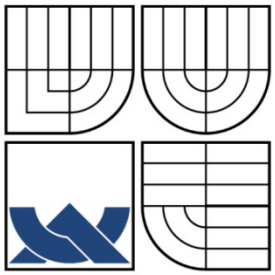
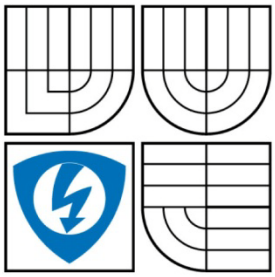


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁZORNÉ UPLATNĚNÍ NOVÉHO PŘENOSOVÉHO ZAŘÍZENÍ

OBJECTIVE EXERCISE OF A NEW TRANSMISSION EQUIPMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — MICHAL ROSENBERG

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. VLADISLAV ŠKORPIL, CSc.

SUPERVISOR

BRNO 2010

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student:	Michal Rosenberg	***ID:***	106750
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Názorné uplatnění nového přenosového zařízení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se podrobně s doporučením ITU G.732 pojednávajícím o přenosu pomocí rámce E1. Dále se seznamte s přenosovým zařízením PCM30U-OCH a jeho softwarovým řízením MANAGER a DORIS. PCM-30U-OCH je souhrnné označení pro přenosový systém 1. a 2. řádu. Obsahuje flexibilní multiplex pro univerzální použití ve veřejné i privátní síti se všemi standardními typy telefonních, rozhlasových i datových rozhraní. Cross-connect zařízení přepíná do dvou až čtyř směrů, propojení externích zařízení se uskutečňuje po příspěvkových tocích E1. Propojení je realizováno optickým vláknem nebo elektricky kódem HDB3. Navrhněte názorné zapojení přenosového zařízením PCM-30U- OCH do výuky. Zařízení je k dispozici v laboratoři. Kromě vlastního přenosového zařízení a softwaru MANAGER a DORIS použijte další vybavení laboratoře, jako např. telefonní přístroje, analyzátor PUMA atd. Návrhy zpracujte ve formě zadání minimálně tří nových dříve nerealizovaných laboratorních úloh včetně vzorových protokolů. Úlohy budou využity pro předmět Přístupové a transportní sítě.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] TTC Marconi. Manuál k PCM30U-OCH. TTC, Praha 2008
[2] PUŽMANOVÁ,R. Moderní komunikační sítě A-Z. Computer Press, Brno 2007
[3] ŠKORPIL, V. Digitální komunikační technologie. UTKO, Brno 2002.

Termín zadání:	29.1.2010	***Termín odevzdání:***	2.6.2010

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

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

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout názorné zapojení nového přenosového zařízení PCM30U-3UST do výuky předmětu *Přístupové a transportní sítě* formou tří nových laboratorních úloh.

Zpracované úlohy jsou zaměřeny na konfiguraci a bližší seznámení se s univerzálním přenosovým zařízením PCM30U-3UST. Studenti se naučí ovládat zařízení tak, že budou schopni spravovat jeho rozhraní a prakticky využívat jeho zásuvné karty. Dále získají teoretické znalosti o rámci E1, které si pomocí analyzátoru PUMA 4300E ověří. Tato práce je současně seznamuje s teoretickými principy přenosu signálu pomocí rámce E1 a obsahuje stručný manuál přenosového zařízení PCM30U-3UST a analyzátoru PUMA 4300E.

Laboratorní úlohy jsou zpracované včetně podrobných pracovních postupů, které obsahují názorné ilustrace zapojení a vypracované vzorové protokoly.

Klíčová slova: PCM30U-3UST, PUMA 4300E, E1, PCM, TDM, CEoIP, RS232.

ABSTRACT

The aim of my project is designing of the example of the new transmission equipment PCM30U - 3UST for education of the subject *Access and transport networks* in form of the three new laboratory tasks.

The tasks are focused on the configuration of a more universal familiarity with transmission facilities-PCM30U-3UST. Students learn to operate with the equipment so that they will be able to manage its interface and practical usage of its insertable cards. Further they gain theoretical knowledge of the E1, that they verify it through the analyzer PUMA 4300E. This work is also acquainted them with the theoretical principles of signal transduction through the framework of the E1 and contains a brief manual of the transmission equipment PCM30U-3UST and analyzer PUMA 4300. Laboratory tasks are processed including detailed workflow, which includes graphic illustration of linkage and developed model protocols.

Keywords: PCM30U-3UST, PUMA 4300E, E1, PCM, TDM, CEoIP, RS232.

ROSENBERG, M. Názorné uplatnění nového přenosového zařízení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 63 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma „NÁZORNÉ UPLATNĚNÍ NOVÉHO PŘENOSOVÉHO ZAŘÍZENÍ“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 uvedeného 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 28. 5. 2010 .....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladislavu Škorpilovi, CSc., za ochotu pomoci a za cenné rady při zpracovávání této semestrální práce. Dále děkuji panu Ing. Michalu Polívkovi, za pomoc při komunikaci s fy. TTC Marconi.

V Brně dne 28. 5. 2010 .....

podpis autora

OBSAH

Seznam zkratek **7**
Seznam obrázků **8**
Seznam tabulek **9**
Úvod **10**
1 Úvod do problematiky **11**
1.1 Pulsně kódová modulace (PCM) **11**
1.1.1 Úvod do problematiky 11
1.1.2 Princip časového multiplexu 11
1.1.3 Vytvoření PCM 12
1.1.4 Literatura 15
1.2 Rámec PCM 1. řádu (E1) **16**
1.2.1 Struktura E1 16
1.2.2 Struktura KI 16
1.2.3 Struktura 0KI 17
1.2.4 Struktura 16KI 17
1.2.5 Systémy vyšších řádu (PDH) 17
1.2.6 Literatura 17
2 Použité zařízení **18**
2.1 Přenosové zařízení PCM30U-3UST **18**
2.1.1 Obecný popis 18
2.1.2 Konstrukční a kompoziční popis 18
2.1.3 Popis funkcí 19
2.1.4 Centrální kanálové jednotky 20
2.1.5 Přehled standardních kanálových jednotek 21
2.1.6 Řízení a dohled z PC 22
2.1.7 Literatura 24
2.2 Analyzátor PUMA 4300E **25**
2.2.1 Obecný popis 25
2.2.2 Popis uživatelského panelu 26
2.2.3 Popis zadního panelu 26
2.2.4 Literatura 26
3 Lab. úloha 1: Analýza rámce E1 přenosového zařízení PCM30U-3UST **27**
3.1 Zadání a vypracování **27**
3.1.1 Cíl laboratorní úlohy 27
3.1.2 Zadání úlohy 27
3.1.3 Vybavení pracoviště 27
3.1.4 Teoretický úvod 28
3.1.5 Pracovní postup 29
3.1.6 Kontrolní otázky 36
3.1.7 Literatura 36
3.2 Vzorový protokol **37**
Zadání úlohy 37
Vypracování bodů zadání 37
Vypracování kontrolních otázek 38
Závěr úlohy 39

4 Lab. úloha 2: Tunelování rámce E1 přes IP síť (CEoIP) 40
4.1 Zadání a vypracování 40
4.1.1 Cíl laboratorní úlohy 40
4.1.2 Zadání úlohy 40
4.1.3 Vybavení pracoviště 40
4.1.4 Teoretický úvod 41
4.1.5 Pracovní postup 43
4.1.6 Kontrolní otázky 46
4.2 Vzorový protokol 47
Zadání úlohy 47
Vypracování bodů zadání 47
Vypracování kontrolních otázek 48
Závěr úlohy 48
5 Lab. úloha 3: Tunelování RS232 pomocí PCM30U-3UST 49
5.1 Zadání a vypracování 49
5.1.1 Cíl laboratorní úlohy 49
5.1.2 Zadání úlohy 49
5.1.3 Vybavení pracoviště 49
5.1.4 Teoretický úvod 50
5.1.5 Pracovní postup 52
5.1.6 Kontrolní otázky 57
5.2 Vzorový protokol 58
Zadání úlohy 58
Vypracování bodů zadání 58
Vypracování kontrolních otázek 59
Závěr úlohy 59
Závěr 60
Použitá literatura 62

SEZNAM ZKRATEK

BERT	Chybovost přenosu
CAS	Signalizace přidružená k hovorovým kanálům
CCS	Signalizace pomocí systému SS7
CEoIP	Emulace spojování okruhů přes IP síť
CRC	Cyklický redundantní součet
E1	Rámec 1. řádu evropské multiplexní hierarchie
FAS	Rámcový synchronizační signál
IP	Internetový protokol
ISDN	Integrovaná síť digitálních služeb
ITU-T	Mezinárodní telekomunikační unie telekomunikačního oboru
JTS	Jednotná telefonní síť
KI	Kanálový interval
MFAS	Multirámcový synchronizační signál
NFAS	Rámec bez synchronizačního signálu
PAM	Pulsně amplitudová modulace
PC	Osobní počítač
PCM	Pulsně kódová modulace
PDH	Plesiochronní digitální hierarchie
PPM	Částí na jeden milion
TDM	Časový multiplex
TS	Kanálový interval anglicky

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Princip TDM 12
Obr. 1.2: Posloupnost kroků vzniku PCM signálu při přenosu TDM 12
Obr. 1.3: Vzorkoví obvod 13
Obr. 1.4: Příklad 3-bitového kvantování a kódování 15
Obr. 1.5: Struktura rámce E1 16
Obr. 2.1: Čelní pohled [6] 18
Obr. 2.2: Kompoziční rozmístění kanálových a centrálních jednotek [6] 19
Obr. 2.3: Přehled standardních kanálových jednotek [6] 22
Obr. 2.4: Názorné zapojení dohledového systému Doris / LMS 23
Obr. 2.5: Uživatelský panel Puma 4300E 26
Obr. 2.6: Zadní panel Puma 4300E 26
Obr. 3.1: Propojení výstupního směru a volba hl. programu propojení 30
Obr. 3.2: Konfigurace na záložce „Crossconnect 64kBit/s“ 31
Obr. 3.3: Schéma zapojení pracoviště 32
Obr. 3.4: 16 KI rámce E1 33
Obr. 3.5: Frekvenční statistika 33
Obr. 3.6: Změřená pulzní maska 2048 kbit/s rozhraní 34
Obr. 3.7: Pulzní maska 2048 kbit/s rozhraní dle ITU – T G. 703 [3] 34
Obr. 3.8: Záměrné vnesení chyb 35
Obr. 3.9: Histogram 35
Obr. 4.1: Topologie CEoIP 41
Obr. 4.2: Propojení výstupního směru a volba hl. programu propojení 44
Obr. 4.3: Konfigurace na záložce „Crossconnect 64kBit/s“ 45
Obr. 4.4: Schéma zapojení pracoviště 46
Obr. 5.1: Piny Cannon9 51
Obr. 5.2: Foto Cannon9 51
Obr. 5.3: Konfigurace na záložce „Spojení“ 53
Obr. 5.4: Propojení výstupního směru a volba hl. programu propojení 54
Obr. 5.5: Schéma zapojení pracoviště 55
Obr. 5.6: Obousměrný test PuTTY−>PuTTY 56
Obr. 5.7: Jednosměrný test PuTTY−>VT100 57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Přehled používaných evropských multiplexních řádů 17
Tab. 3.1: Parametry pulzu 38

ÚVOD

Přístupové a transportní sítě jsou určeny pro přenos hovorových nebo jiných datových signálů mezi jednotlivými koncovými body v síti, např. telefony, faxy, modemy, počítači atd. Přístupové sítě řeší problematiku tzv. „poslední míle“ neboli připojení koncového uživatele k nejbližšímu uzlu sítě. Propojení jednotlivých uzlů zabezpečují sítě transportní. Obě tyto sítě mohou být realizovány pomocí metalických, optických nebo i rádiových spojů.

Prvním úkolem mé práce bylo seznámit se se způsobem přenosu signálu pomocí rámce E1 a s nově získaným přenosovým zařízení PCM30U-UST. Toto zařízení určené pro názorné zapojení do výuky jsem měl k dispozici v laboratoři PA-429.

Dalším úkolem mé bakalářské práce bylo zpracování tří nových laboratorních úloh, včetně plných zadání, vypracování a vzorových protokolů. Zpracované úlohy byly koncipovány tak, aby studenty vedly k tvůrčímu myšlení a pochopení vlastní problematiky.

Rozvrhnutí úloh jsem volil tak, aby se první úloha s názvem *Analýza rámce E1 přenosového zařízení PCM30U-3UST* věnovala seznámení se s principy přenosu pomocí rámce E1 včetně problematiky digitalizace a měření základních parametrů signálu analyzátorem. V následující úloze *Tunelování rámce E1 přes IP síť (CEoIP)* si studenti vyzkouší náročnější konfiguraci a spojení technologie spojování okruhů s moderním, dnes velmi využívaným paketovým spojením při přenosu hovoru. Poslední úloha *Tunelování RS232 pomocí PCM30U-3UST* se věnuje problematice tunelovaného datového přenosu sériového rozhraní RS232 pomocí univerzálního přenosového zařízení. Tyto tři úlohy tvoří komplex realizovatelných zadání, který seznámí studenty s možnostmi univerzálního přenosového zařízení PCM30U-3UST v konkrétní konfiguraci, jaká se nachází v laboratoři PA-429.

Kapitoly 1.1 a 1.2 jsou zpracované jako teoretický úvod problematiky pulsně kódové modulace a seznámení se strukturou rámce E1. V kapitolách 2.1 a 2.2 se nachází základní popis použitých zařízení. Konkrétně se jedná o stručný manuál pro univerzální přenosové zařízení PCM30U-3UST a telekomunikační/datakomunikační analyzátor PUMA 4300E. Následující kapitoly 3.1, 4.1 a 5.1 obsahují již samotné zadání laboratorních úloh, jejich vypracování, podrobné návody a vzorové protokoly.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

1.1 Pulsně kódová modulace (PCM)

1.1.1 Úvod do problematiky

Pulsně kódová modulace (PCM z anglického Pulse-Code Modulation) je mezinárodním standardem pro digitální zpracování telefonních signálů. Zastává stěžejní roli v přístupových a transportních sítích. Kombinací digitalizace signálu a časového dělení vzniká velmi efektivní využití přenosového média. Digitální zpracování signálů má oproti analogovému několik výhod, mezi které patří např. menší šířka přenášeného pásma, velký počet současně přenesených signálů, dostatečná kvalita přenosu a menší náchylnost k rušení.

Digitální modulací PCM rozumíme čtyři základní předpoklady: filtrování, vzorkování, kvantování a kódovaní. Uvedené principy popisují činnost analogově digitálního převodu. Vzorky (PAM - Pulse Amplitude Modulation) se odebírají v přesně daných časových intervalech a poté se přiřazují k příslušným úrovňovým hladinám, podle kterých se odebrané binárně kódují.

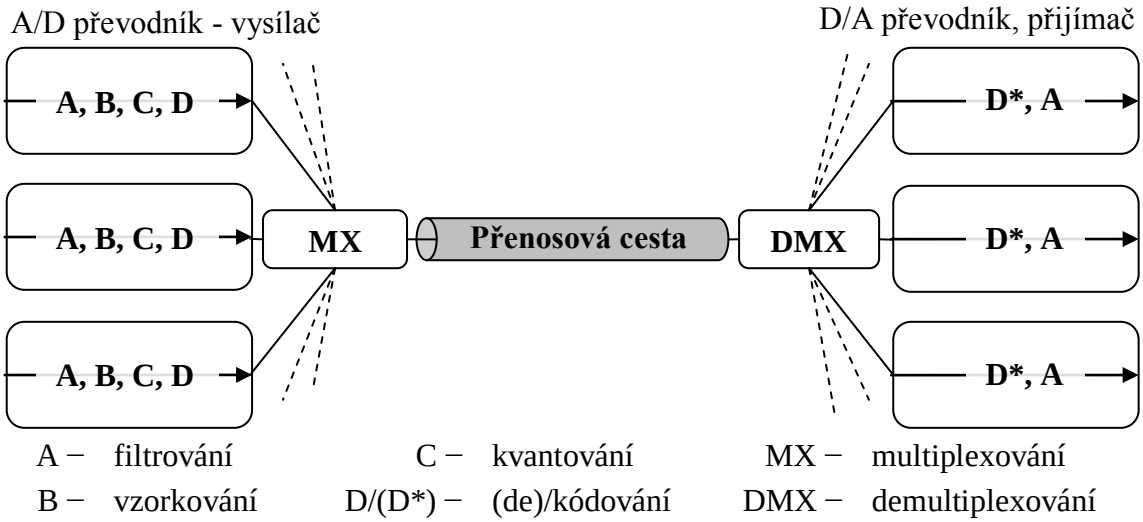
1.1.2 Princip časového multiplexu

Časový multiplex (TDM z anglického Time Division Multiplex) je systém přenosu více signálů pomocí jednoho společně sdíleného přenosového média. Princip spočívá v přidělení přesně stanoveného časového intervalu, při kterém jednotlivé signály střídavě přistupují k přenosovému médiu, přičemž se celý cyklus stále opakuje.

Tento druh multiplexu se používá k přenosu pomocí systémů PCM a je výhodný zejména tam, kde by bylo nákladné nebo jinak nevýhodné používat pro každou aplikaci vyhrazené přenosové médium. Časový multiplex pro přenos informací využívá např. plesiochronní digitální hierarchie (PDH), synchronní digitální hierarchie (SDH), síť integrovaných digitálních služeb (ISDN) aj.

Názorně princip časového dělení zobrazuje Obr. 1.1.

Obr. 1.1: Princip TDM



Obr. 1.2: Posloupnost kroků vzniku PCM signálu při přenosu TDM

1.1.3 Vytvoření PCM

Signál pulzní kódové modulace vzniká z běžného analogového signálu následujícímu kroky. Posloupnost kroků znázorňuje Obr. 1.2.

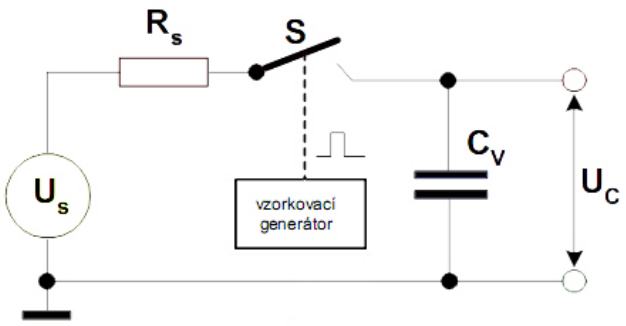
a) Filtrování

Abychom zajistili šířku pásma telekomunikačního kanálu, je nutné na straně vysílače omezit vyšší kmitočty dolní propustí, aby nedošlo k narušení průběhu vzorkování. Na straně přijímače vyfiltrujeme vzorky signálu, a tím získáme opět jeho původní v čase spojitý průběh.

b) Vzorkování

Vzorkování zajistí vzorkovací obvod (viz Obr. 1.3) jednou ze vzorkovacích metod. Nejčastěji používaná metoda se nazývá „vzorkuj a podrž“ (sample and hold). Uvedená metoda je založena na principu odebírání vzorků napětí v daných časových intervalech pomocí jednoduchého obvodu. Tento obvod se skládá ze zdroje signálu U_S, jeho vnitřního odporu R_S, vzorkovacího hradla S, vzorkovacího generátoru, z paměti C_V realizované např. kondenzátorem a výstupního napětí U_C. Průběh vzorkování probíhá tak, že signál ze zdroje U_S je vzorkovacím hradlem S po dobu T připojován na sběrný vzorkovací kondenzátor, který podrží náboj až do dalšího vzorku. Tím dojde k prodloužení doby trvání vzorku. Doba trvání vzorku $T« R_S.C_V$. Doba mezi vzorky slouží například k převodu napětí U_C na digitální formu v A/D převodníku.

Původní analogový průběh bude obnovitelný, pokud vzorkovací frekvence bude větší nebo rovna dvojnásobku horní mezní frekvence vzorkovacího signálu. (Shanonův teorém, Nyquistova frekvence) - $f_V \geq 2\ f_M$. V telefonii f_V = 8 kHz. Nedodržení Nyquistovy frekvence zapříčiní nenávratné zkreslení signálu, pomocí jevu nazvaného aliasing. Aliasingu se dá zabránit jedině tzv. antialiasing filtrem, což je dolní propusť zařazená před převodníkem. Ta nedovolí frekvencím vyšším než je Nyquistova frekvence vstoupit do převodníku.



Obr. 1.3: Vzorkoví obvod

Jelikož šířka telefonního kanálu se nachází mezi 300 Hz až 3400 Hz, musí být vzorkovací frekvence f_V rovna nejméně dvojnásobku kmitočtu 3400 Hz, tzn. 6800 Hz. V telekomunikacích byl zvolen vzorkovací kmitočet f_V 8kHz z důvodu rezervy. Například u záznamu hudby na CD je použita vzorkovací frekvence 44,1 kHz.

c) Kvantování

Nejprve si určíme počet kvantizačních hladin, které budou v digitální formě reprezentovat vzorky odebrané ze vzorkovacího obvodu. Jelikož analogový signál je určen přesně a digitalizovaný signál je jen přirovnáván k nejbližší kvantizační hladině, je z podstaty principu kvantovaní jasné, že máme-li dosáhnout co nejvěrnější digitalizace signálu, musíme použít teoreticky nekonečně mnoho kvantizačních úrovní.

Počet kvantizačních úrovní volíme podle aplikace, pro kterou je digitalizovaný signál určen. Pro přenos digitálního telefonního signálu se volí menší počet hladin, a to z důvodu menší datové náročnosti a dostatečné srozumitelnosti hovoru. Velký počet hladin se využívá např. u záznamu hudby na CD, při kterém se klade důraz na co nejkvalitnější záznam a kapacita je přenosového média dostatečně velká.

Množství hladin se udává v N-té mocnině čísla 2, přičemž nakvantovaný signál pak lze vyjádřit v N bitech, což je velmi vhodné, protože veškerý digitální přenos a zpracování dat počítačem probíhá ve známé binární logice.

V problematice kvantování se dále můžeme setkat s pojmem *kvantizační šum*, který se vyjadřuje jako poměr užitečného signálu ku šumu v jednotkách decibel. Kvantizační chyba je u všech lineárních převodníků stejná v rozmezí -0,5 až 0,5 a kvantizační úrovně závisí na velikosti kvantizačního šumu. Odstup šumu od signálu $S_{N/S}$ vypočítáme podle vztahu,

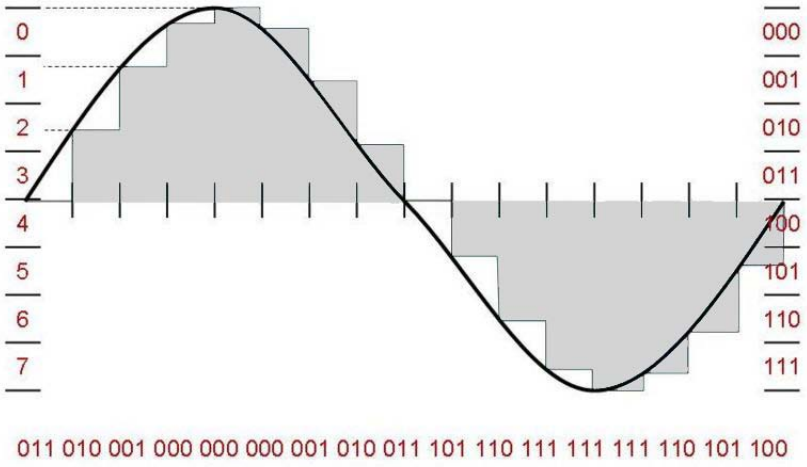
$$S_{N/S} = 20 \cdot \log 2^N \ [dB], \tag{1.1}$$

kde N představuje počet kvantizačních úrovní. S rostoucím počtem těchto úrovní roste i odstup užitečného signálu od nežádoucího šumu.

Příčinou kvantizačního zkreslení je rozdíl mezi nekonečným počtem vstupních a konečným počtem výstupních hodnot. Digitální modulace bez kvantizačního zkreslení nejsou možné. My chceme pochopitelně, aby kvantizační zkreslení bylo co nejmenší. To znamená, že požadujeme co největší útlum kvantizačního zkreslení a pokud možno konstantní pro všechny výšky vzorků. To však při lineárním kódování není možné, protože vzorky s menší výškou jsou relativně více zkresleny než vzorky s větší výškou. Proto se u digitálních modulací používá komprese.

d) Kódovaní

Při procesu kódování přiřadí kodér každému kvantizačnímu stupni číselnou kódovou kombinaci a kvantovaný vzorek do ní zakóduje. Vzorky se nejčastěji kódují pomocí binárního zápisu, z důvodu snazšího následného číselného zpracování. Příklad 3-bitového kvantování a kódovaní naleznete na Obr. 1.4.



Obr. 1.4: Příklad 3-bitového kvantování a kódování

e) Analogově - digitální převodníky

Analogově – digitální převodníky jsou zařízení, která ze vstupního spojitého signálu vytvářejí diskrétní a nespojitý signál. A/D převodníky popsané principy (viz body a), b), c), d) kapitoly 1.1.3) kompletně realizují. V dnešní době jsou to vysoce integrovaná zařízení, která se vyskytují v mnoha aplikacích.

Typickým využitím A/D převodníku v telekomunikacích je digitalizace telefonního signálu z běžného analogového telefonního přístroje ze strany koncového účastníka. Důvodem pro digitalizaci je kvalitnější zpracování signálů na číslicových počítačích a výhodnější přenos přenosovým médiem.

A/D převodníkům jsou podobné převodníky D/A, které jsou však přizpůsobené na opačný převod.

1.1.4 Literatura

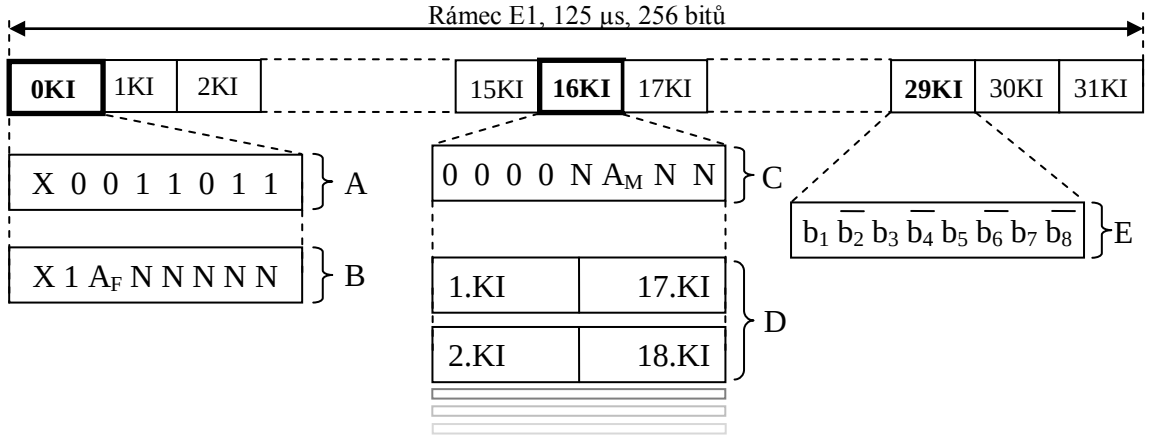
Informace o PCM jsem čerpal z publikací [2], [3], [7] a [9].

1.2 Rámec PCM 1. řádu (E1)

1.2.1 Struktura E1

Rámec E1 obsahuje 32 kanálových intervalů (KI), které se často nazývají timesloty (z anglických slov Time a Slot (TS) - čas a pozice). Kanálové intervaly KI/TS je zvykem počítat od 0 do 31 viz Obr. 1.5.

Každý KI je složen z 8 bitů a celý rámec včetně všech KI proběhne 8000x za sekundu, protože v telekomunikacích se využívá vzorkovací frekvence f_{VZ} = 8000 Hz. To znamená, že za jednu sekundu rámec přenese 8000·32·8 bitů, tj. 2,048 Mbit/s. To odpovídá časové dálce rámce 1/8000 = 125 μs a KI/TS 125/32 = 3,9 ns. Rámec E1 umožňuje přenos až 30 KI, přičemž zbylé 2 KI jsou využité jako služební.



A – sudý rámec, FAS
B – lichý rámec, NFAS
C – 0 rámce multirámce
D – další rámce multirámce
E – vzorek signálu

Obr. 1.5: Struktura rámce E1

1.2.2 Struktura KI

Kanálové intervaly 1-16 a 17-31 nesou hovory nebo jiná data obsahující 8 bitů. Tedy přenosová rychlost jednoho kanálu je 8 · 8000 = 64 Kbit/s. Struktura bitů je naznačena příkladně na KI29 viz Obr. 1.5.

1.2.3 Struktura 0KI

První služební KI je umístěn na nulté pozici. V sudých rámcích je určen pro rámcovou synchronizaci označovanou Frame Alighnment Signal. Naopak NFAS (Non FAS) naleznete v lichých rámcích a slouží k rozpoznání začátku rámce a k přenosu dalších služebních informací viz Obr. 1.5. Bit A_F je v hodnotě 1 určený pro nahlášení poplachu ztráty rámcového souběhu. Bity N jsou pro národní použití a pro přenos dálkového dohledu. Bity X lze použít pro zabezpečení pomocí cyklického kódu CRC.

1.2.4 Struktura 16KI

Každý nultý rámec multirámce přenáší synchroskupinu multirámcového souběhu viz Obr. 1.5. Multirámec se vyskytuje na 16 KI, čísluje se od 0 po 15 a je složen ze 16 po sobě jdoucích rámců. Bit A_M v hodnotě 1 signalizuje poplach ztráty multirámcového souběhu protější stanici. Bity N náleží taktéž národnímu použití nebo dálkovému dohledu jako u 0KI.

Další rámce multirámce slouží jako kanálová signalizace CAS nebo CCS. Uvedené multirámce přenáší 8 bitů a signalizují stav dvou běžných KI.

1.2.5 Systémy vyšších řádu (PDH)

Systémy vyšších multiplexních řádů jsou v Evropě vytvořeny sloučením 4 signálů nižších řádů. Navíc tu vstupují další informace, které jsou takzvaně režijní. Více o těchto systémech se můžete dočíst v literatuře. Přehled evropských řádů uvádí následující Tab. 1.1.

Tab. 1.1: Přehled používaných evropských multiplexních řádů

Řád	Přen. rychlost	Počet tel. kanálů	Poznámka
E0	64 kbit/s	1	Spojení účastníka s ústřednou
E1	2 Mbit/s	30	Propojení místních ústředen
E3	≈ 34 Mbit/s	480	Propojení místních ústředen
E4	≈ 140 Mbit/s	1920	Vysokokapacitní propojení ústředen
E5	≈ 565 Mbit/s	7680	Vysokokapacitní propojení ústředen

1.2.6 Literatura

Informace o rámci E1 jsem čerpal z [3], [7] a [9].

2 POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ

2.1 Přenosové zařízení PCM30U-3UST

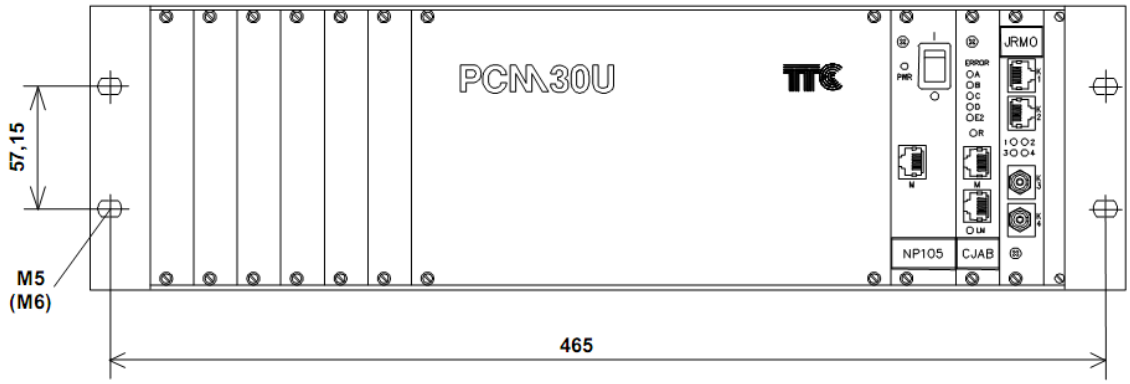
2.1.1 Obecný popis

Zařízení PCM30U-3UST českého výrobce TTC Marconi je univerzální přenosové zařízení. Jeho univerzálnost spočívá v modulární struktuře, která je snadno modifikovatelná zásuvnými kartami. PCM30U-3UST je konstruováno zejména pro přenos signalizace a řídících povelů v rozvodných energetických sítích. Dále se používá pro přenos signál v telekomunikačních a datových sítích. Přenos lze realizovat pomocí metalických i optických vedení.

Zpracování dat a signálů probíhá na principu přenosového systému PCM prvního, případně druhého řádu, též známého pod označením E1 a E2.

2.1.2 Konstrukční a kompoziční popis

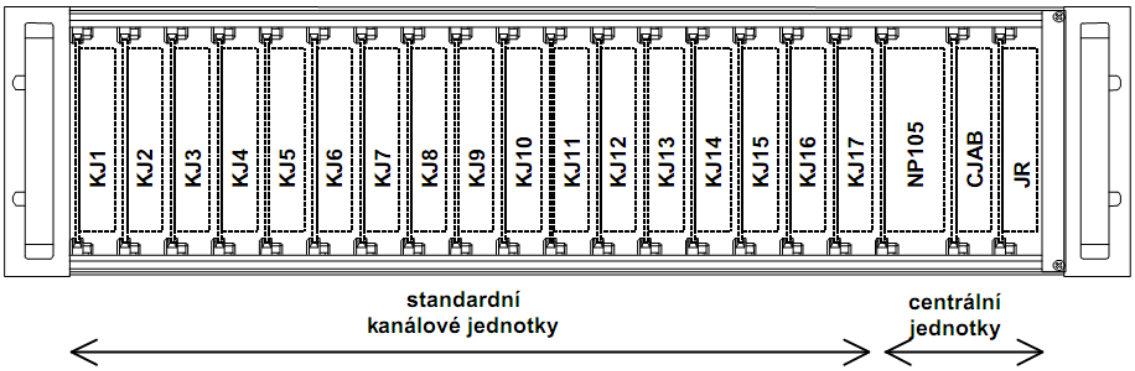
Zařízení je usazeno do hliníkové kostry odpovídající šířce 19“ a standardní výšce 3U. Kostra obsahuje 20 zásuvných pozic, přičemž třetí pozice jsou vyhrazené pro centrální jednotky a 17 pozic je vyčleněno pro výměnné kanálové jednotky včetně dvou rezervních pozic. Centrální část je osazena jednotkou napáječe NP (NP105, NP106, NP107) s hlavním vypínačem, centrální jednotkou CJAB a jednotkou rozhraní JR (JRM, JRO, JRMO, JROO).



Obr. 2.1: Čelní pohled [6]

Výměnné kanálové jednotky můžeme osadit do 17 pozic. Primárně jednotky osazujeme od první kanálové pozice KJ1 po patnáctou KJ15. Rezervní pozice KJ16

a KJ17 je možné nastavit na libovolné adresy. Do pozice KJ16 připojujeme jednotky pomalých přenosů a KJ17 využíváme pro kartu řídící kartu RJ1. Tato karta disponuje přímým napojením na místní sběrnici M a na centrální jednotku CJAB.



Obr. 2.2: Kompoziční rozmístění kanálových a centrálních jednotek [6]

Veškeré kanálové i centrální jednotky jsou přístupné pomocí ovíjených spojů nebo nasazením konektorů na zadní panel zařízení, který nazýváme komunikační deska. Na komunikační desku je vyvedena celá řada konektorů a pinů viz [6].

2.1.3 Popis funkcí

Jednotlivé funkce se realizují pomocí centrálních a zásuvných karet do pozic kanálových jednotek. Podle našich specifických požadavků si můžeme vybrat z širokého sortimentu karet, které realizují přenos telefonních i jiných datových kanálů. Zařízení disponuje funkcemi Drop-Insert a Cross-Connect, které umožňují propojení kanálů 64 kbit/s mezi místními kanálovými jednotkami po lokálním rozhraní M a dále až mezi čtyřmi vnější směry A, B, C a D pomocí signálu 2,048 Mbit/s.

Změnou SW vybavení lze až dva vnější směry přepojit na PCM 2. řádu s možností přenosu externích primárních toků. Integrovanou součástí zařízení je dohledový systém umožňující dohled i řízení rozsáhlých sítí PCM30U a dalších přenosových zařízení výrobce TTC Marconi.

Pomocí zařízení PCM30U lze realizovat:

- propojení telefonních účastníků a ústředen se všemi standardními typy rozhraní,
- vytvoření vnitřního a vnějšího dispečerského okruhu,
- přenos dat všech standardních rozhraní a rychlostí do 1024 kbit/s,
- zálohování přenosové cesty nebo plná záloha.

2.1.4 Centrální kanálové jednotky

Centrální kanálové jednotky jsou zásuvné karty, které obstarávají základní funkce nutné pro fungovaní zařízení. Vkládáme je do kostry zařízení PCM30U-3UST.

a) CJAB

Centrální jednotka s metalickými směry A a B. Jednotka zajišťuje multiplexní funkce. Obsahuje jak obvodové, tak i programové vybavení pro kompletní řízení všech čtyř vnějších toků A, B, C, D a jedné nebo dvou místních sběrnic M1, M2.

Jednotka obstarává vytváření rámců a multirámců dle ITU-T G. 703 [3], funkce cross-connectu, drop-insertu a dohled nad kvalitou přenášených toků. Detekuje chyby, testuje linky, obsluhuje horké zálohy, umožňuje volbu synchronizace a dokáže vkládat zpoždění.

Dále zajišťuje dohledové funkce nejen sama nad sebou a vnějšími toky, ale i nad vnitřními standardními kanálovými jednotkami a umožňuje jejich plnou konfigurační zálohu a obnovení.

Jednotka má na čelním panelu vyvedené místní rozhraní M a rozhraní LM, které slouží pro propojení lokálního manageru místní správy.

Jednotka umožňuje tyto druhy provozů pomocí volitelného FW vybavení:

- TPR.1 – přepínač toků,
- TPR.2 – koncový multiplex,
- TPR.3 – zálohovaný multiplex,
- TPR.4 – mezilehlý multiplex,
- TPR.5 – záloha cesty,
- TPR.6 – flexibilní multiplex,
- TPR.10 – PCM30U-0CH.

b) NP

Jednotka NP je jednotka napáječe, NP105, NP106 nebo NP107. Jednotlivá označení jsou určená do různých konstrukčních provedení. NP106 a NP107 je kompatibilní s rámem verze 3UST. Jednotka obsahuje měniče vnějšího stejnosměrného zdroje o napětí 40 až 72V. Obsahuje specifické napájecí obvody pro optická linková zakončení, vyzváněcí proudy a jiné.

Jednotka umožňuje kontrolu tolerance výstupních napětí a následně posílá zprávy centrální jednotce. Napáječ je chráněn elektronickými pojistkami proti zkratu a zenerovými diodami proti přepětí. Zdroj je zálohovatelný.

c) JR

Jednotka rozhraní JR se vyrábí v několika verzích. Verze s jedním metalickým rozhraním JRM, s jedním optickým rozhraním JRO, s metalickým i optickým rozhraním JRMO nebo dvěma optickými rozhraními JROO.

Jednotky rozhraní jsou tvořeny hlavní deskou a volitelně i subdeskou, která se připojí k desce hlavní. Do jednotky rozhraní dokáže centrální jednotka CJAB propojovat libovolný z vnitřních směrů A, B. C, D nebo vnější metalické směry RMA1 a RM1B. Další možnost využití jednotky je jako oboustranný opakovač nebo konvertor místního rozhraní RM1, případně RM2 na optická rozhraní ORL1 nebo ORL2.

Optická rozhraní využívají pro přenos laserové diody na vlnové délce 1310 nebo 1550 nm a kódování typu MCMI.

Metalická rozhraní využívají kódu HDB3 a jmenovité impedance 120Ω nebo 75 Ω se symetrizačním členem.

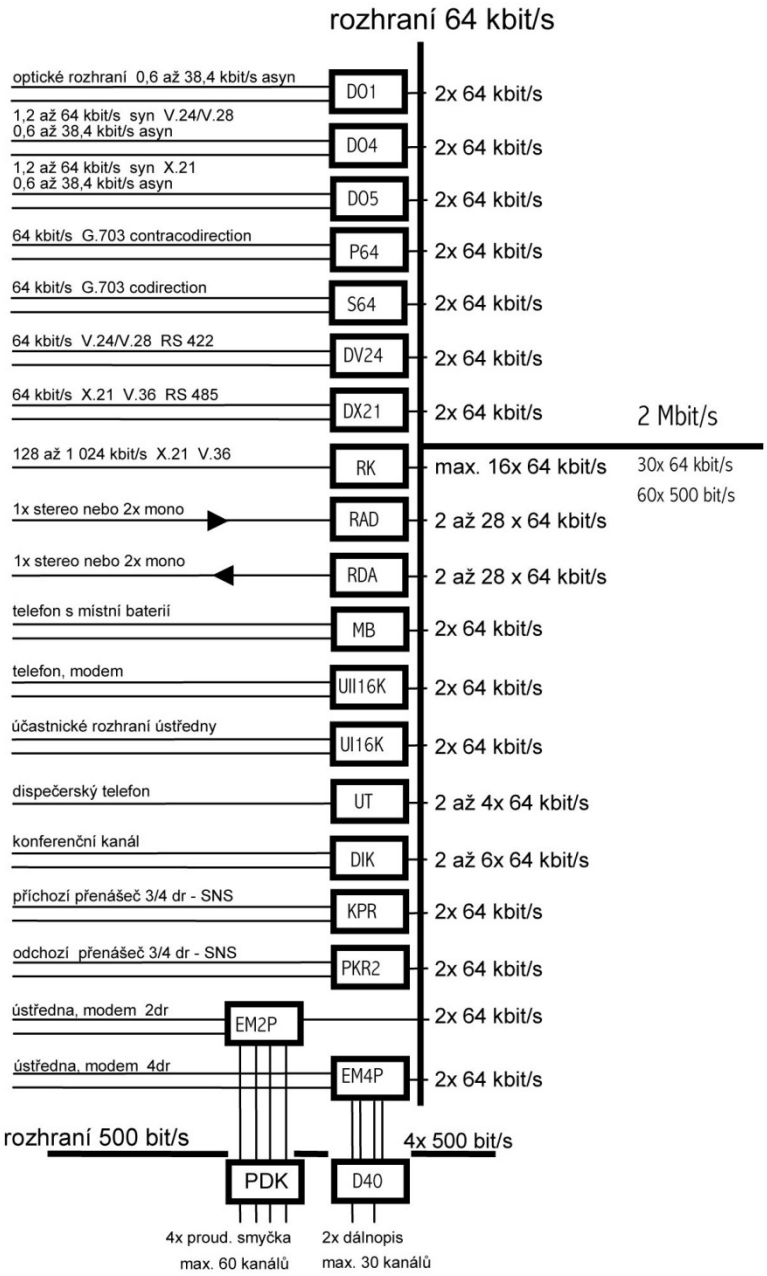
d) RJ1

Řídící jednotka RJ1 slouží pro připojení lokální dohledové sítě a dohledově-řídícího systému Doris 2000 Net. Jedna řídící jednotka dokáže spravovat až 64 síťových prvků na úrovni místního rozhraní M, což představuje jedno rozhraní Q, které dokáže zahrnovat až 256 síťových prvků. Jeden prvek představuje jeden systém PCM30U.

Jednotka RJ1 zahrnuje taktéž funkci konvertoru M rozhraní a na rozhraní Q (V. 11) nebo F rozhraní, přes které komunikuje s počítačem. Komunikace po rozhraní F (RS232) je pomalejší než po rozhraní Q (V.11).

2.1.5 Přehled standardních kanálových jednotek

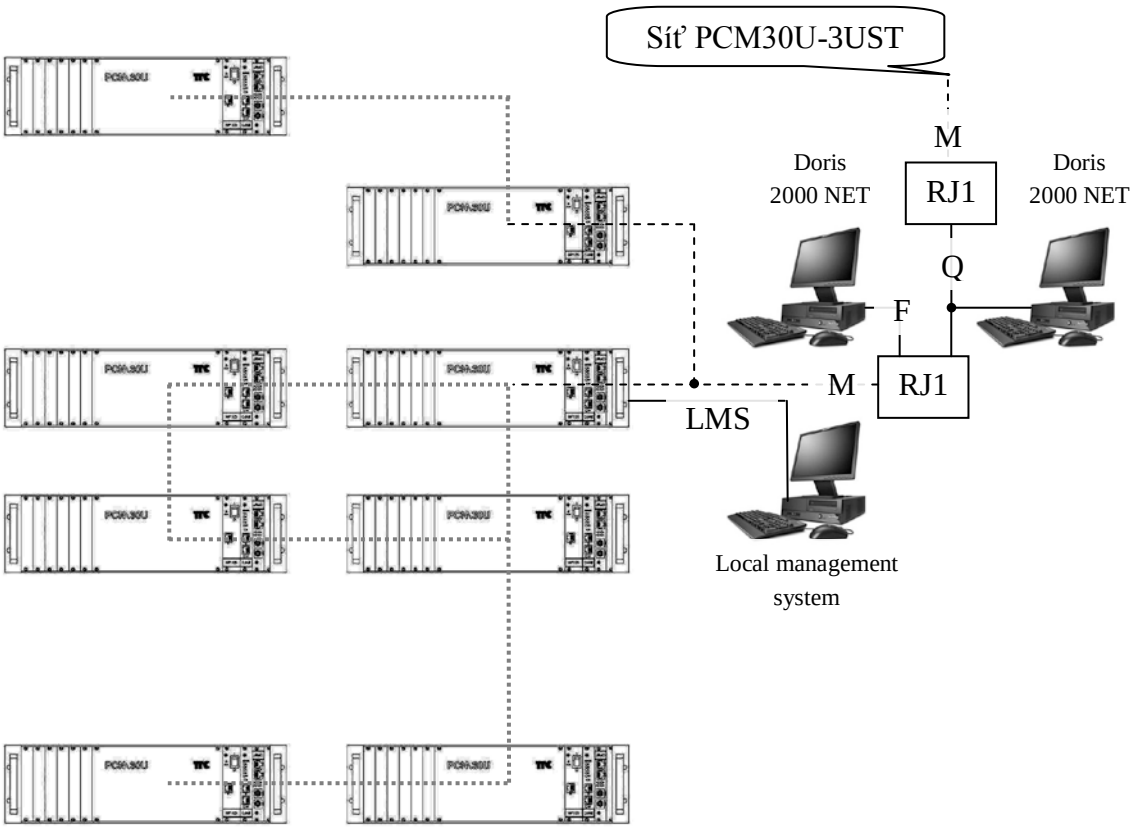
Na Obr. 2.3 je uveden přehled kanálových jednotek. První sloupec popisuje rozhraní jednotky a typ připojení. Druhý popisek v černém rámečku označuje typové označení jednotky a poslední sloupec jmenovité přenosové rychlosti, které jednotka obsluhuje.



Obr. 2.3: Přehled standardních kanálových jednotek [6]

2.1.6 Řízení a dohled z PC

Přenosové zařízení PCM30U-3UST je konfigurovatelné pomocí PC. Ten může být připojen vzdáleně pomocí řídící jednotky RJ1, potom mluvíme o vzdáleném dohledovém systému Doris 2000 NET, nebo lokálně pomocí programu lokálního manageru LMS. Příklad schématu dohledového systému Doris vykresluje Obr. 2.4.



Obr. 2.4: Názorné zapojení dohledového systému Doris / LMS

a) Dohledový systém Doris 2000 NET

Systém Doris 2000 NET komunikuje pomocí řídící jednotky RJ1 po rozhraních M, LM, Q, a F popsaných v kapitole 2.1.4 v odstavci d). Tento systém umožňuje správu místních i vzdálených zařízení v síti tak, jako bychom se k nim připojovali pomocí local manageru. Obsahuje funkce jako zakreslení celé topologie do mapy a následnou přehlednou správu jednotlivých uzlů podle lokace. Systém uzlům přiřazuje jednotlivé stojany na základě logické adresy bloku a fyzické adresy řídící jednotky JR1. Jeho nevýhodou je pomalý průběh při čtení a zapisování konfigurace.

b) Lokální manager - LMS

Local Management System slouží pro místní správu konkrétního stojanu, ke kterému se připojíme pomocí centrální karty CJAB nebo řídící karty RJ1. Tento program nemá žádné rozšířené funkce jako Doris 2000 NET, ale umožňuje rychlou lokální správu. V případech, že dojde k poruše nebo špatné konfiguraci na síti propojující jednotlivé PCM30U, tak je lokální manager jediný způsob jak konfigurovat zařízení. Z hlediska možnosti konfigurace jsou systémy totožné, proto v zadaných

úlohách je využito lokálního manageru, který je přehlednější a rychlejší při zápisu i čtení konfigurací. Manager využívá sériové spojení se zařízením pomocí portu COM (RS232), který se nachází na předním panelu karty CJAB.

2.1.7 Literatura

Informace jsem čerpal z firemní dokumentace TTC Marconi [6].

2.2 Analyzátor PUMA 4300E

2.2.1 Obecný popis

Zařízení Puma 4300E výrobce Consultronics / EXFO je přenosný analyzátor pro instalaci, údržbu a testování 2.048 Mbit /s přenosového systému PCM (E1) a datových komunikačních okruhů. Označení E znamená, že je zařízení určené pro evropskou multiplexní hierarchii. Puma 4300E je vhodné zařízení pro testování a rychlé řešení problémů např. v následujících situacích:

- připojení účastnické pobočkové ústředny k veřejné telefonní sítí,
- připojení mobilní komunikace základnových stanic k síti,
- zajištění linky pro připojení digitálních obvodů,
- přenos hlasového provozu,
- přenos pomocí Frame Relay, IP, ISDN a dalších protokolů,
- připojení směrovačů k sítím WAN.

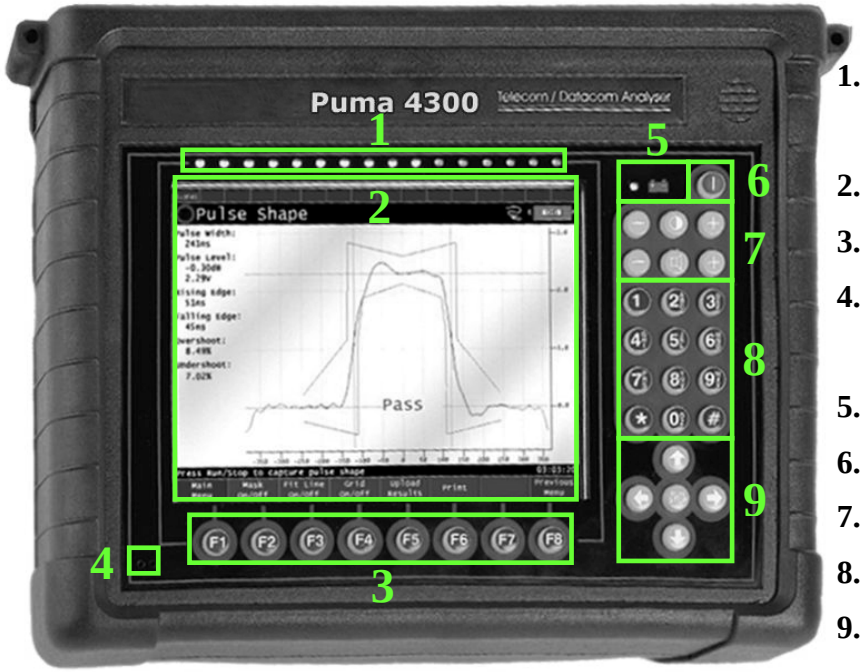
Tento síťový analyzátor lze do monitorované sítě zapojit jako koncový bod (monitor) nebo může fungovat jako prostředník (bridge) mezi vysílačem a přijímačem. Mezi vybrané základní funkce patří:

- monitorování sítí PCM (E1),
- měření a vyhodnocení pulzní masky signálu,
- obousměrné měření chybovosti,
- měření a generování zpoždění,
- testování multiplexoru a demultiplexoru.

Zmíněný analyzátor je vybavený velkým přehledným displejem, nad kterým se nacházejí dvoubarevné indikační diody. Napravo od displeje a pod ním jsou umístěny ovládací prvky (viz Obr. 2.5). Přístroj je vybavený reproduktorem pro možné dekódování hlasu zachytávaného kanálového intervalu. Napájení přístroje je možné pomocí zabudovaných Ni-MH článků nebo přes adaptér ze sítě.

Zachycená data a výsledky měření lze zobrazit na displeji, uložit na zásuvnou kartu PCMCIA, vytisknout tiskárnou z portu LPT nebo sériového rozhraní. Další možnost je odeslání dat do PC a softwarový terminál VT100 rozhraní RS232.

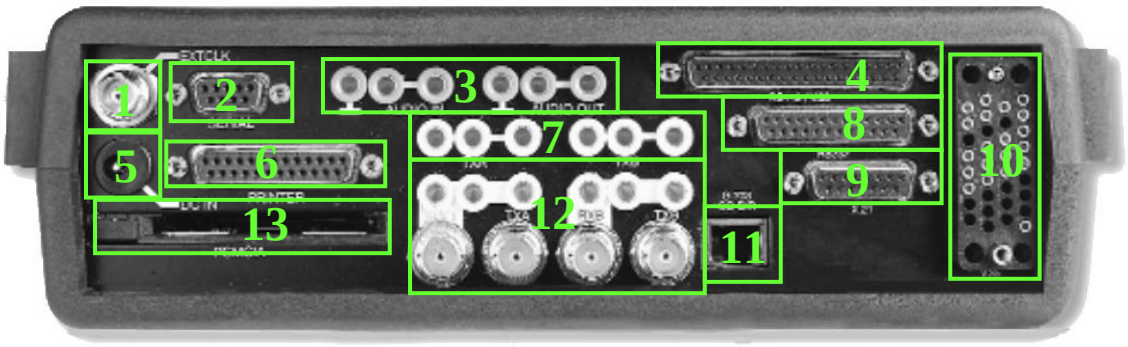
2.2.2 Popis uživatelského panelu



1. 16x indikační stavové diody
2. displej 640x480
3. funkční tlačítka
4. mikrofon, reproduktor
5. indikace napájení
6. tl. zapnutí
7. kontrast, hlasitost
8. numerické kl.
9. kurzorové tl. a tl. Run Stop

Obr. 2.5: Uživatelský panel Puma 4300E

2.2.3 Popis zadního panelu



Obr. 2.6: Zadní panel Puma 4300E

1. externí clock
2. serial port
3. audio I/O
4. V.36/RS449
5. napájení DC
6. LPT port
7. TxA a TxA 120Ω
8. V.24 RS232
9. X.21
10. V.35
11. G.703
12. TxA a TxA 75Ω
13. PCMCIA

2.2.4 Literatura

Informace o analyzátoru PUMA 4300E jsem čerpal z manuálů [1] a [8].

3 LAB. ÚLOHA 1: ANALÝZA RÁMCE E1 PŘENOSOVÉHO ZAŘÍZENÍ PCM30U-3UST

3.1 Zadání a vypracování

3.1.1 Cíl laboratorní úlohy

Cílem této laboratorní úlohy je seznámit se se strukturou rámce PCM1 (E1) a jeho služebními kanálovými intervaly. Teoretické předpoklady úloha ověřuje měřením základních parametrů analyzátorem. Naměřené hodnoty konfrontuje s parametry dle doporučení ITU-T. Dále si studenti osvojí práci se síťovým analyzátorem Puma 4300E a naučí se konfigurovat přenosové zařízení PCM30U-3UST.

3.1.2 Zadání úlohy

1. Seznamte se s pracovištěm, přenosovým zařízením PCM30U-3UST a analyzátorem PUMA 4300E.
2. Prostudujte principy přenosu pomocí PCM1 (E1) a strukturu rámce E1.
3. Pomocí přenosového zařízení PCM30U-3UST nakonfigurujte linku a analyzátor PUMA 4300E pro analýzu rámce PCM1 (E1), následně proveďte jejich fyzické propojení.
4. Analyzujte strukturu měřeného rámce, prostudujte obsah synchronizačního a signalizačního kanálového intervalu a dekódujte hlas na zvoleném KI, vyhodnoťte frekvenční statistiku.
5. Změřte pulzní masku signálu a chybovost BER.
6. Zhodnoťte naměřené výsledky a zodpovězte kontrolní otázky.

3.1.3 Vybavení pracoviště

- 2x přenosové zařízení PCM30U-3UST
- analyzátor PUMA 4300E
- 4x analogový telefonní přístroj
- Kabel s redukcí RJ45 – BNC
- osobní počítač a programové vybavení: Local Manager Servis

3.1.4 Teoretický úvod

c) PCM

V telekomunikacích se pro přenos hovorových kanálů využívá pulsně kódová modulace. Modulace PCM zajišťuje přeměnu analogového signálu zvuku na signál digitální. Abychom mohli přenášet telefonní hovorové kanály z analogových telefonních přístrojů, musíme je digitalizovat. Blíže problematiku PCM popisuje kapitola 1.1., ve které najdete i úvod do problematiky a postup digitalizace.

Při přenosu dat prostřednictvím telekomunikační sítě se digitalizace přeskakuje, protože v dnešní době jsou data přenášena zejména pomocí binární konvence jedniček a nul, tedy digitálně.

d) Rámec E1

Rámec E1 je první řád telekomunikačního rámce přenášející hovorové a datové kanály v evropské plesiochronní digitální hierarchii. Tento rámec je složen z 32 kanálových intervalů, přičemž dva z nich nejsou určené pro hovory, ale jsou použité pro služební účely synchronizace a signalizace.

Vlastní struktuře rámce se věnuje kapitola 1.2. V uvedené kapitole si prostudujte vlastní strukturu rámce, pojem multirámce, služební kanálové intervaly a parametry, které jej definují z hlediska časového a přenosového. Jako doplňková informace o systémech vyšších řádů slouží kapitola 1.2.5.

e) Univerzální přenosové zařízení PCM30U-3UST

Vlastní laboratorní úloha je realizována pomocí univerzálního přenosového zařízení PCM30U-3UST. Tomuto zařízení se věnuje kapitola 2.1, ve které je celé zařízení popsáno z hlediska obecného, konstrukčního a kompozičního. V kapitole 2.1 jsou taktéž uvedeny typické základní funkce a režimy, tzv. typy přenosů TPR ve kterých zařízení může pracovat.

Zařízení PCM30U v této laboratorní úloze budeme využívat pro realizaci analyzované horké linky pomocí zásuvné kanálové karty UII 16. Karta UII poskytuje účastnické rozhraní pro připojený analogový telefonní přístroj, jehož signál zpracovává a dále ho poskytuje místní sběrnici M. Přímo na místní sběrnici M je připojena centrální jednotka CJAB směrů A a B. Tato centrální jednotka zajišťuje vytvoření rámce E1,

který dále může přepojit na některé z metalických nebo optických rozhraní A, B, C nebo D. Blíže je jednotka CJAB popsána v kapitole 2.1.4.

Dalším krokem je nastavení CJAB tak, aby přepojovala námi generovaný signál horké linky do jednoho kanálového intervalu v rámci zvoleného směru. Tento směr budeme analyzovat.

f) Analyzátor Puma 4300E

Samotné měření parametrů a zachytávání hovoru horké linky bude realizováno pomocí univerzálního síťového analyzátoru Puma 4300E. Tento analyzátor umožňuje měřit řadu parametrů a testovat linky na několika rozhraních v rámci telekomunikačních i datových sítích.

Uvedenému analyzátoru se věnuje kapitola 1.4, která obecně popisuje uživatelský panel (viz 2.2.2) a zadní panel s konektory (viz 2.2.3).

3.1.5 Pracovní postup

g) Vytvoření linky, konfigurace zařízení PCM30U-3UST

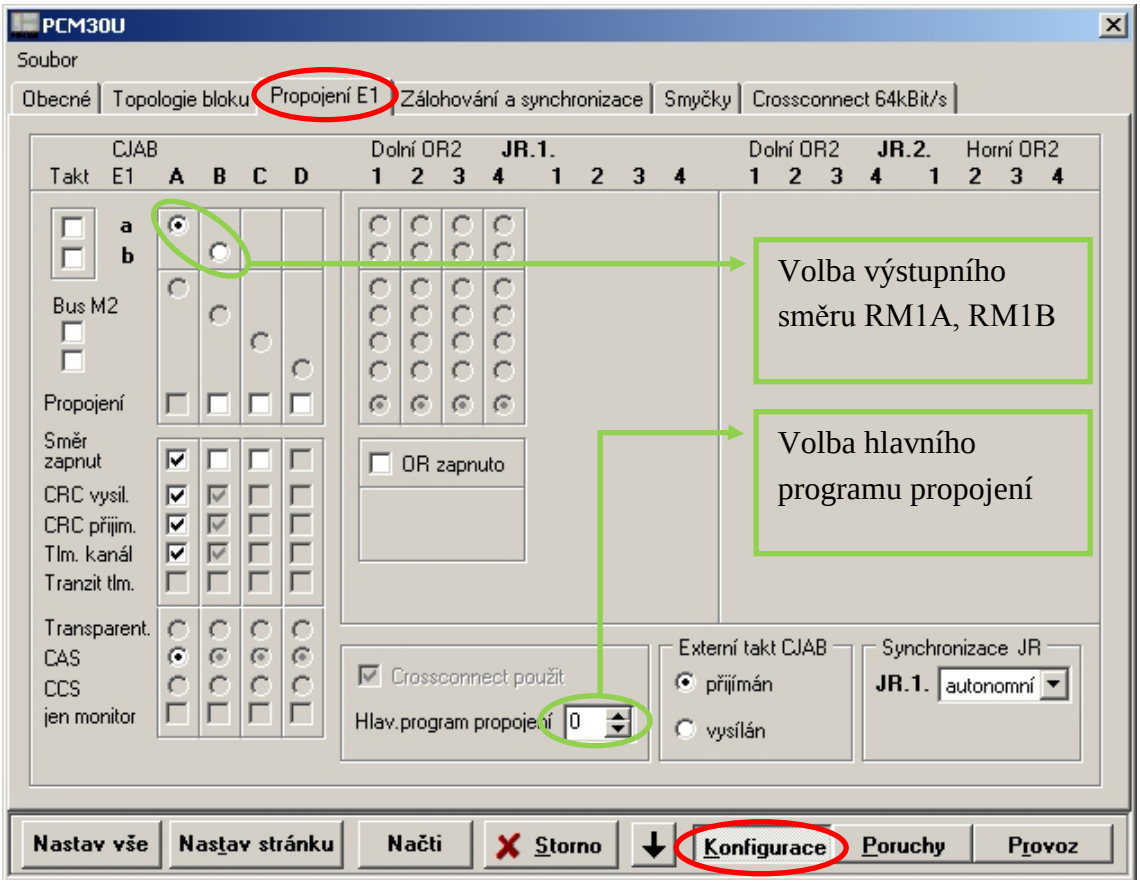
Nejprve si musíte vytvořit testovací linku, na které budete provádět měření a analyzovat jeho výsledky. Vytvoření telefonní linky zprostředkuje zařízení PCM30U-3UST za pomoci karty UII 16.

Zařízení je připojeno k počítači pomocí sériového portu COM1. Pro konfiguraci zařízení nejprve spusťte program lokálního manageru LMS (*Local Management System* - na ploše jen zástupce „manager“) a zkontrolujte, zda je nastavený správný sériový kanál COM1.

Kliknutím na položku „Načíst blok PCM“ se načte aktuální nastavení a rozmístnění karet v kanálových pozicích. Nyní vidíte, ve kterých pozicích jsou umístněny karty DU2, CJAB, RJ a odemkne se vám položka „Dialog bloku PCM30U“. Zvolením tohoto dialogu se otevře nové okno s aktivní záložkou „Poruchy“. Ze záložky poruchových stavů přepněte do záložky „konfigurace“, čímž se dostanete k samotné konfiguraci bloku PCM30U. Zde proběhne vytvoření linky, kterou chcete analyzovat. Nyní vidíte několik záložek. Z nichž vás budou zajímat záložky „Propojení E1“ a „Crossconnect 64kBit/s“. Tyto dvě záložky budeme editovat.

Záložka „Propojení E1“ (viz Obr. 3.1) slouží ke konfiguraci a aktivaci směrů A, B, C, D, jejich propojení na optická rozhraní OR, eventuelně další metalická rozhraní MR. Zde si zvolte jeden z výstupních směrů (A/a – RM1A nebo B/b RM1B) pro analýzu rámce E1. Na záložce propojení je možné dále nastavit přijímání/vysílání externího taktu, synchronizaci jednotky rozhraní JR. Tyto položky neměňte.

Číslo hl. programu propojení si zvolte libovolně od 1 do 15 a zapamatujte si ho. Výstupy označené jako RM1A a RM1B jsou vyvedené na patch panel. Pro potvrzení konfigurace zvolte položku „Nastav stránku“.



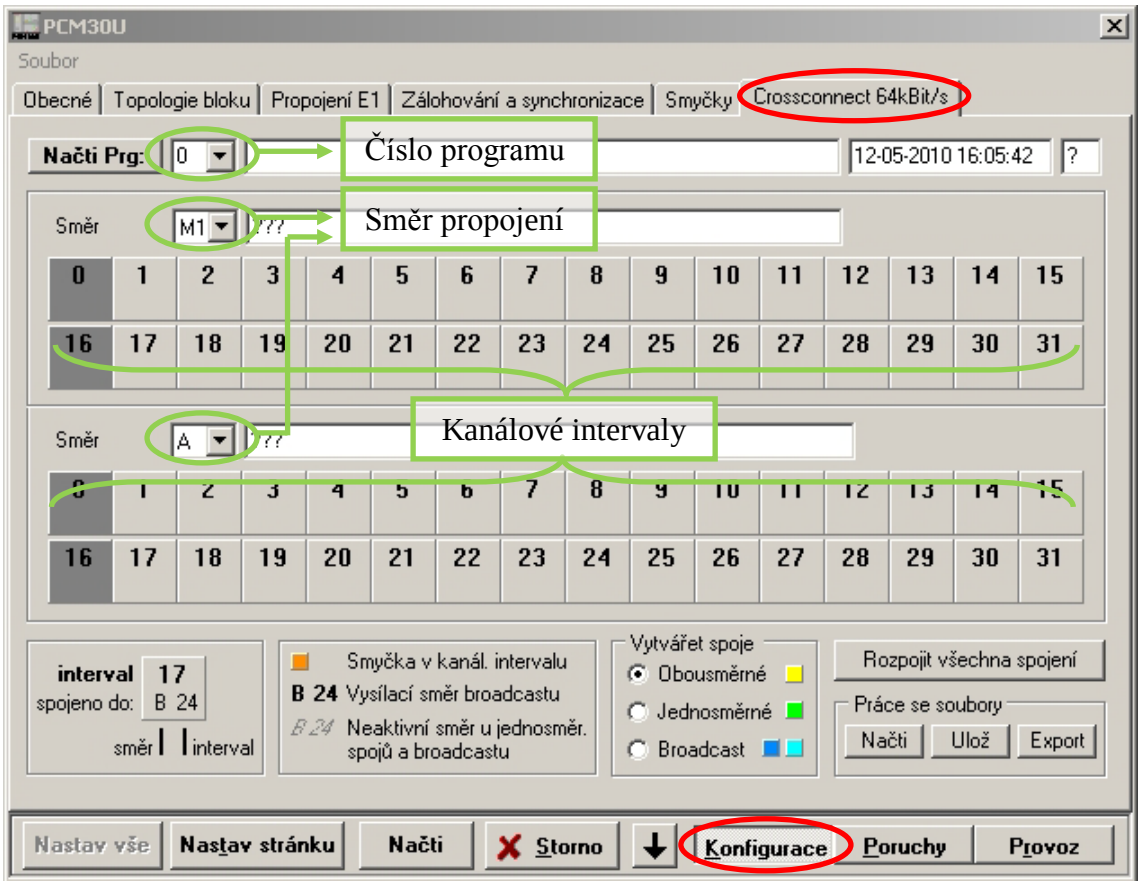
Obr. 3.1: Propojení výstupního směru a volba hl. programu propojení

Záložka „Crossconnect 64kBit/s“ umožňuje konfiguraci jednotlivých programů, které odpovídají volbě hlavního programu propojení ze záložky „Propojení E1“.

Nyní si vyberte číslo programu propojení, které jste si zvolili, a nasměrujte jeden z kanálových intervalů 11, 12, 27 nebo 28 směru M1 na libovolný kanálový interval směru A (RM1A) nebo B (RM1B). Potvrzení nastavení se provádí pomocí „Nastav stránku“.

Analogie propojování je popsána přímo v záložce „Crossconnect 64kBit/s“ pod nastavením druhého směru. Ve zmíněné záložce je možné dále nastavit charakter spojení. Spojení jednosměrné, obousměrné nebo broadcast. Navolený program můžete pojmenovat, uložit, načíst nebo i exportovat pro další využití nebo zálohu nastavení.

Program volte tak, abyste jednu linku mohli externě analyzovat pomocí RM1A nebo RM1B a zároveň jste provedli propojení horké linky po místní směrnici M1. Funkčnost linek ověřte pomocí analogových telefonů, které jsou fyzicky propojeny na 11., 12., 27., a 28. KI místní sběrnice M1 zařízení 1 – 1. Záložku „Crossconnect 64kBit/s“ názorně vyobrazuje Obr. 3.2.

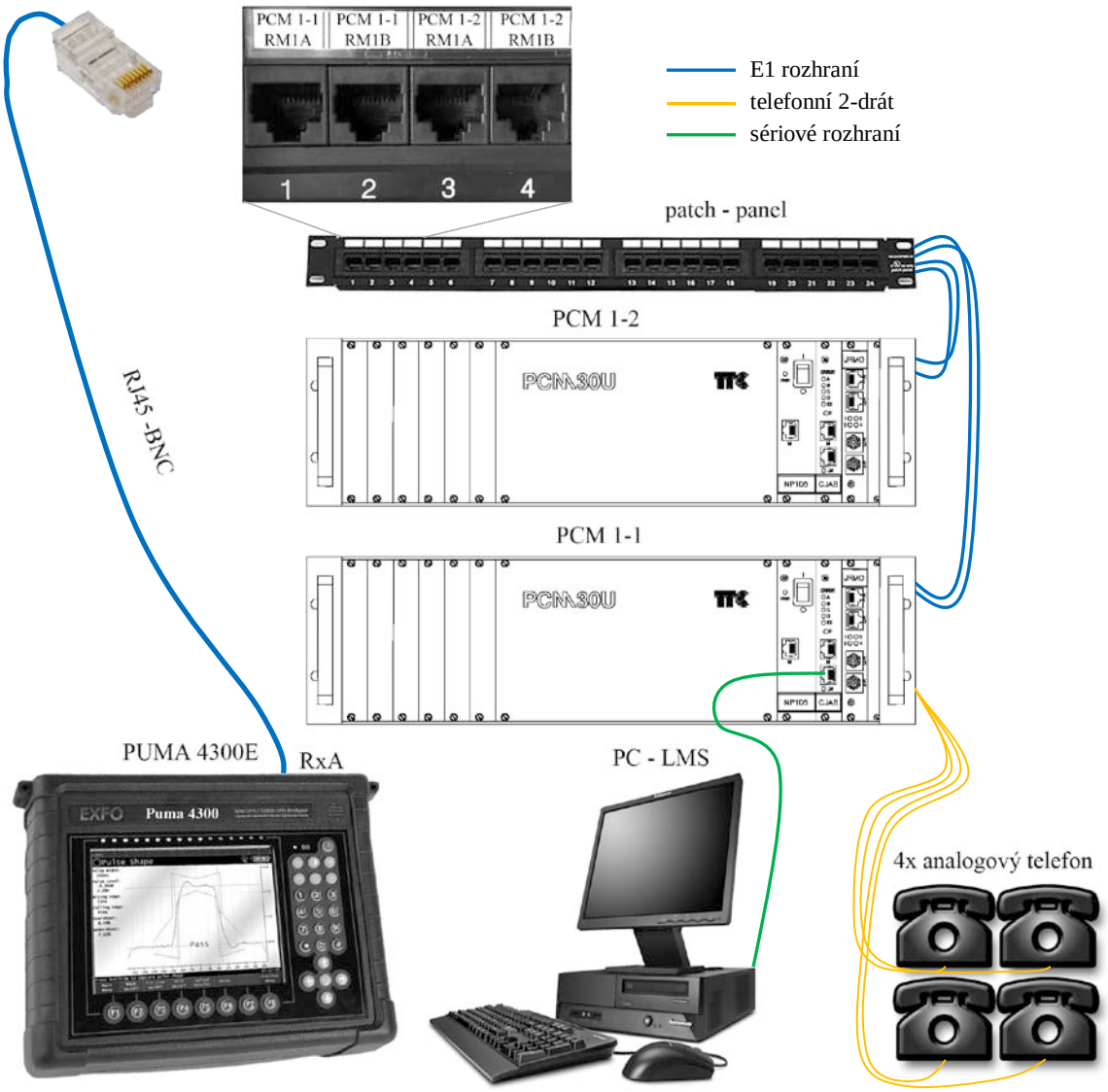


Obr. 3.2: Konfigurace na záložce „Crossconnect 64kBit/s“

h) Konfigurace analyzátoru PUMA 4300E a propojení s PCM30U-3UST

Zapněte analyzátor a propojte jej s přenosovým zařízením pomocí redukčního kabelu UTP (RJ45) – koaxiální kabel (BNC). Fyzické propojení realizujte z patch panelu, kde jsou vyvedené jednotlivé směry. Zvolte ten, který jste si nakonfigurovali jako výstupní směr na záložce „Crossconnect 64kBit/s“. Jedná se o RJ45 porty označené popisky

RM1A pro směr A a RM1B pro směr B. U popisků směrů jsou indexy, které označují na které PCM30U-3UST jsou fyzicky propojené. Index 1-1 je pro spodní zařízení a 1-2 pro horní PCM30U-3UST (v této úloze nepoužité). BNC koncovku kabelu zapojte do analyzátoru na port TxA. Názorné schéma zapojení viz Obr. 3.3.



Obr. 3.3: Schéma zapojení pracoviště

i) Analýza rámce E1

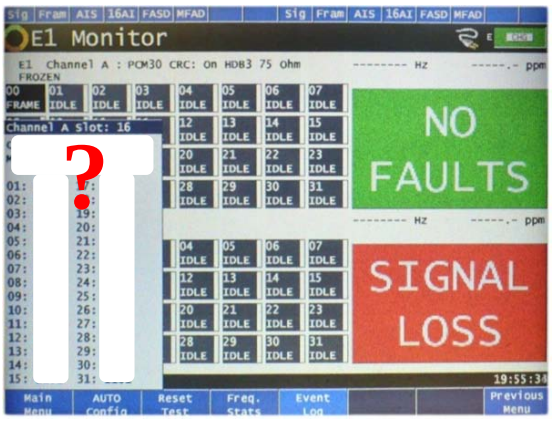
V hlavním menu analyzátoru proveďte následující nastavení pomocí kurzorových tlačítek a zvolte „Run Stop“.

Test Mode:	→	E1 Monitor	
Interface Setup → E1	→	Channel	A
		Interface	E1
		Port	75 Ohms
		Termination	Term.
		Line Coding	HDB3
		Tx Source	Pattern

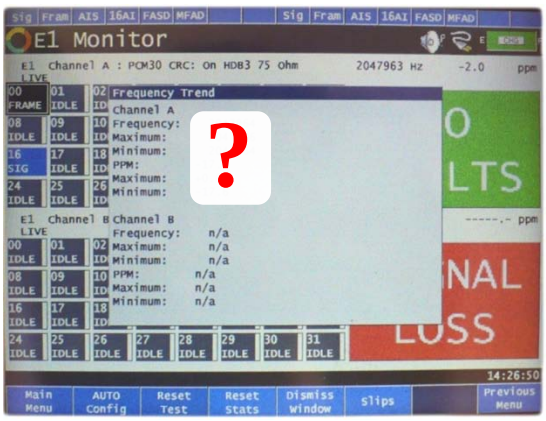
Nyní vidíte všechny kanálové intervaly v rámci E1. Prostudujte si důkladně obsah 0KI, 16KI. Najděte rámcovou a multirámcovou synchroskupinu, signalizační bity a stiskem tlačítka reproduktoru si vyzkoušejte dekódování zvuku z KI, na který jste propojili analogový telefon. Ten poznáte tak, že je označený zeleně s nápisem „USED“. „IDLE“ znamená, že na daném KI neprobíhá žádný provoz.

Zjistěte, jaký typ signalizace je na lince použit a jak se mění signalizační bity např. při vyvěšení telefonu nebo odpojení linky od směru.

Dále si pomocí funkčního tlačítka F4 zobrazte frekvenční statistiku. Z ní si zapište, jaká je minimální, maximální odchylka od kanálové frekvence a PPM. Veškeré poznatky porovnejte s teoretickými vědomostmi a zapracujte je do protokolu.



Obr. 3.4: 16 KI rámce E1



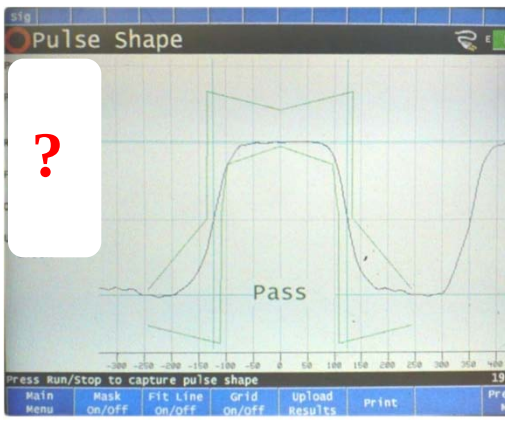
Obr. 3.5: Frekvenční statistika

j) Měření pulzní masky

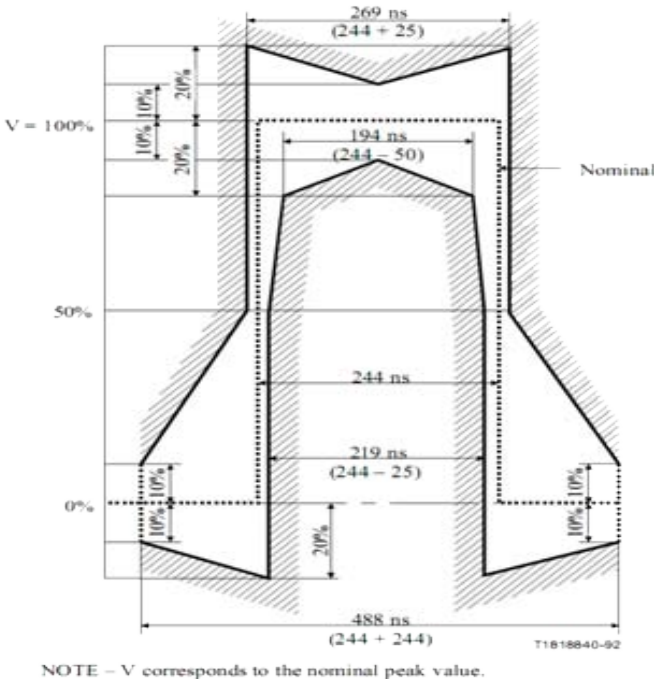
V hlavním menu analyzátoru proveďte následující nastavení pomocí kurzorových tlačítek a zvolte „Run Stop“.

Test Mode:	→	Pulse Mask	
Interface Setup → E1	→	Channel	A
		Interface	E1
		Port	75 Ohms
		Termination	Term.
		Line Coding	HDB3
		Tx Source	Pattern

Změřenou pulzní masku porovnejte s maskou definovanou dle doporučení ITU-T G.703 (viz Obr. 3.7) a rozhodněte, jestli vyhovuje. Doporučení ITU-T G.703 definuje jmenovitou šířku 244 ns, amplitudu 2,37 V / 75Ω, útlum vedení: max. 6 dB (1024 kHz), odstup signál/šum min. 18 dB a útlum odrazu 18 dB (100 až 2048 kHz). Naměřené a nominální parametry masky si zapište a zapracujte do protokolu.



Obr. 3.6: Změřená pulzní maska 2048 kbit/s rozhraní



Obr. 3.7: Pulzní maska 2048 kbit/s rozhraní dle ITU – T G. 703 [3]

k) Měření chybovosti BERT

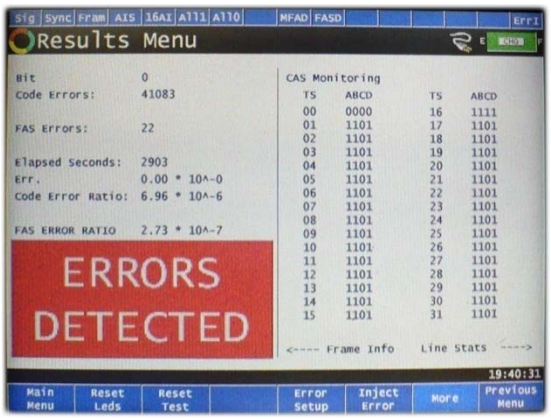
V hlavním menu analyzátoru proveďte následující nastavení pomocí kurzorových tlačítek a zvolte „Run Stop“.

Test Mode:	→	Telecom BERT	
Interface Setup	→ E1 →	Channel	A
		Interface	E1
		Port	75 Ohms
		Termination	Term.
		Line Coding	HDB3
		Tx Source	Pattern
		Framing	PCM30
		…	

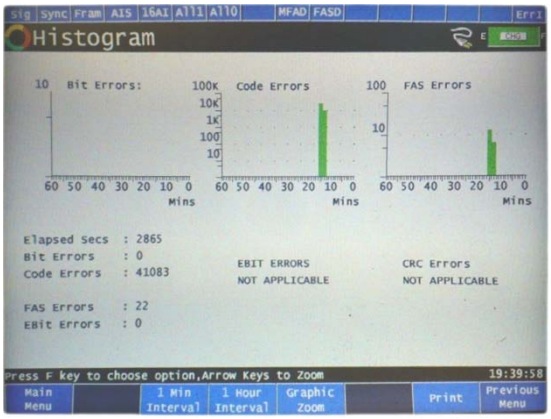
V případě, že jste vše správně nastavili, se vám na obrazovce se objeví ve velkém zeleném obdélníku „NO ERRORS“. V levé polovině obrazovky vidíte počet bitových, kódových a rámcových chyb, uplynulý čas a poměrné hodnoty chyb.

Pravá část obrazovky ukazuje statistiky linky, vyhodnocení chybovosti dle ITU-T G.821, délky trvání jednotlivých poplachů, rámcové informace a monitor signalizace CAS. Mezi jednotlivými sekcemi se listuje levým a pravým kurzorem.

Protože provoz je doposud bezchybný, zkuste simulovat výpadek linky (signal loss) tak, že na chvíli odpojíte BNC konektor a zapojíte zpět. Tímto jste vnesli do přenosu chyby, které analyzujte. Pro zobrazení histogramu zvolte F7 (More) a následně F3 (Graphic Result). Histogramy si prohlédněte a do vzorového protokolu zpracujte, jaké chyby jste tímto vnesli do přenosu.



Obr. 3.8: Záměrné vnesení chyb



Obr. 3.9: Histogram

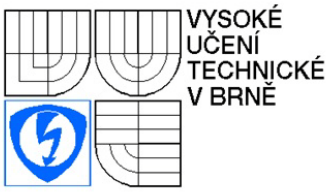
3.1.6 Kontrolní otázky

- Vypočítejte, jaký objem dat můžeme přenášet pomocí rámce E1.
- Co představují časové hodnoty 3,9 μs a125 μs v rámci PCM?
- Kde se nachází synchroskupina, jaký má tvar a k čemu sloučí?
- Je 16 KI něčím významný? Co přenáší?
- Co znamenají zkratky FAS, NFAS, MFAS, BERT, CAS?

3.1.7 Literatura

Použitá literatura [3],[4],[5].

3.2 Vzorový protokol

<table>
<tr><td rowspan="4"> 
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ</td><td colspan="2">Předmět Přístupové a transportní sítě</td></tr>
<tr><td colspan="2">Jméno</td></tr>
<tr><td>Ročník</td><td>Studijní skupina</td></tr>
<tr><td>Spolupracoval</td><td>Měřeno dne</td></tr>
<tr><td colspan="2">Kontroloval</td><td>Hodnocení</td><td>Dne</td></tr>
<tr><td>Číslo úlohy</td><td colspan="3">Název úlohy
Analýza rámce E1 přenosového zařízení PCM30U-3UST</td></tr>
</table>

Zadání úlohy

1. Seznamte se s pracovištěm, přenosovým zařízením PCM30U-3UST a analyzátorem PUMA 4300E.
2. Prostudujte principy přenosu pomocí PCM1 (E1) a strukturu rámce E1.
3. Pomocí přenosového zařízení PCM30U-3UST nakonfigurujte linku a analyzátor PUMA 4300E pro analýzu rámce PCM1 (E1) a proveďte jejich fyzické propojení.
4. Analyzujte strukturu analyzovaného rámce, prostudujte obsah synchronizačního a signalizačního kanálového intervalu, dekódujte hlas na zvoleném KI a vyhodnoťte frekvenční statistiku.
5. Změřte pulzní masku signálu a chybovost BER.
6. Zhodnoťte naměřené výsledky a zodpovězte kontrolní otázky.

Vypracování bodů zadání

- Seznámili jsme se s pracovištěm, použitými přístroji a prostudovali principy přenosu pomocí PCM a strukturu rámce E1.
- Linku jsme úspěšně nakonfigurovali tak, že jsme současně provedli propojení 11. KI s analyzovaným rozhraním RM1B a zbylé 3 KI (KI12, KI27, KI28) využili pro vzájemné broadcast propojení.

Pomocí analyzátoru Puma jsme prostudovali obsah rámce E1 včetně služebních kanálů. Na KI0 jsme nalezli rámcovou synchronizaci FAS ve tvaru X0011011, kterou střídá rámec NFAS ve tvaru X1111111. X slouží pro CRC zabezpečení proti chybám. KI16 obsahoval multirámcovou synchroskupinu MFAS 00001111 a CAS signalizaci. Při použití KI a vyvěšení sluchátka měla signalizace tvar 1001 a při rozpojení KI s telefonem 1101.

Ověření přítomnosti hlasu na lince jsme provedli dekódováním signálu KI11, na který byl přepojený jeden z analogových telefonů.

Frekvenční statistika udávala maximální frekvenci 2,047996 MHz, minimální 2,047955 MHz a PPM -17,6 Hz.

- Výsledky měření pulzní masky jsem zpracoval do Tab. 3.1. Naměřené hodnoty dle analyzátoru splňovaly náležité požadavky.

Tab. 3.1: Parametry pulzu

Parametr	Naměřená hodnota
Šířka pulzu (Pulse width)	245 ns
Amplituda (Pulse level)	2,02 V
Doba náběhu (Rising edge)	72 ns
Doba doběhu (Falling edge)	59 ns
Překmit (Overshoot)	0,45 %
Podkmit (Undershoot)	1,18 %

Měřením BERT jsme dospěli k výsledku, že při správném zapojené úlohy nedošlo k chybám. Proto jsme simulovali výpadek (signal loss), při kterém došlo ke zvýšení koeficientu kódových chyb (Code error ratio) a FAS chyb (FAS error ratio) z nulové hodnoty na hodnotu úměrnou době výpadku.

Vypracování kontrolních otázek

- Vypočítejte, jaký objem dat můžeme přenášet pomocí rámce E1.
  8 · 32 ·8000 = 2,048 Mbit/s
- Co představují časové hodnoty 3,9 µs a125 µs v rámci PCM?
  3,9 µs je délka trvání jendoho KI a 125 µs je délka trvání celého rámce E1.
- Kde se nachází synchroskupinu FAS, jaký má tvar a k čemu slouží?
  Synchroskupina se nachází v KI0 a zajišťuje rozpoznání začátku rámce.

- Je 16 KI něčím významný? Co přenáší?
  Jedná se o služební KI, který přenáší multirámcovou synchronizaci MFAS a signalizaci CAS nebo CCS přidruženou k hovorovým kanálům
- Co znamenají zkratky FAS, NFAS, MFAS, BERT, CAS?
  FAS – Frame alighnment signal – rámcový synchronizační signál
  MFAS – Multiframe alighnment signal – multirámcový synchronizační signál
  BERT – Bit error rate transmition – chybovost přenosu
  CAS – Channel associated signalling – signalizace přidružená k hovorovým kanálům

Závěr úlohy

Na základě zadané laboratorní úlohy jsme se teoreticky seznámili s principy přenosu signálu pomocí PCM a rámce E1. Měřením jsme si ověřili strukturu rámce E1 a prozkoumali jeho služební KI. Současně jsme se naučili obsluhovat programové řízení zařízení PCM30U-3UST. Analýza linky probíhala pomocí analyzátoru PUMA 4300E, který umožnil dekódovat hlas na lince, změřit pulzní masku a chybovost.

Dekódování hlasu bylo provedeno na KI11 díky propojení s jedním z analogových telefonů. Telefonem zachycený zvuk jsme slyšeli pomocí zabudovaného reproduktoru v analyzátoru.

Parametry pulzní masky byly zapsány do Tab. 3.1. Srovnáním naměřených parametrů s nominálními parametry dle ITU-T G. 703 (viz Obr. 3.7) jsme dospěli k závěru, že pulzní maska vyhovuje doporučení ITU-T. Měřením chybovosti jsme zjistili, že analyzovaná linka samovolně nevykazuje chyby a je tedy spolehlivá. Umělý signal loss měl za následek vnesení kódových a synchronizačních chyb.

Při měření se nevyskytly žádné komplikace a splnili jsme všechny body zadání.

4 LAB. ÚLOHA 2: TUNELOVÁNÍ RÁMCE E1 PŘES IP SÍŤ (CEoIP)

4.1 Zadání a vypracování

4.1.1 Cíl laboratorní úlohy

Cílem této laboratorní úlohy je modelový příklad využití CEoIP (Circuit Emulation over IP), což je emulace spojení pomocí okruhů přes IP síť. Studenti se naučí pracovat s funkcí crossconnectu a přepojovat metalické směry v rámci dvou vzdálených univerzálních přenosových zařízení PCM30U-3UST. Protože obě zařízení jsou fyzicky umístěna v jednom stojanu, bude simulace vzdáleného spojení probíhat pomocí dvou IP směrovačů Cisco 2821, přes které vlastní tunelování telefonního hovoru bude probíhat.

4.1.2 Zadání úlohy

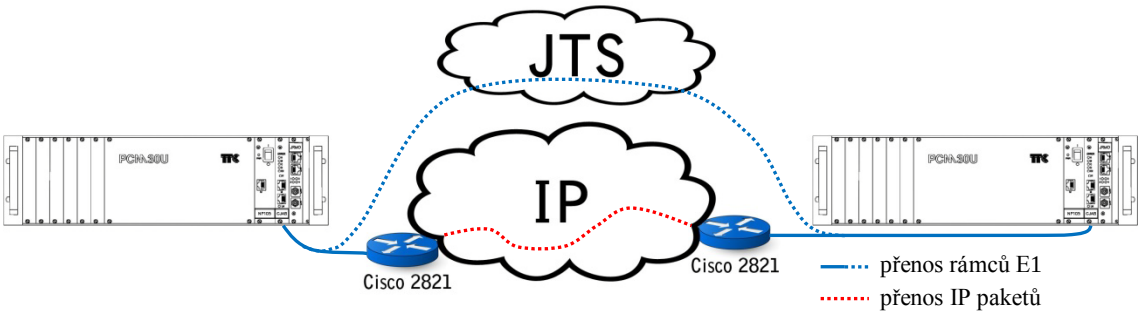
1. Seznamte se s pracovištěm a přenosovým zařízením PCM30U-3UST.
2. Naučte se konfigurovat PCM30U-3UST pomocí Local Management Servis.
3. Pomocí LMS a přenosového zařízení PCM30U-3UST nakonfigurujte linku vhodnou pro tunelování rámce E1 technikou CEoIP a následně proveďte jejich fyzické propojení.
4. Uskutečněte testovací hovor a zhodnoťte jeho kvalitu oproti přímému spojení dvou zařízení PCM30U-3UST pomocí propojky na patch panelu.
5. Navrhněte praktické využití CEoIP v reálném nasazení.
6. Zhodnoťte laboratorní úlohu a zodpovězte kontrolní otázky.

4.1.3 Vybavení pracoviště

- 2x přenosové zařízení PCM30U – 3UST
- 2x přepínač CISCO 2821
- analyzátor PUMA 4300E
- 4x analogový telefonní přístroj
- propojovací kabel PCM30
- osobní počítač a programové vybavení: Local Manager Servis

4.1.4 Teoretický úvod

Tunelováním rámce E1 přes IP síť rozumíme přenos rámce E1 skrze dnes velmi rozšířenou IP síť. V praxi se můžete setkat s požadavkem přenést rámec E1 přes paketovou síť. Rámec E1 se běžně přenáší skrze jednotnou telefonní síť JTS. Viz Obr. 4.1., na kterém je běžný přenos přes JTS vykreslen přerušovanou čarou.



Obr. 4.1: Topologie CEoIP

Důvodů může být několik. Jedním z nich může být např. požadavek minimalizace nákladů. Vlastníme-li např. pobočkové ústředny PBX v jednotlivých divizích jedné firmy, můžeme tyto PBX propojit pomocí CEoIP. Tímto získáme propojení ústředen pomocí již existující paketové páteřní sítě a nemusíme využít zpoplatněnou JTS. Můžeme ušetřit i na pořizovacích nákladech a využívat stávající analogové PBX, které nepodporují VoIP.

Další možnost využití je např. plná záloha okruhově spínané sítě nebo CEoIP můžete nasadit jako páteřní síť v místech nepokrytých JTS.

a) Popis kroků CEoIP pomocí směrovače Cisco 2821

Směrovače řady 2800 Cisco systems nazvané Integrated Services Router jsou moderní a výkonné směrovače. Umožňují bezpečné doručení dat díky on-board šifrovaní, podporují až 1500 VPN tunelů s AIM-EPII-PLUS Module, obsahují firewall a antivirus a mnoho dalších bezpečnostních funkcí.

Mimo bezpečnosti je vynikající v podpoře a široké modularitě. Tato modularita spočívá v dostupnosti až 90 možných modulů, které umožní plnit široké spektrum specifických požadavků. Kromě běžného směrování dokáže zpracovávat analogové i digitální hovory a hlasovou poštu.

Funkci CEoIP zabezpečuje modul NM-CEM-T4E1, který obsahuje 4 porty E1/T1. Požadavek na vlastní emulaci je transparentní přenos kanálů vyjmutých z časového

multiplexu (TDM), jejich paketový přenos IP sítí a zpětné vložení do TDM. Modul dle konfigurace s přijímanými daty může zacházet jako s neuspořádaným tokem bitů nebo s daty uspořádaných do rámce E1 nebo vyššího.

Jednoduchý popis funkčních kroků na straně směrovače je následující: Nejprve načte náklad na úrovni fyzické vrstvy (logické úrovně), přiřadí mu 4 bitovou hlavičku kanálu, RTP, UDP hlavičku a zabalí jej do IP paketu. Jelikož pakety znají cílovou adresu, můžou procházet IP sítí mezi směrovači CE-VOIP a CE-E1. Na protilehlém směrovači následně proběhne opačný sled funkčních kroků a data jsou zpět ve formě rámce E1. Velkou výhodou této techniky je, že např. v rámci internetu může být trasa poměrně dlouhá bez JTS ústředen.

Pro definici emulovaného kanálu je nutná adresa vzdáleného konce (cílová IP adresa kanálu), ID kanálu (4bit hlavička), UDP port vzdáleného konce a na každém rozhraní je ještě nutné definovat lokální IP adresu, přes kterou bude kanál směrován.

Podrobněji se této problematice věnuje použitá literatura [10].

b) Univerzální přenosové zařízení PCM30U-3UST

Vlastní laboratorní úloha je zaměřena zejména na univerzální přenosové zařízení PCM30U-3UST. Tomuto zařízení se podrobněji věnuje kapitola 2.1, kde je celé zařízení popsáno z hlediska obecného, konstrukčního a kompozičního. V kapitole 2.1 jsou taktéž uvedeny typické základní funkce a režimy, tzv. typy přenosů TPR ve kterých zařízení může pracovat.

Zařízení PCM30U v této laboratorní úloze slouží pro konfiguraci crossconnectu a generování rámců E1, které budou tunelovány přes IP síť. Pro ověření funkčnosti sestaveného IP tunelu využijeme zásuvné kanálové karty UII 16, které jsou umístněny ve standardních pozicích obou zařízení PCM30U. Karta UII poskytuje účastnické rozhraní pro připojený analogový telefonní přístroj, jehož signál zpracovává a dále ho poskytuje místní sběrnici M1. Přímo na místní sběrnici M1 je připojena centrální jednotka směrů A a B (CJAB), která zajišťuje vytvoření rámce E1. Ten může dále přepojit na některé z metalických nebo optických rozhraní A, B, C nebo D. Blíže je jednotka CJAB popsána v kapitole 2.1.4.

Jednotku CJAB využijete také pro konfiguraci crossconnectu. Potřebujeme jej nakonfigurovat tak, aby přepojoval námi generovaný signál z analogového telefonu do jednoho kanálového intervalu v rámci zvoleného směru a dále tento směr vyslat

v podobě linky E1 do Cisco směrovače, který zabezpečí CEoIP. Tímto je linka transparentně přenesena na protilehlé zařízení PCM30U, které bude přijatý hovorový signál reprodukovat ve sluchátku telefonu.

4.1.5 Pracovní postup

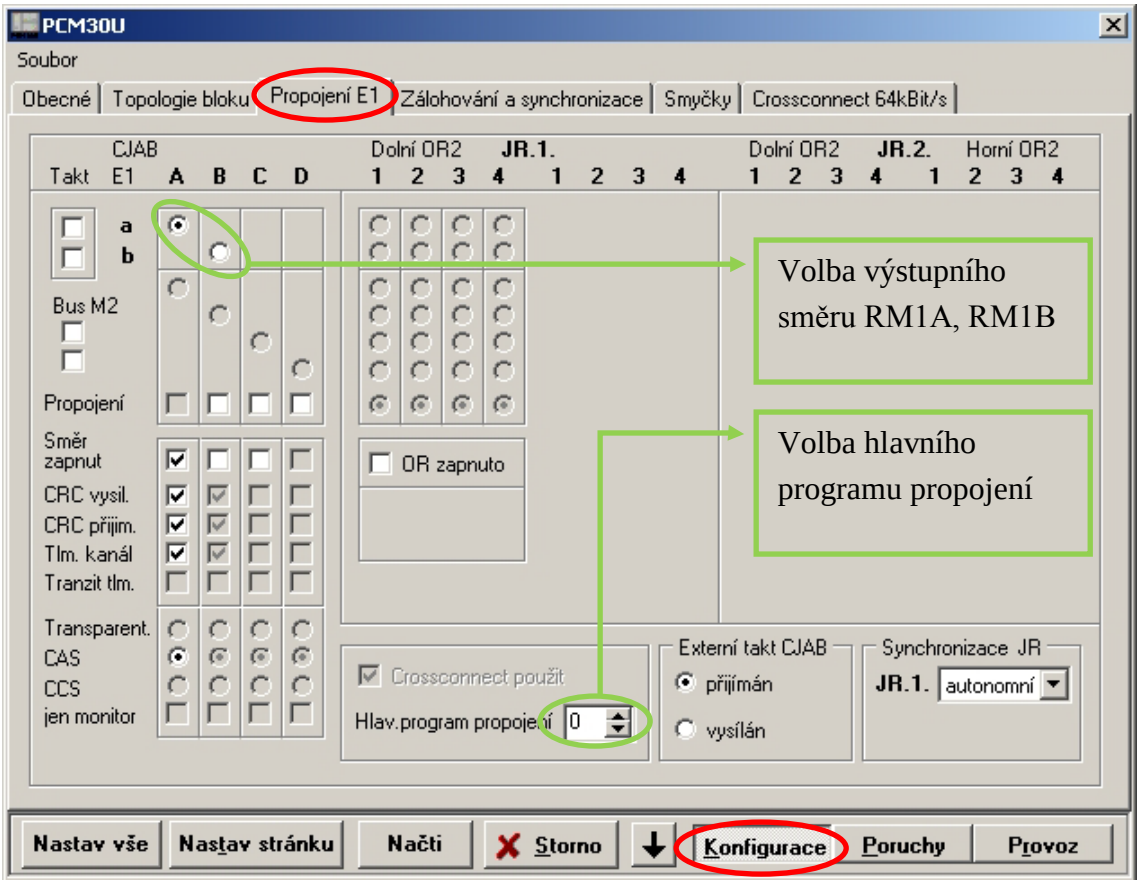
a) Vytvoření linky, konfigurace zařízení PCM30U-3UST

Nejprve je potřeba vytvořit si linku, kterou chcete tunelovat. Linkou myslíme alespoň jeden analogový telefon propojený na vhodný KI, který je multiplexován do rámce E1, tunelován směrovačem Cisco a opačným způsobem propojen na protilehlý analogový telefon. Vytvoření telefonní linky zprostředkuje zařízení PCM30U-3UST pomocí kanálové karty UII 16 a centrální jednotky CJAB viz popis 4.1.4.c).

Zařízení je připojeno k počítači pomocí sériového portu COM1. Pro konfiguraci zařízení nejprve spusťte program lokálního manageru LMS (*Local Management System* - na ploše zástupce „manager“) a zkontrolujte, zda je nastavený sériový kanál COM1.

Kliknutím na položku „Načíst blok PCM“ se načte aktuální nastavení a rozmístnění karet v kanálových pozicích. Nyní vidíte, na kterých pozicích jsou umístněny karty DU2, CJAB, RJ a odemkne se položka „Dialog bloku PCM30U“. Zvolením tohoto dialogu se otevře nové okno s aktivní záložkou „Poruchy“. Ze záložky poruchových stavů se přepněte do záložky „konfigurace“, čímž se dostanete k samotné konfiguraci bloku PCM30U. Zde proběhne vytvoření linky, kterou chcete tunelovat. Nyní vidíte několik záložek. Z nichž vás budou zajímat záložky „Propojení E1“ a „Crossconnect 64kBit/s“. Tyto 2 záložky budeme editovat.

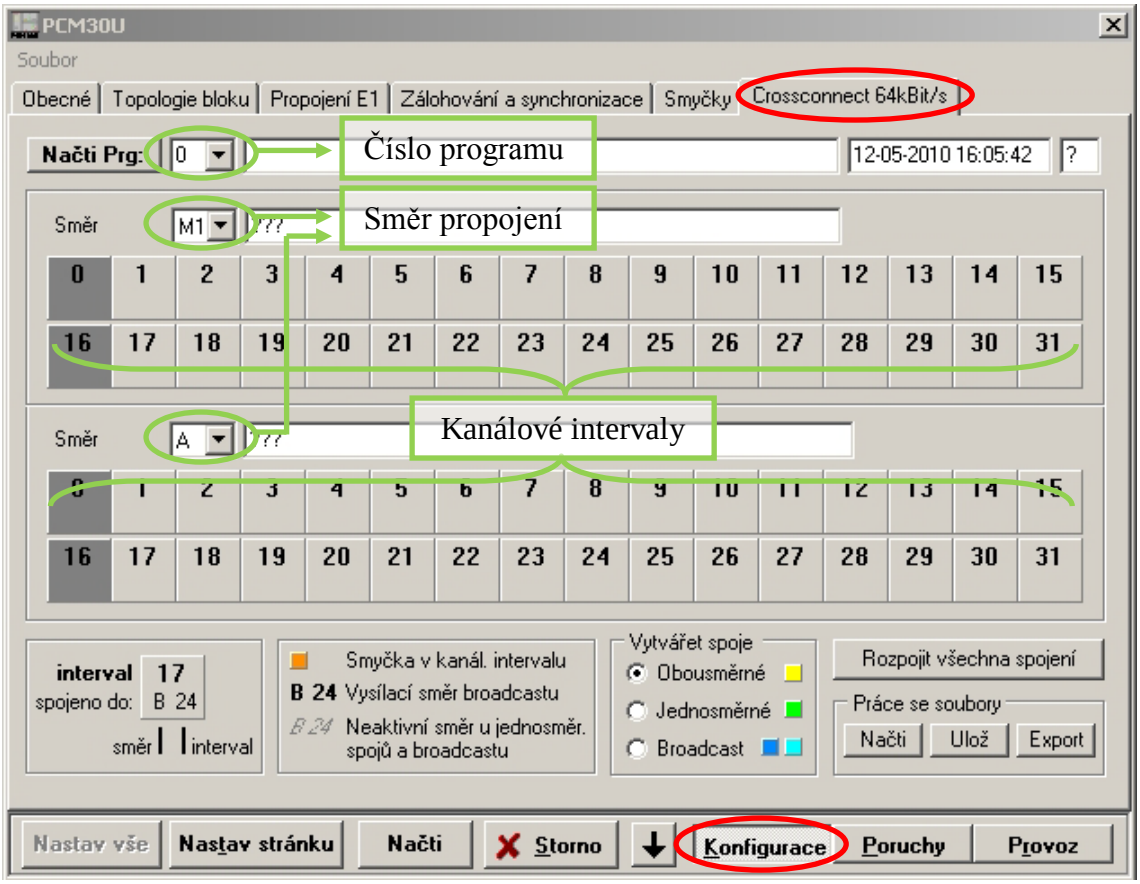
Záložka „Propojení E1“ (viz Obr. 4.2) slouží ke konfiguraci a aktivaci směrů A, B, C, D, jejich propojení na optická rozhraní OR, eventuelně další metalická rozhraní MR. Zde si libovolně zvolte jeden z výstupních směrů (A/a – RM1A nebo B/b RM1B) pro tunelování rámce E1. Tyto směry jsou fyzicky vyvedené na patch panelu. Na této záložce je možné dále nastavit přijímání/vysílání externího taktu, synchronizaci jednotky rozhraní JR a volbu hl. programu propojení. Pro potvrzení konfigurace zvolte položku „Nastav stránku“.



Obr. 4.2: Propojení výstupního směru a volba hl. programu propojení

Směr si můžete volit libovolně. Propojte tedy místní sběrnici M1 na směr A (RM1A) nebo B (RM1B). Volbu propojení výstupního metalického směru vykresluje Obr. 4.2. Dále si zvolte číslo hlavního programu, který nakonfigurujete crossconnectem a překontrolujte příjem externího taktu a autonomní synchronizaci jednotky rozhraní.

Nyní vyberte záložku „Crossconnect 64kBit/s“, kde vytvoříte hlavní zvolený program a můžete pokračovat v jeho směrování. To volte na jeden z KI11 nebo KI27 zařízení PCM 1-1 případně na KI12 nebo KI28 při konfiguraci zařízení PCM 1-2. Musíte volit pouze tyto KI, protože jen ty jsou fyzicky spojeny s analogovými telefony. Potvrzení nastavení se provádí pomocí „Nastav stránku“. Nezapomeňte provést nastavení pro obě zařízení PCM 1-1 i PCM 1-2. Přepnutí konfigurace na druhé zařízení se provádí fyzicky přepojením sériové linky na rozhraní LM. Správné přepnutí je při konfiguraci indikováno zelenou led diodou.



Obr. 4.3: Konfigurace na záložce „Crossconnect 64kBit/s“

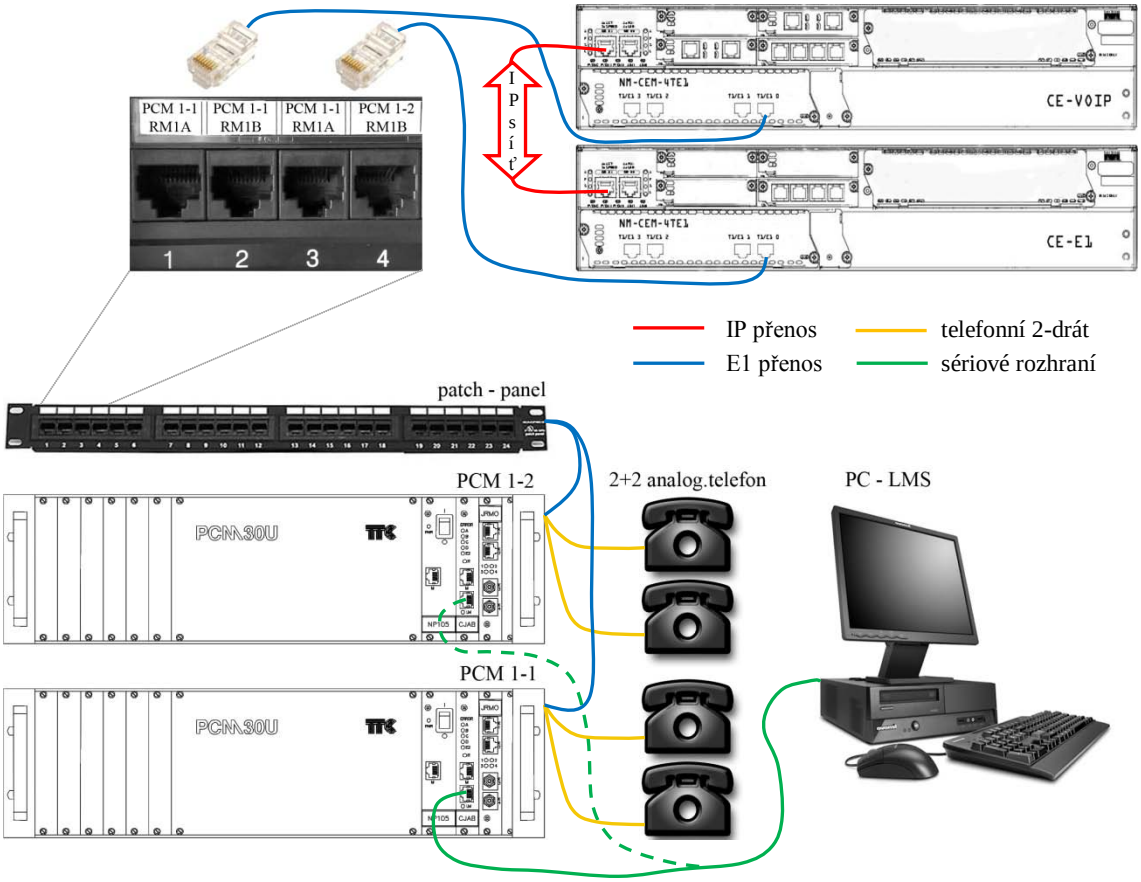
Analogie propojování je popsána přímo v záložce „Crossconnect 64kBit/s“ pod nastavením druhého směru. Ve zmíněné záložce je možné dále nastavit charakter spojení: jednosměrné, obousměrné nebo broadcast. Navolený program můžete pojmenovat, uložit, načíst nebo i exportovat pro další využití nebo zálohu nastavení.

Nezapomeňte že, telefony jsou ke kartě UII 16 propojeny přes místní sběrnici M a tu dále chcete propojit na externí metalické směry RM1A a RM1B.

b) Konfigurace směrovačů Cisco 2821 a propojení s PCM30U-3UST

Konfiguraci směrovačů provede vyučující nebo spolužáci v rámci dané laboratorní úlohy. Propojení PCM30U a Cisco směrovačů je realizováno pomocí speciálního redukčního kabelu 2x RJ45 (E1-PCM) – 2x RJ45 (E1 Cisco). Fyzické propojení realizujte z patch panelu, kde jsou vyvedené jednotlivé směry. Na jednotlivých konektorech kabelu je popsáno, ke kterému zařízení patří. Patch panel je taktéž popsaný. Index popisků 1-1 je pro spodní zařízení a 1-2 pro horní PCM30U-3UST. Názorné schéma zapojení je zakresleno do Obr. 4.4.

Pro přímé propojení dvou PCM30U lze použít místo speciálního redukčního kabelu přímou propojku (E1-E1), kterou naleznete v jednom z volných konektorů patch panelu. Tuto kabelovou propojku využijte v případech, kdy si chtete ověřit správnou konfiguraci na straně PCM30U, ještě než obě zařízení propojíte přes IP síť. Vyhnete se tím tomu, že na vaší straně bude vše v pořádku, ale na straně IP směrovačů nebude něco správně nakonfigurované, čímž by vám celé spojení nefungovalo. Tento patch-cord přímo propojuje na fyzické vrstně výstupní směr se vstupním a naopak.

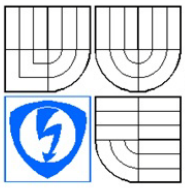


Obr. 4.4: Schéma zapojení pracoviště

4.1.6 Kontrolní otázky

- Vysvětlete význam zkratky CEoIP.
- Vypočítejte, jak velký max. datový tok rámec E1 pro CEoIP představuje.
- Jaký je rozdíl mezi paketově orientovanou sítí a sítí se spínáním okruhů?
- K čemu slouží Crossconnect?
- Z jakého hlediska je výhodnější použití CEoIP oproti přenosu pomocí JTS?

4.2 Vzorový protokol

<table>
<tr><td rowspan="4"> 
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ</td><td colspan="2">Předmět Přístupové a transportní sítě</td></tr>
<tr><td colspan="2">Jméno</td></tr>
<tr><td>Ročník</td><td>Studijní skupina</td></tr>
<tr><td>Spolupracoval</td><td>Měřeno dne</td></tr>
<tr><td colspan="2">Kontroloval</td><td>Hodnocení</td><td>Dne</td></tr>
<tr><td>Číslo úlohy</td><td colspan="3">Název úlohy
Tunelování rámce E1 přes IP síť (CEoIP)</td></tr>
</table>

Zadání úlohy

1. Seznamte se s pracovištěm a přenosovým zařízením PCM30U-3UST.
2. Naučte se konfigurovat PCM30U-3UST pomocí Local Management Servis.
3. Pomocí LMS a přenosového zařízení PCM30U-3UST nakonfigurujte linku vhodnou pro tunelování rámce E1 technickou CEoIP a následně proveďte jejich fyzické propojení.
4. Uskutečněte testovací hovor a zhodnoťte jeho kvalitu oproti přímému spojení dvou zařízení PCM30U-3UST pomocí propojky na patch panelu.
5. Navrhněte praktické využití CEoIP v reálném nasazení.
6. Zhodnoťte laboratorní úlohu a zodpovězte kontrolní otázky.

Vypracování bodů zadání

- Seznámili jsme se s pracovištěm a univerzálním přenosovým zařízením PCM30U-3UST, které jsme se zároveň naučili konfigurovat pomocí lokálního manageru.
- Linku jsme úspěšně nakonfigurovali a díky crossconnectu i nasměrovali na vhodné KI, které byly v dalším kroku centrální jednotou CJAB multiplexovány do rámců E1.
- Fyzické propojení bylo úspěšně sestaveno a emulace díky připravené konfiguraci směrovačů Cisco 2821 začala bezproblémově fungovat. Chtěli jsme

docílit toho, aby každý analogový telefon byl přes emulovanou síť propojený obousměrně se svým protějším telefonem. Uskutečnili jsme testovací hovory, u kterých jsme nezaznamenali jakoukoliv změnu nebo pokles kvality oproti přímému propojení obou van PCM30U-3UST rozhraním E1-E1.

Vypracování kontrolních otázek

- Vysvětlete význam zkratky CeoIP
  Circuit emulation over IP – emulace okuhů přes IP
- Vypočítejte, jak velký max. datový tok rámec E1 pro CEoIP představuje.
  *8 (bitů v KI) * 8000 (f_{VZ}) * 32 (KI v rámci E1) = 2048 Kbit/s*
- Jaký je rozdíl mezi paketově orientovanou sítí a sítí se spínáním okruhů?
  Paketově orientovaná síť není spojově orientovaná a nevytváří fyzické propojení jako síť se spínáním okruhů. Data jsou segmentací rozdělena na malé pakety, které se šíří sítí až k příjemci. Každý paket se nemusel šířit stejnou cestou.
- K čemu slouží crossconnect?
  Umožňuje realizovat propojení libovolného kanálového intervalu na ostatní.
- Z jakého hlediska je výhodnější použití CEoIP oproti přenosu pomocí JTS?
  Minimalizace nákladů, možnost použití vlastní IP sítě, vyšší bezpečnost.

Závěr úlohy

Na základě zadané laboratorní úlohy jsme se teoreticky seznámili s principem přenosu rámce E1 pomocí technologie CEoIP skrze směrovače Cisco 2821. V hlavní části úlohy jsme nakonfigurovali univerzální přenosové zařízení PCM30U-3UST tak, aby bylo možné realizovat testovací hovor skrze emulované spojení. PCM30U-3UST zabezpečovalo generování digitalizovaného hlasu pomocí karty UII 16 a centrální kanálová karta CJAB se dále postarala o multiplexování do rámce E1, který dále nasměrovala na metalické rozhraní RM1.

Ve výsledku jsme emulovaně nasměrovali dvě dvojice analogových telefonů skrze dvě komunikační vany PCM30U-3UST. Subjektivním testováním kvality hovoru jsme si ověřili, že CEoIP i spojení E1-E1 jsou kvalitativně totožná.

5 LAB. ÚLOHA 3: TUNELOVÁNÍ RS232 POMOCÍ PCM30U-3UST

5.1 Zadání a vypracování

5.1.1 Cíl laboratorní úlohy

Cílem této laboratorní úlohy je realizovat tunelování komunikace sériové linky přes rozhraní E1 pomocí univerzálního přenosového zařízeni PCM30U-3UST a jeho datové karty DU2. V této úloze se studenti naučí konfigurovat zařízení PCM30U-3UST pomocí lokálního managementu včetně konfigurace zabudovaného crossconnectu a ovládání výstupních směrů i rozhraní.

Protože budeme předpokládat, že tunelovaný RS232 signál bude mít vysokou prioritu, bude zálohován optickou trasou. Vytvoření poruchy na metalické trase bude simulováno přerušením spojení na patch panelu. Ihned po detekci ztráty spojení by se měla aktivovat záložní trasa. Pro ověření správné funkce tunelování RS232 využijeme jednoduchý obousměrný přenos znaků mezi dvěma softwarovými terminály PuTTY<−>PuTTY a jednosměrný přenos PuTTY−>VT100 (PUMA 4300E).

5.1.2 Zadání úlohy

1. Seznamte se zařízením PCM30U-3UST a prostudujte si teoretický úvod.
2. Vhodně nakonfigurujte obě protilehlá zařízení tak aby jednotlivé datové karty DU2 byly přímo propojeny vybranými KI.
3. Proveďte konfiguraci záložního optického spoje tak, aby při poruše na metalickém vedení byl aktivován záložní směr se záložním programem.
4. Proveďte obousměrné i jednosměrné testovací spojení terminálů.
5. Zhodnoťte výsledky měření a zodpovězte kontrolní otázky.

5.1.3 Vybavení pracoviště

- 2x přenosové zařízení PCM30U-3UST, analyzátor PUMA 4300E
- 2x redukční kabel RJ45 – Cannon 15
- osobní počítač a programové vybavení: Local Manager Servis

5.1.4 Teoretický úvod

Důvodem pro vytváření tunelového spojení RS232 pomocí E1 může být například požadavek vzdálené správy některého prvku, který nepodporuje jiné rozhraní. Jelikož rámec E1 dále můžeme tunelovat pomocí CEoIP, otevírají se nám možnosti dostat díky internetové síti naše požadované rozhraní RS232 téměř kamkoliv po světě. Nyní si stručně popíšeme stěžejní body naší úlohy a dále pracovní postup.

a) PCM

V telekomunikacích se pro přenos hovorových kanálů využívá pulsně kódová modulace. Modulace PCM zajišťuje přeměnu analogového signálu zvuku na signál digitální. Abychom mohli přenášet telefonní hovorové kanály z analogových telefonních přístrojů, musíme je digitalizovat. Blíže problematiku PCM popisuje kapitola 1.1., ve které najdete i úvod do problematiky a postup digitalizace.

Při přenosu dat, v našem případě rozhraní RS232 prostřednictvím telekomunikační sítě, se digitalizace přeskakuje, protože toto sériové rozhraní pracuje výhradně pomocí binární konvence jedniček a nul, tedy digitálně.

b) Rámec E1

Rámec E1 je první řád telekomunikačního rámce přenášející kanály v evropské plesiochronní digitální hierarchii. Tento rámec je složen z 32 kanálových intervalů, přičemž dva z nich nejsou určené pro účastníky, ale jsou použité pro služební účely synchronizace a signalizace.

Vlastní struktuře rámce se věnuje kapitola 1.2. V uvedené kapitole si prostudujte vlastní tvar rámce, pojem multirámce, služební kanálové intervaly a parametry, které jej definují z hlediska časového a přenosového. Jako doplňková informace o systémech vyšších řádů slouží kapitola 1.2.5.

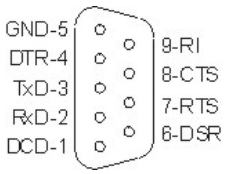
Pomocí rámce E1 bude probíhat vlastní tunelování rozhraní RS232 na fyzické vrstvě. Toto emulované spojení bude využívat pouze jeden KI, zbylé zůstanou neobsazené.

c) Použití RS232 a základní specifikace

Sériová linka nebo sériový port využívající standart RS232 se v rámci přístupových a transportních sítí využívá zejména pro snadnou konfiguraci nejrůznějších síťových

prvků např. směrovačů, přepínačů, ale i embedded systemů, satelitních přijímaců, automatů atd. Díky jednoduchosti přenosu na fyzické vrstvě se tento port v průběhu let masově rozšířil. V dnešní době se od jeho nasazení upouští a je vytlačován výkonnějším univerzálním sériovým rozhraním USB.

Původně byl vytvořen pro komunikaci dvou zařízení do vzdálenosti 20m. Toto rozhraní využívá sériový přenos dat pomocí nejčastěji 8 bitů od LSB po MSB, přičemž jednotlivé bity představují bipolární úrovně ± 5, 10, 12 nebo 15 V odpovídající log 1 a log 0. Signál se přenáší pomocí tří základních vodičů RxD pro příjem, TxD pro vysílání a společné země GND. Mezi rozšiřující signály patří vstupy DCD (*data colision detect*), DSR (*data set ready*), CTS (*clear to send*), RI (*ring indicator*) a výstupy DTR (*data terminal ready*) a RTS (*request to send*). RS232 bývá nejčastěji osazeno do konektorů Cannon 9 nebo Cannon 25. Viz Obr. 5.1 a Obr. 5.2.



Obr. 5.1: Piny Cannon9

Obr. 5.2: Foto Cannon9

d) Univerzální přenosové zařízení PCM30U-3UST

Vlastní laboratorní úloha je realizována pomocí univerzálního přenosového zařízení PCM30U-3UST. Tomuto zařízení se věnuje kapitola 2.1, ve které je celé zařízení popsáno z hlediska obecného, konstrukčního a kompozičního. V kapitole 2.1 jsou taktéž uvedeny typické základní funkce a režimy, tzv. typy přenosů TPR ve kterých zařízení může pracovat.

Zařízení PCM30U v této laboratorní úloze budeme využívat pro přenos sériového rozhraní RS232 pomocí zásuvné kanálové karty DU2. Karta DU2 poskytuje účastnické rozhraní pro přenos synchronních i arytmických dat a podporuje handshake pomocí signalizace CAS. Karta obsahuje dva na sobě nezávislé kanály. V každém z nich do rychlosti 19,2 kbit/s lze přenášet dva kanály v jednom kanálovém intervalu. Tyto kanály lze přenést způsobem point to point nebo point to multipoint. V režimu point to multipoint dokáže zařízení posílat datové kanály na všechny aktivované rozhraní.

V naší úloze budeme používat jeden kanál, kterým budeme přenášet znaky z jednoho terminálu na druhý. V rámci zařízení karta DU2 zpracovává signál a dále ho poskytuje místní sběrnici M. Přímo na místní sběrnici M je připojena centrální jednotka CJAB směrů A a B. Tato centrální jednotka zajišťuje vytvoření rámce E1, který dále můžeme přepojit na některé z metalických nebo optických rozhraní A, B, C nebo D. Tímto vznikne tunelová komunikace RS232 skrze rámec E1. Blíže je jednotka CJAB popsána v kapitole 2.1.4.

e) Analyzátor Puma 4300E

Univerzální telekomunikační/datakomunikační analyzátor budeme v této úloze využívat jako hardwarový terminál pro příjem generovaných znaků softwarovým terminálem PuTTY.

Uvedenému analyzátoru se věnuje kapitola 1.4, která obecně popisuje uživatelský panel (viz 2.2.2) a zadní panelu s konektory (viz 2.2.3).

5.1.5 Pracovní postup

a) Vytvoření linky, konfigurace zařízení PCM30U-3UST

Nejprve si musíte vytvořit linku, která budete přenášet rozhraní RS232. Vytvoření této linky zprostředkuje zařízení PCM30U-3UST za pomoci karty DU2. Zařízení je připojeno k počítači sériovým portem COM1. Pro konfiguraci zařízení nejprve spusťte program lokálního manageru LMS (*Local Management System* - na ploše jen zástupce „manager“) a zkontrolujte, zda je nastavený sériový port COM1.

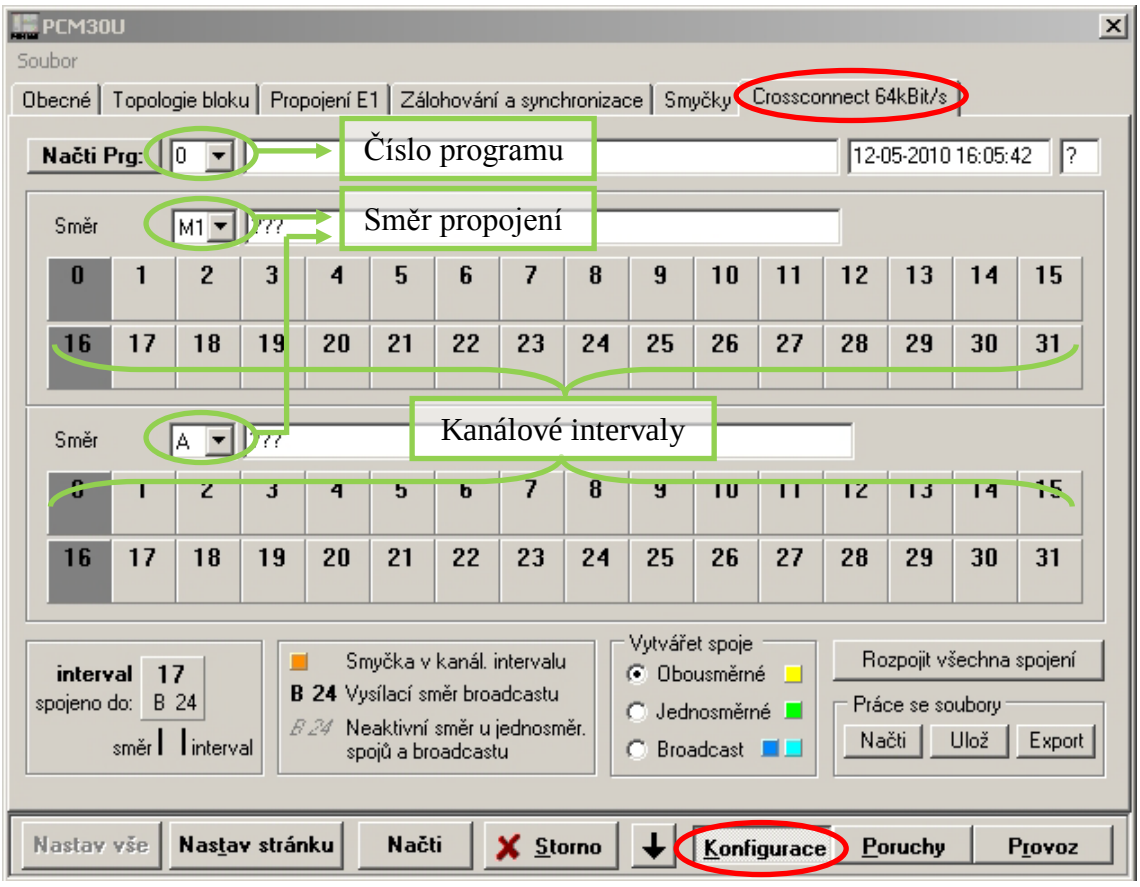
Kliknutím na položku „Načíst blok PCM“ se načte aktuální nastavení a rozmístnění karet v kanálových pozicích. Nyní vidíte, na kterých pozicích jsou umístněny karty DU2, CJAB, RJ a odemkne se vám položka „Dialog bloku PCM30U“.

Nejprve provedeme konfiguraci univerzální datové karty DU2. Klikněte tedy na příslušnou pozici DU2 v bloku PCM30U a přejděte ze záložky „Poruchy“ do záložky „Konfigurace“. Nyní nakonfigurujte „Datový okruh č. 1“: *PCM rozhraní - sběrnice Bus M1, Vámi zvolený KI, Vysílané E-bity 0, Handshake KI16 v bitech CD, Poziční bit 1, Přenos. Protokol V.110, Datové rozhraní – Mód přenosu arytmický, Přenosová rychlost 19200 bit/s, Tolerance rychlosti 12,5%, Počet stop bytů 2, Parita ano, Počet datových bitů 8, DCD/I off, DSR off, Rozhraní RS232/V.24.* KI PCM rozhraní volte tak

aby nedošlo ke kolizi s již použitými KI. Pro potvrzení nastavení zvolte „nastav stránku“.

Nyní máte nastavenou kartu DU2 na Vámi zvoleném KI, který musíte nasměrovat crossconnectem skrze metalické a záložní optické rozhraní na protější PCM30U-3UST. To provedeme výběrem „Dialog bloku PCM30U“ v bloku PCM30U a zvolením režimu „Konfigurace“. Zde proběhne vytvoření vyhrazené datové linky, kterou chceme použít pro tunelování dat z datové karty. Nyní vidíte několik záložek.

Na poslední záložce „Crossconnect 64kBit/s“ propojte programem č. 0 Vámi zvolený KI využitý kartou DU2 z místní sběrnice M1 na jeden KI směru A nebo B (metalické rozhraní RM1A, RM1B). Stejným principem, propojte programem č. 1 KI karty DU2 na záložní optický směr. Program č. 1 bude aktivován při ztrátě metalického spojení. Záložku „Crossconnect 64kBit/s“ názorně vyobrazuje Obr. 5.1.



Obr. 5.3: Konfigurace na záložce „Spojení“

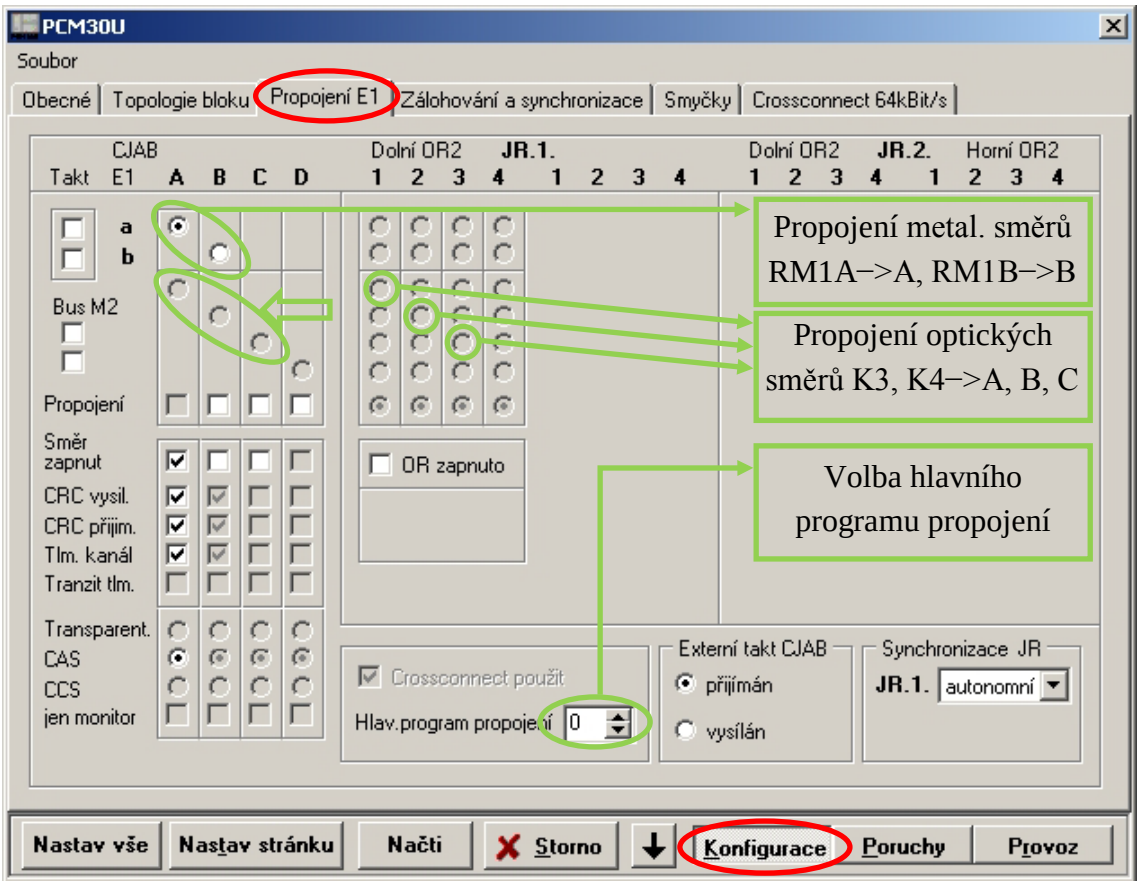
Analogie propojování je popsána přímo v záložce „Spojení“ pod nastavením druhého směru. Ve zmíněné záložce je možné dále nastavit charakter spojení: spojení

jednosměrné, obousměrné nebo broadcast. Navolený program můžete pojmenovat, uložit, načíst nebo i exportovat pro další využití nebo zálohu nastavení.

Na záložce „Zálohování a synchronizace“ vyberte: *Zálohování horká záloha, Záložní program propojení je v našem případě 1, Zdroje synchronizace ponechejte autonomní a jako hlavní směr vyberte Vámi konfigurovaný směr na crossconnectu, záložní směr je pro nás C.*

Záložka „Propojení E1“ (viz Obr. 3.1) slouží ke konfiguraci a aktivaci směrů A, B, C, jejich propojení na metalická rozhraní RM1x a optická OR. Zde zvolte jeden směr A nebo B (dle konfigurace crossconnectu), který přepojíte na jedno z metalických rozhraní (A/a – RM1A nebo B/b RM1B), které je vyvedeno na patch panel a připraveno na propojení s protějším PCM30U. Současně proveďte i propojení „Dolní OR2“ na směr C a zvolte hlavní program propojení na 0. Dále je standardně nastaveno přijímání externího taktu a autonomní synchronizace JR.

Pro potvrzení konfigurace zvolte položku „Nastav vše“.

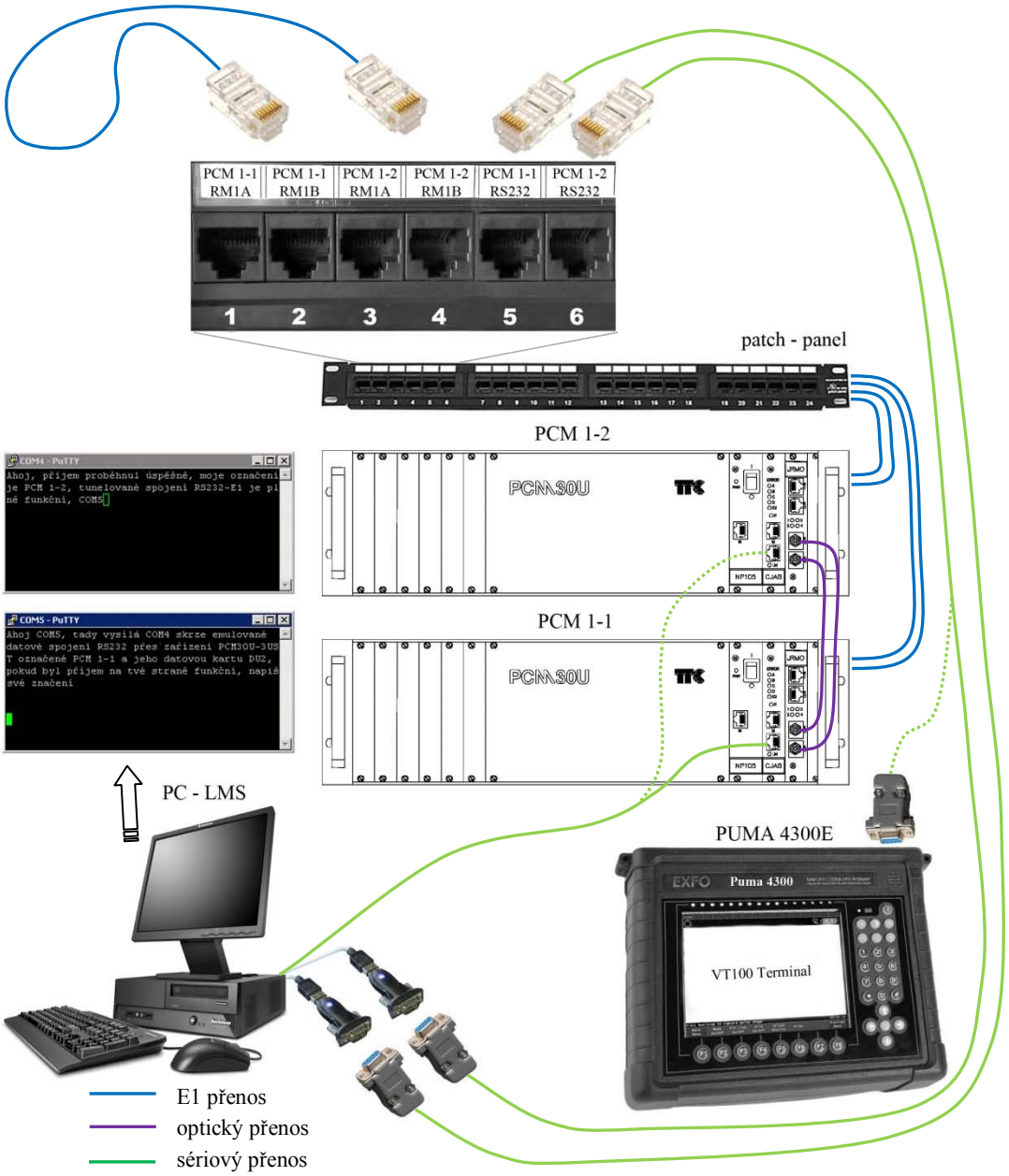


Obr. 5.4: Propojení výstupního směru a volba hl. programu propojení

Tímto jste nakonfigurovali první zařízení PCM30U. Nyní si přepojte sériovou linky z rozhraní LM na druhé zařízení PCM30U a proveďte konfiguraci stejným způsobem.

Nezapomeňte si uvědomit, že pro správné propojení dvou zařízení musí čísla KI na zvoleném směru na sebe přímo směrovat. Proto tedy musí odpovídat číslo vysílaného KI s přijímanými na protější straně a naopak.

b) Zapojení pracoviště



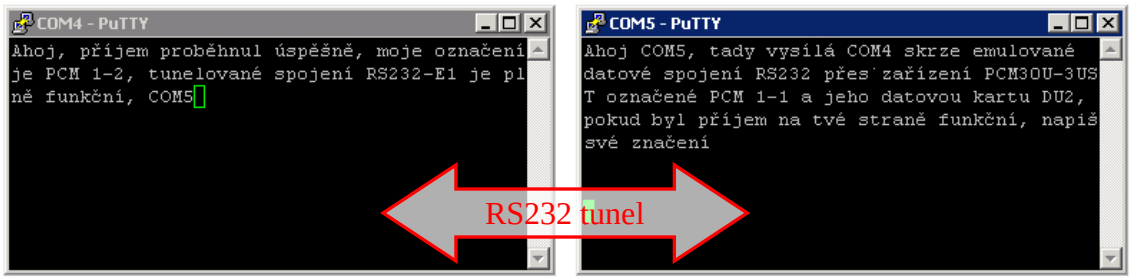
Obr. 5.5: Schéma zapojení pracoviště

Metalické propojení proveďte do příslušných RJ45 portů, které jste konfigurovali jako metalické směry RM1A pro směr A a RM1B pro směr B. Propojení pomocí optického vlákna je již realizováno a neměňte jej. Sériové rozhraní z datových karet propojte pro obousměrnou terminálovou komunikaci do redukcí USB-RS232 z příslušných portů na patch panelu. Pro jednosměrnou komunikaci PUTTY->VT100 přepojte jednu linku z patch panelu do analyzátoru PUMA 4300E. Viz Obr. 5.1.

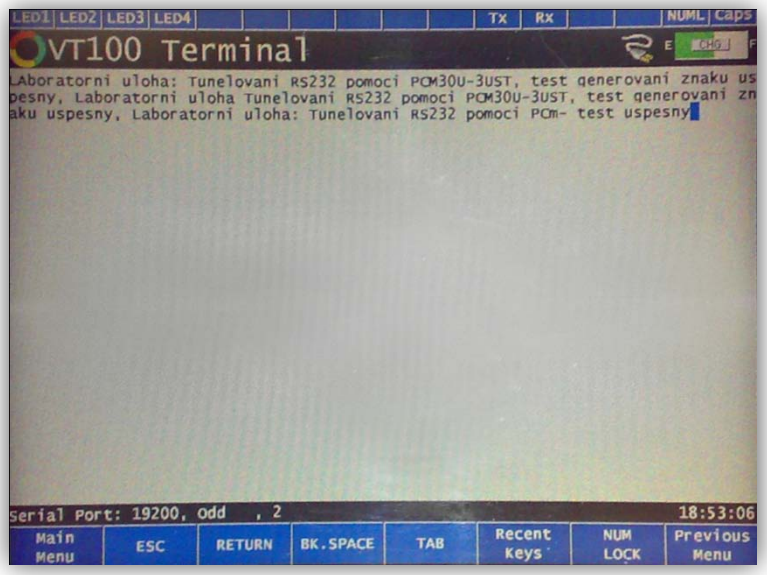
c) Test funkčnosti

Na ploše spusťte „Putty“, kde naleznete uložené relace „pcm30u-3ust_com4(5)“. Obě relace si otevřete, uvidíte dvě okna terminálů, které využívají tunelové propojení RS232. Když do jednoho terminálu začnete psát, mel by se text měl objevovat ve druhém a naopak. Tímto lze provést obousměrný test funkčnosti PuTTY->PuTTY. Pro jednosměrný test proveďte propojení linky do Puma 4300, zvolte režim VT100 a analyzátor by měl vypisovat znaky napsané protějším terminálem.

Poslední test bude spočívat v simulaci ztráty metalického spojení. Tu proveďte tak, že rozpojíte propojení na patch panelu. Následně ověřte, zdali bylo přepnuto na záložní optický směr C tak, že vyzkoušíte obousměrný test. Jestliže jste prošli úspěšně všechny body testu funkčnosti, máte vše v pořádku. V opačném případě zkuste najít chybu. Nejprve zkontrolujte fyzické propojení a dále se zaměřte v případě nefunkčnosti na správné přepojení směrů a nastavení crossconnectu.



Obr. 5.6: Obousměrný test PuTTY->PuTTY

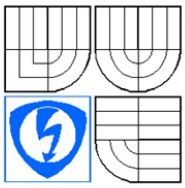


Obr. 5.7: Jednosměrný test PuTTY−>VT100

5.1.6 Kontrolní otázky

- Vypočítejte, jaký objem dat můžeme přenášet pomocí rámce a kanálu E1.
- Popište cestu tunelového spojení RS232.
- Co představují signály RxD, TxD, DSR, DTR, CD, RI, CTS, RTS ?
- Uveďte příklad využití tunelování RS232.
- Proč na čelním panelu u záložního optického spojení vlákna propojují směry K3-K4 a K4-K3 místo K3-K3 a K4-K4?

5.2 Vzorový protokol

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="4"> 
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ</td><td colspan="2">Předmět Přístupové a transportní sítě</td></tr>
<tr><td colspan="2">Jméno</td></tr>
<tr><td>Ročník</td><td>Studijní skupina</td></tr>
<tr><td>Spolupracoval</td><td>Měřeno dne</td></tr>
<tr><td colspan="2">Kontroloval</td><td>Hodnocení</td><td>Dne</td></tr>
<tr><td>Číslo úlohy</td><td colspan="3">Název úlohy
Tunelování RS232 pomocí PCM30U-3UST</td></tr>
</table>

Zadání úlohy

1. Seznamte se zařízením PCM30U-3UST a prostudujte si teoretický úvod.
2. Vhodně nakonfigurujte obě protilehlá zařízení tak aby jednotlivé datové karty DU2 byly přímo propojeny vybranými KI.
3. Proveďte konfiguraci záložního optického spoje tak, aby při poruše na metalickém vedení byl aktivován záložní směr se záložním programem.
4. Proveďte obousměrné i jednosměrné testovací spojení terminálů.
5. Zhodnoťte výsledky měření a zodpovězte kontrolní otázky.

Vypracování bodů zadání

- Seznámili jsme se se zařízením, prostudovali jeho možnosti, včetně jeho kompozičních pravidel.
- Zařízení jsme nakonfigurovali hlavním programem č. 0, tak že obě datové karty byly přepojeny z místní sběrnice M1 z 10KIna 10KI metalického směru A.
- Záložní optický směr programu č. 1 využíval směr C, který taktéž propojoval 10KI místní sběrnice M1 s optickým směrem C.
- Následné propojení terminálů bylo bezproblémové. Přenos u obousměrného i jednosměrného spojení byl plně funkční.

Vypracování kontrolních otázek

- Vypočítejte, jaký objem dat můžeme přenášet pomocí rámce a kanálu E1.
  *jeden rámec: 8 (bitů v KI) * 8000 (f_{VZ}) * 32 (KI v rámci E1) = 2048 Kbit/s*
  *jeden kanál: 8 (bitů v KI) * 8000 (f_{VZ}) = 64 Kbit/s*
- Popište cestu tunelového spojení RS232.
  RS232-DU2-CJAB-RM1x(OR2) <−> RM1x(OR2)-CJAB-DU2-RS232
- Co představují signály: RxD, TxD, GND, DCD, DSR, CTS, RI, DTR a RTS ?
  RxD pro příjem, TxD pro vysílání, GND společná zem, DCD (data colision detect), DSR (data set ready), CTS (clear to send), RI (ring indicator), DTR (data terminal ready) a RTS (request to send).
- Uveďte příklad využití tunelování RS232.
  Přenos signálů pro zabezpečení vzdálené správy a sběr dat u těžkých průmyslových strojů na velkou vzdálenost.
- Proč na čelním panelu u záložního optického spojení vlákna propojují směry K3-K4 a K4-K3 místo K3-K3 a K4-K4?
  Protože výstupy musíme spojit se vstupy a naopak.

Závěr úlohy

Na základě zadané laboratorní úlohy jsme se teoreticky seznámili s funkcí a konfigurací tunelového přenosu RS232 pomocí rámce E1 zařízení PCM30U-3UST. V hlavní části úlohy jsme nakonfigurovali zařízení a univerzální datovou kartu DU2 tak, aby bylo možné realizovat obousměrné terminálové spojení. PCM30U-3UST zabezpečovalo zapouzdření dat z rozhraní RS232 pomocí karty UII 16 a centrální kanálová karta CJAB se dále postarala o multiplexování do rámce E1, který dále nasměrovala na metalické rozhraní RM1, případně na záložní optickou trasu.

Pro ověření správné funkce jsme vyzkoušeli spojení terminálů PuTTY a VT100. Spojení bylo úspěšné, terminály vzájemně komunikovaly.

ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce byl návrh názorného zapojení zařízení PCM30U-3UST do výuky. Během zimního semestru jsem úspěšně obhájil semestrální práci, která se stala podkladem pro práci bakalářskou. V rámci obou prací jsem postupně splnil všechny cíle, kterých mělo být dosaženo dle zadání. Studoval jsem teorii problematiky a seznamoval jsem se s novým přenosovým zařízením PCM30U-3UST, jehož potenciál nebyl doposud v laboratořích plně využit.

Na počátku semestru nebylo zařízení ve zcela funkčním stavu, a proto jsem se snažil nejprve zařízení správně pochopit a přispět k jeho plnému zprovoznění, což se mi povedlo. Za pomoci vedoucího práce a pana ing. Michala Polívky jsem komunikoval s výrobcem a absolvoval servisní cestu k výrobci. Tato cesta hrála klíčovou roli v mém úspěšném postupu. Během návštěvy výrobce aktualizoval firmware vybraných zásuvných jednotek a díky osobnímu jednání mně bylo umožněno konzultovat problémy, na které jsem narazil a nenašel odpověď v dokumentaci k zařízení.

Postupnou systematickou prací jsem nabyl dostatečné teoretické a praktické zkušenosti k tomu, abych byl schopen zařízení softwarově konfigurovat a realizovat další testování, které hrálo zásadní roli v mé cestě k úspěchu. V rámci práce jsem provedl vyvedení čtyř metalických směrů a dvou rozhraní RS232 na patch panel. Dále jsem zhotovil redukční kabel z konektoru RJ45 na BNC konektor pro první úlohu, propojovací kabel spojující zařízeni PCM30U a směrovač Cisco 2821 pro druhou úlohu a nakonec kabely spojující patch panel s USB-RS232 redukcemi. Díky tomu se mohou všechny zpracované úlohy snadně a přehledně zapojovat dle uvedených schémat a studenti mohou pracovat se směry bez nutných zásahů do komunikační desky zařízení. Po předchozí práci a pochopení zařízení jsem dle pokynů vypracoval názorné uplatnění nového přenosového zařízení formou tří dříve nerealizovaných laboratorních úlohy včetně vzorových protokolů.

Úloha *Analýza rámce E1 přenosového zařízení PCM30U-3UST* se zaměřuje na ukázkové ověření struktury rámce E1 přenosového zařízení PCM30U-3UST pomocí analyzátoru PUMA 4300E.

Úloha *Tunelování rámce E1 přes IP síť (CEOIP)* vede studenty k modelové situaci, kdy je potřeba přenést rámce E1 skrze paketovou IP síť. Studenti si vyzkouší konfiguraci a propojení dvou párů analogových telefonů připojených v rámci dvou

komunikačních van separátních přenosových zařízení PCM30U. Dále získají teoretické vědomosti v dané problematice zařízení PCM30U a techniky CEoIP.

Poslední úloha s názvem *Tunelování RS232 pomocí PCM30U-3UST* se věnuje přenosu sériového rozhraní standartu RS232 pomocí dvou separátních zařízení PCM30U-3UST po hlavní metalické lince a záložním optickém spoji, který se automaticky aktivuje v případě ztráty hlavní linky.

Laboratorní úlohy jsou koncipovány tak, aby u studentů podpořily tvůrčí myšlení a práci s textem. Všechna zadaní využívají dříve plně nevyužitý potenciál univerzálního přenosového zařízení PCM30U-3UST a síťového analyzátoru Puma 4300E. To ve spojení s ostatními prvky, jako jsou analogové telefony, Cisco směrovače, USB-RS23 redukce, speciální propojovací kabely, softwarové vybavení Manager (Doris200) a PuTTY, tvoří komplexní soubor realizovatelných úloh, které nebyly dříve v rámci předmětu *Přístupové a transportní sítě* realizovány.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] CONSULTRONICS. Manuál k Puma 4000E - Telecom/Datacom Analyser. Hampshire, England 2002.

[2] DOBEŠ, Josef, ŽALUD, Václav. Moderní radiotechnika. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 768 s. ISBN 80-7300-132-2.

[3] ITU. International Telecommunication Union : G.703 [online]. 2009 , 11.12.2009 [cit. 2009-12-11]. Dostupný z WWW: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.703/en>.

[4] ITU. International Telecommunication Union : G.704 [online]. 2009 , 11.12.2009 [cit. 2009-12-11]. Dostupný z WWW: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.704/en>.

[5] ITU. International Telecommunication Union : G.732 [online]. 2009 , 11.12.2009 [cit. 2009-12-11]. Dostupný z WWW: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.732/en >.

[6] PCM30U-3UST dokumentace 3UST [online]. Dostupné z WWW: <http://web.ttc.cz/pcm30sup/dok/3ust_cz.html>.

[7] ŠKORPIL, Vladislav. Digitální komunikační technologie: Učební texty. 2002. vyd. Brno : [s.n.], 2002. 133 s. ISBN 8-214-2244-0.

[8] TELECOM/DATACOM ANALYZER. PUMA 4000E Series [online]. 2007 [cit. 2009-11-12], s. 1-12. Dostupný z WWW: <http://documents.exfo.com/specsheets/Puma4000E-angHR.pdf>.

[9] VODRÁŽKA, Jiří, PRAVDA, Ivan. Principy telekomunikačních systémů. Praha: ČVUT, 2006. 137 s. ISBN 80-01-03366-X.

[10] BENDA, O. Návrh využití vysokorychlostního systému pro laboratoř. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 55 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.