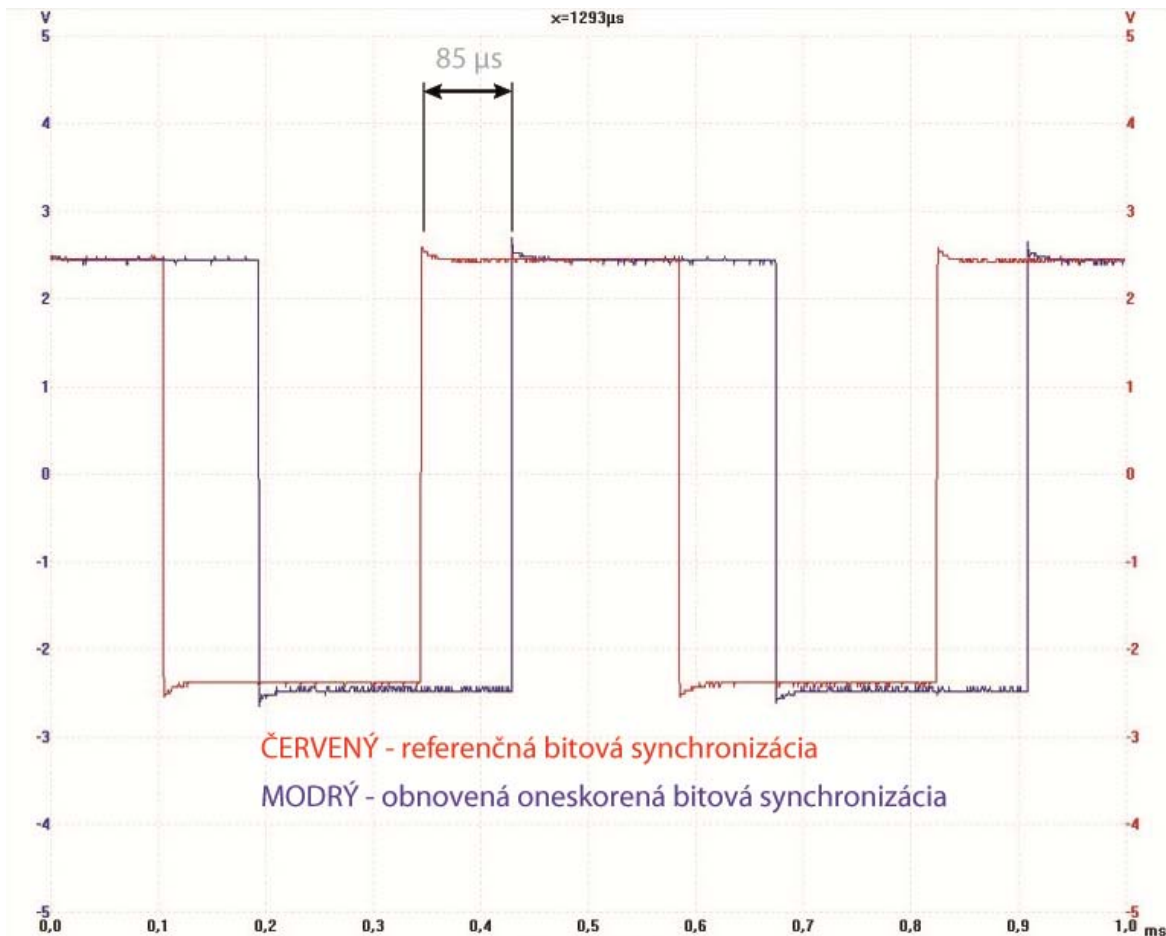
Obr. 3.8: Princíp linkového kódu UNI-RZ



Obr. 3.9: Zmena sínusového signálu na TTL signál

2.časť – Meranie kvality bitovej synchronizácie:

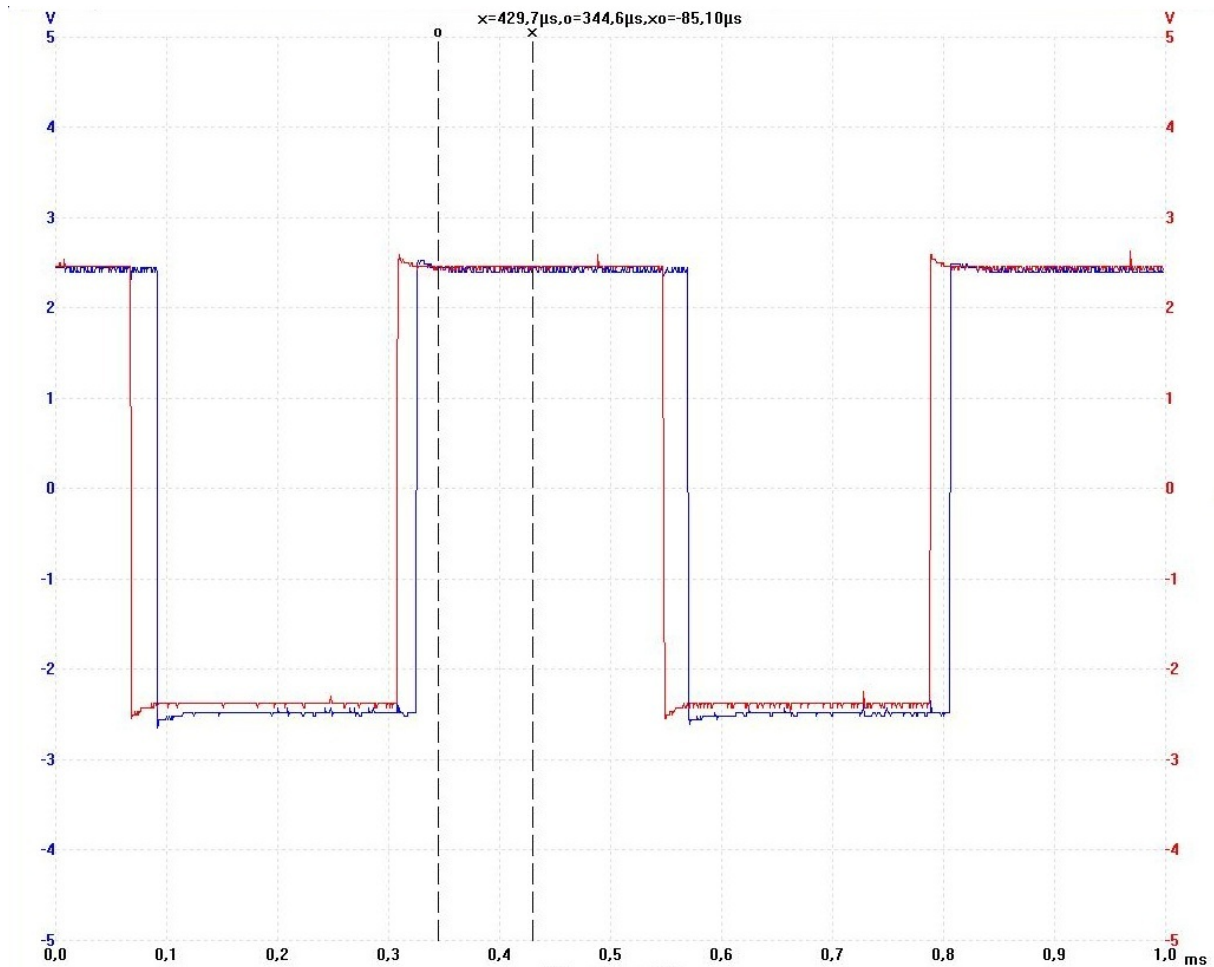
Pri nulovom oneskorení ako aj pri nulovej zmene fázy sme porovnali obnovenú bitovú synchronizáciu z pôvodnou. Pozorovali sme rozdiely na osciloskope. Zmena amplitúdy nebola výrazná, výrazné bolo posunutie (*jitter*) regenerované signálu oproti pôvodnému. Tento čas sme odmerali a výsledné oneskorenie je $85\mu s$. Posunutie oboch signálov je znázornené na obrázku 3.10.



Obr. 3.10: Oneskorenie medzi referenčným signálom a obnoveným signálom

Pozorovali sme aj vplyv digitálneho oneskorenia na výsledný počet chýb. Digitálne oneskorenie je zapojené na vstupe hodín merača chýb. Pri zmene oneskorenia sa priebeh hodín posúval v čase, keď bolo oneskorenie veľké resp. malé, tak hodinový impulz sa posunul mimo oblasť, kde sa oba signály prekrývajú a počet chýb začal prudko narastať. Je to z dôvodu, že merač chýb obsahuje logický obvod X-OR, ktorý má na výstupe logickú 1 v prípade, že sa vstupy nezhodujú.

V poslednej časti úlohy sme sa pokúsili pomocou zmeny fázy dosiahnuť minimálne časové oneskorenie. Na obrázku 3.11 je znázornený výsledok zmeny fázy.



Obr. 3.11: Súbeh referenčného signálu a obnoveného po zmene fázy v module PHASE SHIFTER.

3.časť – *Odpovede na kontrolné otázky:*

Aký rozdiel medzi typom bitovej synchronizácie Open loop a Closed loop? Vysvetlite.

Princíp metódy open loop spočíva v extrahovaní bitovej synchronizačnej zložky z dátového toku pomocou určených obvodov. Ak sa v dátovom toku zložka bitovej synchronizácie nenachádza môže sa pomocou nelineárnych prvkov pokúsiť vypočítať. Closed Loop je metóda presnejšia ale drahšia, využíva sa pri nej spätná väzba.

Aký typ filtru sa zvyčajne používa pre obnovu bitovej synchronizácie?

Pásmová priepusť.

Aké faktory určujú „kvalitu“ bitovej synchronizácie?

Sú to napr. stabilita frekvencie, zmena fázy, zmena oneskorenia, atď.

Záver:

V laboratórnej úlohe sme sa oboznámili s dôležitosťou bitovej synchronizácie a s tým, že je nevyhnutná pre správnu rekonštrukciu prijímaných dát. Vyskúšali sme si prakticky jeden z mnohých spôsobov ako obnoviť bitovú synchronizáciu. V poslednej časti úlohy sme porovnali obnovenú bitovú synchronizáciu s referenčnou systémovou a vyhodnotili jej kvalitu, ktorá bola prijateľná. Nastalo však oneskorenie 85 μ s s ktorým je však nutné počítať. Toto oneskorenie sme sa snažili vykompenzovať zmenou fázy.

4 EFEKTÍVNE VYUŽITIE ZARIADENIA TIMS 301 V BUDÚCNOSTI

4.1 Súčasný stav zariadenia TIMS 301

Hardwarová verzia simulátora TIMS má veľkú perspektívu pre využitie vo výuke v oblasti telekomunikácií. V základnej verzii je len niekoľko prídavných modulov, ktoré slúžia k meraniu základných telekomunikačných princípov. K meraniu zložitejších úloh je potrebné moduly zaobstarat' dodatočne. Súčasťou zariadenia TIMS je aj niekoľko manuálov, v ktorých sú stručne vysvetlené a predpripravené určité typy telekomunikačných úloh, ako napr. modulácie, linkové kódy, konvolučné kódy, atď. Zložitejšie a pokročilejšie úlohy vyžadujú aj pokročilejšie moduly. Zaobstaranie všetkých modulov býva komplikované a v prvom rade nákladné. Preto je dôležité vybrať a určiť priority pre moduly, ktoré budú maximálne prínosné pre výuku, ale s minimálnymi nákladmi. V tabuľke 4.1, tabuľke 4.2, tabuľke 4.3 a tabuľke 4.4 sú uvedené zoznamy modulov, ktoré sú potrebné pre správnu funkčnosť jednotlivých úloh. Úlohy, ktoré nie sú uvedené nepotrebujú pre správnu funkčnosť dokúpiť žiadny modul.

Úlohy spadajú do 5 kategórií:

- Základné analógové úlohy (v základnej verzii sú obsiahnuté všetky potrebné moduly)
- Pokročilé analógové úlohy
- Základné digitálne úlohy
- Pokročilé digitálne úlohy
- Expertné digitálne úlohy

Tab.4.1: Zoznam chýbajúcich modulov pre základné digitálne úlohy

Názov úlohy	Chýbajúce moduly	Chýbajúce moduly, ktoré sú pre úlohu len doporučené
D1 - 01	Baseband channel filters	
D1 - 03	Baseband channel filters	
D1 - 13	Delta modulation utilities	Utilities
D1 - 14	Delta modulation utilities, Delta demodulation utilities	
D1 - 15	Delta modulation utilities, Delta demodulation utilities	
D1 - 16	Delta modulation utilities, Delta demodulation utilities	
D1 - 17	Dual audio switch	

Tab. 4.2: Zoznam chýbajúcich modulov pre pokročilé digitálne úlohy

Názov úlohy	Chýbajúce moduly	Chýbajúce moduly, ktoré sú pre úlohu len doporučené
D2 - 1	Baseband channel filters	
D2 - 3		Baseband channel filters
D2 - 5	2x Multipliers	
D2 - 6	PCM encoder (2 kusy potreba, 1 k dispozícií)	PCM dekoder (2 kusy potreba, 1 k dispozícií)
D2 - 7	Block code encoder, Block code decoder	
D2 - 8	PCM encoder, PCM decoder (oba verzia min.2), Block code encoder, decoder	
D2 - 9	Convolution encoder, TIMS320 DSP - DB s dekódérom EPROM, TIMS320 AIB, Baseband channel filters	Trunks
D2 - 10	Convolution encoder, TIMS320 DSP - HS s Viterbiho dekódérom EPROM	
D2 - 12	2x Multipliers	
D2 - 13	1x Multipliers, 1x ADDER	
D2 - 14	1x Sequence generator	

Tab. 4.3: Zoznam chýbajúcich modulov pre pokročilé analógové úlohy

Názov úlohy	Chýbajúce moduly	Chýbajúce moduly, ktoré sú pre úlohu len doporučené
A2- 02	3x Multipliers	
A2- 03	3x Multipliers	
A2- 04	2x Multipliers	
A2- 05	Spectrum Utilities	
A2- 06	Spectrum Utilities	
A2- 10	Spectrum Utilities	
A2- 11	Spectrum Utilities	
A2- 12	Spectrum Utilities	
A2- 13	Spectrum Utilities, 100 kHz channel filter v.2 (v.1 dostupná), FM utilities	
A2- 14	Spectrum Utilities, 100 kHz channel filter v.2 (v.1 dostupná), FM utilities	
A2- 16	2x Multipliers	Spectrum Utilities

Tab. 4.4: Zoznam chýbajúcich modulov pre expertné digitálne úlohy

Názov úlohy	Chýbajúce moduly	Chýbajúce moduly, ktoré sú pre úlohu len doporučené
D3 - 01	Baseband channel filters	
D3 - 02	Baseband channel filters	
D3 - 03	Baseband channel filters	
D3 - 04	Baseband channel filters, 1x Adder	
D3 - 05	Baseband channel filters, 1x Adder	
D3 - 06	2x Audio Oscillator, 1x Quadrature Utilities	
D3 - 07	Baseband channel filters, Digital error channel, BRAMB EPROM pre Seq.generator	
D3 - 08	BRAMB EPROM pre Seq.generator, Block code decoder, Block code encoder, Digital error channel	
D3 - 12	1x Utilities	
D3 - 13	SONET/SDH TMS STS-1 Mux	
D3 - 14	SONET/SDH TMS STS-1 Mux, SONET/SDH TMS STS-1 Demux	Speech
D3 - 15	SONET/SDH TMS STS-1 Mux, SONET/SDH TMS STS-1 Demux, TMS STS-3 & STS-1 CLK REGEN, Fiber optic lead set, Fiber optic RX v2, Fiber optics TX v2 (red or green)	Speech
D3 - 16	STS-1 v1 EPROM, Speech, SONET/SDH STS-1 Demux, SONET/SDH STS-1 Mux, SONET/SDH STS-3 Demux, SONET/SDH STS-3 Mux,	Fiber optic lead set, Fiber optic RX v2, Fiber optic TX v2 (red or green), TMS STS-3 & STS-1 CLK Regen.
D3 - 17	Digital error channel	
D3 - 18	Baseband channel filters	

Už pri prvom pohľade na tabuľky je zrejmé, že veľmi efektívnou voľbou by bolo zaobstaranie prídavných modulov SPECTRUM UTILITIES , BASEBAND CHANNEL FILTERS (kanálové filtre) a dva kusy MULTIPLIER (čítačka). V laboratóriu sú prenosové zariadenia, ktoré merajú a pracujú s digitálnou hierarchiou PDH (*pleslochrónna digitálna hierarchia*). Keďže uvedený systém prenosu digitálnych dát je nahradzovaný systémom SDH (*synchronná digitálna hierarchia*) bolo by vhodné pre inováciu zaradiť do výuky laboratórne cvičenia týkajúce sa práve tejto technológie. Najvhodnejšou voľbou pre možnosť merania a pracovania s touto novšou technológiou je zaobstaranie modulov SONET/SDH TMS STS-1 Mux, SONET/SDH TMS STS-1 Demux a taktiež podporných modulov ako sú simulátory optických prenosových trás, atď.

4.2 Zoznam dostupných úloh

Po preštudovaní všetkých dostupných modulov súvisiacich s experimentmi, ktoré je možné na zariadení TIMS testovať, vyplynula tabuľka 4.5. V nej je uvedený zoznam úloh, pre ktoré sú moduly dostupné a ktoré je možné spracovať ihneď do výuky.

Tab. 4.5: Zoznam úloh, ktoré môžu byť spracované na zariadení TIMS 301 so súčasným vybavením modulov.

Základné analógové úlohy	
všetky dostupné	
Pokročilé analógové úlohy	
<i>Číslo úlohy:</i>	<i>Názov úlohy:</i>
A2 - 01 **	Amplitúdová modulácia - metóda 2
A2 - 07	Frekvenčný multiplex
A2 - 08	Fázový multiplex
A2 - 09	Analýza FM spektra
A2 - 15	FM demodulácia s PLL
Základné digitálne úlohy	
D1 - 02	Charakteristika oka
D1 - 04	Detekcia pomocou DECISION MAKER
D1 - 05 **	Linkové kódy
D1 - 06 **	ASK - modulácia
D1 - 07	FSK - modulácia
D1 - 08	BPSK - modulácia
D1 - 09	Signálové usporiadanie
D1 - 10	Vzorkovanie pomocou SAMPLE & HOLD
D1 - 11 **	PCM kódovanie
D1 - 12 **	PCM dekódovanie
Pokročilé digitálne úlohy	
D2 - 02	BER - prístrojový model
D2 - 03 * / ***	Obnova bitovej synchronizácie
D2 - 04	Získavanie nosnej (Carrier acquisition)
D2 - 11	PPM a PWM
Expertné digitálne úlohy	
D3 - 09	FHSS s použitím FSK
D3 - 10 ***	FHSS: pomalé a rýchle preskoky
D3 - 11	FHSS a BER
* - chyba modul, ktorý je len doporučený	
** - úloha bola spracovaná systémom TutorTIMS	
*** - úloha bola spracovaná systémom TIMS 301	

Napriek tomu, že podstata merania na softwarovej verzii TutorTIMS-u sa výrazne nelíši od merania na hardwarovej TIMS 301, nie sú v tabuľke 4.5 uvedené všetky spracované úlohy na zariadení TutorTIMS. Dôvodom je, že TutorTIMS obsahuje aj iné moduly ako TIMS 301. Bližšie informácie o jednotlivých moduloch ako aj o dostupných experimentoch sú uvedené vo firemných manuáloch zariadenia TIMS 301 alebo priamo na stránkach výrobcu [8], [9], [10].

5 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo detailné oboznámenie sa s praktickou výukou v predmete Prístupové a transportné siete, naštudovanie funkcií a ovládania jednotlivých prístrojov, ktoré sú v laboratóriu dostupné a následným vytvorením nových úloh využívajúcich práve tieto zariadenia. Výsledkom mojej práce sú tri nové laboratórne úlohy, ktoré vznikli mojou samostatnou činnosťou v laboratóriu prístupových a transportných sietí a samostatná kapitola venujúca sa využitiu výukového systému TIMS 301 v budúcnosti. K vytvoreným úlohám som spracoval teóriu, nakreslil blokové schémy pre lepšie znázornenie problematiky a vytvoril vzorové protokoly.

V prvej úlohe som sa venoval analýze telefónnej linky E1 pomocou analyzátora PUMA 4300E. Jeho popis a základné funkcie som taktiež zahrnul do práce. V úlohe som využil funkciu zariadenia, ktorá dovoľuje detekovať a následne dekódovať hlas, ktorý sa nachádza na linke E1. V tejto laboratórnej úlohe som sa zamerl na teoretické vedomosti študentov, týkajúcich sa štruktúry rámca E1, ako napr. analyzovanie signalizačného a synchronizačného timeslotu. Analyzátor PUMA dovoľuje aj meranie tvaru impulzu na linke E1, pre jeho meranie som vypracoval návod a jeho výsledný priebeh v maske ITU je súčasťou vzorového protokolu.

V druhej laboratórnej úlohe som sa zamerl na detailné skúmanie štruktúry STS-1 rámca, ktorý je základnou jednotkou prenosu v sieti SONET. Táto sieť nahradzuje v súčasnej dobe zastaranejšiu sieť PDH (*Plesiochrónna digitálna hierarchia*). Úlohu som spracoval na výukovom systéme TutorTIMS. Štruktúra skutočného STS-1 rámca sa od rámca, ktorý generuje systém TIMS líši vo viacerých aspektoch, princíp multiplexovania a demultiplexovania však ostáva rovnaký. V úlohe som kládol dôraz na synchronizáciu, ako aj overenie platnosti vzorkovacieho teóremu. Pre správne vypracovanie protokolu budú študenti nútený k vlastnej činnosti, premýšľaniu nad problémom a k vyvodu záveru.

Tretia laboratórna úloha bola vytvorená na hardwarovej verzii výukového systému TIMS. V úlohe som sa zamerl na tému obnovy bitovej synchronizácie. Uvádzam v nej študentov do problematiky jej regenerácie na strane prijímača a oboznamujem ich s jej dôležitosťou pre správnu rekonštrukciu dát. V druhej časti úlohy sa študenti pri vypracovaní zamerajú na meranie „kvality“ obnovennej bitovej synchronizácie v porovnaní s referenčnou systémovou

synchronizáciou. S použitím niekoľkých postupov budú kvalitu obnovenej synchronizácie zväčšovať.

V poslednej kapitole som vypracoval návrh pre efektívne využitie zariadenia TIMS 301 v budúcnosti. V laboratóriu je dostupná rada predpripravených laboratórnych úloh na tomto zariadení. Hlavným problémom však je absencia jednotlivých modulov. Vypracoval som tabuľky, ktoré sprehľadnia zoznam úloh, ktoré je možné spracovať, ako aj zoznam modulov, ktoré by bolo pre efektívnejšie využitie zariadenia výhodné zaobstarat'.

Stanovené ciele mojej bakalárskej práce sa mi podarilo splniť. Spracoval som tri laboratórne úlohy a priniesol som do laboratória návrhy ako výuku zefektívniť. Do práce som sa snažil zahrnúť aj zariadenie PCM30U-OCH, zmenou konfigurácie som sa snažil opraviť úlohy, ktoré z neznámeho dôvodu prestali fungovať. Podľa môjho názoru je porucha spôsobená v zapojení zariadenia. Odhalenie problému a jeho vyriešenie však presahovalo moje teoretické vedomosti.

LITERATÚRA

- [1] ŠKORPIL V., KAPOUN, V., GREGOŘICA M.: Přístupové a transportní sítě. VUT FEKT, Brno 2004
- [2] SunLite E1 - User's Manual, Version 1.02, SS265 - manuál k přístroji
- [3] PCM 30 U Univerzální přenosový systém 1. řádu, popis funkce, řízení a dohled, technické parametry - firemní dokumentace
- [4] WIKIPEDIA PROJECT. *Wikipedia, The free encyclopedia : PCM* [online]. 2008, 6.12.2008 [cit. 8.12.2008]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/PCM>
- [5] ITU. *International Telecommunication Union : G.703* [online]. 2008 , 11.12.2008 [cit. 2008-12-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.703/e>>.
- [6] TELECOM/DATACOM ANALYZER. *PUMA 4000E Series* [online]. 2007 [cit. 2008-11-12], s. 1-12. Dostupný z WWW: <<http://documents.exfo.com/specsheets/Puma4000E-angHR.pdf>>.
- [7] PCM 30 U Univerzální přenosový systém 1. řádu. Diagnostická jednotka
- [8] EMONA TIMS – domovská stránka produktu TIMS 301, TutorTIMS. Dostupná z WWW: <http://www.tims.com.au>
- [9] TIMS-301 BASIC MODULES *User Manual*, Uživatelský manuál k základním modulom systému TIMS
- [10] TIMS. *Advanced modules and TIMS special applications modules user manual*, Uživatelský manuál k rozšiřujícím modulom systému TIMS
- [11] WIKIPEDIA PROJECT. *Wikipedia, The free encyclopedia : SDH* [online]. 2009, 17.5.2009 [cit. 18.5.2009]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/SONET>
- [12] ELECTROSOFT. *Electrosoft.com : Understanding SONET* [online]. 2007 [cit. 18.5.2009]. Dostupný z WWW: <http://electrosofts.com/sonet/>

ZOZNAM SKRATIEK

- A/D prevodník - Zariadenie prevádzajúce analógový signál do digitálnej formy
- ADM (ADD/DROP MULTIPLEXER) – označenie modulov, ktoré slúžia pre vstup dát do siete SONET.
- ATM (Asynchronous Transfer Mode) – Asynchrónny prenosový mód
- BIT ERR – počet prijatých bitových počas testovania
- CAS (Channel Associated Signalling)- Typ signalizácie straty MFAS
- CCITT (Consultative Committee on International Telephony and Telegraphy)- Medzinárodná organizácia definujúca štandardy pre telefónne a telegrafické zariadenia
- CCS (Common Channel Signalling)- Signalizácia s využitím signalizačného systému SS7
- D/A prevodník - Zariadenie prevádzajúce digitálny signál do analógovej formy
- DCE (Data Communications Equipment) –(medziľahlé zariadenie v sieti)
- DTE (Data Terminal Equipment)- Koncové zariadenie v sieti
- EEC (European Economic Community)- Európske ekonomické spoločenstvo
- FAS (Frame Alignment Signal)- Druh synchroskupiny pri rámcovej synchronizácii
- ISDN (Integrated Services Digital Network) – Integrované služby digitálnej siete
- ITU (International Telecommunication Union) - Medzinárodná telekomunikačná únia
- kbps (kilobits per second) – prenosová rýchlosť v kilobitoch za sekundu
- LCD (Liquid Crystal Display)- Technológia displejov na báze tekutých kryštálov
- LOFS (Loss of Frame Seconds)– počet sekúnd, počas ktorých došlo k strate rámcov
- LOH (Line Overhead) – Hlavička riadku (časť TOH)
- LOSS (Loss of Signal Seconds)- počet sekúnd, počas ktorých vypadol signál pri testovaní
- LSB (Less Significant Bit) – bit z najmenšou váhou
- Mbps (Megabites per second) – prenosová rýchlosť v megabitoch za sekundu
- MFAS (Multiframe Alignment Signal)- Multirámcová synchronizácia E1
- MSB (Most Significant Bit) – bit z najväčšou váhou
- ONP (Open Network Provision) -Smernica pre prístup do existujúcej infraštruktúry a sietí
- PCM (Pulse-Code Modulation) -Pulzne- kódová modulácia
- PHD (Plesiochronous Digital Hierarchy)- Plesiochronní digitální hierarchie
- PBX (Private Branch Exchange)- Pobočková ústredňa
- POH (Payload Overhead) – Hlavička dát
- SOH (Section Overhead) – Hlavička sekcie (časť TOH)

SONET (Synchronous Optical Networking) – Synchronná optická sieť
SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – Synchronná digitálna hierarchia
SPE (Synchronous Payload Envelope) – Synchronná obálka dát
STM (Synchronous Transport Module) – Synchronný prenosový modul
STS (Synchronous Transport Signal) - Synchronný prenosový signál
TCP/IP (Transmission Control Protocol) – sieťový prenosový protokol
TOH (Transport Overhead) – Transportná hlavička v STS-1 rámci
TDM (Time Division Multiplex)- Časový multiplex