

Trenažer pro digitální komunikaci EC-796

Michal Málek

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal MÁLEK**
Osobní číslo: **A10223**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Trenažer pro digitalní komunikaci EC-796**
Téma anglicky: **A Trainer for EC-796 Digital Communications**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte problematiku digitální komunikace.
2. Analyzujte přiloženou dokumentaci k danému zařízení.
3. Vyberte důležité pasáže z hlediska realizace úloh na digitální komunikaci.
4. Přeložte podklady a zpracujte příručku pro obsluhu a nastavování parametrů.
5. Vypracujte zadání úloh včetně instruktáže a stručného popisu souvisejícího technického principu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. KOCOUREK, Petr. Přenos informace. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1994. 241 s. ISBN 80-01-01169-0.
2. JIROUŠEK, Radim, et al. Principy digitální komunikace . Voznice : Leda, 2006. 309 s. ISBN 80-7335-084-X.
3. SÝKORA, Jan. Teorie digitální komunikace . Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 329 s. ISBN 8001024784.
4. IVÁNEK, Jiří, Radim JIROUŠEK, Petr MÁŠA, Jan TOUŠEK a Robert VANĚK. Principy digitální komunikace. In: [online]. Dostupné z: <http://www1.osu.cz/klimesc/public/files/KODSI,%20ZKAKR/Uvod%20do%20teorie%20kodovani%20a%20sifrova>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Skočík

Ústav elektroniky a měření

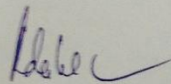
Datum zadání bakalářské práce:

6. února 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2015

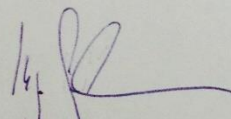
Ve Zlíně dne 6. února 2015



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



L.S.



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou komunikace, je zde nastíněna analogová komunikace, ale dále už jenom digitální komunikace, která je popsána podrobněji, jak z hlediska principu tak jejich modulací, kterých se využívá k jejich přenosu. Dále jsou v práci popsány přenosová média, která jsou použita u trenažeru EC – 769. Tento trenažer je hlavní složkou bakalářské práce jejíž cílem je seznámit se s trenažerem navrhnout laboratorní úlohy včetně výsledků měření a vypracovat stručný manuál k obsluze trenažeru pro digitální komunikaci EC – 796.

Klíčová slova: Digitální komunikace, modulace, trenažer EC - 796

ABSTRACT

This bachelor thesis is divided into theoretical and practical part. The theoretical part contains knowledge about digital communication such as their distribution, modulations and transmission media.

In the practice part there is main explanation about digital comunicater EC-796. There are also processed laboratory tasks, that are based on knowledge from theoretical part.

Keywords: Digital communication, modulation

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu za pevné nervy, pozitivní přístup a cenné rady, které jsem od něj dostával. Dále bych chtěl poděkovat rodině za to, že ve mě věřili a plně mě ve všem podporovali.

Motto:

Co tě nezabije, to tě posílí.

[Fridrich Nietzsche]

OBSAH

ÚVOD	9
I.TEORETICKÁ ČÁST	10
1 DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE	11
1.1 MEZISYMBOLOVÁ INTERFERENCE	11
2 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU	13
2.1 PRINCIP DIGITALIZACE	14
2.1.1 URČENÍ VZORKOVACÍ FREKVENCE	14
2.1.2 FOURIEROVA TRANSFORMACE.....	15
2.1.3 SHANNONOVA VZORKOVACÍ FREKVENCE.....	15
2.2 REKONSTRUKCE DIGITÁLNÍHO SYSTÉMU	15
3 MODULACE	16
3.1 POSTUPNÁ PERIODICITA	16
3.2 PAMĚŤ MODULACE	17
3.3 DIMENZACE DAT, MODULACE A KANÁLOVÁ DIMENZE MODULACE	17
3.4 LINEARITA	18
3.5 KÓDOVÁNÍ MODULACE	18
3.5.1 BLOKOVÉ KÓDY	19
3.5.2 MŘÍŽKOVÉ KÓDY	19
3.6 ORTOGONALITA MODULACE	20
3.7 ENERGIE SYMBOLU	20
3.8 IMPULSY	21
3.8.1 OBDELNÍKOVÝ IMPULS	21
3.9 LINEÁRNÍ MODULACE	22
3.9.1 PSK – PHASE SHIFT KEYING	22
3.9.2 ASK – AMPLITUDE SHIFT KEYING	23
3.9.3 QAM – QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION	23
3.10 NELINEÁRNÍ MODULACE	23
3.10.1 FSK – FREQUENCY SHIFT KEYING	23
3.11 FÁZOVÝ ZÁVĚS PLL	25
4 PŘENOSOVÁ MEDIA	26
4.1 KOAXIÁLNÍ KABEL	26
4.2 KROUCENÁ DVOJLINKA	26
4.3 OPTICKÁ VLÁKNA	27
4.4 RADIOVÉ SPOJENÍ	28
4.5 INFRAČERVENÉ SPOJENÍ	28
II.PRAKTICKÁ ČÁST	30
5 LABORATORNÍ CVIČENÍ	31

6	MODULACE A DEMODULACE V ASK.....	33
6.1	TEORIE	33
6.2	POUŽITÉ NÁSTROJE A VYBAVENÍ	33
6.3	NASTAVENÍ PARAMETRŮ	33
6.3.1	VYSÍLAČ.....	33
6.3.2	PŘIJÍMAČ	33
6.3.3	MODULÁTOR.....	34
6.3.4	DEMODULÁTOR.....	35
7	MODULACE A DEMODULACE V QPSK.....	36
7.1	TEORIE	36
7.2	POUŽITÉ NÁSTROJE A VYBAVENÍ	36
7.3	NASTAVENÍ PARAMETRŮ	36
7.3.1	VYSÍLAČ.....	36
7.3.2	PŘIJÍMAČ	36
7.3.3	MODULÁTOR.....	37
7.3.4	DEMODULÁTOR.....	39
8	MODULACE A DEMODULACE V QAM.....	42
8.1	TEORIE	42
8.2	POUŽITÉ PŘÍSTROJE A VYBAVENÍ	42
8.3	NASTAVENÍ PARAMETRŮ	42
8.3.1	VYSÍLAČ.....	42
8.3.2	PŘIJÍMAČ	42
8.3.3	MODULÁTOR.....	43
8.3.4	DEMODULÁTOR.....	44
9	PŘÍRUČKA PRO OBSLUHU TERMINÁLŮ	46
9.1	EMITTER – VYSÍLAČ	46
9.1.1	SPECIFIKACE VYSÍLAČE	49
9.2	RECEIVER – PŘIJÍMAČ	52
9.2.1	SPECIFIKACE PŘIJÍMAČE	54
10	ZÁVĚR.....	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

Jako téma mé bakalářské práce jsem si vybral trenažér pro digitální komunikaci EC-796, protože již od útlého věku jsem byl veden svými rodiči k zájmu o mikroelektroniku a od svých dvanácti let dobrovolně navštěvuji kroužek Radioamatérů. Všechny dovednosti a vědomosti získané těmito aktivitami jsem chtěl zúročit při psaní mé závěrečné práce.

Trenažér pro digitální komunikaci EC-796 je přístroj, který se používá pro simulaci AD převodu a následném převodu DA.

V teoretické části mé práce jsem popsal základní principy digitální komunikace, způsoby zpracování signálu a druhy přenosových médií pro přenos digitálního signálu mezi vysílačem a přijímačem. Dále jsem zde zmínil principy modulací, které byly použity při zpracování praktické části této práce.

V praktické části jsem navrhl laboratorní úlohy pro studenty FAI UTB a jejich správnost jsem si ověřil jejich proměřením. Podle jejich návrhu jsem naměřil výsledky, které jsem uvedl ke každé laboratorní úloze jednotlivě. Všechna měření jsem provedl v mikropočítačových laboratorních místnostech budovy FAI UTB s pomocí Trenažeru pro digitální komunikaci EC-796.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DIGITÁLNÍ KOMUNIKACE

Digitální komunikace nejsou přirozeně kontinuální, ale spíše představují informace, jako řadu jednotlivých napětí nebo běžné vlnění. Obojí se odlišuje v rozsahu amplitud, kde nejsou všechny hodnoty možné, pouze jejich omezené množství. Změna z jedné hodnoty na druhou je dělána po krocích. Na druhou stranu analogové signály mohou mít jakoukoliv hodnotu, která je mezi funkčním rozpětím a změna z jedné hodnoty na druhou může bez neočekávaných změn pokračovat ve svém průběhu.

Nejběžnější digitální signály jsou binární, což jsou signály, které mají pouze dvě hodnoty „1“ a „0“. Máme mnoho různých zařízení, která pracují na stejném principu, například: světlo (svítí, nesvítí), zvonek (zvoní, nezvoní), funguje u nich přepínač, který rozlišuje tyto 2 stavy.

Digitální obvody využívají integrované obvody, které pracují přepínáním tranzistorů mezi nasyceným stavem a uzavřeným stavem, bez nutnosti generování či detekování přesné hodnoty. Toto je důvod proč jsou digitální obvody levné a masově vyráběny. Digitální obvody jsou mnohem spolehlivější než jejich analogoví předchůdci.

V digitálních systémech jsou efekty jako hluk a interference značně redukovány, stejně tak digitální vlnění může reprodukovat sebe bez většího rizika nastání chyby. Analogové systémy to tak jednoduché nemají, nechtěný signál může znamenat, že je permanentně špatný.

Výhodou přenosu či uložení digitálního signálu oproti analogovému signálu je, že nemusí dojít ke zkreslení během přenosu (má možnost detekce a oprav chyb vzniklých při přenosu díky samo opravným kódům). Další výhodou je možnost vytvoření naprosto identických kopií. Přenos přes digitální kanály včetně internetu patří mezi hlavní přednosti digitálního signálu, s tím úzce souvisí i možnost zakódování obsahu pomocí šifrovacích algoritmů. [4][6]

1.1 Mezisymbolová interference

Je to forma zkreslení signálu, ve kterém jeden symbol interferuje s následujícími symboly. Je to nežádoucí jev, který má stejný efekt jako hluk, čímž dělá komunikaci méně spolehlivou. Obvykle je způsobena vícecestným šířením inherentní nelineární odezvy frekvence kanálu, která má za následek rozostření po sobě jdoucích symbolů. [1]

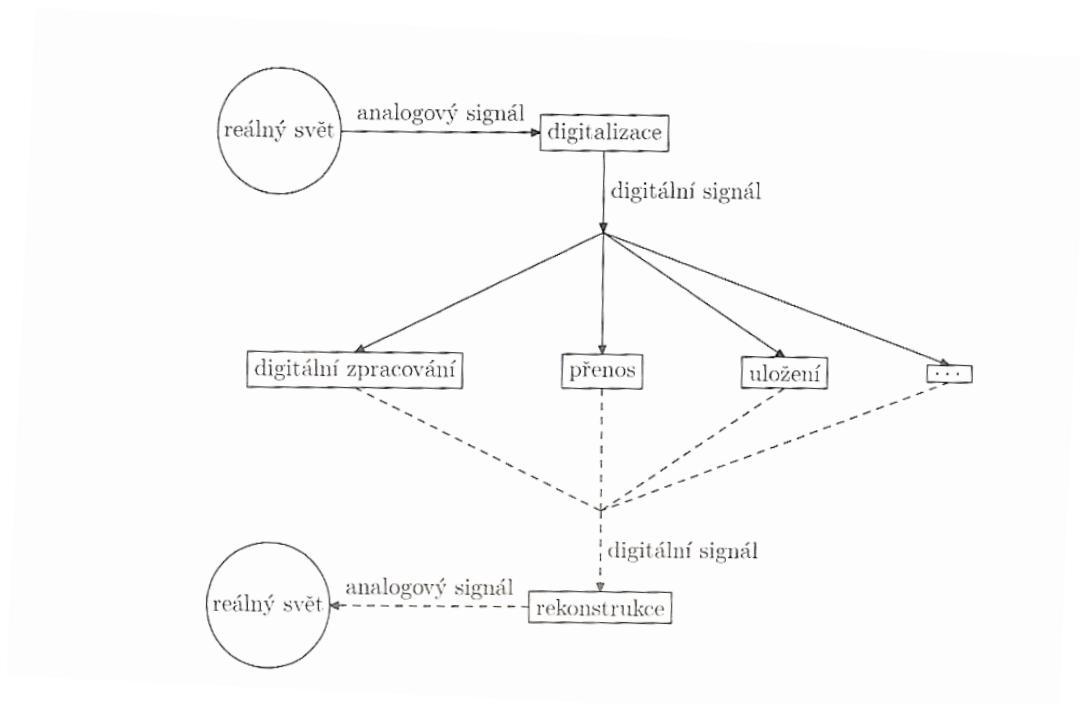
Přítomnost této interference v systému poukazuje na chybu zařízení na výstupu přijímače. Nicméně při sestavování přenosových a přijímacích filtrů je kladen důraz na minimalizaci interference, tak aby byla data doručena s co nejmenší ztrátovostí nebo chybovostí.

Možnosti používané při snížení těchto nežádoucích jevů jsou *adaptivní ekvalizér a detekce a oprava chyb*. [1]

2 ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU

Signály, ať už analogové či digitální jsou přítomny všude kolem nás. Z biologického hlediska se dá říct, že lidské ucho či oko je schopno vnímat analogové signály. Na druhou stranu digitální signály mohou být zpracovány pouze díky počítačům a jiným zařízením. Z toho důvodu jsme nuceni převádět analogový signál na digitální. Převod analogového signálu na digitální se nazývá digitalizace signálu. Opačný převod z digitálního signálu na analogový se nazývá rekonstrukce signálu. [6]

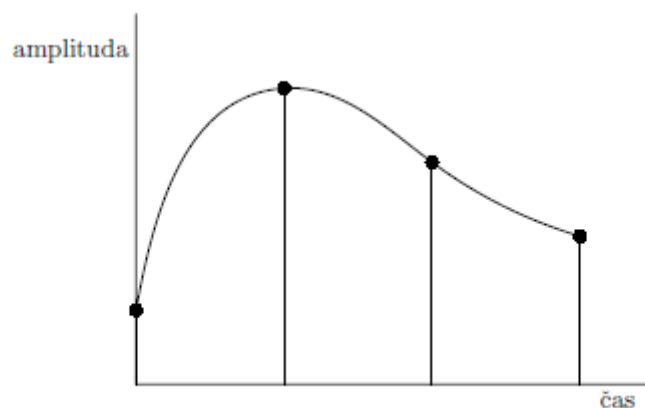
Při přenosu a zpracování digitálního signálu můžeme veškeré ztráty informace, ke kterým dochází při digitalizaci signálu, ovlivnit výběrem parametrů jednotlivých procesů. Proto jsou digitálně zpracované signály v mnohem lepší kvalitě než analogové. [3]



Obr. 1 Analogový a digitální signál [3]

2.1 Princip digitalizace

Digitalizace se definuje jako převod jehož vstupem je spojitá funkce (analogový signál) a výstupem je diskrétní funkce (digitální signál). Digitální signál obsahuje hodnoty z konečné abecedy (většinou jsou to čísla), která charakterizují průběh analogového signálu určeného pro digitální zpracování či přenos. [3]



Obr. 2 Převod signálu do digitální podoby [3]

Na uvedeném obrázku je graficky znázorněna digitalizace analogového signálu. Je zapotřebí určit význačné body, které pokryjí určitý časový interval a zjistíme v nich hodnoty. Počet těchto hodnot za sekundu se nazývá vzorkovací frekvence, je udávána v Hz. Čím vyšší je vzorkovací frekvence tím vyšší je kvalita rekonstrukce původního signálu. [3]

2.1.1 Určení vzorkovací frekvence

Signál obsahující speciální vlastnosti může mít vzorkovací frekvenci takovou, že je z něj možné plně rekonstruovat původní analogový signál. Navyšování jeho frekvence by bylo pak zbytečné. Určením frekvence se zabývá Shannonova vzorkovací věta, která vychází z principu Fourierovy transformace. V případě, že je zvolena nižší frekvence, než uvádí Shannonova věta, je zde možnost podvzorkování (aliasu). [2]

2.1.2 Fourierova transformace

Umožňuje převod jedné funkce (spojitého signálu) na jinou. Princip je, že máme funkci $f(t)$, která je složena z různých výšek s různou intenzitou. Každý tón je zobrazen jako sinusová nebo kosinusová křivka s danou amplitudou a frekvencí. Při převodu na Fourierův obraz rozepisujeme původní funkci $f(t)$ jako součet sinusových a kosinusových křivek s odlišnými frekvencemi (odpovídají výšce tónů) a amplitudami (odpovídají intenzitě tónů). Tento součet může být nekonečný. Dále pak vytvoříme funkci $f(\omega)$, která jednotlivým frekvencím ω sinusových a kosinusových křivek přiřadí jejich amplitudy. Funkce $f(\omega)$ se ve výsledku nazývá Fourierův obraz funkce $f(t)$. Převod původní funkce $f(t)$ na Fourierův obraz $f(\omega)$ se nazývá Fourierova transformace funkce $f(t)$. [2]

2.1.3 Shannonova vzorkovací frekvence

Tato věta říká, že pokud máme vstupní signál, který je frekvenčně omezenou funkcí, lze pro něj nalézt hodnotu vzorkovací frekvence, ze které již lze původní signál plně rekonstruovat. Další zvyšování vzorkovací frekvence nemá smysl. [2]

2.2 Rekonstrukce digitálního systému

Rekonstrukce signálu znamená převod z digitální podoby zpět do analogové tak, aby mohl být vnímán lidskými smysly (sluchem či zrakem). Používá se k tomu tzv. rekonstrukční filtr. Jednotlivé vzorky digitálního signálu jsou značena $J(m_k)$. Rekonstrukce signálu v bodě x je dána konvolučním vztahem. [3]

$$f(x) = \sum_{k=1}^N J(m_k) * \theta(x - m_k) \quad (1)$$

Funkce θ určuje, jak daleko budou mít hodnoty vzorku v čase vliv na rekonstruovaný signál. Jednotlivé hodnoty rekonstruovaného signálu mohou být tím pádem ovlivňovány všemi hodnotami digitalizovaného signálu $J(m_1), \dots, J(m_n)$. Normálně se filtr θ volí tak, že v daném bodě ovlivňují hodnotu rekonstruovaného signálu nejbližší hodnoty digitálního signálu, nebo předem daný omezený počet digitálních hodnot. [3]

3 MODULACE

Je zobrazení datové zprávy reprezentované vektorem diskrétních datových symbolů do množiny modulovaných signálů ve spojitém čase. [2][3]

$$\{\vec{d}\} \mapsto \{s(t)\} \quad (2)$$

Zařízení využívající tento druh zobrazení je *digitální modulátor*. U digitálních modulací získávají datové symboly diskrétní hodnoty a zároveň jsou i diskrétní v čase. Vektor těchto symbolů $\vec{d} = [\dots, d_n, \dots]^T$. Každý datový symbol má přiřazenou datovou hodnotu z množiny datových symbolů $d_n \in \{d^i\}_{i=1}^{m_d}$. M_d mohutnost je počet prvků množiny dat. Indexování datových symbolů je na intervalu $n = -\infty, \dots, +\infty$. [2][3]

$$\vec{d} = [\dots, d_n, \dots]^T \xrightarrow{\text{Digitální modulátor}} s(t) \quad (3)$$

3.1 Postupná periodičita

Jedná se o příchod datových symbolů na vstup digitálního modulátoru. Příkladem může být digitalizace dat zvukových nebo obrazových signálů. Je důležité, abychom se k datům chovali, jakoby přicházela periodicky a postupně. Perioda příchodu datových signálů se nazývá *symbolová perioda* (T_s). Počet symbolů za sekundu je potom symbolová rychlost. B_d (Baud) je jednotkou symbolové rychlosti. [2][3]

$$r_s = \frac{1}{T_s} [Bd] \quad (4)$$

Z postupnosti a periodicity vyplývá, že modulátor si zpracovává příchozí data sám postupně a periodicky. Z toho plyne, že matematický zápis modulovaného signálu se bude skládat z řady dílčích periodicky generovaných příspěvků. Jednotlivé příspěvky jsou indikací příchodu dalšího datového symbolu do modulátoru. Jejich sloučení z matematického hlediska se provádí součtem. [2][3]

3.2 Paměť modulace

O paměti modulace můžeme říct, že nemá paměť v momentě, kdy modulátor má pouze jeden stav $M_\sigma = 1$ a *modulační funkce nyquistovská pro reálné signály*. V případě, že $M_\sigma > 1$ nebo nejsou splněny *nyquistovi podmínky*, lze ji považovat za modulaci s pamětí.

Může vzniknout dvěma způsoby. První způsob je na úrovni diskrétního zpracování datových symbolů, kdy před tím než modulátor vybere odezvu ve spojitém čase, která je pak poslána na výstup a je ovlivněna historií dat na vstupu. Druhý způsob se odvíjí od vlastního tvaru časového průběhu odezvy jednotlivých příspěvků modulátoru.[4][6]

3.3 Dimenzace dat, modulace a kanálová dimenze modulace

Podle N_d (dimenze datových souborů) rozlišujeme modulace se skalárními nebo vektorovými datovými symboly. U vektorových datových symbolů je používán pojem *bloková data*, která slouží k popsání bloku za sebou jdoucích datových symbolů. Rozdělení podle dimenze dat se, ale ve většině případů nijak neprojevuje na názvu modulace. To znamená, že stejná modulace může být stejně popsána jak pro skalární tak vektorová data. Modulační funkce generující prostor:[1][4]

$$\{\mathbf{h}(\mathbf{q}_n^{(i)}, t - nT_s)\}_i \quad (5)$$

$$N_{\{\mathbf{h}\}} = \dim(\{\mathbf{h}\}) = \dim\left(\{\mathbf{h}(\mathbf{q}_n^{(i)}, t - nT_s)\}_i\right) \quad (6)$$

$N_{\{\mathbf{h}\}}$ (dimenze modulace). Podle hodnoty $N_{\{\mathbf{h}\}}$ mluvíme o jednodimenzionální nebo multidimenzionální modulaci.[1][4]

$$N_{q,min} = N_{\mathbf{h}} \quad (7)$$

Z výše uvedeného vzorce je patrné, že $N_{q,min}$ (minimální dimenze kanálových symbolů) potřebných k vyjádření modulovaného signálu musí být stejná jako dimenze modulace.

Rozlišujeme modulace jednokanálové (skalární) a multikanálové (vektorové). [1] [4]

3.4 Linearita

Modulaci můžeme nazvat lineární v případě, že je vztah mezi $s(t)$ (modulovaným signálem) a vstupními daty:

$$s(t) = A_s \sum_n q_n^T h(t - nT_s), \quad q_n = B_d d_n + B_\sigma \sigma_n \quad (8)$$

$$\sigma_{n+1} = C_d d_n + C_\sigma \sigma_n \quad (9)$$

B_d , B_σ , C_d , C_σ jsou matice.

Po dosazení rekurzivních vztahů vznikne výraz:

$$q_n = B_d d_n + B_\sigma \sum_{i=1}^{\infty} C_\sigma^{i-1} C_d d_{n-i} \quad (10)$$

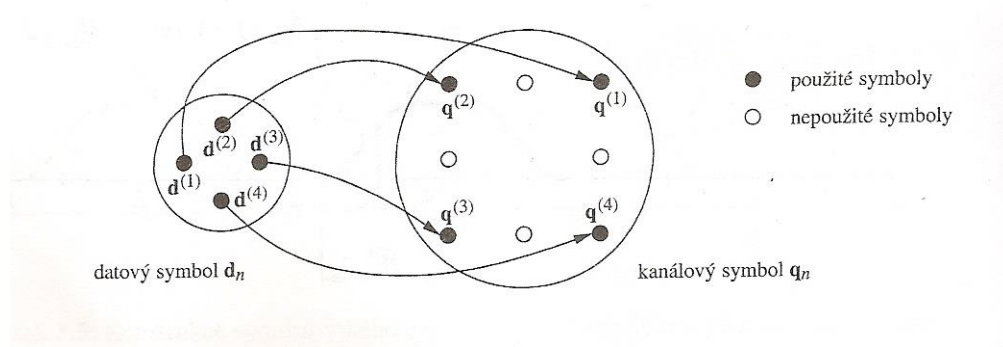
Z výše uvedeného vzorce pak plyne, že modulovaný signál je kombinací datových symbolů. [3]

3.5 Kódování modulace

U tohoto druhu modulace, pracujeme s určitými vlastnostmi modulace jako jsou ve většině případů *spektrální výkonová hustota* a *odolnost proti chybám při detekci* za pomoci vhodné volby diskrétní části modulátoru. Tato část modulátoru se nazývá kodér. [3]

3.5.1 Blokové kódy

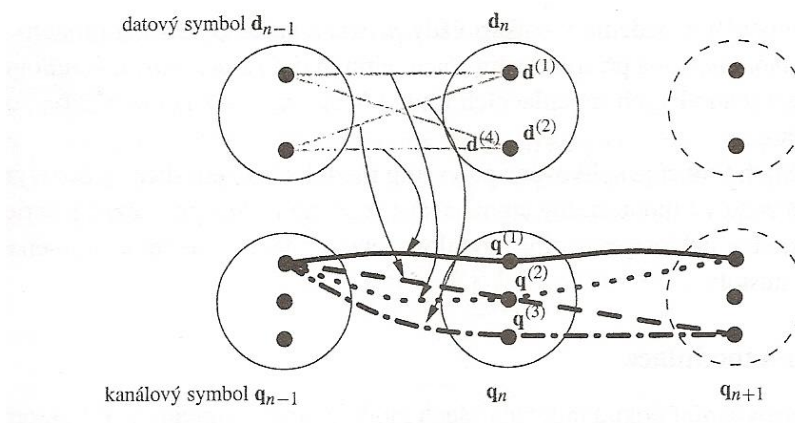
Tady se jedná o zobrazení kanálových symbolů z datových symbolů v rámci bloku bez návaznosti na ostatní bloky. [3]



Obr. 3 Redundance u blokových kódů [3]

3.5.2 Mřížkové kódy

Oproti blokovým kódům dosahuje redundance jiným způsobem. Množiny kanálových signálů jsou totžné $M_q = M'^{N_q}$. Redundance je tedy zajištěna tak, že některé sekvence kanálových symbolů jsou použity na sekci dat. Samozřejmě díky tomu jsou některé sekvence nepoužité. Pro dosažení redundance je nezbytné, aby $M_d < M_q$. Díky tomu bude počet kanálových sekvencí větší, než počet datových zpráv. [3]



Obr. 4 Redundance u mřížkových kódů [3]

3.6 Ortogonalita modulace

Modulaci nazveme ortogonální pokud množina všech modulovaných signálů $\{s(\overline{d^{(i)}})\}_i$ odpovídajících všem možným datovým zprávám tvoří ortogonální systém. [3]

$$\int_{-\infty}^{\infty} s(\overline{d^{(i)}}) * s(\overline{d^{(i')}}) dt = 0, \text{ pro } i \neq i' \quad (11)$$

O modulaci ortogonální vůči reálným signálům mluvíme tehdy, pokud je splněna podmínka, která odpovídá ortogonalitě reálných signálů na nosném kmitočtu. [3]

3.7 Energie symbolu

Je definována jako střední energie symbolu $\bar{\varepsilon}_s$ vztažena na jeden symbol modulovaného reálného signálu nesoucího velmi dlouhou zprávu o L datových symbolech.

$$\bar{\varepsilon}_s = \frac{1}{2} \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} E \left[\int_{-\infty}^{\infty} |s_L(t)|^2 dt \right] \quad (12)$$

Kde

$$s_L(t) = A_s \sum_{n=n_0}^{n_0+L-1} h(d_n, \sigma_n, t - nT_s) \quad (13)$$

$s_L(t)$ je modulovaný signál, který nese L symbolů. Konstanta n_0 není podstatná a její hodnotu volíme tak, aby byl jednoduchý.

$$\varepsilon_s(d_n, \sigma_n) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |A_s h(d_n, \sigma_n, t)|^2 dt \quad (14)$$

Výše uvedený vztah slouží pro energii symbolu. Používá se k popisu energie reálného modulačního signálu, který odpovídá danému stavu modulátoru a datovému symbolu. [3]

3.8 Impulsy

Se dají charakterizovat jako funkce času s konečnou energií z určité částečně omezené množiny. Pak zastávají impulsy funkce jako modulační impulsy nebo impuls řídicí průběh nějaké veličiny. U modulačních impulsů jsou zvoleny *multiplikatívni konstanty*, aby impuls obsahoval *jednotkovou energii*. [1]

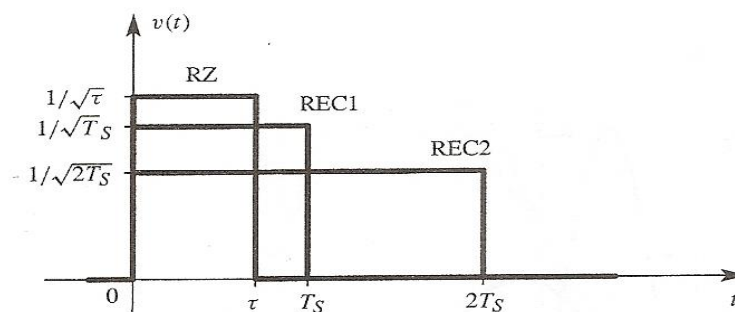
3.8.1 Obdélníkový impuls

Z matematického hlediska se jedná o nejjednodušší impuls. Můžeme ho použít u modulačních impulsů i u impulsů řídicích veličin. U modulačního impulsu je impuls normován na jednotkovou energii. V případě jiného využití je většinou normován na plochu, většinou $\frac{1}{2}$ nebo 1. [1]

$$v(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau}} (\mathcal{U}(t) - \mathcal{U}(t - \tau)) \quad (15)$$

Ve výše uvedené rovnici je τ (délka impulsu). Při normování na plochu je definice upravena o $\frac{1}{2}$.

$$v'(t) = \frac{1}{2\tau} (\mathcal{U}(t) - \mathcal{U}(t - \tau)) \quad (16)$$



Obr. 5 Obdélníkový impuls s normovanou energií [1]

3.9 Lineární modulace

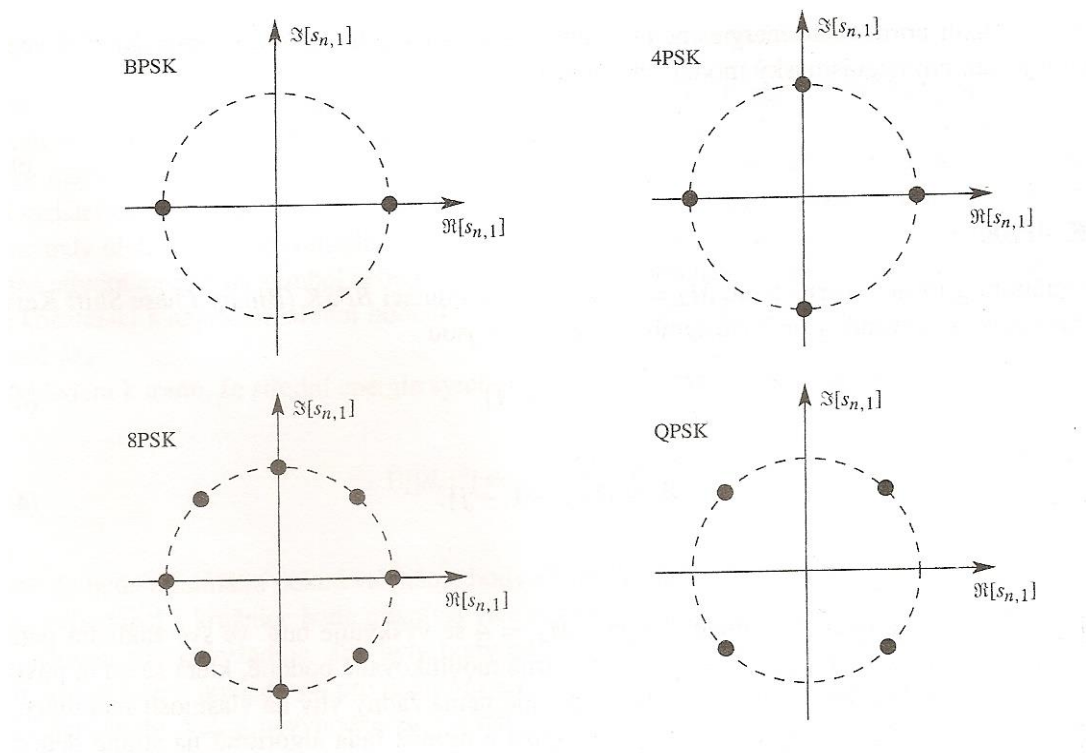
3.9.1 PSK – Phase Shift Keying

Neboli fázové klíčování je jednou z nejběžnějších modulací. Většinou s používám s přídatkem M (MPSK), kde M zastupuje počet datových symbolů. Pak vznikají 4PSK, 8PSK apod.. Ovládanou veličinou je v této modulaci fáze bodu. Průběh fáze je závislý na tvaru modulačního impulsu.

Pro řešení s vektorovými daty se původní 4PSK musí rozdělit na 2x2PSK, kde množina kanálových symbolů: [3]

$$\mathbf{d}_n = [d_{n,1}, d_{n,2}]^T \quad (17)$$

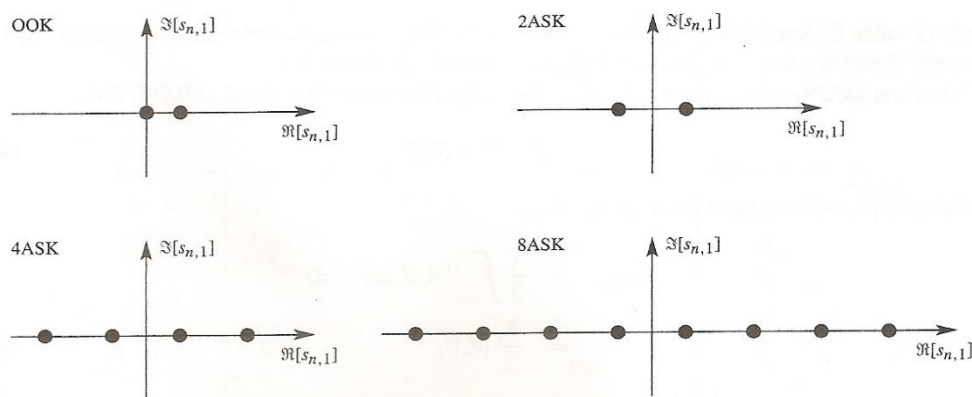
$$d_{n,1}, d_{n,2} \in \{-1, 1\} \quad (18)$$



Obr. 6 Konstelace modulací PSK [3]

3.9.2 ASK – Amplitude Shift Keying

Neboli amplitudové klíčování je další bezpaměťovou modulací u níž je ovládanou veličinou *velikost vektorového bodu*. Pro tuto modulaci se můžeme setkat i s pojmenováním PAM (Pulse Amplitude Modulation). Obdobně jako u PSK i tady se využívá M (počet datových symbolů, pak tedy vzniknou modulace s označením 4ASK, 8ASK apod.. Nicméně množiny kanálových symbolů. Nicméně množiny kanálových symbolů musí být tvořeny *ryze reálnými různě velkými čísly*. [2]



Obr. 7 Konstelace modulací ASK [2]

3.9.3 QAM – Quadrature Amplitude Modulation

Jinými slovy APK modulace je kombinací amplitudové a fázové modulace. Nosná frekvence a poměr užitečného výkonu a výkonu šumu určuje kapacitu kanálu. Na obrázku níže je zobrazeno blokové schéma modulátoru signálu.

Poměr výkonu užitečného a výkonu šumu je velmi důležitý. Pokud snížíme amplitudu signálu sníží se hodnoty poměrů. Bezchybná modulace má poměr užitečného výkonu a výkonu šumu 1 : 2. Tato modulace se používá pro zvýšení rychlosti datového přenosu [3]

3.10 Nelineární modulace

3.10.1 FSK – Frequency Shift Keying

Neboli frekvenční klíčování je modulace u níž je ovládanou veličinou frekvence signálu. Jediný parametr, který lze měnit je fáze signálu. Tato modulace je definována vztahem: [3]

$$s(t) = A_s \sum_n \exp\left(j\left(2\pi d_n \frac{\Delta f}{2}(t - nT_s) + \varphi(d_n)\right)\right) v_{rec1}(t - nT_s) \quad (19)$$

$$v_{rec1}(t) = \frac{1}{\sqrt{T_s}} (\mathcal{U}(t) - \mathcal{U}(t - T_s)) \quad (20)$$

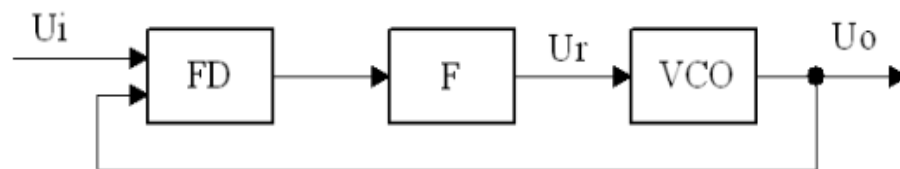
Množina datových symbolů:

$$d_n \in \{\pm 1, \pm 3, \dots, \pm(M_d - 1)\} \quad (21)$$

3.11 Fázový záměr PLL

Jedná se o systém složený z oscilátoru (VCO – napětím kontrovaný oscilátor) a fázového detektoru (FD). Umožňuje generovat výstupní signál se stejnou frekvencí a fází jako je vstupní signál, ale umožňuje vytvářet i frekvenci, která je určitým násobkem vstupní frekvence. Umožňuje odstranění šumu z komunikačního kanálu a zároveň vytváří stabilní frekvence.

Využití fázového záměru je především v telekomunikačních systémech, radiotechnice, počítačích a dalších výpočetních zařízeních. [3]



Obr. 8 Schéma fázového záměru [3]

4 PŘENOSOVÁ MEDIA

Jsou chápána jako spojení mezi vysílačem a přijímačem. Vybavení které se používá má 5 přenosových kanálů a to jsou: koaxiální kabel, dvojlinka, optické vlákno, infračervené záření a radiové záření.

4.1 Koaxiální kabel

Jedná se o přenos elektrické komunikace pomocí kabelu. Je to nejstarší cesta jak převádět analogový signál telefonem či telegrafem.

Dvojlinka je tvořena dvěma paralelními vodivými dráty. Jeho největší výhodou je pořizovací cena. Jednou z nevýhod je jeho citlivost vůči elektromagnetickému rušení (elektrická a magnetická pole). Magnetické rušení může být sníženo v případě, že smyčka tvořená dvěma kabely je malá, zajišťuje zde malý prostor mezi nimi. Udržení vodičů dohromady snižuje elektrické rušení. Další nevýhodou tohoto kanálu je podpora malé šířky pásma a udržování ohmické kontinuity mezi vysílačem a přijímačem, který může způsobit problémy, protože oba tyto systémy jsou nezávislé.



Obr. 9 Jednotlivé vrstvy koaxiálního kabelu [7]

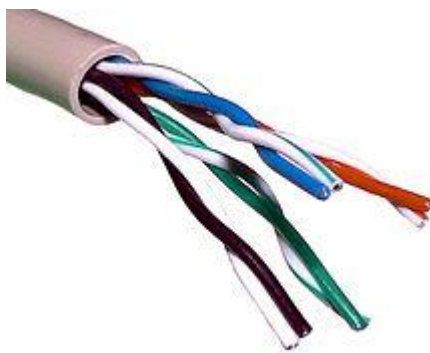
4.2 Kroucená dvojlinka

Na rozdíl od symetrické dvojlinky, které jsou v zásadě používány v systémech s malou přenosovou kapacitou, koaxiální kabel je používán v systémech vyžadujících větší kapacitu (větší počet kanálů pro přenos),

Koaxiální kabel se skládá ze dvou soustředěných vodičů oddělených izolačním materiálem. Vnitřní vodič nese informaci a vnější je obvykle připojen do referenčního napětí obvodu a formuje elektrostatickou clonu kolem vnitřního vodiče. Koaxiální kabel je mnohem

odolnější proti elektrickému rušení z důvodů clonění, ale je citlivý na magnetické rušení, ačkoli toto je sníženo vzdáleností obou vodičů.

Parazitní schopnost je mnohem větší než u dvojlinky kvůli kondenzátoru umístěném mezi vnitřním a vnějším vodičem, který je v rozpětí 50 až 100pF/m, v závislosti na rozměrech a vzdálenosti mezi vodiči. Stejně jako u dvojlinky, je udržena ohmická kontinuita mezi vysílačem a přijímačem.



Obr. 10 Kroucená dvojlinka [8]

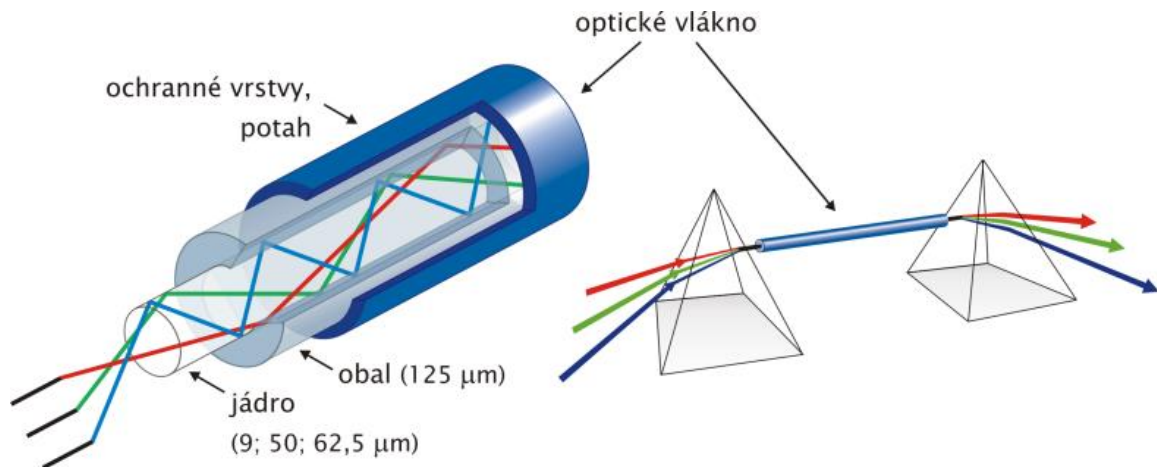
4.3 Optická vlákna

Přenos elektro-optické komunikace pomocí optického vlákna má hodně technických a ekonomických výhod.

Optické vlákno je vyrobeno nejčastěji z plastu nebo jiného cenově dostupného polymerního materiálu.

Výhody optických vláken

- Nízká ztrátovost přenášených dat
- Veliký vlnový rozsah
- Malá velikost
- Nízká cena
- Odolné vůči teplotním změnám



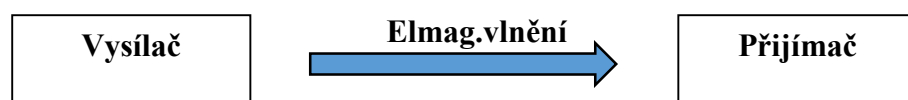
Obr. 11 Optické vlákno [9]

4.4 Radiové spojení

Toto je nejběžnější metoda používaná pro komunikaci a komerční využití v dnešní době. Využívá elektromagnetické vlnění k přenosu dat.

Přístroj může přenášet až 27 MHz, v amplitudové modulaci. Tento způsob stejně jako infračervené spojení má za následek znehodnocení přenášených informací. Jelikož nepotřebuje žádné fyzické spojení. Je obecně levné a využívá se na delší vzdálenosti.

Je náchylné na elektromagnetické vlnění, které je způsobeno zařízeními nebo dokonce vysílačem používajícím podobné vysílací pásmo.

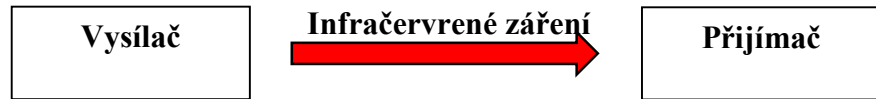


Obr. 12 Radiový přenos

4.5 Infračervené spojení

Na rozdíl od optického vlákna, které je emisí záření vedeného uvnitř vlákna, infračervené záření je ve volném prostoru. Toto produkuje velké zeslabení mezi vysílačem a přijímačem. Kvůli zeslabení, které toto zeslabení vykazuje je účinné pouze na krátkou vzdálenost a navíc je relativně levné a praktické. Mezi vysílačem a přijímačem nesmí být žádná překážka, jelikož infračervené záření nedokáže procházet všemi druhy prostředí.

Není náchylné k elektromagnetickému vlnění, ani k ohmické kontinuitě mezi vysílačem a přijímačem. Nicméně kvůli mnoha variacím infračerveného světla v atmosféře může nastat interference či šum.



Obr. 13 Infračervený přenos

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 LABORATORNÍ CVIČENÍ

Jedná se o soubor praktických cvičení pro komunikační soupravu EC – 796

Souprava zahrnuje od základní koncepce vzorkování a kvantování analogových signálů pro následný digitální přenos až po všechny základní modulace a demodulace, u nichž může také dojít ke znehodnocujícímu vlivu kanálu vlivem útlumu šumu nebo rušení. Cvičení pokrývají alternativní formy vizualizace specifické pro digitální komunikace, jako jsou „eye“ diagramy a konstelační diagramy.

Použití audio subsystémů (mikrofon, sluchátka) je uvedeno již od zahajovacích cvičení, takže každý student může během hodin experimentovat nasloucháním různým typům signálů, ať už hlasovým nebo generovaným pomocí FG a pak přenesených digitálně (dokonce lze provádět i audio-metrické testy).

Praktické úlohy jsou navrženy tak, aby bylo možné využít vybavení běžných laboratoří elektroniky. Dále se předpokládalo, že použité osciloskopy budou analogové. Pokročilejší osciloskopy se nevyžadují, ačkoli pokud jsou k dispozici digitální typy, umožní v některých případech vizualizaci. Tam, kde je v některých úlohách řečeno, že se má vypnout FG v zájmu zlepšení synchronizace osciloskopu, lze v případě použití digitálního osciloskopu pouze stisknout tlačítko stop. Navíc v novějších laboratořích se spektrálními analyzátory, lze časově závislým vizualizacím přidat odpovídající kmitočty.

Pořadí úloh bylo zvoleno s ohledem na uživatele, kteří nejsou s danou problematikou obeznámeni, takže by měli pořadí striktně dodržovat. Znalosti poskytované jednotlivými úlohami se opírají o znalosti získané z manuálu a teoretické části.

Úlohy jsou koordinovány doprovodným textem, ačkoli bylo úmyslem poskytnout studentovi i určitou nezávislost jako příležitost využití znalostí získaných v předchozích cvičeních.

Mějte na paměti, že existuje široká škála obvodů pro realizaci různých typů modulací, z nichž bylo vybráno několik pro koncepci komunikační soupravy. V některých případech, s ohledem na výukovou povahu soupravy, nebylo použito složitých obvodových struktur, ale byly vybrány úlohy s menší náročností a jednodušší na pochopení principu. Všechny obvody jsou založeny na běžných zapojeních bez použití mikroprocesorů (program by informaci ukryl bez možnosti zobrazení na osciloskopu) nebo signálových procesorů, které jsou nicméně běžné v profesionálních zapojeních. Je tedy výhodou studenta samotného, pokud jej umí programovat.

Při realizaci úloh je doporučeno použití kompenzovaných sond 1:10, aby se vyhnulo nepřesným výsledkům, zbytečným chybám a zpožděním.

Při infračerveném přenosu fázových modulací mohou nastat kritické podmínky pro komunikaci vlivem několika faktorů, mezi něž lze počítat omezení šířky pásma infračerveného LED vysílače a přijímače.

6 MODULACE A DEMODULACE V ASK

V této úloze budeme pracovat s nejjednoduššími druhy modulací a demodulací ASK. Budeme zobrazovat vlnění modulací a naměřené hodnoty.

6.1 Teorie

- Digitální modulace a přenos ASK (teoretická část, manuál oddíl 3.1)
- Demodulace (oddíl 6.1 ASK)

6.2 Použité nástroje a vybavení

- Dvojlinka
- Koaxiální kabel
- 2 x sonda
- Funkční generátor
- Osciloskop

Propojíme oba moduly pomocí dvojlinky a zapneme.

6.3 Nastavení parametrů

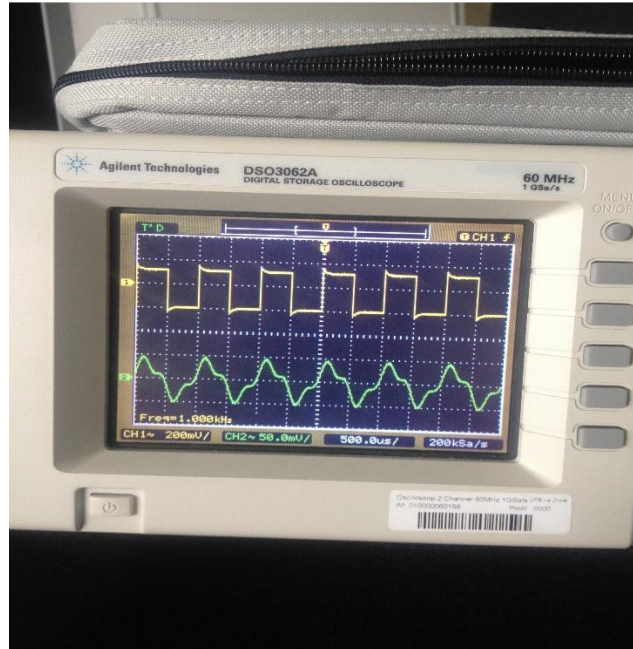
6.3.1 Vysílač

- Vstup signálu: sig.
- Vyhlažovací filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: ASK
- Simulátor kanálu: přímý
- Výstup: dvojlinka

6.3.2 Přijímač

- Vstup: dvojlinka
- Demodulace: ASK
- Rekonstrukční filtr: ON, expandér: OFF
- Výstup: sig.

Na generátoru nastavte $2V_{pp}$ a 1kHz. Následně pozorujte přenášený signál za pomoci osciloskopu jehož sonda vedoucí z kanálu 1 je připojena na TPE1 a sonda vedoucí z kanálu 2 na TPR41.

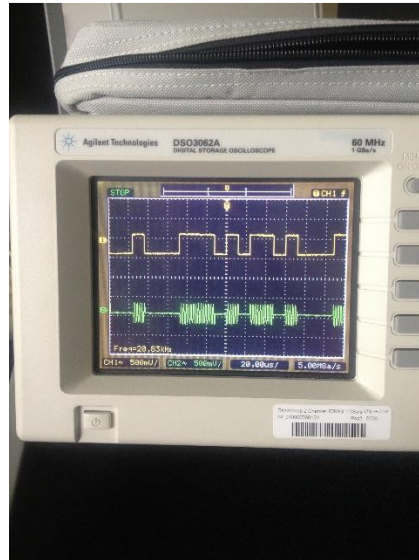


Obr. 14 Signál na TPE1 a TPR41

6.3.3 Modulátor

Po ověření funkčnosti jsme připojili sondu kanál 1 na TPE4 a kanál 2 na TPE24 (oba jsou na vysílači). Na osciloskopu uvidíme modulovaný signál na TPE4 a ASK modulovaný signál na TPE24. Můžeme si všimnout, že při 1 nastane u TPE24 kmitání, přičemž pro 0 se nic neděje. Dále změřte frekvenci v bodě TPE7.

$$\text{Frekvence v TPE7} = 396,8\text{kHz}$$



Obr. 15 Modulační signál na
TPE1 a TPR41

6.3.4 Demodulátor

Připojte generátor na vstup TTL a na vysíláči nastavte TTL vstup a pásmo vysílání BB. Tímto způsobem jsou generované TTL pulsy přímo do přijímače (je to stejné, jakoby byl generátor napojený přímo na přijímač). Výstup dolní propusti, který zlepšuje ASK je na TPR3. Změnou frekvence generátoru najdete rezonanční frekvenci filtru (maximální amplitudu). Od tohoto bodu zvyšuj a snižuj frekvenci za účelem nalezení šířky pásma 3dB. Výsledky zapište.

Spodní cut-off frekvence	352kHz
Horní cut-off frekvence	420kHz
Filtr šířky pásma	68kHz

Tab. 1 Rezonanční kmitočty

7 MODULACE A DEMODULACE V QPSK

Jedná se o čtyřfázovou modulaci a demodulaci. Je zde kladen důraz na generování dabitů a následném získání primárních bitů

7.1 Teorie

- Digitální komunikace na kontinuálním nositeli (manuál 3.5 QPSK, teoretická část)
- Demodulace (manuál 6.7 QPSK)

7.2 Použité nástroje a vybavení

- Dvojlinka
- Koaxiální kabel
- 2 x sonda
- Šroubovák
- Funkční generátor
- Osciloskop

Propojíme vysílač a přijímač dvojlinkou a oba moduly zapneme.

7.3 Nastavení parametrů

7.3.1 Vysílač

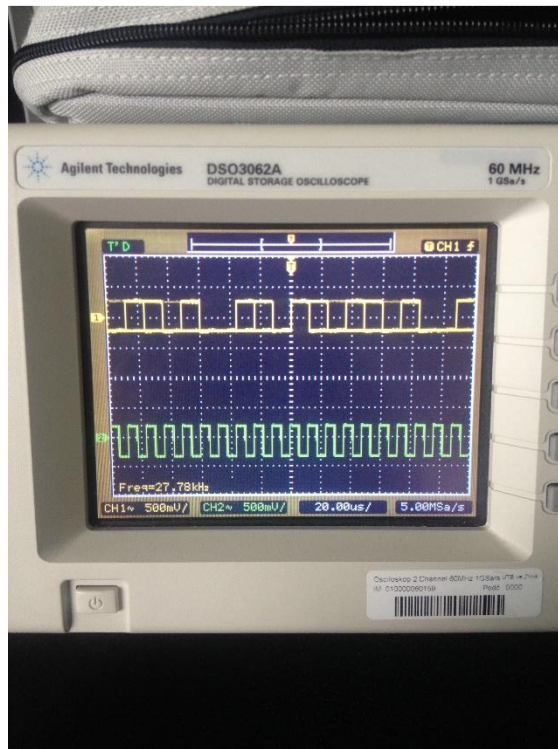
- Vstupní signál: sig.
- Vyhlažovací filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup: dvojlinka

7.3.2 Přijímač

- Vstupní signál: dvojlinka
- Demodulace: QPSK
- Rekonstrukční filtr: ON, expandér: OFF
- Výstup: sig.

7.3.3 Modulátor

Na začátku se ujistíme, že všechny mikrosvínače jsou vypnuty (OFF). Dále nastavíme funkční generátor na $2V_{pp}$ a 1kHz, pak zapojíme sondy kanál 1 na TPE1 a kanál 2 na TPR41. Pak přepojíme sondu kanál 1 na TPE4. a kanál 2 na TPE13. Do tabulky níže zapište hodnoty (“0“, “1“) referenčních hodin.



Obr. 16 Signál na TPE4 a TPE13

Hodnota Bitů na TPE4	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
----------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tab. 2 Bitové hodnoty na TPE4

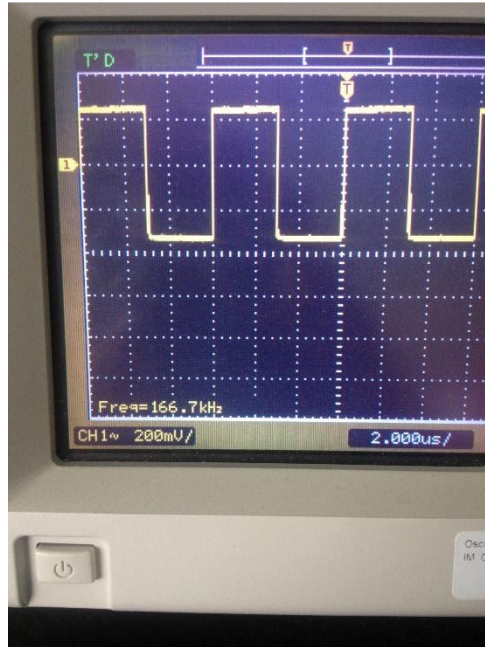
Dibit 1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
Dibit2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0

Tab. 3 Hodnoty dvojitých bitů

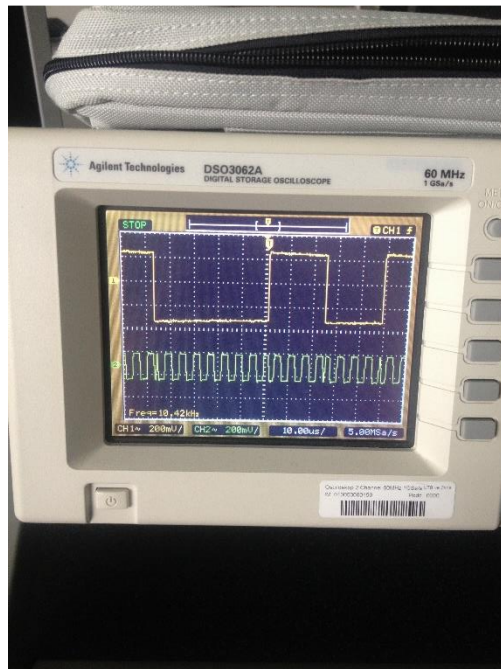
Nyní připojte kanál 1 na TPE20 (dibit 1) a kanál 2 na TPR2 (modulovaný signál QPSK). Při každé změně polarity uvidíte fázové skoky signálu QPSK. Ty skoky, které nejsou shodné

s dibitem 1 jsou kvůli dibitu 2. Standardní frekvence v generování QPSK může být změřena na TPE14. Tuto frekvenci zaznamenejte.

QPSK přenosová frekvence má hodnotu: 166,7kHz



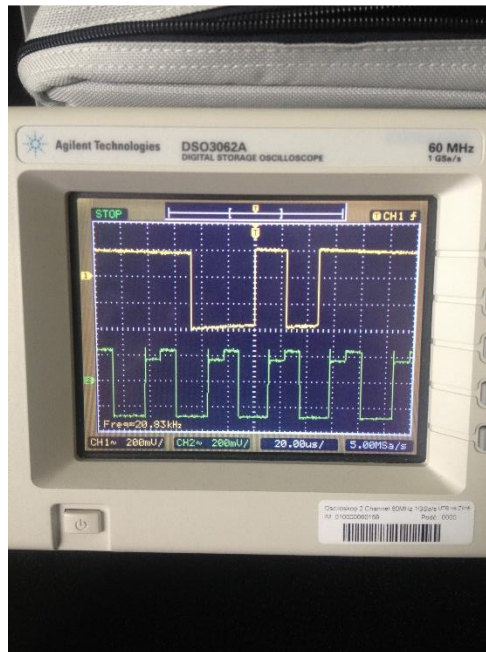
Obr. 17 Přenosová frekvence



Obr. 18 Signál na TPE20 a TPR2

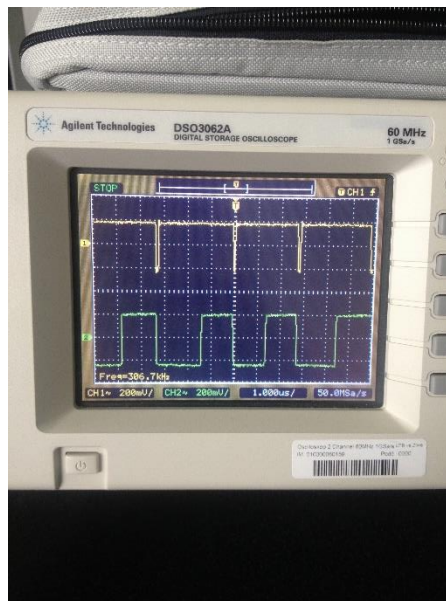
7.3.4 Demodulátor

Nyní připojte sondu kanál 1 na TPE20 (vysílaný díbit 1) a kanál 2 na TPR24 (demodulovaný díbit 1).



Obr. 19 Výsledek TPE20 a TPR24

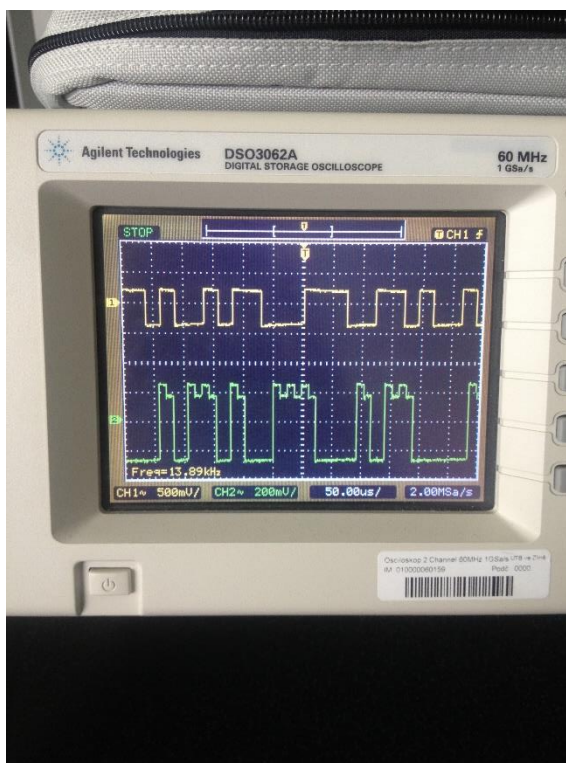
Připojte sondy na TPR14 a TPR16, budete zde schopní pozorovat XOR výstupy, které násobí vstup přijímače do referenčního nositele. Tento signál do dvou XOR brán a je zobrazen s 90° fázovým rozdílem k jinému.



Obr. 20 XOR TPR14 a TPR16

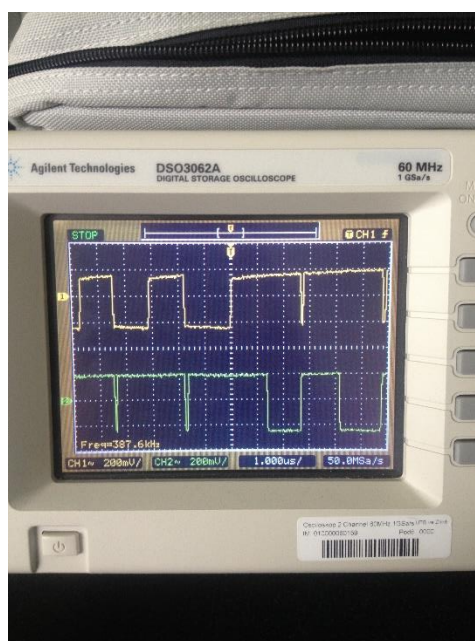
Proces opakujte pro dibit 2, a pro zobrazení použijte

- TPE21(vysílaný dibit 2) a TPR23 (demodulovaný dibit 2)



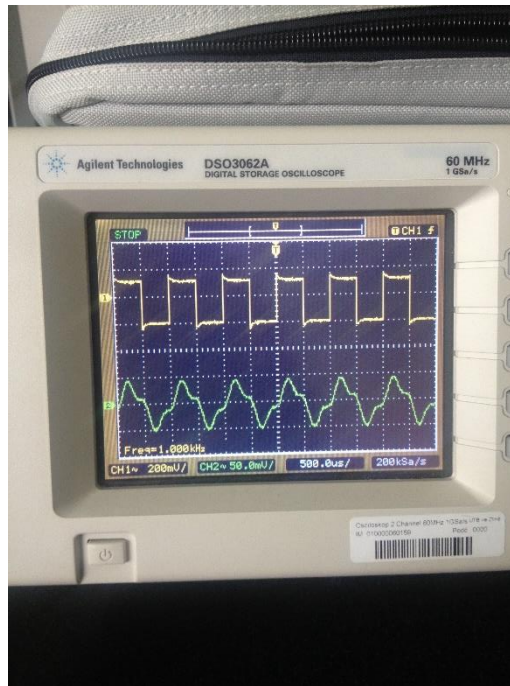
Obr. 21 Výsledek TPE21 a TPR23

- TPR14 a TPR15 (XOR)



Obr. 22 XOR TPR14 a TPR15

- TPR22 (filtrovaný a přidaný signál), TPR20



Obr. 23 Signál na TPR22 a TPR20

8 MODULACE A DEMODULACE V QAM

Toto cvičení se zabývá fázemi a amplitudovou modulací. Budete experimentovat s tribity a pozorovat amplitudu modulovaného tribitu.

8.1 Teorie

- Digitální modulace na kontinuálním nositeli (manuál 3.7 QAM, teoretická část)
- Demodulace (manuál 6.9 QAM)

8.2 Použité nástroje a vybavení

- Dvojlinka
- Koaxiální kabel
- 2 x sonda
- Šroubovák
- Funkční generátor
- Osciloskop

Propojíme vysílač a přijímač pomocí dvojlinky a oba moduly zapneme.

8.3 Nastavení parametrů

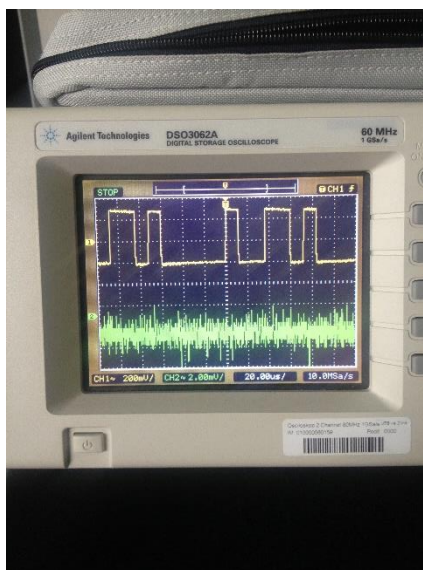
8.3.1 Vysílač

- Vstupní signál: sig.
- Vyhlažovací filtr: ON, komprese: OFF
- Modulace: QAM
- Kanálový simulátor: přímý
- Výstup: dvoulinka

8.3.2 Přijímač

- Vstup: dvoulinka
- Demodulace: QAM
- Rekonstrukční filtr: ON, expandér: OFF
- Výstup: sig.

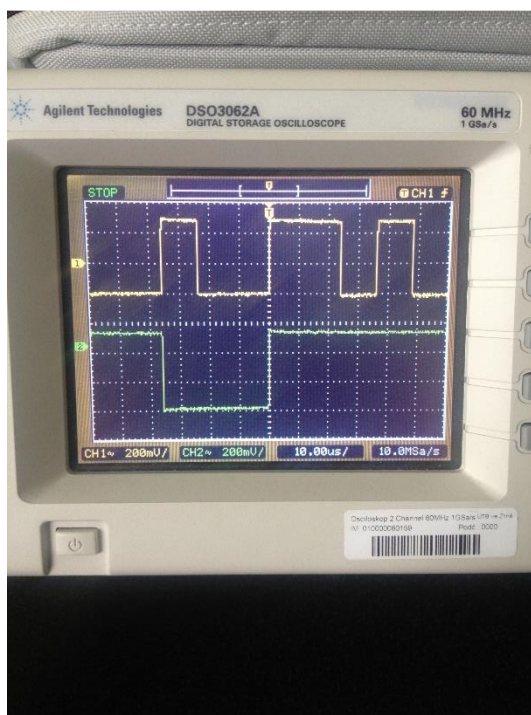
Na generátoru nastavíme hodnoty $2V_{pp}$ a 1 kHz, dále připojíme sondu kanál 1 na TPE1 a sondu kanál 2 na TPR41. signál nemusí být správně, pak upravte nositele.



Obr. 24 TPE1 a TPR41 špatný signál

8.3.3 Modulátor

Připojte sondu kanálu 1 na TPE4 a změřte generování tribitů pomocí sondy 2 na TPE17, 18 a 19.



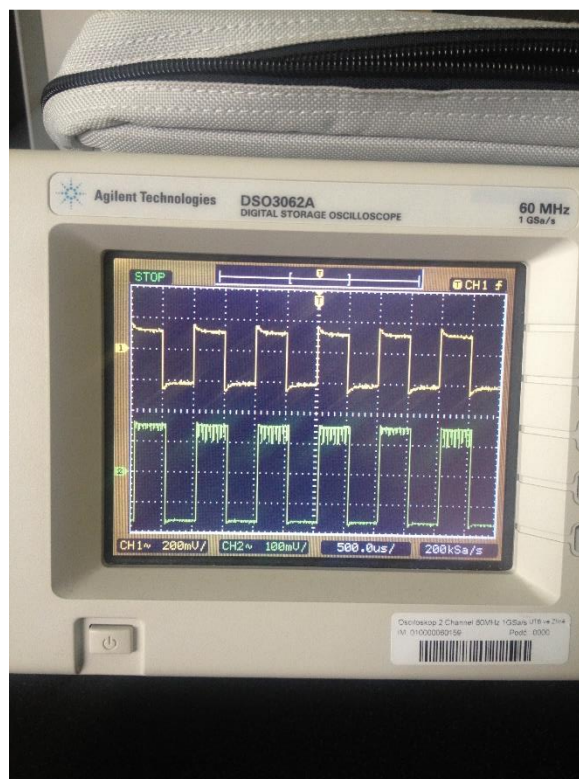
Obr. 25 TPE4 a tribit na TPE17, 18, 19

Pokud ani 1 z tribitu nemění hodnotu je to z toho důvodu, že je vyplý generátor, který “produkuje“ konstantní hodnotu. Po zapnutí generátoru uvidíte, že se bude tribit měnit.

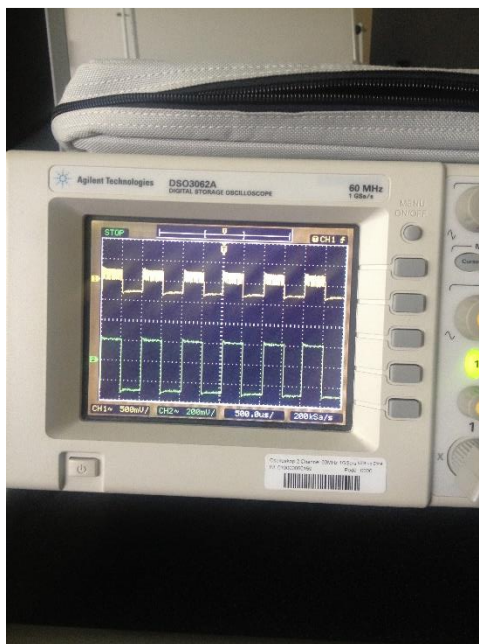
Změřte periodu tribitu. K tomu je potřeba mít zaplý generátor a připojenou sondu kanál 2 na TPE17. Využijeme k tomu osciloskop a nastavováním intenzity změříme čas, který uplynul mezi 2 po sobě jdoucími tribity.

8.3.4 Demodulátor

Přepojíme zde obvod stejně jako u QPSK modulace. Tedy vstup na TTL vybereme tlačítkem TTL. Fáze hledejte ručně pomocí mikrosvínače SW3 se sondou kanál 1 na TPR18 a sondou kanál 2 na TPR24. Dále TPR19 a TPR23.



Obr. 26 TPR18 a TPR23



Obr. 27 TPR19 a TPR23

9 PŘÍRUČKA PRO OBSLUHU TERMINÁLŮ

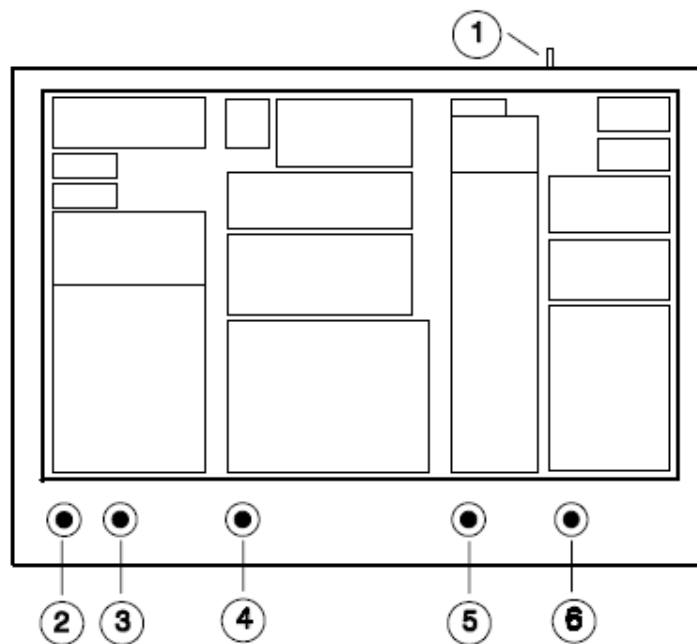
9.1 Emitter – vysílač



Obr. 28 EC-796 vysílač pohled shora

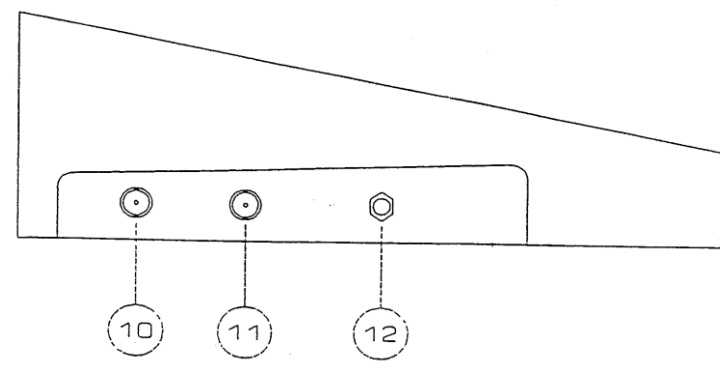


Obr. 29 EC-796 levá a pravá strana



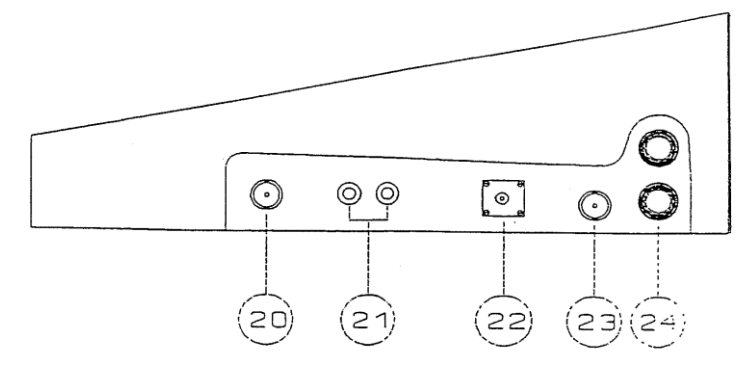
Obr. 30 EC-796 vysvětlivky tlačítek

- 1) Ovladačí tlačítko zapínání modulu (ON, OFF)
- 2) Tlačítko pro přepínání mezi vstupy (indikace LED diodou)
- 3) Tlačítko pro výběr filtru a komprese (indikace LED diodou)
- 4) Tlačítko pro výběr modulace (indikace LED diodou)
- 5) Tímto tlačítkem si vybíráme jestli chceme přenášet bez zkreslení, přes dolní propust' nebo zavést rušení, šum či útlum (indikace LED diodou)
- 6) Tlačítkem vybíráme jak druhem přenosu bude signál pokračovat na přijímač (indikace LED diodou)



Obr. 31 EC-796 levá strana

- 10) BNC vstup sig.
- 11) BNC vstup TTL
- 12) 3,5mm jack vstup mikrofon



Obr. 32 EC-796 pravá strana

- 20) 27MHz BNC vysílací anténa
- 21) Infračervený vysílač
- 22) Konektor pro výstup optického vlákna
- 23) BNC výstup pro koaxiální kabel
- 24) výstupy pro dvojlinku

9.1.1 Specifikace vysílače

Vstupní signály

Coax. 1: vstup funkčního generátoru

Nejvyšší úroveň: ± 2 V

Pásmo propustnosti (s potlačením rozštěpením čar filtrem): 250 Hz - 3,400 Hz

Vstupní impedance: 5 k Ω v 1 kHz

Konektor: BNC zásuvka

Coax. 2: vstup TTL signálu

Úroveň: 0-5 V

Pásmo propustnosti: DC – 300kHz

Vstupní impedance: 100k Ω při 1kHz

Připojení BNC zásuvka

Mic. 1: vstup mikrofon

Minimální citlivost: 6 mvpp

maximální citlivost (bez komandura): 80 mvpp

Pásmo propustnosti (s potlačením rozštěpením čar filtrem): 280 Hz - 3,400 Hz

Vstupní impedance: > 20 k Ω v 1 kHz

Konektor: 3.5 mm jack - zásuvka

Pulsně kódovaná modulace – kvantizace a vzorkování

Časovač: 1.333 mhz (4 mHz/3 crystal)

Bit t: 12 μ sec.

11-bitové snímání: 1 start, 8 kódů, 1 stop and 1 parita

T snímání: 132 μ sec. (144 nejhůř)

Vzorkovací frekvence: 7.575 kHz (6.945 nejhůř)

Antialiasing filtr:

Šířka pásma: 3 dB: 280 Hz - 3,400 Hz.

Mikrofonový kompresor a expandér: ne 571 (philips)

9.1.1.1 Modulační charakteristiky

ASK modulátor (OOK)

Mark frekvence: 390 kHz ($\pm 2\%$)

Space frekvence: dc

Šířka pásma modulátoru: dc - 60 kHz

FSK modulátor

Mark frekvence: 390 kHz ($\pm 4\%$)

Space frekvence: 560 kHz ($\pm 3\%$)

Šířka pásma modulátoru: DC - 60 kHz (DFD Příjem)

DC - 200 kHz (PLL Příjem)

BPSK a DBPSK modulátor

Nosná frekvence: 333.3 kHz ($\pm 1\%$)

Šířka pásma modulátoru: dc - 45 kHz

QPSK a DQPSK modulátor

Nosná frekvence: 166.6 kHz ($\pm 1\%$)

Šířka pásma modulátoru: dc - 45 kHz

QAM modulator

Nosná frekvence: 166.6 khz ($\pm 1\%$)

Šířka pásma modulátoru: dc - 45 khz

Úroveň: 8

Charakteristiky vysílače

Kroucená dvojlinka

Výstupní úroveň (měřená v konektoru):

- přijímač nespojen: 0 v ± 4 v (podle modulace)

- přijímač spojen: 0 v ± 3 v (podle modulace)

Konektor: konektor „banán“ – zásuvka

Koaxiální kabel

Výstupní úroveň (měřená v konektoru):

- přijímač nespojen: 0 v \pm 4 v (podle modulace)

- přijímače spojen: 0 v \pm 3 v (podle modulace)

Konektor: konektor „banán“ – zásuvka

Optické vlákno

Vyslání: led

Vlnová délka vyslání: 850 nm (červená)

Infračervený vysílač

Vyslání led

Vlnová délka vyslání: 950 nm

27MHz vysílač

Výstupní úroveň na 50 ω : 10 dBm

Anténa: monopól. 5 mm kabel, 150 cm délka

Konektor: BNC zásuvka

Nosný kmitočet: 27 mHz (crystal)

Modulace am: modulační index od 10 do 40%, dle vybrané modulace.

Napájení

Napětí: 110, 125, 230 a 240 v ac

Frekvence: 50 nebo 60 Hz

Stabilizovaný zdroj (interní): + 5 v dc, 360 mA

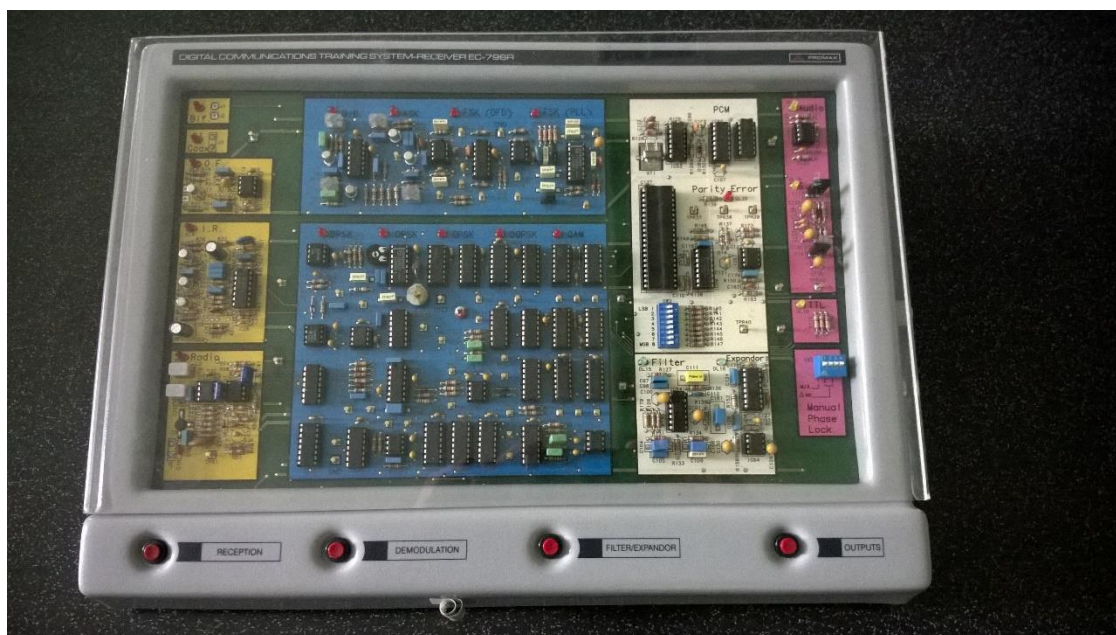
- 5 v dc, 240 mA

Spotřeba: 6 W

Pojistka: 220 a 240 V ac, 0.50 A

110 a 125 V ac, 0.75 A

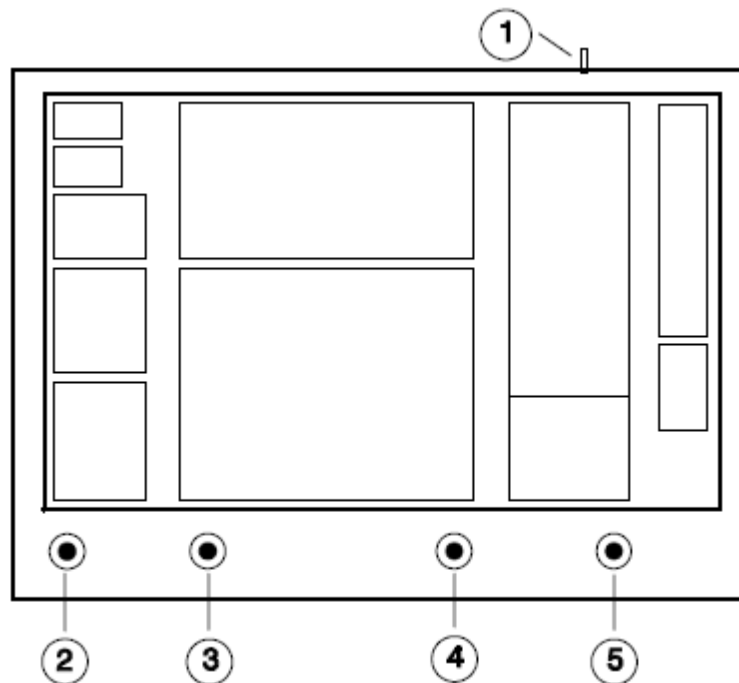
9.2 Receiver – Přijímač



Obr. 33 EC-796 receiver přijímač

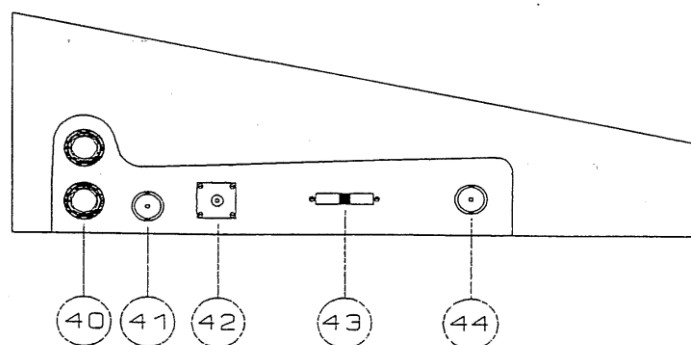


Obr. 34 EC-796 levá a pravá strana přijímače



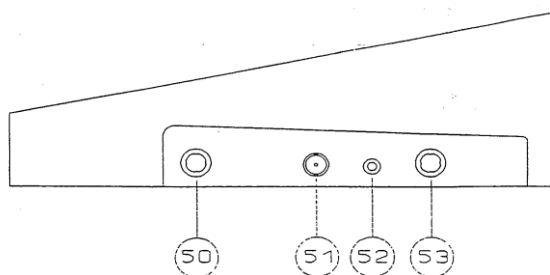
Obr. 35 EC-796 přijímač vysvětlivky tlačítek

- 1) Spínač pro zapíní / vypínání modulu
- 2) Tlačítko pro výběr vstupního kanálu (indikace LED diodou)
- 3) Tlačítko pro výběr demodulace (indikace LED diodou)
- 4) Tlačítko pro výběr mezi rekonstrukcí a expandérem (indikace LED diodou)
- 5) Tlačítko pro výběr výstupu (indikace LED diodou)



Obr. 36 EC-796 levá strana přijímače

- 40) Vstup dvojlinka
- 41) Vstup BNC koaxiální kabel
- 42) Vstup Optické vlákno
- 43) Infračervený přijímač
- 44) 27MHz BNC přijímač



Obr. 37 EC-796 pravá strana přijímače

- 50) BNC TTL výstup
- 51) Ovládání hlasitosti
- 52) 3,5mm mono jack výstup sluchátka
- 53) BNC výstup osciloskop

9.2.1 Specifikace přijímače

Charakteristiky přijímače

Dvákrát kabel přijímače (Twin-line):

- Typ: přímý
- Konektor: BANAN

Koaxiální kabel přijímače:

- Typ: přímý
- Konektor: BNC

Optické vlákno přijímače:

- Typ: Foto-dioda
- Pásmo příjmu: 400 - 1,100 nm (90% účinnost)

Infračervený přijímač:

- Typ: Foto-dioda
- Pásmo příjmu: 800 - 1,000 nm (50% účinnost)

27 MHz přijímač:

- Pásmo příjmu: 27MHz
- Anténa: Monopole. 5 mm kabel, 150 cm dlouhý
- Konektor: BNC samice

Charakteristika demodulátoru

ASK Demodulátor (OOK)

Typ: Propustné pásmo Filtru, obálky detektoru a komparátor.

Propustné pásmo:

- Odkazem na mikrofon a výstup signálu: nejméně celé vyhlazování filtru.
- Odkazem na TTL vstup: DC - 60 kHz.

Přenosové pásmo filtru:

- Střední frekvence: 380 kHz.
- Šířka pásma: 40 kHz ($Q = 9,5$)

FSK Demodulátor (DFD)

Typ: Propustné pásmo filtrů, obálka detektoru komparátor mezi dvěma smyčkami.

Propustné pásmo:

- Odkazem na mikrofon a výstup signálu: nejméně celé vyhlazování filtru.
- Odkazem na TTL vstup: DC - 60 kHz.

Přenosové pásmo filtru 1:

- Střední frekvence: 380 kHz.
- Šířka pásma: 40 kHz ($Q = 9,5$).

Přenosové pásmo filtru 2:

- Střední frekvence: 550 kHz.
- Šířka pásma: 60 kHz ($Q = 9,2$).

BPSK a DBPSK demodulátory

Propustné pásmo:

- Odkazem na mikrofon a výstup signálu: nejméně celé vyhlazování filtru.
- Odkazem na TTL vstup: DC - 45 kHz.

QPSK, DQPSK a QAM demodulátory.

Propustné pásmo:

- Odkazem na mikrofon a výstup signálu: nejméně celé vyhlazování filtru.
- Odkazem na TTL vstup: DC - 45 kHz.

Výstupní charakteristika

Sluchátka

Výstup: skupina AB

Výkon: 160 mW při 32 Ω

Konektor: JACK

BNC

Konektory: BNC samice

Výstup úroveň S1 (analogový signál): $f = 3\text{kHz}$

Výstup úroveň S2 (TTL signál): 0-4 V

9.2.1.1 *Napájení*

Napětí: 110, 125, 220 a 240 V AC

Frekvence: 50 nebo 60 Hz

Stabilizovaný zdroj (interní): + 5 v DC, 310 mA

10 ZÁVĚR

Na základě zadaných bodů zadání, jsem zpracoval bakalářskou práci. Seznámení s problematikou digitální komunikace a jejích náležitostí bylo možné díky literatuře od mého vedoucího. Problematika digitální komunikace je sepsána v teoretické části práce. Dále jsem měl analyzovat dokumentaci k trenažeru EC-796, kterou jsem prošel a využil ji, jak v teoretické, tak praktické části. Hlavně při sestavování laboratorních úloh a příručky k obsluze trenažeru EC-796. Laboratorní úlohy použité v praktické části jsou zpracovány za pomoci anglického manuálu a jejich funkčnost byla ověřena při jejich měření. Pro výběr laboratorních úloh byla důležitá její časová náročnost, proto jsem vybral Modulaci a Demodulaci v ASK, modulaci a demodulaci v QPSK a na závěr modulaci a demodulaci QAM. U realizace některých úloh jsem měl problémy s jeho realizací, konkrétně jsem nemohl nalézt testovací bod, ke kterému se připojí sonda osciloskopu. Dále jsem se rozhodl zachovat původní anglické názvy jako jsou TPE (testovací bod vysílač) a TPR (testovací bod přijímač). V práci jsem uvedl, jak vypracované úlohy včetně fotodokumentace měření, tak zadání úloh umístěných v příloze. Obsluha trenažeru, ať už jeho nastavování parametrů, či možností připojení jsou popsány na konci teoretické části včetně fotodokumentace.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] IVÁNEK, Jiří, Radim JIROUŠEK, Petr MÁŠA, Jan TOUŠEK a Norbert VANĚK. *Principy Digitální komunikace*. LEDA, 2006. ISBN 978-80-7335-084-0.
- [2] KOCOUREK, Petr a Jiří NOVÁK. *Přenos Informace*. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 80-01-01169-0.
- [3] SÝKORA, Jan. *Teorie digitální komunikace*. Dotisk 1. vyd. Praha: ČVUT, 2005, xiii, 329 s. ISBN 80-010-2478-4.
- [4] PETERKA, Jiří. Co to znamená, když se řekne ... : Analogový, digitální. CHIPweek. 13. prosince 1995, 33/95, s. 33. Dostupný také z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a95/a533k130.php3>>.
- [5] KUČEROVÁ, Helena. Vyšší odborná škola informačních služeb [online]. 2010, Datum poslední aktualizace: 22. 2. 2010. Komunikace. Obecné zákonitosti vzniku, transformování a přenosu zpráv. Dostupné z WWW: <<http://web.sks.cz/users/ku/ZIZ/komunika.htm>>.
- [6] Analog vs Digital. [online]. [cit. 2014-06-10]. Dostupné z: http://www.diffen.com/difference/Analog_vs_Digital
- [7] [online]. [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: <http://site.the.cz/index.php?id=26>
- [8] [online]. [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Kroucen%C3%A1_1_dvojlinka#/media/File:UTP_cable.jpg
- [9] [online]. [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: <http://webserver.ics.muni.cz/bulletin/articles/316.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Hz	Hertz, jednotka frekvence
$f(t)$	Funkce t
Ω	Omega
$J(m_k)$	Vzorek digitálního signálu
Θ	Velká omega
M_d	Mohutnost
T_s	Symbolová rychlost
Bd	Jednotka symbolové rychlosti (Baud)
N_d	Dimenze datových symbolů
$N_{\{h\}}$	Dimenze modulace
$N_{q,\min}$	Minimální dimenze kanálových symbolů
$s_L(t)$	Modulovaný signál
τ	Délka impulsu
TPE	Test point emitter (testovací bod vysílače)
TPR	Test point receiver (testovací bod přijímače)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Analogový a digitální signál.....	13
Obr. 2 Převod signálu do digitální podoby	14
Obr. 3 Redundance u blokových kódů.....	19
Obr. 4 Redundance u mřížkových kódů	19
Obr. 5 Obdelníkový impuls s normovanou energií.....	21
Obr. 6 Konstelace modulací PSK	22
Obr. 7 Konstelace modulací ASK.....	23
Obr. 8 Schéma fázového závěsu	25
Obr. 9 Jednotlivé vrstvy koaxiálního kabelu	26
Obr. 10 Kroucená dvojlinka.....	27
Obr. 11 Optické vlákno.....	28
Obr. 12 Radiový přenos	28
Obr. 13 Infračervený přenos	29
Obr. 14 Signál na TPE1 a TPR41	34
Obr. 15 Modulační signál na.....	35
Obr. 16 Signál na TPE4 a TPE13	37
Obr. 17 Přenosová frekvence.....	38
Obr. 18 Signál na TPE20 a TPR2	38
Obr. 19 Výsledek TPE20 a TPR24.....	39
Obr. 20 XOR TPR14 a TPR16	39
Obr. 21 Výsledek TPE21 a TPR23	40
Obr. 22 XOR TPR14 a TPR15	40
Obr. 23 Signál na TPR22 a TPR20.....	41
Obr. 24 TPE1 a TPR41 špatný.....	43
Obr. 25 TPE4 a tribit na TPE17, 18, 19.....	43
Obr. 26 TPR18 a TPR23.....	44
Obr. 27 TPR19 a TPR23.....	45
Obr. 28 EC-796 vysílač pohled shora	46
Obr. 29 EC-796 levá a pravá strana	46
Obr. 30 EC-796 vysvětlivky tlačítek	47
Obr. 31 EC-796 levá strana.....	48
Obr. 32 EC-796 pravá strana	48

Obr. 33 EC-796 receiver přijímač.....	52
Obr. 34 EC-796 levá a pravá strana	52
Obr. 35 EC-796 přijímač vysvětlivky tlačítek	53
Obr. 36 EC-796 levá strana přijímače	53
Obr. 37 EC-796 pravá strana přijímače	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rezonanční kmitočet	35
Tab. 2 Bitové hodnoty na TPE4.....	37
Tab. 3 Hodnoty dvojitéch bitů.....	37

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1	64
Příloha P2	66
Příloha P3	68

PŘÍLOHA P I: MODULACE A DEMODULACE V ASK

Cíl

V této úloze budeme pracovat s nejjednoduššími druhy modulací a demodulací ASK. Budeme zobrazovat vlnění modulací a naměřené hodnoty.

Teorie

- Digitální modulace a přenos ASK (teoretická část, manuál oddíl 3.1)
- Demodulace (oddíl 6.1 ASK)

Použité nástroje a vybavení

- Dvojlinka
- Koaxiální kabel
- 2 x sonda
- Funkční generátor
- Osciloskop

Nastavení parametrů

Vysílač

- Vstup signálu: sig.
- Vyhlažovací filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: ASK
- Simulátor kanálu: přímý
- Výstup: dvojlinka

Přijímač

- Vstup: dvojlinka
- Demodulace: ASK
- Rekonstrukční filtr: ON, expandér: OFF
- Výstup: sig.

Propojíme oba moduly pomocí dvojlinky a zapneme. Na generátoru nastavte $2V_{pp}$ a 1kHz. Následně pozorujte přenášený signál za pomoci osciloskopu jehož sonda vedoucí z kanálu 1 je připojena na TPE1 a sonda vedoucí z kanálu 2 na TPR41.

Modulátor

Po ověření funkčnosti jsme připojili sondu kanál 1 na TPE4 a kanál 2 na TPE24 (oba jsou na vysílači. Na osciloskopu uvidíme modulovaný signál na TPE4 a ASK modulovaný signál na TPE24. Můžeme si všimnout, že 1 nastane u TPE24 kmitání, přičemž pro 0 se nic neděje. Dále změřte frekvenci v bodě TPE7.

Frekvence v TPE7 =

Demodulátor

Připojte generátor na vstup TTL a na vysílači nastavte TTL vstup a pásmo vysílání BB. Tímto způsobem jsou generované TTL pulsy přijímány do přijímače (je to stejné, jakoby byl generátor napojený přímo na přijímač). Výstup dolní propusti, který zlepšuje ASK je na TPR3. Změnou frekvence generátoru najděte rezonanční frekvenci filtru (maximální amplitudu). Od tohoto bodu zvyšuj a snižuj frekvenci za účelem nalezení šířky pásma 3dB. Výsledky zapište.

spodní cut-off frekvence	
Horní cut-off frekvence	
Filtr šířky pásma	

PŘÍLOHA P II: MODULACE A DEMODULACE QPSK

CÍL

Jedná se o čtyřfázovou modulaci a demodulaci. Je zde kladen důraz na generování dabitů a následném získání primárních bitů

Teorie

- Digitální komunikace na kontinuálním nositeli (manuál 3.5 QPSK, teoretická část)
- Demodulace (manuál 6.7 QPSK)

Použité nástroje a vybavení

- Dvojlinka
- Koaxiální kabel
- 2 x sonda
- Šroubovák
- Funkční generátor
- Osciloskop

Propojíme vysílač a přijímač dvojlinkou a oba moduly zapneme.

Nastavení parametrů

Vysílač

- Vstupní signál: sig.
- Antialiasing filtr: ON, kompresor: OFF
- Modulace: QPSK
- Kanál simulátoru: přímý
- Výstup: dvojlinka

Přijímač

- Vstupní signál: dvojlinka
- Demodulace: QPSK
- Rekonstrukční filtr: ON, expandér: OFF

- Výstup: sig.

Modulátor

Na začátku se ujistíme, že všechny mikrosvínače jsou vypnuty (OFF). Dále nastavíme funkční generátor na $2V_{pp}$ a 1kHz, pak zapojíme sondy kanál 1 na TPE1 a kanál 2 na TPR41. Pak přepojíme sondu kanál 1 na TPE4. a kanál 2 na TPE13. Do tabulky níže запиšte hodnoty ("0", "1") referenčních hodin.

Hodnota Bitů na TPE4												
----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Dibit 1												
Dibit2												

Nyní připojte kanál 1 na TPE20 (dibit 1) a kanál 2 na TPR2 (modulovaný signál QPSK). Při každé změně polarity uvidíte fázové skoky signálu QPSK. Ty skoky, které nejsou shodné s dibitem 1 jsou kvůli dibitu 2. Standardní frekvence v generování QPSK může být změřena na TPE14. Tuto frekvenci zaznamenejte.

QPSK přenosová frekvence má hodnotu:

Demodulátor

Nyní připojte sondu kanál 1 na TPE20 (vysílaný dibit 1) a kanál 2 na TPR24 (demodulovaný dibit 1) .

Připojte sondy na TPR14 a TPR16, budete zde schopni pozorovat XOR výstupy, které násobí vstup přijímače do referenčního nositele. Tento signál do dvou XOR brán a je zobrazen s 90° fázovým rozdílem k jinému.

Proces opakujte pro dibit 2, a pro zobrazení použijte

- TPE21(vysílaný dibit 2) a TPR23 (demodulovaný dibit 2)
- TPR14 a TPR15 (XOR)
- TPR22 (filtrováný a přidáný signál), TPR20

Příloha P II: MODULACE A DEMODULACE V QAM

CÍL

Toto cvičení se zabývá fázemi a amplitudovou modulací. Budete experimentovat s tribity a pozorovat amplitudu modulovaného tribitu.

Teorie

- Digitální modulace na kontinuálním nositeli (manuál 3.7 QAM, teoretická část)
- Demodulace (manuál 6.9 QAM)

Použité přístroje a vybavení

- Dvojlinka
- Koaxiální kabel
- 2 x sonda
- Šroubovák
- Funkční generátor
- Osciloskop

Propojíme vysílač a přijímač pomocí dvojlinky a oba moduly zapneme.

Nastavení parametrů

Vysílač

- Vstupní signál: sig.
- Antialiasing filtr: ON, komprese: OFF
- Modulace: QAM
- Kanálový simulátor: přímý
- Výstup: dvoulinka

Přijímač

- Vstup: dvoulinka
- Demodulace: QAM
- Rekonstrukční filtr: ON, expandér: OFF
- Výstup: sig.

Na generátoru nastavíme hodnoty $2V_{pp}$ a 1 kHz, dále připojíme sondu kanál 1 na TPE1 a sondu kanál 2 na TPR41. signál nemusí být správně, pak upravte nositele.

Modulátor

Připojte sondu kanálu 1 na TPE4 a změřte generování tribitů pomocí sondy 2 na TPE17, 18 a 19.

Pokud ani 1 z tribitu nemění hodnotu je to z toho důvodu, že je vyplý generátor, který “produkuje“ konstantní hodnotu. Po zapnutí generátoru uvidíte, že se bude tribit měnit.

Změřte periodu tribitu. K tomu je potřeba mít zaplý generátor a připojenou sondu kanál 2 na TPE17. Využijeme k tomu osciloskop a nastavováním intenzity změříme čas, který uplynul mezi 2 po sobě jdoucími tribity.

Demodulátor

Přepojíme zde obvod stejně jako u QPSK modulace. Tedy vstup na TTL vybereme tlačítkem TTL. Fáze hledejte ručně pomocí mikrospínače SW3 na se sondou kanál 1 na TPR18 a sondou kanál 2 na TPR24. Dále TPR19 a TPR23.