

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

INOVACE A PODPORA VÝUKY DIGITÁLNÍCH MODULACÍ

Tématický okruh F1

Závěrečná zpráva

o řešení grantového projektu č. 1816
Fondu rozvoje vysokých škol
v roce 2002

Řešitel: **Prof. Ing. Dalibor Bielek, CSc.**
Ústav telekomunikací FEKT VUT v Brně

BRNO 2002

O B S A H

1	Úvod - hlavní úkoly projektu v roce 2002 a složení řešitelského kolektivu	2
2	Postup řešení rozvojového projektu	3
3	Výsledky řešení rozvojového projektu	4
	Vybudování obsahu předmětu	4
	Vybudování laboratorní a počítačové výuky	4
	Zabezpečení obsahu teoretické a praktické výuky	4
	Zabezpečení výuky učebními fondy a pomůckami	4
	Zabezpečení výuky přístrojovou a výpočetní technikou a elektromateriálem	4
	Zabezpečení výuky legálním programovým vybavením	5
4	Seznam výstupů a publikací v rámci řešení rozvojového projektu	5
5	Shrnutí nejdůležitějších výsledků řešení rozvojového projektu	6
PŘÍLOHA 1	Sylaby předmětů – přednášky a numerická cvičení.	7
PŘÍLOHA 2	Sylaby předmětů – laboratorní úlohy.	9
PŘÍLOHA 3	Přehled dosud vyvinutých a realizovaných modulárních přípravků	10
PŘÍLOHA 4	Nově vytvořené úlohy – laboratorní návody	11
PŘÍLOHA 5	Přehled ročníkových a diplomových prací souvisejících s projektem	16
	Zdůvodnění hospodaření s prostředky Fondu rozvoje VŠ za rok 2002	17

1 Úvod - hlavní úkoly projektu v roce 2002 a složení řešitelského kolektivu

Digitální modulace v základním a zejména v přeloženém pásmu dnes patří k nejdůležitějším technikám moderní komunikace a přenosu dat. V současnosti jsou pro obor EST (Elektronika a sdělovací technika) na FEKT VUT v Brně vyučovány v 1. ročníku 2. stupně v předmětu TSD (Teorie sdělování a přenosu dat). Tento předmět navazuje na předmět SYPSI (Systémy, procesy a signály), v němž studenti získávají mj. základní přehled o klasických modulacích AM, FM a PM. V TSD je vyčleněn určitý prostor pro výklad dnes již rovněž klasických modulací PCM, DM a SDM a základních klíčovacích technik ASK, FSK, PSK (BPSK, QPSK) a MQAM. Se zdokonalováním stávajících a vývojem nových principů modulací však tento prostor přestává být dostačující.

Ukončené štěpení původní Fakulty elektrotechniky a informatiky (FEI) na dva samostatné subjekty (FEKT - Fakulta elektrických a komunikačních technologií a FIT – Fakulta informačních technologií) s sebou přináší zcela radikální přestavbu všech studijních plánů bakalářského i magisterského studia. Předmět TSD, jehož výuku dosud zabezpečují dva ústavy FEKT, zanikne, a s ním i laboratorní zázemí na Ústavu radioelektroniky, jehož kapacita bude využita k pokrytí laboratorní výuky jiných nově vzniklých předmětů. V plánech magisterského studia se objevil povinný předmět Teorie sdělování. Aktuálním úkolem je tedy kompletní vybudování tohoto předmětu a úplné zabezpečení výuky v nových podmínkách fungování školy. Tento projekt významnou měrou přispěl k naplňování uvedených cílů, k modernizaci učebních osnov a k částečnému finančnímu zabezpečení této modernizace.

Základní údaje o projektu

Název :	INOVACE A PODPORA VÝUKY DIGITÁLNÍCH MODULACÍ	
Řešitel :	Prof. Ing. Dalibor Biolek, CSc.	Kód oboru : 2203,3325
Vysoká škola :	Vysoké učení technické v Brně	
Fakulta :	Elektrotechniky a informatiky	
Spoluřešitelé :	Prof. Ing. Kamil VRBA, CSc. Ing. Václav Zeman	Ústav telekomunikací FEKT VUT Ústav telekomunikací FEKT VUT
Tvůrčí spolupracovníci :	Ing. Viera Biolková Ing. Zoltán Nagy	Ústav radioelektroniky FEKT VUT Ústav telekomunikací FEKT VUT
Doktorandi:	Ing. Radim Číž Ing. Michal Olšák	Ústav telekomunikací FEKT VUT Ústav telekomunikací FEKT VUT
Studenti:	Karel Mokřý Miloš Rojka Zdeněk Mikeska Antonín Koukal David Lempera	

Na řešení projektu se nepřímo podíleli další pracovníci ústavu telekomunikací, zejména hospodářka ústavu paní Lounková a technik pan Procházka. Do dílčích prací na projektu se

formou dohod o provedení práce zapojili pracovníci kooperujícího pracoviště a někteří studenti a diplomanti v rámci řešení svých semestrálních projektů a diplomových prací.

Doba řešení: duben až prosinec 2002

Přidělené finanční prostředky na řešení:	220 000 Kč
Investiční prostředky	80 000 Kč
Neinvestiční prostředky	140 000 Kč, z toho MP a stipendia 36 000 Kč

Cíle projektu

Hlavním cílem řešení je vybudování předmětu „Teorie sdělování“, a to s důrazem na současné a perspektivní komunikační techniky. Konkrétně to znamená práci na následujících úkolech:

Vybudování obsahu předmětu tak, aby optimálně navazoval na „signálové“ předměty v navrhovaných studijních plánech bakalářského studia a současně aby odrážel perspektivní trendy v modulačních technikách.

Vybudování laboratorní a počítačové výuky, která by byla adekvátní novému obsahu předmětu.

Zabezpečení obsahu teoretické a praktické výuky. Naplnění obsahu přednášek a vytvoření scénářů praktické výuky v návaznosti na přednášky.

Zabezpečení výuky učebními fondy a pomůckami. Vyřešení otázky výukových fondů a pomůcek s přihlédnutím k neustálému vývoji v oboru.

Podpora výuky přístrojovou a výpočetní technikou a měřicími přípravky. Hledání kompromisního řešení vzhledem k značným finančním nákladům, které by byly potřebné k finálnímu zabezpečení výuky.

Zabezpečení výuky legálním programovým vybavením. Zabezpečení software umožňujícího simulaci komunikačních systémů a provádění podpůrných vědeckotechnických výpočtů.

2 Postup řešení rozvojového projektu

Postup řešení se odvíjel od přípravné fáze, v níž bylo třeba stanovit konečnou podobu cílů předmětu, podrobného obsahu předmětu a výuky ve všech jeho výukových formách. Důraz byl kladen zejména na didaktickou provázanost přednášek a forem praktické výuky. První polovina roku 2002 byla řešiteli dále využita k ideovému návrhu nových laboratorních úloh, k posouzení reálnosti zvládnutí jejich cílů studenty v daném čase, k posouzení finanční náročnosti výroby jednotlivých přípravků a k stanovení priorit v inovaci přístrojové a výpočetní techniky. Byl zahájen nákup potřebné techniky. Bylo rozhodnuto o formě vytvářených učebních fondů a pomůcek a o nákupu literatury pro samostatné studium studentů.

Druhá polovina a zejména poslední třetina roku 2002 byla věnována návrhu potřebných funkčních bloků, postupné realizaci experimentálních vzorků a jejich testování. Následovala fáze sestavování jednotlivých měřicích pracovišť a konkrétní měření. Poté proběhly nákupy elektronických součástek a materiálu a v dílnách UTKO byla zahájena výroba modulárních přípravků. Souběžně byly vypracovány nové laboratorní návody. Poznatky z technického

řešení problémů praktické výuky byly průběžně zpracovávány formou publikací a prezentovány na několika konferencích.

Do druhé etapy řešení byli intenzivně zapojeni studenti magisterského a studia a zejména doktorandi. Ing. Olšák byl zodpovědný za realizaci modulárních přípravků a podílel se i na jejich návrhu. Tyto práce pokračují i v současné době v rámci řešení dvou ročníkových projektů spolupracujících studentů. Dosud realizované práce budou po svém technickém a zejména didaktickém dokončení zařazeny do pravidelné výuky v zimním semestru příštího akademického roku 2003/04.

3 Výsledky řešení rozvojového projektu

Vybudování obsahu předmětu. V Příloze 1 jsou uvedeny inovované sylaby předmětu. Ze srovnání se stávajícími sylaby vyplývá, že jsou vynechány základní analogové modulační s harmonickou a impulsní nosnou. Jejich výklad je přesunut do předmětu „Systémy, procesy a signály“ v bakalářském studiu. Tím se uvolnil prostor pro moderní digitální modulační, modulační s více nosnými vlnami a ortogonální kmitočtový multiplex OFDM.

Vybudování laboratorní a počítačové výuky. V Příloze 2 je srovnání dosavadní a nové osnovy laboratorní výuky. Protože stávající výuku zajišťoval Ústav radioelektroniky, jehož laboratorní kapacita však bude v budoucnu vázána výukou nově zřizovaného předmětu Radiové komunikace, znamenalo zajištění praktické výuky nejnáročnější část řešení.

Z Přílohy 2 vyplývají dvě nové laboratorní úlohy. Úloha č. 2 (PAM) je zařazena zejména z důvodu praktického procvičení vzorkovací poučky a procesu vzorkování jako jedné z fází řady digitálních modulací. Úloha č. 4 (BPSK) reprezentuje úvod do klíčovacích technik. Z hlediska realizačního jsou obě úlohy zabezpečeny modulárními přípravky, vyvinutými pro účely podpory samostatné práce studentů v laboratoři. Na tuto bázi plánujeme časem přejít i u ostatních úloh. Podrobnosti viz bod „Podpora výuky přístrojovou a výpočetní technikou a měřicími přípravky“.

Zabezpečení obsahu teoretické a praktické výuky. Ze sylabů předmětu v příloze 1 vyplývají velké obsahové změny v numerických cvičeních. Dosáhli jsme vyšší provázanosti přednášek, numerických cvičení a laboratorní výuky než tomu bylo dosud. Zabezpečením dostatečného počtu laboratorních pracovišť jsme obešli známé problémy s tzv. „kolečkem“, kdy studenti byli nuceni měřit úlohy, které ještě nebyly přednášeny. Obsah numerických cvičení jsme tak mohli částečně podřídit přípravě na laboratorní experimenty. Při tvorbě scénářů praktické výuky jsme se orientovali na kombinaci sestavování komunikačních systémů z jednoduchých dílčích bloků, reálných měření na těchto blocích a počítačových simulací programem COMSIM s cílem zvýšení názornosti výuky a umožnění lepšího pochopení funkce komunikačních systémů.

Zabezpečení výuky učebními fondy a pomůckami. Z prostředků FRVŠ jsme do knihovny Ústavu Telekomunikací zakoupili pro potřeby studentů 25 kusů monografie ŽALUD, V.: Moderní radioelektronika. K novým laboratorním úlohám jsou vypracovány návody v elektronické i tištěné formě (viz Příloha 4).

Podpora výuky přístrojovou a výpočetní technikou a měřicími přípravky. V maximální míře jsme využili stávající přístrojovou a výpočetní techniku ústavu. Z prostředků fakulty jsme pořídili stávající impedanční a obvodový analyzátor HP o měřicí příslušenství pro jeho lepší využití v laboratorní výuce. Z investičních prostředků projektu, které byly plánovány k nákupu 1 kusu „Arbitrary“ generátoru HP 331120A, se nám nakonec s využitím příznivého

kurzu dolaru a při získání slevy od dodavatele a příspěvku školy podařilo zakoupit dva kusy. Navrhli jsme a vyrobili sadu modulárních přípravků pro realizaci modulací (viz Příloha 3). Vzhledem k množství přípravků představovala částka na nákup jednotlivých součástek značnou část neinvestičních výdajů. Drahá a dosud nedostupná zařízení pro generování a monitorování speciálních digitálních modulací nahrazujeme simulacemi v programu COMSIM, který jsme zakoupili z jiného projektu FRVŠ. Dále jsme zabezpečili upgrade stávající výpočetní techniky pro výuku sdružením financí z několika zdrojů mimo FRVŠ.

Zabezpečení výuky legálním programovým vybavením. Upgrade MATLABu jsme provedli ze zdrojů fakulty. Kromě již zmíněného programu COMSIM využíváme k simulacím legální licenci programu MicroCap VII.

4 Seznam výstupů a publikací v rámci řešení rozvojového projektu

Řešení projektu dalo podnět k vzniku několika publikací, které jsou uvedeny v závěru této zprávy. Publikace se týkaly zejména našich postupů při tvorbě prostředků pro praktickou výuku. Poměrně složitým problémem byly například přeladitelné eliptické filtry vyšších řádů, kterých bylo třeba použít v řetězcích modulací PAM a BPSK. Publikace [1-4] se týkají nových prostředků pro návrh linearizovaných funkčních bloků. Článek [1] byl odpřednášen na mezinárodní konferenci CSCC'02 na Krétě a byl otištěn i v monotematické knižní publikaci [2]. Přepracovanou českou verzi jsme pro naši odbornou veřejnost zpřístupnili v Internetovském časopise Elektrevue [3]. Nejnovější výsledky byly prezentovány na pedagogické konferenci STO8 [4]. Publikace [5-7] popisují problémy spojené s realizační etapou, tj. otázky syntézy bloků s využitím moderních aktivních prvků.

Pro širokou akademickou a odbornou veřejnost jsou výsledky řešení projektu k dispozici na Internetovské adrese

<http://www.vabo.cz/stranky/biolek>

- [1] BIOLEK, D.-BIOLKOVÁ, V.: Flow Graphs for Analysis (not only) Current-Mode Analogue Blocks. CSCC2002, Crete, Greece, 2002. ISBN 960-8052-64-5 (CD).
- [2] BIOLEK, D.-BIOLKOVÁ, V.: Flow Graphs for Analysis (not only) Current-Mode Analogue Blocks. Contribution to the book "Recent Advances in Circuits, Systems and Signal Processing", WSES Press, Electrical and Computer Engineering Series, 2002. Editors N. E. MASTORAKIS and G. ANTONIOU, pp. 151-156. ISBN 960-8052-64-5.
- [3] BIOLEK, D.: Grafy signálových toků pro analýzu obvodů (nejen) v proudovém módu. Elektrevue, 2002/31 - 18.7.2002.
- [4] BIOLEK, D.-BIOLKOVÁ, V. Modifikované M-C grafy (Modified M-C Graphs). In Proceedings of the 8th National Seminary on Circuit Theory STO-8. Brno 2002.
- [5] BIOLEK, D.-ČAJKA, J.-VRBA, K.-ZEMAN, V.: Nth-order allpass filters using current conveyors. *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 53, 2002, No. 1-2, pp. 50-53, ISSN 1335-3632.
- [6] BIOLEK, D.-ČAJKA, J.-VRBA, K.: Current-mode universal biquad. *IEEE ICCDCS 2002 (International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems)* Aruba, Venezuela, 2002, pp. T023-1-3, ISBN 0-7803-7381-2.
- [7] ČAJKA, J.-VRBA, K.-OLŠÁK, M.: Filters for two modes. *Proc. Int. Conf. TSP 2002 (Telecommunications and Signal Processing)*, VUT Brno, 2002, pp. 94-97, ISBN 80-214-2172-X.

5 Shrnutí nejdůležitějších výsledků řešení rozvojového projektu

Hlavním cílem řešení byla inovace koncepce výuky předmětu Teorie sdělování, která je vyvolána kompletní přestavbou studijních plánů v souvislosti s rozštěpením původní fakulty FEI na dva samostatné subjekty. Rozpočet projektu byl sestaven tak, aby po sdružení s prostředky řešitelských pracovišť umožnil výrobu nových laboratorních přípravků a didaktických náplní pro praktickou výuku, napomohl inovaci přístrojového parku s tím spojenou, a umožnil řešitelům prezentaci výsledků v zahraničí.

Řešitelé provedli příslušnou přestavbu osnovy předmětu (viz Příloha 1) tak, aby odrážela potřebu výuky moderních digitálních modulací. Zlepšili návaznost jednotlivých forem výuky – přednášek, numerických a laboratorních cvičení. Vyvinuli a realizovali modulární laboratorní přípravky k sestavování jednotlivých laboratorních úloh. Zabezpečili potřebné didaktické náplně (přednášky v písemné formě, laboratorní návody, knihy) a materiální podmínky inovací přístrojové a výpočetní techniky.

Kladem projektu je m.j. zapojení studentů do jeho řešení formou ročníkových projektů (viz Příloha 5) a doktorandů, kteří se rozhodující měrou podíleli na vývoji a realizaci modulárních přípravků (viz Přílohy 3 a 4). Inovovaná koncepce praktické výuky rozvíjí tvůrčí činnost studentů ve větší míře než koncepce původní, neboť klade větší důraz na samostatnou práci (studenti jednotlivá zapojení vytvářejí, dříve pracovali s kompaktními přípravky).

Způsoby a výsledky řešení byly v odpovídající míře prezentovány na konferencích v zahraničí (technická stránka – funkční bloky pro laboratorní výuku atd.) a na konferenci STO v Brně (pedagogické aspekty). Tyto prezentace byly hrazeny částečně z prostředků FRVŠ.

Některé výsledky řešení mohou být inspirativní pro inovace praktických forem výuky dalších technických předmětů nejen na VUT, ale i na dalších školách v ČR. Tyto inovace jsou pokračujícím procesem, který byl významně posílen právě řešením tohoto projektu.

Příloha 1: SYLABY PŘEDMĚTŮ – přednášky a numerická cvičení

Stávající předmět Teorie sdělování a přenosu dat

týden	hodin	přednášky (P)	numerická cvičení (NC)
1-2	6	Sdělovací signály analogové a číslicové. Sdělovací soustava. Parametry sdělovacích soustav.	
	2		Základní pojmy. Přenosová a modulační rychlost. Datové signály v základním pásmu a jejich spektra.
3-4	6	Modulace s harmonickým nosným signálem I. AM	
	2		Amplitudová modulace. DSB-SC, SSB. Časové průběhy, spektra, výkony.
5-6	6	Modulace s harmonickým nosným signálem II. FM, PM.	
	2		Kmitočtová a fázová modulace. Časové průběhy, spektra, výkony.
7-8	6	Klíčování ASK, FSK, PSK, modulace MQAM.	
	2		Amplitudové, kmitočtové a fázové klíčování.
9-10	6	Impulsové modulace. Číslicové vyjádření analogových signálů I. PCM. Lineární modulace delta.	
	2		Písemka (15 bodů). Analogové impulzové modulace.
11-12	6	Číslicové vyjádření analogových signálů II. Delta-sigma modulace. Signály mnohocestných soustav.	
	2		Kvantování, kvantizační šum, PCM, modulace delta.
13-14	6	Problémy přenosu číslicových signálů. Přizpůsobený filtr.	
	2		Přizpůsobený filtr.

Navrhovaný předmět Teorie sdělování

týden	hodin	přednášky (P)	numerická cvičení (NC)
1-2	6	Základní pojmy teorie sdělování a přenosu dat. Sdělovací systémy, základní pojmy se zaměřením na digitální modulace. Klasifikace modulačních technik.	
	2		Přenosová a modulační rychlost. Signály a jejich spektra.
3-4	6	Diskrétní kódované modulace v základním pásmu. Šumové poměry. Formáty signálů pro reprezentaci digitálních dat. Intersymbolové interference (ISI) a jejich potlačování.	
	2		PCM, DPCM, DM.
5-6	6	Nyquistovo kritérium pro nulové ISI. Filtrace digitálních dat. Přizpůsobená filtrace a korelační kódování. Duobinární kódování. Diskrétní modulace s nosnými vlnami dvojstavové a vícestavové – klasifikace. Hlavní parametry modulovaných signálů.	
	2		Formáty dig. dat, vlastnosti v čase a ve spektru.
7-8	6	Geometrická reprezentace modulovaných signálů. Hlavní skupiny digitálních modulací. Modulace BFSK, BPSK, D-BPSK.	
	2		ASK, BFSK, DPSK.
9-10	6	Modulace MPSK, QPSK, D-QPSK, O-QPSK, p/4 – QPSK. Modulace CPM (CPFSK, MSK, GMSK). Modulace M-QAM.	
	2		Písemka (15 bodů). Klíčovací techniky I.
11-12	6	Modulační formáty s více nosnými vlnami MCM, ortogonální kmitočtový multiplex OFDM. Techniky obnovy referenční nosné vlny a časování symbolů u digitálních modulací.	
	2		Klíčovací techniky II.
13	3	Techniky zobrazování signálů diskretních modulací: vektorové a konstelační diagramy, diagram oka. Porovnání jednotlivých modulací.	

Příloha 2: SYLABY PŘEDMĚTŮ – laboratorní úlohy

Stávající předmět Teorie sdělování a přenosu dat

Úloha č. 1: Spektra modulovaných signálů.

(modulace AM, FM)

Úloha č. 2: Čtyřstavové fázové klíčování (QPSK).

(modulace a demodulace, měření chybovosti za přítomnosti šumu)

Úloha č. 3: Přizpůsobený filtr.

(měření na číslicovém souhlasném filtru, vliv komparační úrovně na chybovost).

Úloha č. 4: Kódování dat pro přenos.

(měření přenosových soustav využívajících formátů NRZ, RZ, Manchester, bipolární RZ a AMI).

Úloha č. 5: Datová komunikace pomocí modemu.

(AT příkazy, přenos textu mezi počítači, přenos ASCII a binárního souboru).

Navrhovaný předmět Teorie sdělování (silně jsou vyznačeny nové úlohy)

Úloha č. 1: Přenos dat v základním pásmu.

(úloha č. 4 z původní koncepce)

Úloha č. 2: Modulace PAM.

(modulace a demodulace, experimentální ověření vzorkovacího teorému)

Úloha č. 3: Čtyřstavové fázové klíčování (QPSK).

(úloha č. 2 z původní koncepce)

Úloha č. 4: Modulace BPSK.

(modulace a demodulace, experimentální ověření minimální šířky pásma)

Úloha č. 5: Datová komunikace pomocí modemu.

(úloha č. 5 z původní koncepce).

Zdůvodnění

- I. Klasické modulace AM a FM se budou vyučovat v předmětu SYPSI.
- II. Přizpůsobená filtrace je již začleněna do úlohy „Přenos dat v základním pásmu“.
- III. Namísto těchto dvou úloh jsou začleněny úlohy ověřující Nyquistův teorém a základy klíčovacích technik.

Koncepce přípravků

Přípravky pro úlohy č. 2 a 4 jsou koncipovány na bázi základních modulů, z nichž studenti budou sestavovat jednotlivé měřicí řetězce. V budoucnu budou vyvinuty další přípravky tak, aby se mohly modulárním způsobem měřit i úlohy č. 1 a 3.

Příloha 3: Přehled dosud vyvinutých a realizovaných modulárních přípravků

Přípravek č. 1: Zesilovač a posouvač úrovně.

Určeno pro úlohu „PAM“.

Elektrické parametry:

1 analogový vstup, úrovně -5V až $+5\text{V}$, kmitočet 0-100kHz, vstupní odpor $>1\text{M}\Omega$.

1 analogový výstup, výstupní úrovně -10V až $+10\text{V}$, výstupní odpor $<1\Omega$.

Vstupně-výstupní funkce: napěťový přenos regulovatelný jedním ovládacím prvkem od 0 do 5, stejnosměrný posuv výstupního signálu regulovatelný od -5V do $+5\text{V}$.

Přípravek č. 2: Modulátor PAM.

Určeno pro úlohu „PAM“.

Elektrické parametry:

1 analogový vstup, úrovně -5V až $+5\text{V}$, kmitočet 0-100kHz, vstupní odpor $>1\text{M}\Omega$.

1 řídicí vstup pro vzorkování, max. kmitočet 10MHz, úrovně TTL.

1 analogový výstup, výstupní úrovně -10V až $+10\text{V}$, výstupní odpor $<1\Omega$.

Vstupně-výstupní funkce: napěťový přenos 0 nebo 1 v závislosti na stavu řídicího vstupu.

Přípravek č. 3: Dolní propust s nastavitelným lomovým kmitočtem.

Určeno pro úlohy „PAM“ a BPSK.

Elektrické parametry:

1 analogový vstup, úrovně -5V až $+5\text{V}$, kmitočet 0-100kHz, vstupní odpor $>1\text{M}\Omega$.

1 analogový výstup, výstupní úrovně -10V až $+10\text{V}$, výstupní odpor $<1\Omega$.

Vstupně-výstupní funkce: dolní propust, kmitočtová charakteristika typu „Cauer“, 8. řád, zvlnění v propustném pásmu 1dB, útlum v nepropustném pásmu $> 40\text{dB}$, mezní kmitočet přepínatelný v hodnotách (0.5, 1, 5, 10) kHz.

Přípravek č. 4: Pásmová propust.

Určeno pro úlohu „BPSK“.

Elektrické parametry:

1 analogový vstup, úrovně -5V až $+5\text{V}$, kmitočet 0-100kHz, vstupní odpor $>1\text{M}\Omega$.

1 analogový výstup, výstupní úrovně -10V až $+10\text{V}$, výstupní odpor $<1\Omega$.

Vstupně-výstupní funkce: pásmová propust, kmitočtová charakteristika typu „Butterworth“, 6. řád, propustné pásmo od 9kHz do 11kHz při poklesu přenosu o 1dB, útlum $> 40\text{dB}$ pro kmitočty pod 5kHz a nad 20kHz.

Přípravek č. 5: Střídač.

Určeno pro úlohu „BPSK“.

Elektrické parametry:

1 analogový vstup, úrovně -5V až $+5\text{V}$, kmitočet 0-100kHz, vstupní odpor $>1\text{M}\Omega$.

1 řídicí vstup pro vzorkování, max. kmitočet 10MHz, úrovně TTL.

1 řídicí vstup pro vzorkování, max. kmitočet 10MHz, obecný časový průběh řídicího signálu.

1 analogový výstup, výstupní úrovně -10V až $+10\text{V}$, výstupní odpor $<1\Omega$.

Vstupně-výstupní funkce: napěťový přenos $+1$ nebo -1 v závislosti na stavu používaného řídicího vstupu.

Příloha 4: Laboratorní návody pro nové úlohy

PAM - Laboratorní cvičení č. 2

Příprava v pracovních sešitech musí obsahovat:

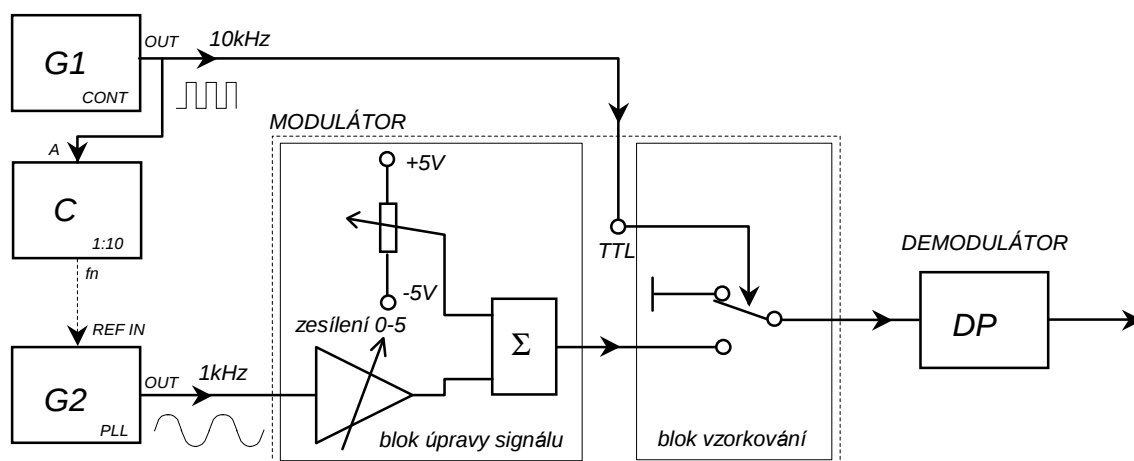
- Toto zadání.
- Náčrt amplitudového spektra signálu PAM pro obdélníkovou nosnou o kmitočtu 10kHz a střídě 1:1 a harmonický řídicí signál o kmitočtu 1kHz, hloubka modulační 0,5.
- Náčrt téhož pro případ a harmonického řídicího signálu o kmitočtu 15kHz.

Cíle měření:

Prakticky ověřit princip generování a demodulace signálu PAM (**P**ulse **A**mplitude **M**odulation - amplitudová impulsová modulace), ověřit mechanismus rozšíření spektra signálu efektem vzorkování, předběžně ukázat na problémy číslicového zpracování signálů spojené s aliasingem.

Zadání:

1. Pomocí dvou generátorů G1 a G2, čítače C a bloků úpravy signálu a vzorkování sestavte modulátor PAM (viz obr.).
2. Modulátor uveďte do chodu správným nastavením parametrů dílčích bloků.
3. Přímou k výstupu modulátoru PAM připojte demodulační dolní propust a ověřte funkci demodulátoru.
4. Ověřte vliv střídě obdélníkové nosné na funkci modulátoru a demodulátoru.
5. Body 2 a 3 zopakujte pro trojúhelníkový a obdélníkový modulační signál z generátoru G2.
6. Body 2 a 3 zopakujte pro harmonický modulační signál z generátoru G2, jehož kmitočet budete postupně zvyšovat až nad hranici 5kHz. Pozorované efekty vyhodnoťte v časové oblasti i ve spektru.



Pokyny k zadání:

Ad 1. G1 může být libovolný impulsní generátor poskytující kladné impulsy o výšce cca 5V, s nastavitelnou střídou, o kmitočtu 10kHz. G2 je funkční generátor TR-0465 umožňující režim fázového závěsu (PLL). Čítač C je typu BM641 v režimu děliče kmitočtu 1:10. „Blok úpravy signálu“, „blok vzorkování“ a „DP“ jsou modulární přípravky. Úkolem „bloku úpravy signálu“ je nastavení potřebné velikosti a stejnosměrného posunutí modulačního signálu z G2 (a tím nastavení hloubky modulace PAM). „Blok vzorkování“ spojuje svůj výstup střídavě se vstupem a zemí podle toho, zda signál připojený na pomocný vstup *TTL* má úroveň logické 1 nebo 0. „DP“ je dolní propust s přepínatelným mezním kmitočtem po skocích (0.5, 1, 5, 10)kHz.

Nejprve sestavte modulátor PAM podle obrázku. Signál z G1 přiveďte na vstup A čítače, výstup čítače (kmitočtově vydělené značky) vyveďte z jeho zadního panelu z konektoru *fn* a zapojte do konektoru *REF IN* generátoru G2 (řídící vstup v režimu PLL). Generátor G2 přepněte do režimu PLL (stlačte tlačítko *PLL* na předním panelu ve skupině *MODE*). Vyberte funkční tlačítko pro harmonický výstupní signál (vpravo nahoře). Daný signál vyveďte z konektoru *OUT* na vstup bloku úpravy signálu. Ověřte, že na panelu G2 nejsou zamáčklá tlačítka *SYM* ani *OFFSET*. Ovládací prvek *AMPLITUDE* vytočte do levé krajní polohy a rozsah napětí přepněte na 3V. Kmitočet na G2 navolte na 1kHz, na G1 10kHz.

Ad 2. Hlavní kanál osciloskopu připojte na generátor G1. Připojte ke zdrojům modulární přípravky a zapněte G1, G2 a C. Kmitočet napětí G1 nastavte na 10kHz, úroveň napětí asi na 5V. Čítač nastavte do režimu nT_A (dělení kmitočtu), dělicí poměr $n=10$ a hradlování ∞ (kruhový ovládací prvek do levého dorazu). Nyní z důvodů dokonalejší synchronizace zobrazení přepojte signál z G1 na vedlejší kanál osciloskopu a na hlavní kanál přiveďte signál z výstupu G2. Ovládacím prvkem *AMPLITUDE* na G2 nastavte amplitudu napětí asi na 1V. Přesvědčete se o tom, že na panelu G2 svítí kontrolka *LOCK*, že signál z G2 má 10x menší kmitočet než obdélníkové napětí z G1 a že ovládacím prvkem *PHASE* na panelu G2 lze nastavovat posunutí mezi oběma signály. Nyní odpojte z vedlejšího kanálu osciloskopu G1 a přiveďte sem napětí z výstupu bloku úpravy signálu. Vyzkoušejte si funkci ovládacích prvků pro řízení zesílení a posuv signálu. Nastavte stejnosměrnou úroveň na 2V a amplitudu střídavé složky na 1V.

Nakonec na vedlejší kanál osciloskopu připojte výstup bloku vzorkování. Zobrazí se signál PAM.

Ad 3. Signál PAM přiveďte přímo na demodulační dolní propust. Nalezněte a nastavte optimální velikost mezního kmitočtu DP. Porovnejte signál na výstupu DP s původním modulačním signálem z výstupu G2. Snažte se porozumět funkci demodulátoru.

Ad 4. Na panelu G1 zamáčkněte tlačítko *SYM ON*. Následně snížíme základní kmitočtový rozsah z 10kHz na 1kHz. Po této operaci by měl opakovací kmitočet zůstat na hodnotě 10kHz. Ovládacím prvkem *SYM* však nyní máme možnost řídit šířku generovaných impulsů.

Sledujte a vyhodnoťte vliv šířky impulsů na ostatní signály v celém řetězci, zejména na demodulovaný signál.

Ad 5. Zde se soustřeďte na optimální volbu mezního kmitočtu demodulačního filtru a na pochopení funkce pomocí spektra signálu PAM.

Ad 6. Chceme-li kmitočet napětí G2 měnit nezávisle na signálu z G1, musíme G2 přepnout z režimu *PLL* do režimu *CONT*. Ztratíme tím dosavadní výhodu zasynchronizovaného obrázku modulovaného signálu.

Mezní kmitočet demodulační dolní propusti nastavte na 5kHz. Na hlavní kanál osciloskopu přiveďte napětí z G2, na vedlejší kanál napětí z výstupu DP.

Začneme od kmitočtu 1kHz na generátoru G2. Pohrajte si s nastavením citlivosti a vertikálního posuvu vedlejšího kanálu osciloskopu tak, aby se obrazy obou signálů co nejvíce překrývaly (modulační a demodulovaný signál si odpovídají). Pak postupně zvyšujte kmitočet na G2. Pokuste se přijít na kloub záhadnému chování v blízkosti kmitočtu cca 5kHz a zejména v kmitočtovém rozsahu nad 5kHz, kdy kmitočty obou signálů si již neodpovídají.

Poznámka: V případě dostupnosti spektrálního analyzátoru zobrazujte a vyhodnocujte spektrum signálu PAM a demodulovaného signálu podle pokynů učitele.

Povinné výstupy v pracovních sešitech:

- *Použité přístroje, záznam o průběhu měření, náčrty, poznámky, dedukce a závěry.*
- *Časové průběhy signálů G1, G2 a na výstupech všech modulárních bloků pro body zadání 3 a 5.*
- *Zhodnocení výsledků podle zadání.*

BPSK - Laboratorní cvičení č. 4

Příprava v pracovních sešitech musí obsahovat:

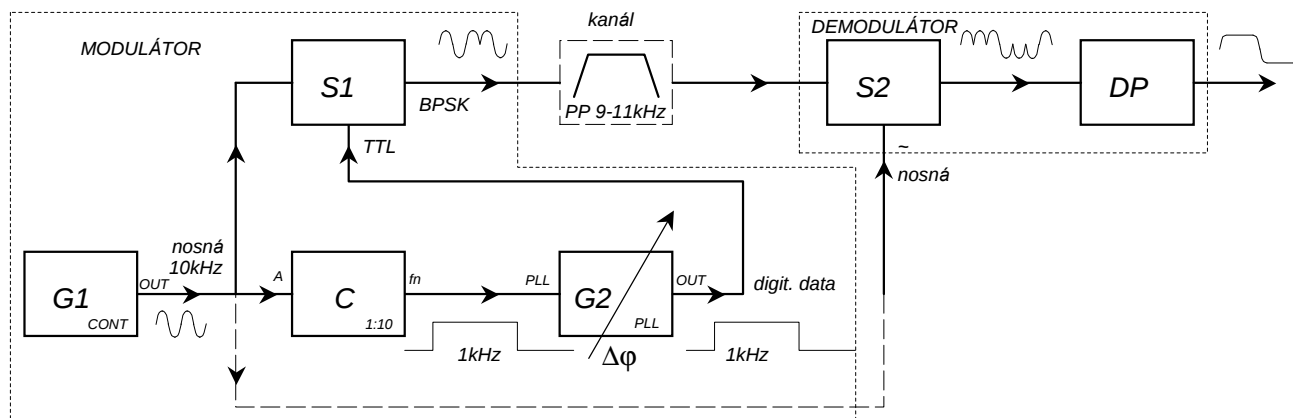
- Toto zadání.
- Náčrt amplitudového spektra signálu BPSK pro nosnou o kmitočtu 10kHz a periodický datový signál ..010101.. s délkou trvání signálového prvku 0,5 ms.

Cíle měření:

Prakticky ověřit princip generování signálu BPSK (**B**ipolar **P**hase **S**hift **K**eying - dvoustavové fázové klíčování) a jeho demodulace v podmínkách ideálního i kmitočtově omezeného sdělovacího kanálu.

Zadání:

1. Pomocí dvou generátorů G1 a G2, čítače C a střídače S1 sestavte modulátor BPSK (viz obr.).
2. Modulátor uveďte do chodu správným nastavením parametrů dílčích bloků.
3. Sestavte demodulátor BPSK pomocí dalšího střídače S2 a dolní propusti DP, připojte jej přímo na výstup modulátoru BPSK a ověřte jeho funkci.
4. Mezi modulátor a demodulátor vložte filtr simulující omezenou kmitočtovou charakteristiku přenosového kanálu. Studujte jeho vliv na procházející signál BPSK a na demodulační proces.



Pokyny k zadání:

- Ad 1. G1 může být libovolný generátor harmonického signálu 10kHz/cca 1V, G2 je funkční generátor TR-0465 umožňující režim fázového závěsu (PLL). Čítač C je typu BM641 v režimu děliče kmitočtu 1:10. Střídače S1, S2 a filtry „kanál“ a „DP“ jsou modulární přípravky. „Kanal“ je pásmová propust s propustným pásmem od 9kHz do 11kHz, „DP“ je dolní propust s přepínatelným mezním kmitočtem po skocích (0.5, 1, 5, 10)kHz.

Pomocí generátorů G1 a G2, čítače C a střídače S1 sestavte modulátor BPSK podle obrázku. Signál z G1 přiveďte na vstup A čítače, výstup čítače (kmitočtově vydělené značky) vyvedte z jeho **zadního panelu** z konektoru *fn* a zapojte do konektoru *REF*

IN generátoru G2 (řídící vstup v režimu PLL). Generátor G2 přepněte do režimu PLL (stlačte tlačítko *PLL* ve skupině *MODE* na předním panelu). Vyberte funkční tlačítko pro unipolární obdélníkový výstupní signál (vpravo nahoře). Daný signál vyved'te z konektoru *OUT* na vstup střídače S1 označený *TTL*. Ověřte, že na panelu G2 nejsou zamáčklá tlačítka *SYM ON* ani *OFFSET*. Ovládací prvek *AMPLITUDE* vytočte do levé krajní polohy a rozsah napětí přepněte na 30V. Kmitočet na G2 navolte na 1kHz, na G1 10kHz.

- Ad 2. Hlavní kanál osciloskopu připojte na generátor G1. Připojte ke zdrojům střídač S1 a zapněte G1, G2 a C. Amplitudu napětí G1 nastavte asi na 1V. Čítač nastavte do režimu nT_A (dělení kmitočtu), dělicí poměr $n=10$ a hradlování ∞ (kruhový ovládací prvek do levého dorazu). Nyní z důvodů dokonalejší synchronizace zobrazení přepojte signál z G1 na vedlejší kanál osciloskopu a na hlavní kanál přiveďte signál z výstupu G2. Ovládacím prvkem *AMPLITUDE* na G2 opatrně nastavte výšku impulsů asi na 5V. Přesvědčete se o tom, že na panelu G2 svítí kontrolka *LOCK*, že impulsy mají 10x menší kmitočet než harmonické napětí z G1 a že ovládacím prvkem *PHASE* na panelu G2 lze nastavovat posunutí mezi oběma signály.

Nakonec odpojte z vedlejšího kanálu osciloskopu G1 a přiveďte sem napětí z výstupu střídače. Ovládacím prvkem *PHASE* na panelu G2 nastavte okamžiky skokové změny fáze nosné tak, aby se kryly s okamžiky průchodu nosné nulovou úrovní.

- Ad 3. Signál BPSK přiveďte přímo na analogový vstup střídače S2. Na vstup střídače označený symbolem $\sim$ bychom měli přivést nosnou, obnovenou z přicházejícího signálu BPSK. Pro jednoduchost sem přiveďte původní nosnou z G1. Výstup střídače filtrujte dolní propustí DP. Zvolte optimální velikost mezního kmitočtu DP. Porovnejte signály na výstupu S2 a DP s původním datovým signálem z výstupu G2. Snažte se porozumět funkci demodulátoru.
- Ad 4. Mezi modulátor a demodulátor vložte pásmovou propust s pásmem propustnosti 9kHz-11kHz. Srovnáním spektra BPSK (viz příprava) s pásmem propustnosti PP vysvětlíte zkreslení signálu BPSK po průchodu kanálem. Jaký to má vliv na demodulační proces?

Poznámka: V případě dostupnosti spektrálního analyzátoru zobrazujte a vyhodnocujte spektrum signálu BPSK, výstupního signálu střídače S2 a demodulovaného signálu podle pokynů učitele.

Povinné výstupy v pracovních sešitech:

- Použité přístroje, záznam o průběhu měření, náčrty, poznámky, dedukce a závěry.
- Časové průběhy datového signálu, signálu BPSK, signálu na výstupu přenosového kanálu, signálu na výstupu střídače demodulátoru, a signálu na výstupu dolní propusti (pro datový signál ..010101.. s délkou trvání signálového prvku 0,5 ms).
- Zhodnocení výsledků podle zadání.

Příloha 5. Přehled ročníkových a diplomových prací souvisejících s řešeným projektem

student	typ projektu*)	název projektu
Josef Klepetko	RP1	Analogová násobička EL4083 pro analogové zpracování signálu
Michal Jindřich	RP1	Analýza v digitálních přenosových systémech.
David Petřík	RP1	Nové možnosti snižování přenosové rychlosti.
Miroslav Sedláček	RP1	Srovnání technologií xDSL a hlediska pro jejich využití.
Ladislav Stevanka	RP1	Přenos dat pomocí GSM modemů.
Zdeněk Mikeska	RP2	Komprimace přenosové rychlosti digitalizovaného signálu.
David Lempera	RP2	Aktivní filtry s proudovými násobičkami.
Karel Mokrý	DP	Přenosová média pro technologie xDSL
Jan Pospíšil	DP	Laboratorní modemová síť
Karel Černoch	DP	Analýza rušivých vlivů pro ADSL technologii

*) RP1 .. ročníkový projekt 1

RP2 .. ročníkový projekt 2

DP diplomová práce

Zdůvodnění hospodaření s prostředky Fondu rozvoje VŠ za rok 2002

Níže uvedená tabulka srovnává přidělené a čerpané prostředky.

Prostředky z Fondu rozvoje VŠ (údaje v tisících Kč)	přidělené	čerpané
Investiční:	80	80
Neinvestiční:	140	140
Celkem:	220	220
Z toho:		
a) mzdy	0	0
b) odměny řešitelům	12	12
c) ostatní osobní náklady	4	4
d) sociální a zdravotní pojištění	5	5
e) knihy, učební pomůcky	21	21
f) drobný hmotný a nehmotný majetek	0	0
g) materiál	40	39
h) služby	6	6
i) domácí cestovné	0	5
j) zahraniční cestovné	12	28
k) stipendia	20	20
l) ostatní	20	0

Zdůvodnění změn v čerpání položek nákladů oproti původnímu rozpočtu projektu:

Jediná větší změna spočívá v přerozdělení částek v položkách i), j) a l) (cestovné a ostatní). Částka 20 tisíc Kč v položce „Ostatní“ byla původně plánována na uhrazení vložného na zahraniční konferenci CSCC2002 na Krétě. Z technických důvodů bylo nakonec vložné uhrazeno školou a uvedená částka byla použita k částečné úhradě cestovného.

Vyčíslení nejvýznamnějších vkladů fakulty:

Generátor HP 331120A 2 ks (jeden s příspěvkem FRVŠ)	52.000 Kč
Počítač 4 ks	180.000 Kč
Upgrade MATLABu	85 000 Kč
Elektronické součástky a materiál	36.000 Kč
Knihy	21.000 Kč
Úhrada vložného a účasti na konferencích	21.000 Kč
FEKT celkem	395.000 Kč