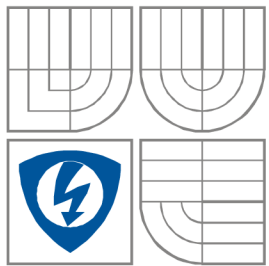


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# MĚŘENÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ SET TOP BOXŮ DVB-T

MEASUREMENT OF DVB-T SET TOP BOXES SELECTED PARAMETERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

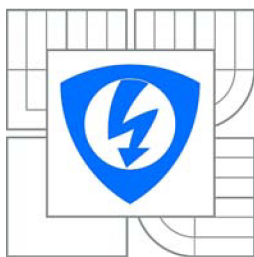
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Tomáš Hrazděra

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Radim Štukavec

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Tomáš Hrazděra

**ID:** 73025

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2009/2010

## NÁZEV TÉMATU:

### Měření vybraných parametrů set top boxů DVB-T

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se základními parametry terestrického digitálního televizního vysílání DVB-T a jejich vlivem na robustnost přenášeného signálu. Prostudujte metodologii měření systému DVB-T. Na základě dostupného vybavení laboratoře digitálních televizí (DVB-T vysílač, měřicí přijímač, set top box) navrhnete a sestavte měřicí pracoviště. Provedte měření vybraných parametrů dostupných set top boxů, na základě předchozích poznatků. Výsledky měření přehledně zpracujte.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ETSI EN 300 744 Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television, European Telecommunications Standards Institute, 2001.

[2] ETSI TR 101 290 Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems, European Telecommunications Standards Institute, 2001.

**Termín zadání:** 8.2.2010

**Termín odevzdání:** 28.5.2010

**Vedoucí práce:** Ing. Radim Štukavec

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**

*Předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Tato práce pojednává o systému pozemního digitálního televizního vysílání DVB-T. Vysvětluje princip zdrojového a kanálového kódování a kanálové modulace. Je proveden rozbor parametrů definovaných doporučením ETSI TR 101 290 za účelem měření vlastností přijímačů digitálního televizního vysílání - set top boxů. Dále popisuje funkci samotného set top boxu, rozbor vybraných přijímačů a popis jejich topologie. Na základě této analýzy byly vybrány parametry měřitelné u komerčně dostupných zařízení, které byly testovány. Výsledky jsou zpracovány do tabulkové a grafické formy a je rozebrán jejich vliv na kvalitu přijímaného vysílání.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

DVB-T, set top box, měření

## **ABSTRACT**

This project treats of the system of the terrestrial digital TV broadcasting DVB-T. It explains the principles of source and channel encoding and the channel modulation. The analysis of parameters defined by the recommendation ETSI TR 101 290 for the purpose of measuring of the parameters of the digital TV broadcasting (set top boxes) is elaborated. Further it describes the functions of the set top box itself and executes the analysis of chosen receivers including the description of their typology. On its base the measurable parameters of commercially accessible receivers, which underwent the tests were chosen. The results are elaborated in the tabular and graphic forms, including the analysis of their influence on the quality of the received broadcast.

## **KEYWORDS**

DVB-T, set top box, measurement

Hrazděra, T. *Měření vybraných parametrů set top boxů DVB-T*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 45 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: ing. Radim Štukavec.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měření vybraných parametrů set top boxů DVB-T jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 28. května 2010

.....

podpis autora

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce ing. Radimu Štukavci za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 28. května 2010

.....

podpis autora

# OBSAH

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Seznam obrázků</b>   | <b>viii</b> |
| <b>Seznam tabulek</b>   | <b>x</b>    |
| <b>ÚVOD</b>   | <b>1</b>    |
| <b>1 DIGITÁLNÍ TELEVIZNÍ VYSÍLÁNÍ</b>                             | <b>2</b>    |
| 1.1 Standardy digitálního televizního vysílání .....              | 2           |
| 1.2 Srovnání analogového a digitálního televizního vysílání ..... | 2           |
| <b>2 STANDARD DVB-T</b>   | <b>4</b>    |
| 2.1 Zdrojové kódování .....                                       | 4           |
| 2.2 Kanálové kódování .....                                       | 5           |
| 2.3 Kanálová modulace.....  | 7           |
| <b>3 SET TOP BOX</b>  | <b>9</b>    |
| 3.1 Blokové schéma, popis bloků .....                             | 9           |
| <b>4 MĚŘENÍ SET TOP BOXŮ</b>                                      | <b>11</b>   |
| 4.1 Selektivita .....   | 11          |
| 4.2 Zachytávací rozsah AFC.....                                   | 12          |
| 4.3 Fázový šum místních oscilátorů .....                          | 12          |
| 4.4 V <sub>f</sub> /m <sub>f</sub> výkon signálu .....            | 13          |
| 4.5 Výkon šumu .....  | 13          |
| 4.6 Citlivost přijímače/dynamický rozsah pro Gaussův kanál .....  | 13          |
| 4.7 Rovnocenné šumové zkreslení (END).....                        | 14          |
| 4.8 BER vs. poměr C/N při změně úrovně Gaussova šumu .....        | 14          |
| 4.9 BER před Viterbiho (vnitřním) dekodérem (BER před FEC) .....  | 15          |
| 4.10 BER před RS (vnějším) dekodérem.....                         | 15          |
| 4.11 Analýza IQ složek v konstelačním diagramu .....              | 15          |
| 4.11.1 Modulační chybovost (MER) .....                            | 16          |
| 4.11.2 System target error (STE) .....                            | 16          |
| 4.11.3 Potlačení nosné (CS).....                                  | 17          |
| 4.11.4 Amplitudové nevyvážení (AI) .....                          | 17          |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.11.5   | Kvadrurní chyba (QE).....  | 17        |
| 4.11.6   | Fázový jitter (PJ).....  | 18        |
| 4.12     | Odolnost systému vůči chybám .....   | 18        |
| <b>5</b> | <b>MĚŘENÉ SET TOP BOXY</b>   | <b>20</b> |
| <b>6</b> | <b>MĚŘÍCÍ PRACOVISTĚ</b>   | <b>26</b> |
| <b>7</b> | <b>EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY</b>   | <b>28</b> |
| 7.1      | Kmitočtová stabilita set top boxů .....  | 28        |
| 7.2      | Měření vlivu nedostatečného potlačení nosné .....                                    | 29        |
| 7.3      | Měření vlivu amplitudového nevyvážení .....  | 31        |
| 7.4      | Měření vlivu fázové chyby .....  | 35        |
| 7.5      | Měření vlivu úrovně vstupního signálu na řízení vyrovnání citlivosti<br>tuneru ..... | 39        |
| <b>8</b> | <b>ZÁVĚR</b>   | <b>41</b> |
|          | <b>Literatura</b>  | <b>43</b> |
|          | <b>Seznam zkratk</b>   | <b>44</b> |

# SEZNAM OBRÁZKŮ

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Obr. 1.1: | Porovnání signálového spektra analogového a digitálního TV vysílače .....   | 3  |
| Obr. 1.2: | Srovnání příjmu analogového a digitálního TV vysílání (převzato z [3]) .....  | 3  |
| Obr. 2.1: | Blokový diagram systému DVB-T .....   | 4  |
| Obr. 2.2: | Blokový diagram zdrojového kódování a multiplexace .....  | 5  |
| Obr. 2.3: | Paket transportního toku za obvodem RS(204, 188) .....  | 6  |
| Obr. 2.4: | Blokové uspořádání vnitřního kodéru.....  | 6  |
| Obr. 2.5: | Vnitřní prokladač 16-QAM pro: a) nehierarchický režim a b) hierarchický režim .....   | 7  |
| Obr. 2.6: | Znázornění nosných signálu OFDM v kmitočtové časových souřadnicích včetně ochranného intervalu a pilotních nosných (převzato z [3]) ..... | 8  |
| Obr. 2.7: | Vytvoření ochranného intervalu (GI) v OFDM symbolu .....  | 8  |
| Obr. 3.1: | Obecný blokový diagram set top boxu DVB-T .....   | 10 |
| Obr. 4.1: | Měření selektivity .....  | 12 |
| Obr. 4.2: | Měření AFC .....  | 12 |
| Obr. 4.3: | Měření citlivosti přijímače a dynamického rozsahu pro Gaussův kanál .....   | 14 |
| Obr. 4.4: | Měření rovnocenného šumového zkreslení (END).....   | 14 |
| Obr. 4.5: | Metoda pro měření BER před Viterbiho dekodérem.....   | 15 |
| Obr. 4.6: | Vektory pro stanovení MER .....   | 16 |
| Obr. 4.7: | Znázornění chybového vektoru TEV (převzato z [9]).....  | 17 |
| Obr. 4.8: | IQ chyby modulátoru: a) nedostatečné potlačení nosné, b) amplitudové nevyvážení, c) kvadraturní chyba (převzato z [1]) .....              | 18 |
| Obr. 4.9: | Efekt fázového jitteru na konstelační diagram (převzato z [1]).....   | 18 |
| Obr. 5.1: | Pohled na set top box HUMAX F3-FOX T (čelní panel nahoře, zadní panel dole) .....   | 20 |
| Obr. 5.2: | Vnitřní struktura set top boxu HUMAX F3-FOX T.....  | 21 |
| Obr. 5.3: | Pohled na set top box TechniSat DigiPal 2 TX (čelní, zadní a boční pohled) .....  | 22 |
| Obr. 5.4: | Vnitřní struktura set top boxu TechniSat DigiPal 2 TX .....   | 22 |
| Obr. 5.5: | Pohled na set top box iCAN (přední panel nahoře, zadní panel dole).....   | 23 |
| Obr. 5.6: | Vnitřní struktura set top boxu iCAN .....   | 24 |
| Obr. 5.7: | Bloková struktura měřených set top boxů .....   | 25 |



|            |  |    |
|------------|--|----|
| Obr. 6.1:  | Rozmístění přístrojů měřícího pracoviště .....   | 26 |
| Obr. 6.2:  | Blokový diagram laboratorního vysílače R&S SFL (převzato z [11]) .....   | 27 |
| Obr. 7.1:  | Vliv nedostatečného potlačení nosné na celkový konstelační diagram 64QAM .....   | 29 |
| Obr. 7.2:  | Vliv nedostatečného potlačení nosné na celkový konstelační diagram QPSK .....  | 30 |
| Obr. 7.3:  | Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem při nejmenší robustnosti vysílaného signálu při změně CS .....                               | 31 |
| Obr. 7.4:  | Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem při největší robustnosti vysílaného signálu při změně CS .....                               | 31 |
| Obr. 7.5:  | Vliv amplitudového nevyvážení na celkový konstelační diagram modulace 64QAM .....  | 32 |
| Obr. 7.6:  | Vliv amplitudového nevyvážení na celkový konstelační diagram modulace QPSK .....   | 32 |
| Obr. 7.7:  | Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem pro 64QAM, CR 2/3 při změně AI .....   | 33 |
| Obr. 7.8:  | Graf kvality přijímaného signálu indikované jednotlivými přijímači pro 64QAM, CR 2/3 při změně AI .....                                    | 33 |
| Obr. 7.9:  | Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem pro nejméně robustní signál při změně AI .....   | 34 |
| Obr. 7.10: | Graf kvality přijímaného signálu indikované jednotlivými přijímači pro nejméně robustní vysílaný signál při změně AI .....                 | 34 |
| Obr. 7.11: | Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem pro robustní signál při změně AI .....   | 35 |
| Obr. 7.12: | Vliv fázové chyby na celkový konstelační diagram 64QAM .....   | 36 |
| Obr. 7.13: | Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem pro 64QAM, CR 2/3 při změně PE .....   | 36 |
| Obr. 7.14: | Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem pro nejmenší robustnost při změně PE .....   | 37 |
| Obr. 7.15: | Graf kvality přijímaného signálu indikované jednotlivými přijímači pro nejméně robustní vysílaný signál při změně PE .....                 | 38 |
| Obr. 7.16: | Graf kvality přijímaného signálu indikované jednotlivými přijímači pro robustní vysílaný signál při změně PE .....                         | 38 |
| Obr. 7.17: | Grafická závislost AGC a IF-AGC na vstupní úrovni přijímače .....  | 39 |
| Obr. 7.18: | Grafická závislost úrovně signálu indikované pomocí OSD menu přijímače na skutečné vstupní úrovni při zapnutém a vypnutém obvodu AGC ..... | 40 |

# SEZNAM TABULEK

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tab. 4.1:  | Seznam parametrů měřitelných v systému DVB-T dle ETSI TR 101 290..   | 11 |
| Tab. 4.2:  | Příklady měřících intervalů MI.....  | 19 |
| Tab. 5.1:  | Přehled použitých tunerů a integrovaných obvodů jednotlivých set top boxů<br>.....   | 25 |
| Tab. 7.1:  | Naměřené hodnoty kmitočtové stability pro set top box HUMAX F3-FOX T<br>.....  | 28 |
| Tab. 7.2:  | Naměřené hodnoty kmitočtové stability pro set top box TechniSat DigiPal 2<br>TX .....  | 29 |
| Tab. 7.3:  | Naměřené hodnoty kmitočtové stability pro set top box iCAN 2000T .....   | 29 |
| Tab. 7.4:  | Naměřené hodnoty chybovostí pro nedostatečné potlačení nosné: a)<br>nejmenší robustnost (tabulka vlevo), b) největší robustnost (tabulka vpravo).<br>..... | 30 |
| Tab. 7.5:  | Naměřené hodnoty chybovostí a kvality signálu pro amplitudové<br>nevyvážení při 64QAM a CR 2/3 .....   | 32 |
| Tab. 7.6:  | Naměřené hodnoty chybovostí a kvality přijímaného signálu pro nejméně<br>robustní vysílaný signál při amplitudovém nevyvážení.....                         | 34 |
| Tab. 7.7:  | Naměřené hodnoty chybovostí pro velkou robustnost vysílaného signálu při<br>amplitudovém nevyvážení .....  | 35 |
| Tab. 7.8:  | Naměřené hodnoty chybovostí pro 64QAM a CR 2/3 při fázové chybě.....   | 36 |
| Tab. 7.9:  | Naměřené hodnoty chybovostí pro nejméně robustnost při změně PE .....  | 37 |
| Tab. 7.10: | Naměřené hodnoty chybovostí pro robustní signál při změně PE.....  | 38 |
| Tab. 7.11: | Měření vlivu úrovně vstupního signálu na řízení vyrovnání citlivosti tuneru<br>.....   | 39 |

# ÚVOD

Počátky pravidelného, analogového televizního vysílání ve světě se datují kolem roku 1936. Prvotní vysílání umožňovalo přenos pouze černobílého obrazu a jednobarevného zvuku. Postupným zdokonalováním technologií a vytvářením nových standardů byl později umožněn přenos barevného obrazu se stereofonním zvukovým doprovodem a přenos jednoduchých textových informací (teletext).

Stále rostoucí požadavky diváků na kvalitu poskytovaných služeb a množství televizních programů již není možné zajistit v rámci analogového televizního vysílání, které je značně náročné na využití kmitočtového spektra. Uvedené problémy úspěšně řeší systém digitálního televizního vysílání. V roce 1993 bylo založeno mezinárodní konsorcium DVB (Digital Video Broadcasting), vyvíjející standardy pro oblast digitální televize. Jako první byl v témže roce přijat standard pro satelitní digitální televizní vysílání DVB-S, o rok později následoval standard pro kabelové vysílání DVB-C a v roce 1997 byl přijat standard pro pozemní digitální televizní vysílání DVB-T.

V současnosti jsou uvedené standardy stále zdokonalovány a vyvíjeny nové specifikace (DVB-S2, DVB-T2), využívající pokročilejší metody kódování a modulace. Účelem je dosažení větší přenosové rychlosti a tím umožnění přenosu obrazu ve vysokém rozlišení (HDTV) a využití interaktivních služeb (MHP).

Tato práce se zabývá problematikou systému pozemního digitálního televizního vysílání DVB-T. Vysvětluje princip zdrojového a kanálového kódování a kanálové modulace, popisuje funkci přijímače digitálního televizního vysílání – set top boxu. Hlavním cílem je seznámení se s vlivem parametrů digitálního televizního vysílání na robustnost přenášeného signálu a rozbor měřitelných parametrů přijímačů dle technické příručky ETSI TR 101 290. Na základě dostupného vybavení laboratoře digitálních televizí a z předchozích poznatků je navrženo měřicí pracoviště a realizováno měření vybraných parametrů set top boxů. V závěrečné kapitole jsou výsledky experimentálního měření zpracovány formou tabulek a grafů.

# 1 DIGITÁLNÍ TELEVIZNÍ VYSÍLÁNÍ

## 1.1 Standardy digitálního televizního vysílání

Standard DVB (Digital Video Broadcasting) je určen pro digitální přenos signálů obrazu, zvuku a dat k televiznímu divákovi [1]. Prostřednictvím tzv. multiplexu umožňuje přenášet několik televizních programů v komprimovaném formátu a tak lépe využít přenosové pásmo používané při analogovém přenosu.

V rámci DVB rozlišujeme několik standardů:

- **DVB-S** (Satellite) sloužící pro přenos družicovým vysíláním. Vyznačuje se nízkým vysílacím výkonem, velkou šířkou pásma a zanedbatelným vlivem odrazů. Využívá kompresní metody MPEG-2 nebo MPEG-4, 2 úrovně protichybového zabezpečení (vnější RS a vnitřní konvoluční kód), modulace QPSK nebo 8-PSK.
- **DVB-S2** je vylepšeným předchozím standardem, který umožňuje použití modulace 16-APSK a 32-APSK a tím dosažení větší přenosové rychlosti. Jako protichybové zabezpečení užívá vysoce efektivní LDPC kódování [2]. Je neslučitelný se standardem DVB-S.
- **DVB-C** (Cable) využívající kabelový přenos, pro který je charakteristická nízká úroveň rušení, proto postačuje pouze jedna úroveň protichybového zabezpečení (vnější RS kódování). Využívá kompresní metody MPEG-2 a modulace M-QAM. Šířka pásma je shodná s vysíláním analogové televize.
- **DVB-T** (Terrestrial) pro přenos pozemním vysíláním, které je výrazně ovlivněno vlivem rušení a odrazy. Využívá obě úrovně protichybového zabezpečení společně s prokládáním, ortogonálně dělený frekvenční multiplex OFDM v módech počtu nosných 2k nebo 8k s možností vkládání ochranného intervalu. Modulace QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM a kompresní metoda MPEG-2. Šířka pásma 8, 7, 6 nebo 5 MHz.
- **DVB-T2** je rozvíjející se vylepšený standard DVB-T, se kterým není vzájemně slučitelný. Počítá s využitím modulace až 256-QAM, s větším počet nosných OFDM, zabezpečením pomocí LDPC kódování a kompresí MPEG-4.
- **DVB-H** (Handhelds) vychází ze standardu DVB-T, je však uzpůsoben pro příjem na mobilních zařízeních (telefony, PDA) s malým rozlišením a nízkou rychlostí bitového toku.

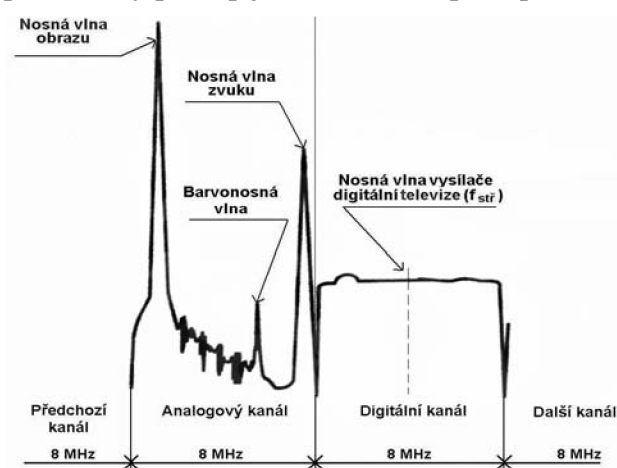
Tato práce se dále zabývá pozemním televizním vysíláním DVB-T.

## 1.2 Srovnání analogového a digitálního televizního vysílání

**Analogové TV vysílání** využívá k přenosu obrazu a zvuku spojitý analogový elektrický signál namodulovaný na nosnou vlnu vysílače. Spektrum signálu je nerovnoměrně

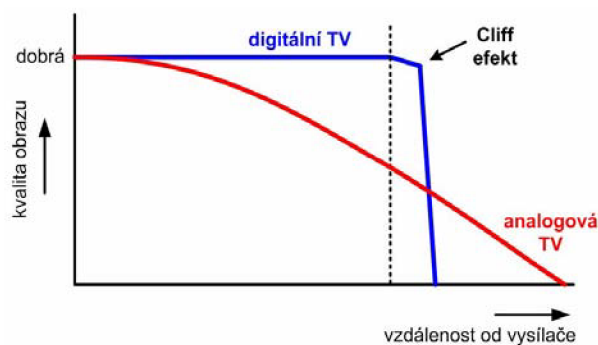
rozložené (obr 1.1). V jednom TV kanálu se přenáší jeden TV program. Na pokrytí určitého území jsou potřeba vysílače s velkým vyzařovacím výkonem a sousední vysílače nemohou, kvůli možnému rušení, vysílat na stejných kmitočtech. V oblastech se zvýšeným výskytem odrazů (městská zástavba) dochází k poruchám příjmu (duchy v obrazu).

**Digitální TV vysílání** se realizuje ve stejných TV pásmech jako vysílání analogové. Rovnoměrně využívá spektrum celého přenosového kanálu (viz obr. 1.1). Na pokrytí stejného území, jaké bylo u analogového přenosu, postačují vysílače s nižším výkonem. V jednom TV kanálu je možné přenášet více TV programů (3-5) ve standardní kvalitě, která odpovídá analogovému přenosu. Dále je možné přenášet i jiné datové toky (rozhlasové programy, EPG, MHP, ...). Systém DVB-T umožňuje budování tzv. jednofrekvenčních sítí (SFN), tj. stejný multiplex programů se vysílá sítí vysílačů na jediném kmitočtu, přičemž tyto vysílače se vzájemně neruší. Vkládáním ochranného intervalu se zlepšuje kvalita příjmu v oblastech s výskytem odrazů. Metodou ochrany pro podmíněný přístup je možné zabezpečit placené programy.



Obr. 1.1: Porovnání signálového spektra analogového a digitálního TV vysílače

Se vzrůstající vzdáleností od vysílače klesá u analogového TV přenosu úroveň signálu postupně a tím se postupně zhoršuje i kvalita obrazu (šum, vliv odrazů) viz červená křivka na obr. 1.2. U digitálního TV přenosu se kvalita obrazu s rostoucí vzdáleností od vysílače dlouhodobě nemění, až při určité vzdálenosti se začne projevovat „čtverečkování“ nebo obraz zamrzává. Při další změně vzdálenosti dochází k úplnému výpadku obrazu i zvuku, tzv. Cliff efekt (viz obr 1.2) [3].



Obr. 1.2: Srovnání příjmu analogového a digitálního TV vysílání (převzato z [3])

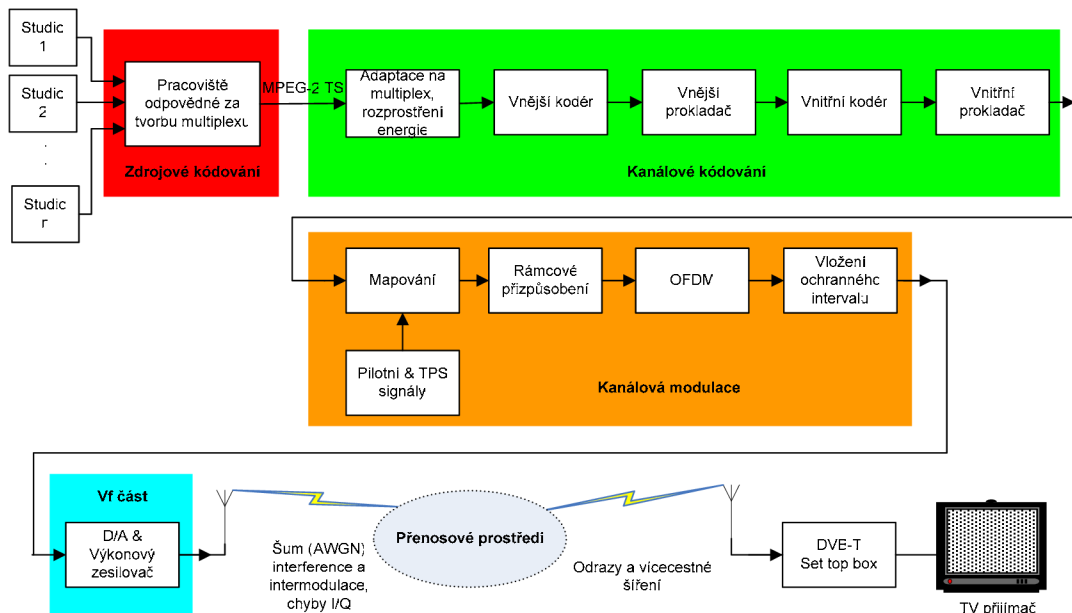
## 2 STANDARD DVB-T

Standard DVB-T patří ze všech standardů pro digitální televizní vysílání k nejkomplicovanějším, protože přenos pozemním (terestrickým) prostředím je nejvíce náchylný na rušení, odrazy, vícecestné šíření a jiné nežádoucí vlivy. Díky použité modulační metodě OFDM a dvojitě protichybové ochraně se tyto nežádoucí vlivy daří eliminovat a dosáhnout vynikajících výsledků [4].

Blokový diagram systému DVB-T je znázorněn na obr. 2.1. Signály z jednotlivých televizních studií jsou zdrojově kódovány na pracovišti odpovědném za tvorbu multiplexu a sloučeny do společného transportního toku. Podrobnější popis zdrojového kódování je uveden v podkapitole 2.1.

Transportní tok je dále zpracováván v blocích kanálového kódování a kanálové modulace. Jednotlivé dílčí bloky jsou popsány v podkapitolách 2.2 a 2.3.

Následuje poslední bloku vysílacího řetězce – D/A převodník a výkonový zesilovač, ve kterém je digitální signál zpracovaného transportního toku namodulován na vysokou frekvenci (VHF, UHF) nosné vlny vysílače s **šířkou pásma 8, 7, 6 nebo 5 MHz**. Úroveň signálu je zároveň upravena na požadovaný výkon a anténou vysílače je signál vyzářen do prostoru, kterým se šíří pozemní cestou k anténě přijímače digitálního televizního vysílání (set top boxu). Set top box je propojen s televizním přijímačem. Popisem přijímače digitálního televizního signálu se zabývá kapitola 3.



Obr. 2.1: Blokový diagram systému DVB-T

### 2.1 Zdrojové kódování

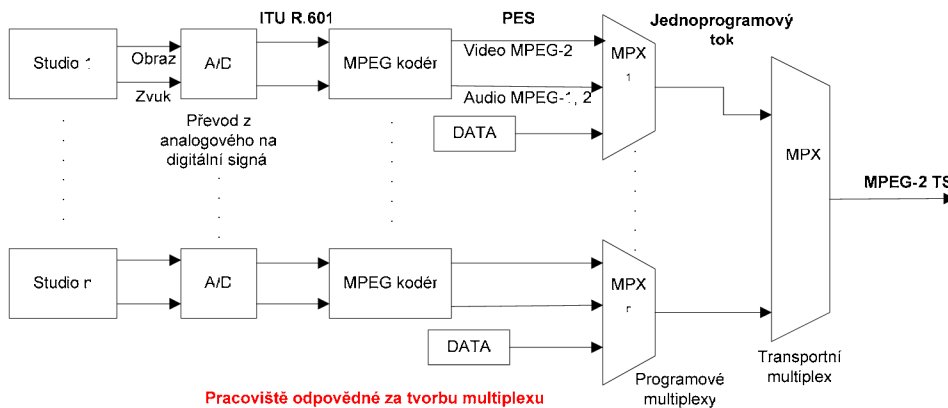
Analogové signály (obrazu a zvuku) z jednotlivých televizních studií jsou přivedeny na

pracoviště odpovědné za tvorbu multiplexu. Zde jsou signály digitalizovány a za použití kompresního algoritmu kódovány na nižší bitový tok.

V systému DVB-T byl pro komprimaci datového signálu zvolen kompresní algoritmus MPEG-2. Jedná se o ztrátovou komprimační metodu, která slouží ke snížení datového toku u digitálně zpracovávaného videozáznamu při co nejmenším viditelném zhoršení kvality po dekomprimaci. Umožňuje zpracovávat obraz i zvuk, multiplexaci programů a přidávání protichybové ochrany.

Kodér MPEG-2 je stavebnicové koncepce s možností volby různých kódovacích metod s různými parametry [5]. Standard tak připouští celou řadu variant, které se mohou měnit velmi rychle v závislosti na charakteru kódovaného obrazu a zvuku. Informace o vybraných variantách se přenášejí v toku dat spolu s užitečným signálem tak, aby dekodér na základě těchto informací správně dekodoval [6].

Na obr. 2.2 je uveden blokový diagram zdrojového kódování a multiplexace v DVB-T. Vstupním datovým tokem do MPEG-2 kodéru je nekomprimovaný videosignál (s datovým tokem 270 Mbit/s pro SDTV dle doporučení ITU-BT.R 601) a nekomprimovaný audiosignál (cca 1,5 Mbit/s). Komprimovaný MPEG-2 datový tok představuje 2-6 Mbit/s pro obraz a 100-400 kbit/s pro zvuk [1]. Komprimované video a audio toky při kódování MPEG, případně i toky přídatných dat (např. teletextová data, EPG apod.), jsou nazývány elementárními toky (ES). Přidáním hlavičky, nesoucí synchronizační informace, vzniká paket elementárního toku (PES). Pakety obrazu, zvuku a dat jednoho televizního programu jsou multiplexovány v programovém multiplexu a tvoří tak jednoprogramový tok. Několik programových toků multiplexovaných v transportním multiplexu tvoří transportní tok (TS). Transportní tok je zabezpečen množstvím indikátorů o stavu a obsahu TS, podle kterých se řídí demultiplexace na straně přijímače.



Obr. 2.2: Blokový diagram zdrojového kódování a multiplexace

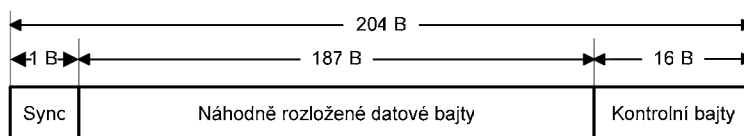
## 2.2 Kanálové kódování

Prvním blokem zpracování v kanálovém kodéru (obr. 2.1) je blok přizpůsobení transportního toku a rozptřeni energie. Na vstup je přiveden transportní tok MPEG-2 TS, jehož data jsou organizována v paketech konstantní délky 188 bajtů, z toho 187

bajtů informačních a jeden synchronizační (47<sub>HEX</sub>). Všechny procesy prováděné na straně kodéru by měly začínat od nejvýznamnějšího bitu tohoto synchronizačního bajtu.

Obecně nelze předpokládat, že je výkonové rozložení signálu v transportním toku rovnoměrné. Proto je jako první krok při zpracování provedeno znáhodnění pomocí pseudonáhodné binární sekvence (PRBS), což vede k téměř rovnoměrnému rozložení energie ve spektru signálu, pro zpracování v dalších blocích.

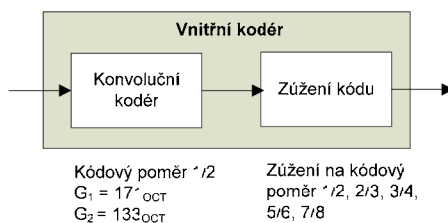
Vnější kodér zabezpečuje bloky dat. V systému DVB-T je použit **Reed-Solomonův kód RS(204, 188)**, který ke vstupujícím paketům MPEG-2 TS o délce 188 bajtů (1 B synchronizační, 187 B datových) přidává 16 bajtů kontrolních (viz obr. 2.3). Je tedy schopen opravit až 8 bajtů z 204-bajtového paketu.



Obr. 2.3: Paket transportního toku za obvodem RS(204, 188)

Dalším blokem zpracování je vnější konvoluční prokladač, založený na Forneyově principu [7] s hloubkou prokládání  $I = 12$ . Prokládání je aplikováno na jednotlivé bajty 204 bajtového paketu. Úkolem prokladače je promíchání pořadí symbolů tak, aby se sousední symboly rozmístily co nejdále od sebe, což snižuje možnost vytváření shlukových chyb [1].

Vnitřní kodér je **konvoluční bitový kodér**, který slouží k zabezpečení jednotlivých bitů. Jeho účinnost závisí na délce působení kodéru na bitový tok. Oproti vnějšímu kodéru se liší tím, že zde nedochází k přidávání dalších (kontrolních) bajtů nebo bitů, ale vstupní bity se navzájem ovlivňují vytvářením součtů na různých odbočkách posuvného registru, který je součástí konvolučního kodéru. Základní kódový poměr je 1/2 s 64 stavy a generující polynomy  $G_1 = 171_{\text{OCT}}$  a  $G_2 = 133_{\text{OCT}}$ . Za účelem dosažení vyšších přenosových rychlostí (snížení redundance vzniklé při konvolučním kódování) je možné snížit kódový poměr zúžením kódu, tj. vynecháním určitých bitů (obr. 2.4). Zúžením kódového poměru však dochází ke zhoršení robustnosti přenášeného signálu. V systému DVB-T se používají **kódové poměry 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 a 7/8**, přičemž kódový poměr 1/2 představuje nejvyšší robustnost a poměr 7/8 robustnost nejmenší.

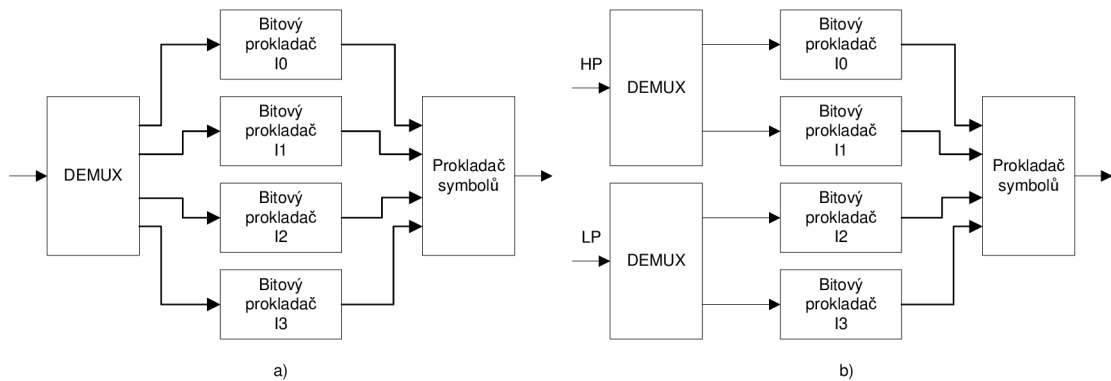


Obr. 2.4: Blokové uspořádání vnitřního kodéru

Posledním blokem kanálového kodéru je vnitřní prokladač. Vnitřní prokládání probíhá v několika, po sobě jdoucích krocích (viz obr. 2.5): Nejprve se provede



demultiplexace sériového toku bitů do několika větví (podtoků). Počet větví je závislý na typu použité modulace. Pro modulaci QPSK jsou to 2 větve, pro 16-QAM 4 větve a pro 64-QAM 6 větví, což odpovídá počtu bitů potřebných pro vytvoření jednoho modulovaného symbolu. V dalším kroku je pak každá z těchto větví zpracována samostatným bitovým prokladačem s délkou působení 126 bitů, ale proložení realizované v každé z paralelních větví je definováno jinou permutační funkcí. Posledním krokem je symbolové prokládání, prokládající zároveň odpovídající bity v jednotlivých větvích s délkou působení podle počtu aktivních nosných kmitočtů, závislých na použitém módu OFDM přenosu. Pro mód 2k je to 1512 užitečných nosných a 6048 užitečných nosných pro mód 8k [8].



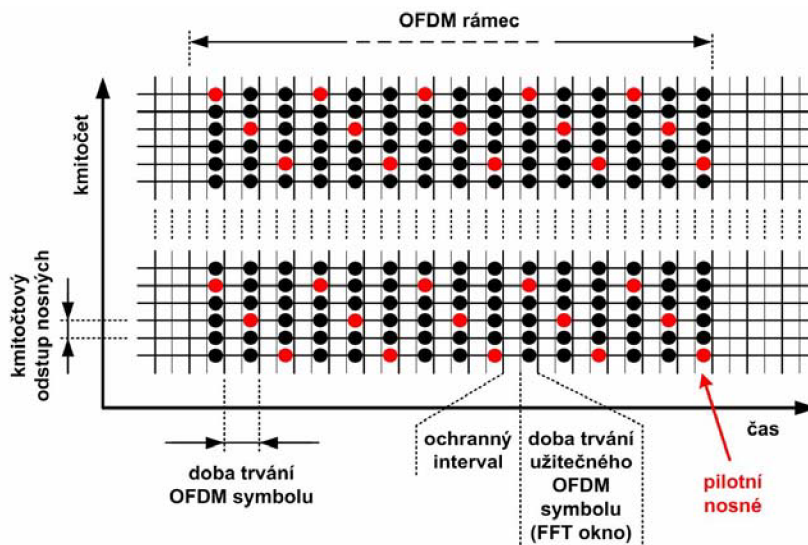
Obr. 2.5: Vnitřní prokladač 16-QAM pro: a) nehierarchický režim a b) hierarchický režim

Nehierarchický přenosový režim, který byl doposud popisován, přenáší jedním kanálem pouze jeden transportní datový tok (multiplex) s danou úrovní zabezpečení. Systém DVB-T umožňuje využití i tzv. hierarchického přenosového režimu, u kterého je možné přenášet jedním kanálem dva odlišné transportní datové toky (multiplexy), případně jeden rozdělený transportní datový tok, s rozdílnou úrovní zabezpečení. Do systému tedy vstupují dva datové toky, označované jako HP (High Priority) s nižší přenosovou rychlostí a LP (Low Priority) s vyšší přenosovou rychlostí a tím i s vyššími nároky na poměr C/N. Každý datový tok je zpracován samostatným řetězcem protichybového zabezpečení a následně jsou tyto datové toky sloučeny ve vnitřním prokladači viz obr. 2.5 b).

## 2.3 Kanálová modulace

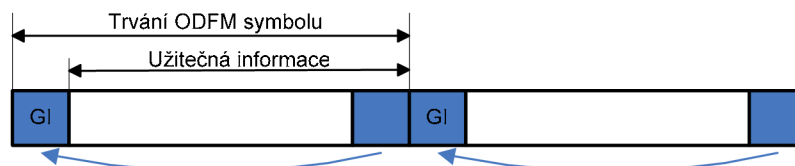
Výše popsané bloky měly za úkol kódování vstupních dat, další bloky zajišťují jeho modulaci. Systém DVB-T užívá pro přenos ortogonální, kmitočtově dělený multiplex (OFDM). Všechny datové nosné v OFDM rámci jsou modulovány některou z následujících modulací: **uniformní QPSK**, **16-QAM**, **64-QAM**, nebo **neuniformní modulací 16-QAM** nebo **64-QAM**. V závislosti na konstelaci jsou přeneseny 2 bity (při QPSK), 4 bity (při 16-QAM), nebo 6 bitů (při 64-QAM) v jediném okamžiku a na jedné subnosné. Každá konstelace vyžaduje minimální hodnotu odstupů C/N, při které je možná demodulace. Např. modulace QPSK je zhruba 4 až 5x odolnější proti šumu, než modulace 64-QAM [8]. Modulace QPSK má tedy oproti ostatním modulacím největší robustnost, ale zároveň i nejmenší přenosovou rychlost.

Výstup z vnitřního prokladače je pomocí Grayova mapování [7] namapován do symbolů jedné z výše uvedených modulací. Jsou přidány TPS signály, nesoucí informaci o druhu a režimu použité modulace, ochranném intervalu, kódovém poměru, přenosovém módu a počtu rámců a dále jsou přidány pilotní signály, sloužící k synchronizaci. Následuje přizpůsobení dat do rámců. Rámec OFDM signálu je nejprve vytvořen ve frekvenční oblasti. Zde jsou na pozice aktivních nosných vložena užitečná data, dále jsou vytvořeny TPS nosné a spojitě pilotní nosné (obr. 2.6), mající za úkol přenos výše uvedených parametrů vysílání a synchronizaci, rozptýlené nosné, sloužící pro odhad kanálu a nulové nosné, zajišťující dostatečný odstup mezi vysílacími kanály. Následující OFDM modulátor využívá rychlou Fourierovu transformaci (FFT) k převodu signálu do časové oblasti.



Obr. 2.6: Znázornění nosných signálu OFDM v kmitočtově časových souřadnicích včetně ochranného intervalu a pilotních nosných (převzato z [3])

Do rámce OFDM signálu je možné vkládat **ochranný interval** (GI), který umožňuje provoz vysílačů v jednofrekvenční síti. Konec každého OFDM symbolu, jehož délka odpovídá délce ochranného intervalu je zkopírován na začátek tohoto symbolu. Tím se prodlouží doba trvání jednoho OFDM symbolu (obr. 2.6) a omezí se mezisymbolové interference. Princip tvoření ochranného intervalu je znázorněn na obr. 2.7.



Obr. 2.7: Vytvoření ochranného intervalu (GI) v OFDM symbolu

## 3 SET TOP BOX

Pojem set top box (STB) označuje přijímač digitálního televizního vysílání. Zpravidla je tvořen jako samostatné, přídatné zařízení k současným analogovým televizním přijímačům. Vstupem STB je digitalizovaný signál přivedený z televizní antény. Tento vstupní signál STB konvertuje na analogový signál v základním pásmu PAL, SECAM nebo NTSC a následně přivádí na výstupní konektor, odkud je STB propojen s televizním přijímačem. Set top boxy se mezi sebou liší provedením a různou hardwarovou i softwarovou výbavou.

Všechny STB jsou vybaveny anténními konektory (RF vstup) pro připojení venkovní nebo pokojové televizní antény. Anténní vstupy jsou často řešeny jako průchozí, STB pak kromě anténního vstupu obsahuje i anténní výstup. K propojení s televizním přijímačem se nejčastěji využívá konektor SCART, který přenáší obrazový i zvukový signál současně. Další možností je propojení pomocí konektoru S-Video nebo RCA (cinch) přenášejících pouze obrazový signál. Zvukový signál je pak přiveden dvojicí konektorů RCA (L+P) nebo digitálním S/PDIF, případně optickým konektorem Toslink. LCD a plazmové TV přijímače disponují konektorem HDMI, který umožňuje přenos nekomprimovaného obrazového a zvukového signálu v digitálním formátu. Pokud TV přijímač obsahuje pouze anténní vstup, je nutné, aby byl STB vybaven televizním vf modulátorem. Tento modulátor vytvoří běžný analogový televizní signál (v soustavě PAL), který naladíme na příslušném kanálu v televizoru.

Kromě uvedených konektorů obsahují STB také konektor RS232, který umožňuje sériovou komunikaci s počítačem a slouží k aktualizaci software. V poslední době se často vyskytuje i konektor USB, který umožňuje rovněž komunikaci s počítačem, ale jeho skutečná funkce se u jednotlivých modelů liší.

Provedení STB, jak už bylo uvedeno, je nejčastěji ve formě samostatného, přídatného zařízení k televiznímu přijímači. Dalšími možnostmi je provedení ve formě přídatné karty do počítače (PCI, PCIe, PCMCIA či ExpressCard), ve formě USB klíče nebo u novějších televizorů je digitální přijímač již integrován přímo na základní desce televizoru (IDTV).

### 3.1 Blokové schéma, popis bloků

Obecné blokové schéma STB je uvedeno na obr. 3.1. Vstupní část, do které je připojena televizní anténa tvoří tuner. Úkolem tuneru je výběr jednoho kanálu požadovaného multiplexu a upravení přijímaného signálu do základního pásma pro další zpracování. Pro kvalitní příjem DVB-T jsou vlastnosti tuneru velmi důležité. Je požadována dobrá fázová šumová charakteristika, dostatečná vstupní citlivost, dynamický rozsah a selektivita. Vstupní citlivost určuje nejnižší úroveň vstupního signálu potřebnou pro nerušený příjem obrazu, bývá udávána v jednotkách dBm nebo dB $\mu$ V (dBu). Dynamický rozsah je dán rozdílem maximální a minimální úrovně vstupního signálu. Selektivita znamená schopnost přijímače odolávat rušivým signálům a vybrat tak ze směsice signálů, lišících se navzájem kmitočty, signál užitečný (žádoucí). Součástí tuneru je i obvod pro samočinné doladování AFC.

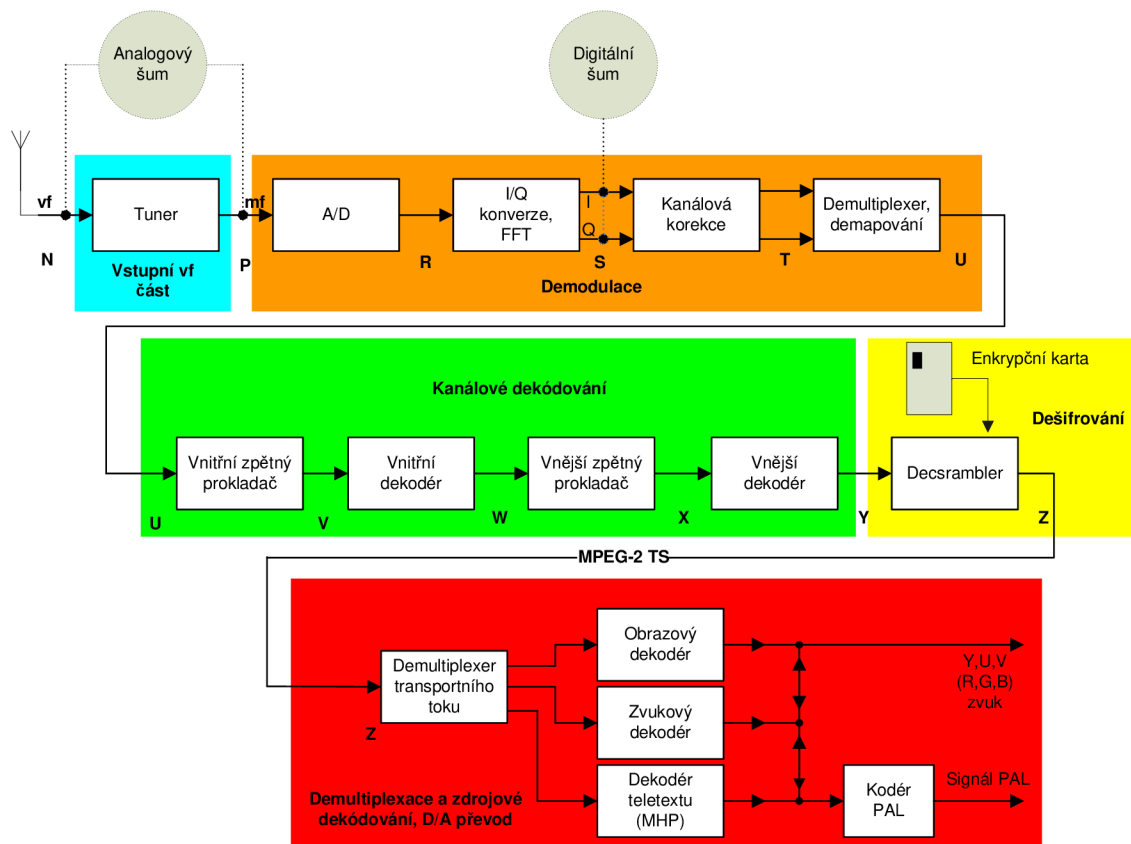
Výstupní signál z tuneru je veden do OFDM demodulátoru. Blok FFT zpracování signálu transformuje OFDM symboly zpátky do frekvenční oblasti. Tyto však ještě přesně neodpovídají rozložení jednotlivých nosných, okénko FFT není přesně umístěno na aktuálním symbolu (způsobuje to fázový posuv všech subnosných nebo natočení konstelace). Měřením amplitudového a fázového zkreslení spojitých a rozptýlených nosných, které jsou určeny k odhadu kanálu, lze vypočítat korekční funkci kanálu a odstranit tak uvedené zkreslení [1].

S kanálovou korekcí jsou dekodovány TPS nosné a následuje demultiplexace rámců OFDM a demapování. Datový tok je nyní k dispozici pro kanálové dekodování, které zajišťují obvody Viterbiho dekodéru, RS dekodéru a obou zpětných prokladačů.

Pro zamezení přístupu k placeným programům se na straně vysílače používá zabezpečení pomocí šifrovacího algoritmu (např. systém Cryptoworks, Conax, ...), který je nutné, v případě potřeby, na straně přijímače dešifrovat pomocí enkrypční karty. Dešifrování zajišťuje blok descambleru.

Dále dostáváme kompletní datový tok MPEG-2 TS, ze kterého pomocí demultiplexu vybereme jednotlivé elementární obrazové, zvukové a datové toky jednoho programu, které jsou pak vedeny do příslušných dekodérů. Dekodéry převádí digitální tok na analogový audio a video signál do systému PAL, případně SECAM nebo NTSC.

Součástí každého přijímače je řídicí jednotka (CPU), která ovládá činnost jednotlivých bloků, a činnost celého přijímače v závislosti na interakci uživatele. Komunikace mezi jednotlivými moduly a CPU je zajištěna pomocí sběrnice (např. I<sup>2</sup>C).



Obr. 3.1: Obecný blokový diagram set top boxu DVB-T

## 4 MĚŘENÍ SET TOP BOXŮ

Seznam parametrů měřitelných v systému DVB-T uvádí technická příručka ETSI TR 101 290. Tyto parametry jsou v následující tabulce (tab. 4.1) přehledně uspořádány. Tabulka zahrnuje parametry měřitelné na straně vysílače, v přenosové síti a parametry měřitelné na straně přijímače.

Tab. 4.1: Seznam parametrů měřitelných v systému DVB-T dle ETSI TR 101 290

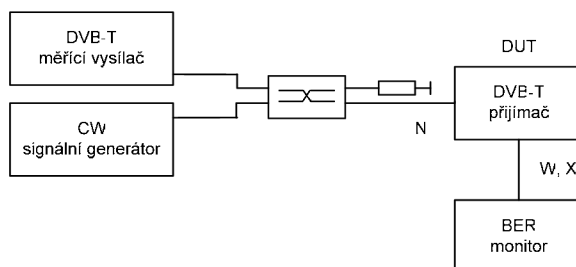
| Parametr měření   | Vysílač | Sít' | Přijímač |
|---|---------|------|----------|
| 1) Měření vf  |         |      |          |
| 1.1) Přesnost nastavení nosných kmitočtů                    | X       |      |          |
| 1.2) Šířka kanálu   | X       |      |          |
| 1.3) Měření délky symbolu (ověření ochranného intervalu)    | X       |      |          |
| 2) Selektivita  |         |      | X        |
| 3) Zachytávací rozsah AFC                                   |         |      | X        |
| 4) Fázový šum místních oscilátorů                           | X       |      | X        |
| 5) vf/mf výkon signálu                                      | X       | X    | X        |
| 6) Výkon šumu   |         |      | X        |
| 7) Vf a mf spektrum   | X       |      |          |
| 8) Citlivost přijímače / dynamický rozsah pro Gaussův kanál |         |      | X        |
| 9) Rovnocenné šumové zkreslení (END)                        | X       |      | X        |
| 9a) Rovnocenná šumová hladina (ENF)                         | X       |      |          |
| 10) Charakteristika linearity                               | X       |      |          |
| 11) Výkonová účinnost                                       | X       |      |          |
| 12) Koherentní rušení                                       | X       | X    |          |
| 13) BER vs. poměr C/N při změně výkonu vysílače             | X       | X    |          |
| 14) BER vs. poměr C/N při změně úrovně Gaussova šumu        |         | X    | X        |
| 15) BER před Viterbiho (vnitřním) dekodérem                 | X       | X    | X        |
| 16) BER před RS (vnějším) dekodérem                         | X       | X    | X        |
| 17) BER za RS (vnějším) dekodérem                           | X       | X    |          |
| 18) Analýza I/Q složek                                      |         |      |          |
| 18.1) Modulační chybovost (MER)                             | X       | X    | X        |
| 18.2) System Target Error (STE)                             | X       |      | X        |
| 18.3) Potlačení nosné (CS)                                  | X       |      | X        |
| 18.4) Amplitudové nevyvážení (AI)                           | X       |      | X        |
| 18.5) Kvadraturní chyba (QE)                                | X       |      | X        |
| 18.6) Fázový jitter (PJ)                                    | X       |      | X        |
| 19) Celkové zpoždění signálu                                | X       | X    |          |
| 20) SFN synchronizace                                       | X       |      |          |
| 21) Odolnost systému vůči chybám                            | X       | X    | X        |

Tato práce se dále bude zabývat pouze parametry měřitelnými na straně přijímače DVB-T. Body (rozhraní) měření, na které je v následujících podkapitolách odkazováno, jsou uvedeny na obr 3.1 (kap. 3).

### 4.1 Selektivita

Na rozhraní **N** se měří vstupní úroveň užitečného a rušivého signálu a v místě **W** nebo **X** se monitoruje bitová chybovost BER. Vstupní úroveň signálu se nastaví na hodnotu **o**

10dB vyšší, než je minimální vstupní úroveň definovaná jako citlivost přijímače (viz 4.6). Odstup C/I (odstup nosné vlny od rušícího signálu) potřebný pro kvazibezchybný příjem za RS dekodérem (tzn.  $BER < 2 \times 10^{-4}$  před RS dekodérem) by měl být měřen jako funkce kmitočtu rušícího signálu generovaného CW generátorem. Blokový diagram pro měření selektivity je uveden na obr. 4.1.

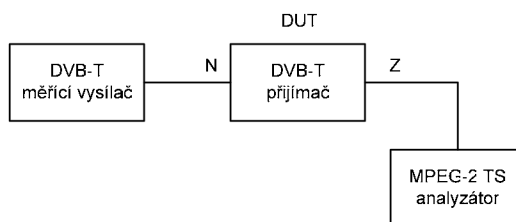


Obr. 4.1: Měření selektivity

## 4.2 Zachytávací rozsah AFC

AFC (Automatic Frequency Control) je systém samočinného doladování kmitočtu, který vyhodnocuje kmitočtovou odchylku mezi signály se skutečným jmenovitým a mezifrekvenčním kmitočtem. Jde o systém, který samočinně doladuje místní oscilátor, aby jeho kmitočet co nejpřesněji odpovídal jmenovité hodnotě. Jeho působením se zpravidla výrazně zlepšuje kmitočtová stabilita [8].

Na vstup přijímače (bod N) se přivede vstupní signál s úrovní přibližně o 10 dB větší, než je minimální vstupní úroveň definovaná jako citlivost přijímače (viz 4.6). Signál se frekvenčně posouvá v krocích v okolí nominální hodnoty a v bodě Z (výstup MPEG-2 TS z přijímače) se sleduje parametr „Sync\_byte\_error“. Jedná se o parametr první (nejvyšší) priority transportního toku MPEG-2, na němž závisí schopnost přijímače dekodovat transportní tok. Blokový diagram obvodu pro měření zachytávacího rozsahu AFC je uveden na obr. 4.2.



Obr. 4.2: Měření AFC

## 4.3 Fázový šum místních oscilátorů

Fázový šum je způsoben náhodnými odchylkami fáze místních oscilátorů vysílače i přijímače DVB-T.

V systému OFDM může fázový šum způsobit tzv. společnou fázovou chybu (CPE), která postihuje všechny nosné kmitočty současně a projeví se posunutím symbolů IQ diagramu mimo svoje osy. Tím dochází ke snížení odstupů šumu systému a k růstu chybovosti BER. Tato chyba může být minimalizována nebo opravena použitím spojitých pilotů. Dále se může vyskytnout vzájemná interference mezi jednotlivými nosnými (ICI), kterou nelze opravit.

Měření fázového šumu se provádí na výstupech místních oscilátorů přijímače. K měření lze použít spektrální analyzátor, vektorový analyzátor nebo měřič fázového šumu. Výkonová hustota fázového šumu se vyjadřuje v jednotkách dBc/Hz.

## 4.4 Vf/mf výkon signálu

Pro zjištění výkonu přijímaného signálu se provádí jeho měření a to na vstupu přijímače v bodě **N** (vf úroveň) nebo **P** (mf úroveň). Výkon signálu DVB-T je definován jako střední výkon signálu měřen termickou sondou wattmetru. Měření přijímaného signálu by mělo vyhovovat limitům v příslušné šířce pásma. Použijeme-li k měření spektrální analyzátor nebo kalibrovaný přijímač, musíme sčítat výkon signálu v obsazené šířce pásma [9]

$$B_{OCC(OFDM)} = n \cdot f_{SPACING}, \quad (1)$$

kde  $B_{OCC(OFDM)}$  je zabraná šířka pásma,  $n$  počet nosných (6817 pro mód 8k nebo 1705 pro mód 2k) a  $f_{SPACING}$  je odstup frekvencí subnosných vln (1116 Hz pro mód 8k nebo 4464 Hz pro mód 2k).

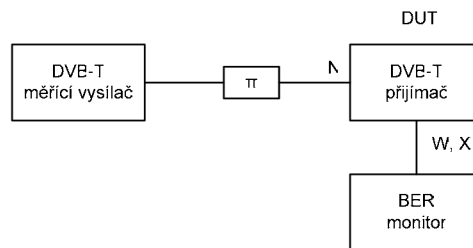
## 4.5 Výkon šumu

Šum představuje znehodnocení vysílaného signálu po průchodu přenosovým prostředím. Měření výkonu šumu se provádí, stejně jako měření výkonu užitečného signálu (viz kap.4.4) v bodech **N** nebo **P**. Šumová úroveň (střední hodnota) může být měřena spektrálním analyzátozem. Rovněž musíme sčítat výkon v obsazené šířce pásma OFDM signálu viz (1).

Parametr C/N – odstup úrovně nosné vlny od úrovně šumu je vyjádřen jako poměr úrovně užitečného signálu změřeného v kap. 4.4 k úrovni šumu popsané v této kapitole.

## 4.6 Citlivost přijímače/dynamický rozsah pro Gaussův kanál

Pro účely plánování sítě je potřebné definovat minimální a maximální vstupní úroveň signálu pro správný chod přijímače. Testovací signál se přivádí na rozhraní **N** a v místě **W** nebo **X** se sleduje chybovost BER před RS dekodérem v závislosti na změně úrovně testovacího signálu (obr 4.3). Rozdíl změřené maximální a minimální úrovně vstupního testovacího signálu, při které je kvazi-bezchybný příjem za RS dekodérem, určuje dynamický rozsah přijímače. Minimální úroveň pak udává citlivost přijímače.

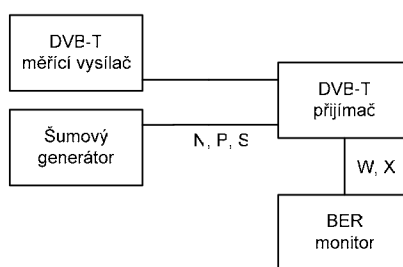


Obr. 4.3: Měření citlivosti přijímače a dynamického rozsahu pro Gaussův kanál

## 4.7 Rovnocenné šumové zkreslení (END)

END je měření implementačních ztrát měřeného zařízení oproti referenčním hodnotám. Implementační ztráty jsou způsobeny zkreslením přijímače, jako je fázový šum místních oscilátorů, zkreslením vlivem nelinearit aktivních prvků, amplitudovou a fázovou nesymetrií, chybami demodulátoru.

Do bodu **N**, **P** nebo **S** se zavádí šum, v bodě **W** nebo **X** se měří chybovost BER (viz obr 4.4). Hodnota END je získána z poměru naměřeného C/N v dB potřebného pro dosažení BER  $2 \times 10^{-4}$  před RS dekodérem a poměru C/N uváděném jako teoretická hodnota při které je BER  $2 \times 10^{-4}$  pro Gaussův kanál.



Obr. 4.4: Měření rovnocenného šumového zkreslení (END)

## 4.8 BER vs. poměr C/N při změně úrovně Gaussova šumu

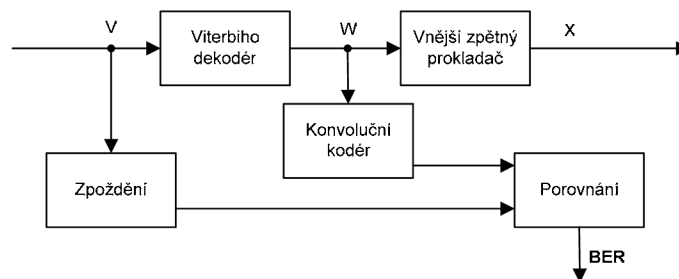
Měření slouží pro zhodnocení chybovosti BER přijímače při měnícím se poměru odstupů úrovně nosné a šumu C/N s přidáním Gaussova šumu. BER je definován jako poměr mezi počtem přijatých chybných bitů k celkovému počtu přenesených bitů. Toto měření může být použito pro porovnání kvality přijímače s teoretickými hodnotami nebo pro srovnání s jinými přijímači. Pseudonáhodná binární sekvence (PRBS) se přivede před vnitřní prokladač nebo mapovač vysílače. Různé poměry C/N jsou vytvořeny na vstupu testovaného přijímače přidáváním Gaussova šumu a chybovost BER přijímače je měřena v bodě **V** (nebo **U**) pomocí měřiče BER. Dle doporučení ITU-T O.151 by měl být měřicí vysílač schopen generovat posloupnost  $2^{23}$  [9]. Pro měření úrovně nosné a šumu je šířka pásma definována dle vztahu (1) viz kap. 4.4.



## 4.9 BER před Viterbiho (vnitřním) dekodérem (BER před FEC)

Měření se provádí v průběhu provozu vysílání a udává celkovou chybovost, jako součet chybovostí vznikajících ve vysílači, přenosovém prostředí a v přijímači. Chybovost celého systému se měří na straně přijímače v bodě **V** (před Viterbiho dekodérem).

Metoda měření spočívá v opětovném zakódování již dekodovaného signálu po průchodu Viterbiho dekodérem stejným konvolučním kódovým schématem, kterým byl signál kódován ve vysílači. Takto je získán nový datový tok, jehož bitové úrovně se porovnávají s originálním signálem před Viterbiho dekodérem. Princip metody je znázorněn blokovým schématem na obr. 4.5.



Obr. 4.5: Metoda pro měření BER před Viterbiho dekodérem

## 4.10 BER před RS (vnějším) dekodérem

BER před RS dekodérem je primárním parametrem, který popisuje kvalitu digitálního přenosu. Měření se provádí na rozhraní **W** nebo **X** (před RS dekodérem).

Měření je možné provádět tzv. „v provozu“ a nebo „mimo provoz“, kdy je v kanálovém kodéru vysílače generována známá, opakující se sekvence bitů, nejlépe pseudonáhodné povahy.

Za normálních provozních podmínek RS dekodér opravuje všechny chyby správně a vysílá bezchybný paket transportního toku. Vyskytne-li se několik závažných chyb, RS dekodovací algoritmus může být zahlcen a nemusí být schopen transportní paket opravit. V tomto případě je parametr druhé nejvyšší priority transportního toku MPEG2 *transport\_error\_indicator*, udávající chybu v přenosu paketu TS, nastaven na hodnotu „1“. Počet chybných bitů uvnitř TS paketu je odhadnut porovnáním bitů daného paketu před a po RS dekodování. Pokud naměřená hodnota BER přesahuje  $10^{-3}$ , je měření považováno za nemožné, kvůli překročení maximálního limitu dekodovacího RS algoritmu.

## 4.11 Analýza IQ složek v konstelačním diagramu

V OFDM systému lze analyzovat jednotlivé nosné signály samostatně, nebo lze analyzovat skupiny nosných. Pro analýzu signálových složek  $I(t)$  a  $Q(t)$  se s výhodou

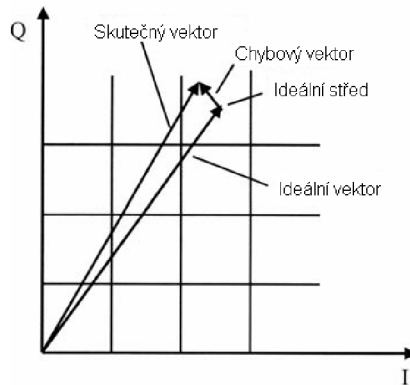
využívá zobrazení těchto složek ve formě konstelačního diagramu.

Parametry potlačení nosné (CS), amplitudové nevyvážení (AI) a kvadraturní chyba (QE) jsou typickými parametry modulátoru. Ostatní parametry jsou ovlivněny také přenosovým systémem a přijímačem (demodulátorem).

Analýza IQ složek v přijímači se provádí na rozhraní **S** nebo **T**.

#### 4.11.1 Modulační chybovost (MER)

Modulační chybovost určuje kvalitu digitální modulace a dále zahrnuje všechny interferenční vlivy vzniklé ve vysílači, v přenosové cestě a přijímači. Analýzou IQ složek se stanoví chybový vektor ( $\delta I_j, \delta Q_j$ ), který je definován jako vzdálenost z ideální pozice vybraného symbolu (střed rozhodovací úrovně) od skutečné polohy přijatého symbolu viz obr 4.6.



Obr. 4.6: Vektory pro stanovení MER

Suma mocnin velikostí ideálních symbolových vektorů ( $I_j, Q_j$ ), je podělena sumou mocnin chybových vektorů  $\delta I_j$  a  $\delta Q_j$ . Výsledná hodnota MER je pak vyjádřena jako výkonový poměr v dB dle následujícího vztahu [9]:

$$MER = 10 \times \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} dB, \quad (2)$$

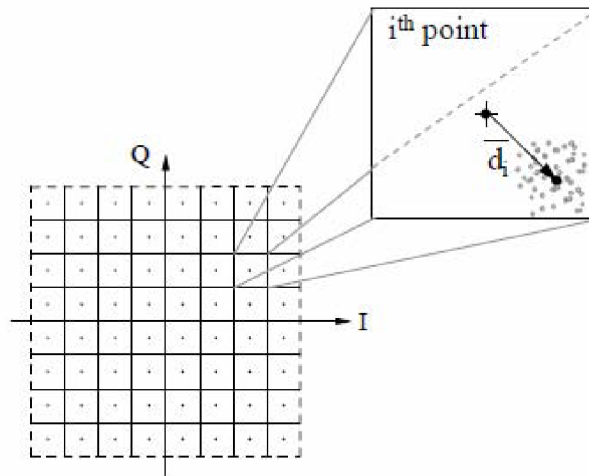
kde  $N$  je počet datových bodů měřeného vzorku.

Kvalitu digitální modulace je též možno posoudit pomocí parametru **EVM** (Error Vector Magnitude), který používá jako referenční **špičkovou** hodnotu velikosti signálu, kdežto **MER** používá jako referenční hodnotu **RMS** velikost signálu.

#### 4.11.2 System target error (STE)

Posunutí středu obláčků v konstelačním diagramu z jejich ideálních poloh snižuje šumovou odolnost systému a znamená přítomnost zvláštních druhů rušení, jako je amplitudová nerovnováha a kvadraturní chyba. STE je tedy parametr, který indikuje celkové zkreslení přijímaných dat.

Pro každý z  $M$  symbolových bodů v konstelačním diagramu se počítá vzdálenost  $d_i$  mezi středem rozhodovacího čtverce a bodem odpovídajícím středu oblačku. Tato vzdálenost se nazývá Target Error Vector (TEV) a je zobrazena na obr. 4.7.



Obr. 4.7: Znárodnění chybového vektoru TEV (převzato z [9])

#### 4.11.3 Potlačení nosné (CS)

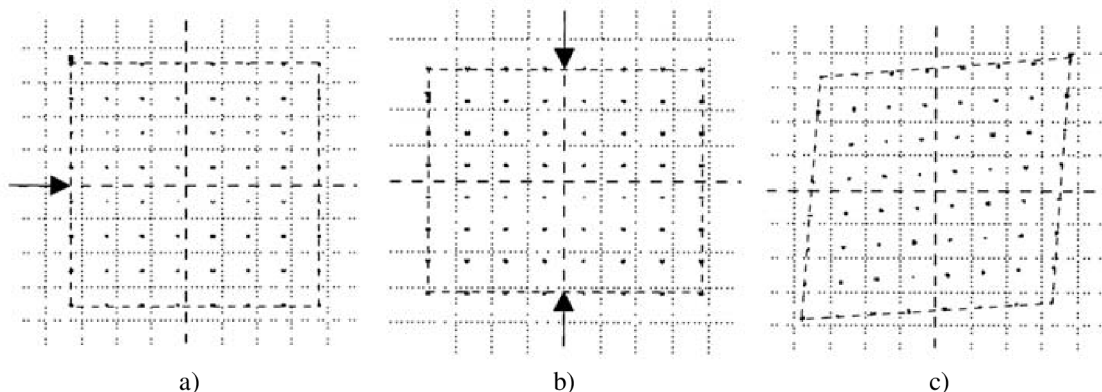
Zbytková nosná vlna je nežádoucí koherentní signál přidaný ke střední nosné OFDM signálu. Může být vytvořena stejnosměrným napěťovým offsetem při modulování  $I$  a/nebo  $Q$  složky signálu nebo jako přeslech modulovaných nosných uvnitř modulátoru. Při nedostatečném potlačení nosné, je IQ diagram posunutý směrem ze středu do libovolného směru (obr 4.8 a). Potlačení nosné je pak možné určit z poměru výkonu střední nosné vlny a zbytkové nosné vlny dle vztahu uvedeném v [9].

#### 4.11.4 Amplitudové nevyvážení (AI)

Nevyvážení amplitud při modulaci se v konstelačním diagramu projeví v odlišném rozložení dvojic hodnot IQ do vertikálního a horizontálního směru. Příkladem může být případ, kdy je horizontální rozložení větší než vertikální (obr. 4.8 b). Metoda měření spočívá ve zjišťování velikostí odchylek od ideálního středu ze všech bodů konstelačního diagramu v daném směru posunutí. Amplitudová nerovnováha je udávána v procentech a ze zjištěných odchylek je možné ji vypočítat pomocí vztahů uvedených v [9].

#### 4.11.5 Kvadrurní chyba (QE)

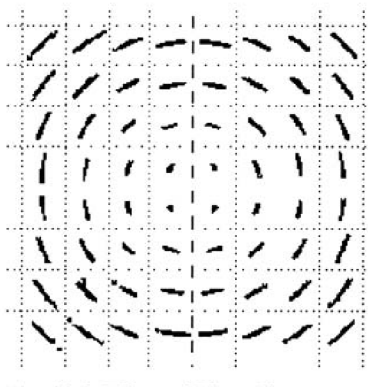
Fáze dvou nosných, napájejících  $I$  a  $Q$  modulátory, musí být ortogonálně posunuté. Pokud jejich fázový posuv není  $90^\circ$ , vznikne zkreslení konstelačního diagramu znázorněné na obr. 4.8 c. Analýzou IQ diagramu se určí velikost úhlů fázového posuvu od ideálního středu v  $I$  a  $Q$  směru. Rozdílem velikostí zjištěných úhlů a převedením na stupně se určí velikost kvadrurní chyby.



Obr. 4.8: IQ chyby modulátoru: a) nedostatečné potlačení nosné, b) amplitudové nevyvážení, c) kvadraturní chyba (převzato z [1])

#### 4.11.6 Fázový jitter (PJ)

Tato chyba je způsobena kolísáním fáze nebo frekvence oscilátorů. Projevuje se jako příčné zkreslení v konstelačním diagramu, signálové body jsou uspořádány podél zaoblených čar procházejících středem každého rozhodovacího čtverce (viz obr 4.9). Kolísání fáze ovlivňuje všechny nosné ve stejném rozsahu.



Obr. 4.9: Efekt fázového jitteru na konstelační diagram (převzato z [1])

Výpočet se provádí použitím symbolů uvnitř čtyř krajních rozhodovacích čtverců. Teoretická hodnota fázového jitteru může být spočítána pomocí algoritmů uvedených v [9].

#### 4.12 Odolnost systému vůči chybám

Odolnost systému vůči chybám popisuje odolnost digitálního přenosu od vstupu MPEG-2 TS do systému DVB-T až po výstup MPEG-2 TS z tohoto systému. Měření se provádí na rozhraní **Z** (výstup MPEG-2 TS z přijímače). Pro posouzení odolnosti samotného vysílače je možné měření provádět přímo na výstupu vysílače, nebo na vstupu přijímače (zahrnutí vlivu přenosového prostředí).

Měření je založeno na zjišťování následujících chybových událostí:

- **Chybné sekundy** - Error Second (ES), nebo **chybného časového intervalu** - Errored Time Interval (ETI)
- **Několik chybných sekund** - Severely Errored Second (SES), nebo **několik chybných časových intervalů** - Severely Errored Time Interval (SETI).

Stanovení časového intervalu  $T$ , pro zjišťování těchto chybových událostí, závisí na účelu měření. Časové intervaly delší nebo kratší než 1 sekunda jsou považovány za vhodné jen za určitých okolností.

Na vyhodnocení parametrů určujících chybovost systému je potřebné použít měřicí interval (MI). Tento měřicí interval závisí na účelu měření. Možné měřicí intervaly a jejich aplikace jsou uvedeny v tab. 4.2.

Obecně je odolnost systému definována jako poměr počtu správných událostí z celkového počtu časových intervalů  $T$  během měřicího intervalu MI.

Odvozené parametry jsou následující:

- **Poměr chybných sekund** - Errored Second Ratio (ESR), nebo **poměr chybných intervalů** – Errored Time Interval Ratio (ETIR),
- **Poměr několika chybných sekund** – Severely Errored Second Ratio (SESR), nebo **poměr několika chybných časových intervalů** – Severely Errored Time Interval Ratio (SETIR).

Tab. 4.2: Příklady měřicích intervalů MI

| Délka měřicího intervalu ( $MI$ ) | Aplikace  |
|-----------------------------------|---|
| 5 s                               | - analýza mobilního příjmu  |
| 20 s                              | - měření pokrytí<br>- doporučený minimální MI pro porovnání přijímačů |
| 5 minut                           | - možné rozlišení pro jednohodinovou analýzu                          |
| 1 hodina                          | - možné rozlišení pro denní analýzu                                   |

## 5 MĚŘENÉ SET TOP BOXY

Pro měření byly dostupné 3 přijímače od různých výrobců – HUMAX F3-FOX T, TechniSat DigiPal 2 TX a iCan 2000T. Před vlastním měřením byla prozkoumána jejich topologie a na základě této analýzy, byly vybrány měřitelné parametry a uzpůsobeno měřicí pracoviště.

Set top box **HUMAX F3-FOX T** (obr. 5.1) se řadí do střední třídy mezi digitálními přijímači. Jako jediný, z dostupných set top boxů, je vybaven RF televizním modulátorem. Mezi jeho další vlastnosti patří přehledné vícejazyčné menu včetně českého jazyka, teletext, EPG, hry, indikátor síly a kvality přijímaného signálu. Samozřejmostí je i možnost napájet anténní zesilovač (5V).

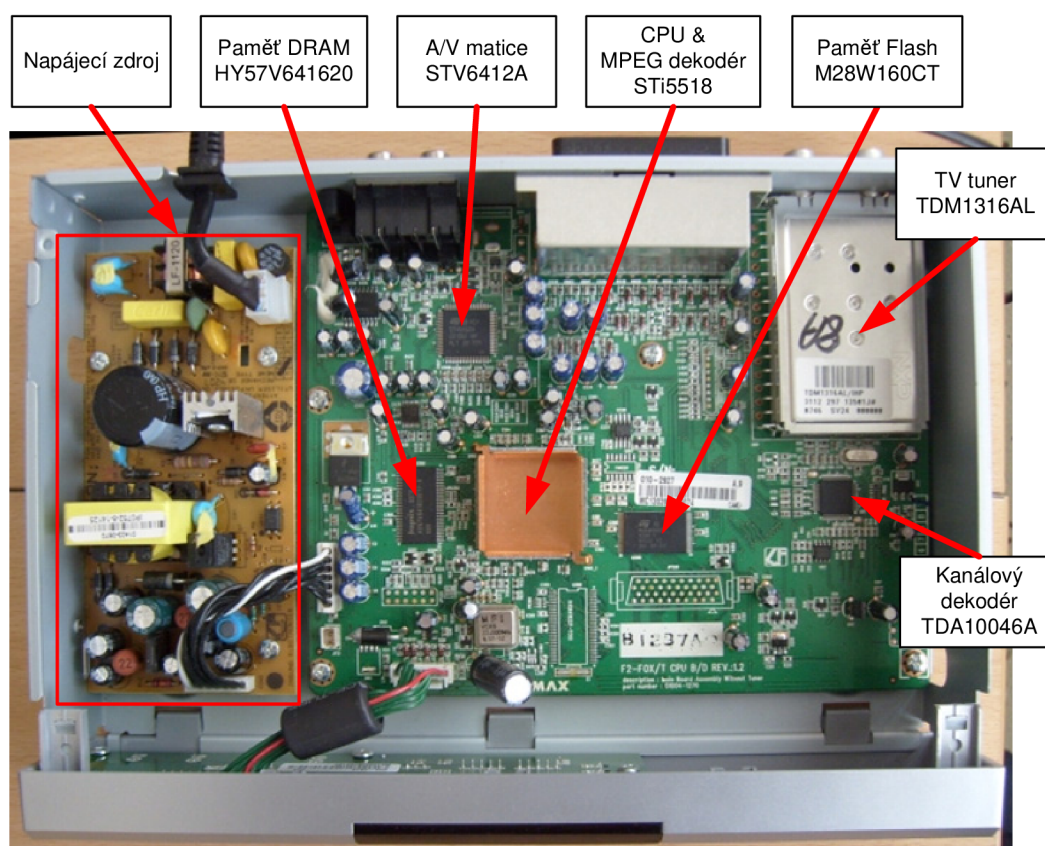
Na čelním panelu najdeme 4 tlačítka sloužící pro základní ovládání přístroje (zapnutí, výběr mezi TV a rozhlasovými kanály, přepínání kanálů) a displej, který zobrazuje číslo právě přijímaného kanálu, v pohotovostním režimu pak aktuální čas. Součástí displeje jsou i barevné kontrolky, indikující vypnutí přístroje do pohotovostního režimu (červeně), zapnutí v TV módu (zeleně) nebo v módu rozhlasových stanic (žlutě).

Zadní panel přístroje disponuje konektory pro anténní vstup, anténní výstup, 2× SCART pro připojení TV přijímače a videorekordéru, konektory RCA (audio L+R a kompozitní video), optickým S/PDIF pro digitální audio zesilovač a konektorem RS-232C pro připojení k PC a aktualizaci firmware. Přístroj je napájen napětím 90-250 V, 50/60 Hz napevno vestavěnou přívodní šňůrou.



Obr. 5.1: Pohled na set top box HUMAX F3-FOX T (čelní panel nahoře, zadní panel dole)

Vnitřní struktura set top boxu HUMAX je uvedena na obr. 5.2. Přijímač obsahuje spínaný napájecí zdroj, který je řešen na samostatné desce plošných spojů. Další samostatnou desku tvoří display s tlačítky na čelním panelu a přijímačem dálkového ovládání. Základní deska obsahuje televizní tuner PHILIPS TDM1316AL, na který bezprostředně navazuje jednočipový kanálový dekodér TDA10046A. Srdcem celého přístroje je jednočipový MPEG audio/video dekodér STi5518 s integrovaným CPU a PAL/NTSC/SECAM kodérem. Přepínací A/V matice STV6412A zpracovává výstupní signál z MPEG dekodéru a zajišťuje směrování signálu mezi vstupně/výstupní SCART konektory. Součástí základní desky jsou i paměti pro uložení firmware, nastavení set top boxu, dynamická paměť a pomocné obvody.



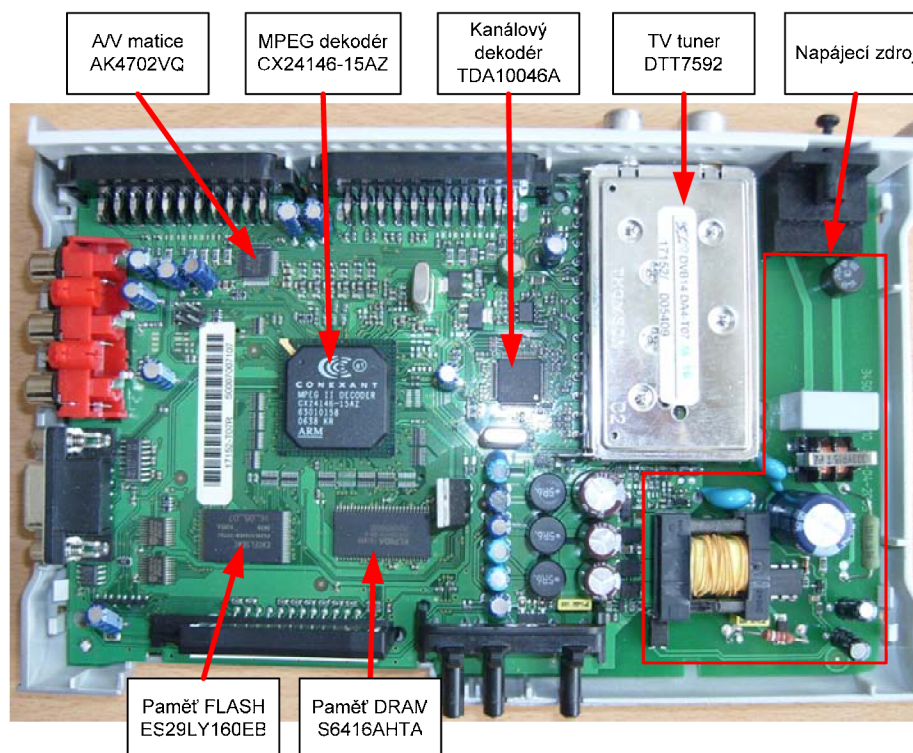
Obr. 5.2: Vnitřní struktura set top boxu HUMAX F3-FOX T

Set top box **TechniSat DigiPal 2 TX** (obr. 5.3) je charakteristický malými rozměry a nízkou hmotností. Na předním panelu je umístěn informační čtyřmístný displej a 3 tlačítka pro zapnutí přístroje a přepínání programů. Displej zobrazuje číslo právě přijímaného kanálu, v pohotovostním režimu aktuální čas. OSD menu je přehledné a podporuje český jazyk. Využit lze funkci EPG a paměť na 800 teletextových stran. Součástí OSD menu je i indikátor úrovně a kvality signálu. Na zadním panelu je umístěn vstupní anténní konektor s možností napájet anténní zesilovač (5V), průchozí výstupní anténní konektor, 2 konektory SCART a konektor pro připojení napájecí šňůry. Přístroj je napájen napětím 230V, 50Hz. Na boku přístroje pak najdeme výstupní audio konektory RCA (L+R a žlutý S/PDIF) a konektor RS-232.



Obr. 5.3: Pohled na set top box TechniSat DigiPal 2 TX (čelní, zadní a boční pohled)

Vnitřní struktura set top boxu je uvedena na obr. 5.4. Přijímač tvoří jediná deska plošného spoje, na které je umístěn i spínaný napájecí zdroj, tlačítka a displej. V přístroji je použit televizní tuner THOMSON DTT7592, jednočipový kanálový dekodér TDA10046A (shodný s dekodérem v přístroji HUMAX), jednočipový MPEG audio/video dekodér a CPU CONEXANT CX24146-15AZ, přepínací A/V matice AK4702VQ, paměti a další pomocné obvody.



Obr. 5.4: Vnitřní struktura set top boxu TechniSat DigiPal 2 TX

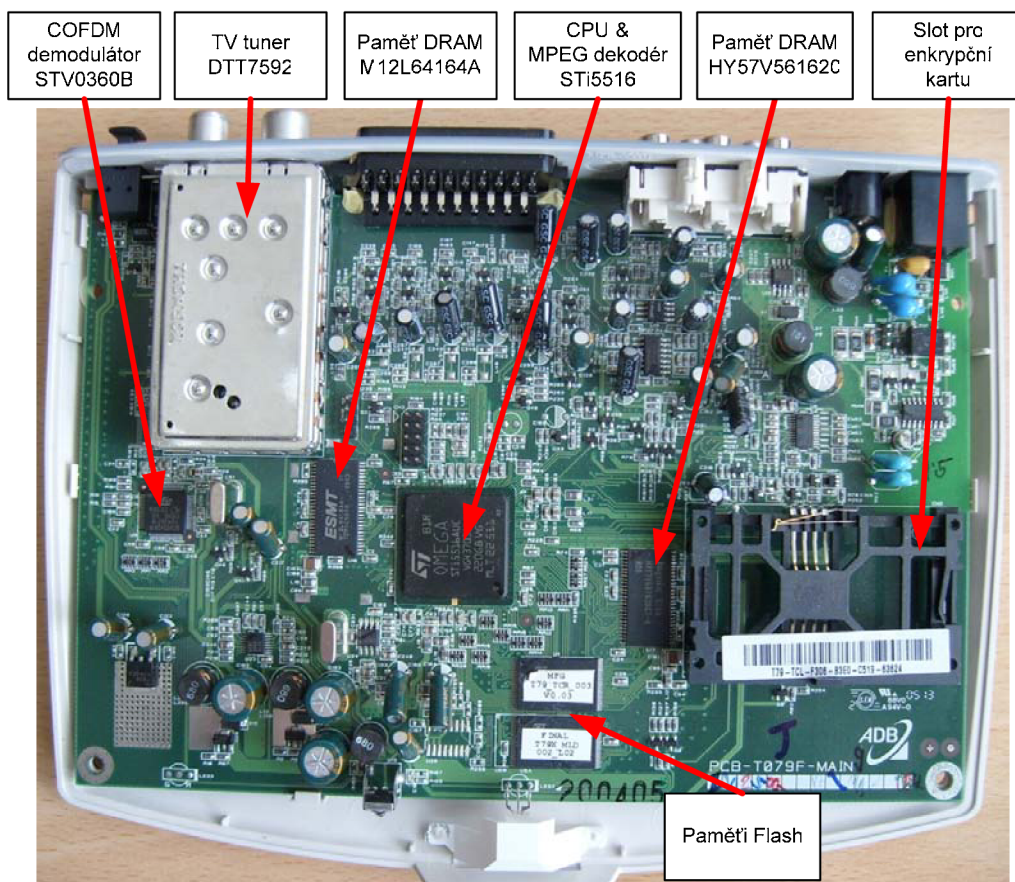


Set top box **iCAN 2000T** (obr. 5.5) se řadí do kategorie nejdražších přijímačů. Na čelním panelu nenajdeme žádná tlačítka ani displej, je zde umístěna pouze kontrolka, která signalizuje zapnutí přístroje (zeleně) nebo pohotovostní režim (červeně). Napravo je umístěna čtečka pro přístupové karty podporující systém Conax a Irdeto [10]. Na zadním panelu je umístěn konektor RJ-11 pro připojení přijímače k telefonní lince, napájecí konektor, konektory RCA (audio L+R a kompozitní video), 1× SCART, anténní konektory a optický audio výstup. Přístroj je napájen stejnosměrným napětím 12V. Předností tohoto přístroje je podpora multimediálních aplikací MHP, pro které je vybaven zabudovaným modemem a zpětným komunikačním kanálem prostřednictvím pevné telefonní linky. OSD menu je velice rychlé a přehledné, podporuje český jazyk. K dispozici je ukazatel úrovně a kvality přijímaného signálu, automatické nebo ruční programování, EPG, teletext a další funkce. Přístroj není vybaven televizním modulátorem.

Vnitřní strukturu set top boxu iCAN (obr. 5.6) tvoří televizní tuner THOMSON DTT7592 (shodný s tunerem v přístroji TechniSat), jednočipový COFDM demodulátor STV0360B, jednočipový MPEG audio/video dekodér STi5516 s integrovaným CPU, PAL/NTSC/SECAM kóděrem a telefonním modemem (shodná řada obvodu jako v přístroji HUMAX), paměti, slot pro přístupovou kartu a další pomocné obvody. Přepínací A/V matice není obsažena, protože přístroj disponuje pouze jedním konektorem SCART. Veškeré komponenty jsou umístěny na jediné desce plošných spojů.



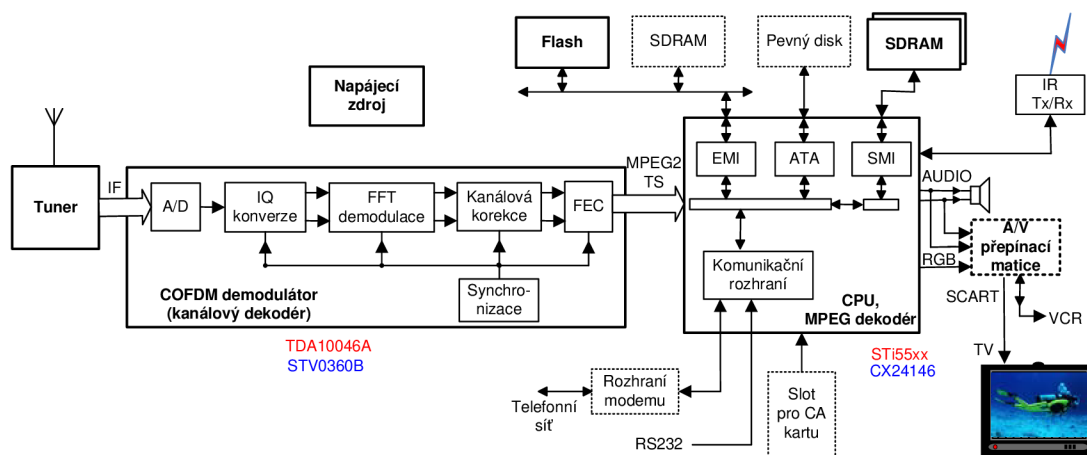
Obr. 5.5: Pohled na set top box iCAN (přední panel nahoře, zadní panel dole)



Obr. 5.6: Vnitřní struktura set top boxu iCAN

Na základě předchozích poznatků o vnitřní struktuře jednotlivých set top boxů a z katalogových listů [12] [13] [14] použitých integrovaných obvodů vyplývá skutečná bloková struktura digitálních přijímačů, která je znázorněna na obr. 5.7. Tato struktura je téměř shodná pro všechny 3 dostupné přijímače, v častých případech jsou u různých set top boxů použity stejné integrované obvody. Případné odlišnosti mezi obvodovými strukturami jednotlivých přijímačů je možné pozorovat v absenci, nebo naopak přítomnosti některých obvodů navíc. Příkladem je set top box iCAN, který jako jediný z dostupných přijímačů neobsahuje A/V přepínací matici, naopak má dvě SDRAM paměti, slot pro CA kartu a rozhraní pro komunikaci prostřednictvím telefonní linky. Pevným diskem nebyl vybaven žádný z dostupných přijímačů, avšak obvody STi55xx jeho připojení umožňují. Pro přehlednost jsou použité obvody uspořádány do tabulky 5.1.

Funkce přijímače, dle blokového schématu na obr. 5.7, je následující: Tuner naladí příslušný televizní RF kanál vybraného multiplexu přiváděný z antény a dále tento signál konvertuje na mezifrekvenční (IF) kmitočet. Všechny tunery z dostupných přijímačů podporují frekvenční pásmo VHF i UHF, tuner Philips TDM1316AL je navíc vybaven televizním UHF modulátorem. Analogový IF signál z tuneru je přiveden na vstup jednočipového COFDM demodulátoru. Zde je přivedený signál nejprve digitalizován 10bitovým A/D převodníkem a dále zpracováván bloky IQ konverze, FFT demodulace a kanálové korekce. V závěru jsou na signál aplikovány samoopravné kódy (FEC) a opraveny případné chyby. Výstupem z COFDM demodulátoru je MPEG 2



Obr. 5.7: Bloková struktura měřených set top boxů

transportní tok, který je přiváděn do MPEG dekodéru. MPEG dekodér je řešen rovněž jako jednočipový, který kromě samotného MPEG2 dekodéru integruje 32bitový CPU a množství dalších obvodů. Prostřednictvím různých rozhraní umožňuje připojení několika paměťových modulů, pevného disku pro záznam televizních pořadů, přijímače a vysílače dálkového ovládání, slotu pro přístupové karty apod. Dále integruje komunikační rozhraní pro komunikaci prostřednictvím modemu a telefonní linky nebo přes sériový RS-232 port. Výstupem z MPEG2 dekodéru je analogový signál obrazu a zvuku, odpovídající příslušné televizní normě. Obsluhu konektorů SCART zajišťuje přepínací A/V matice.

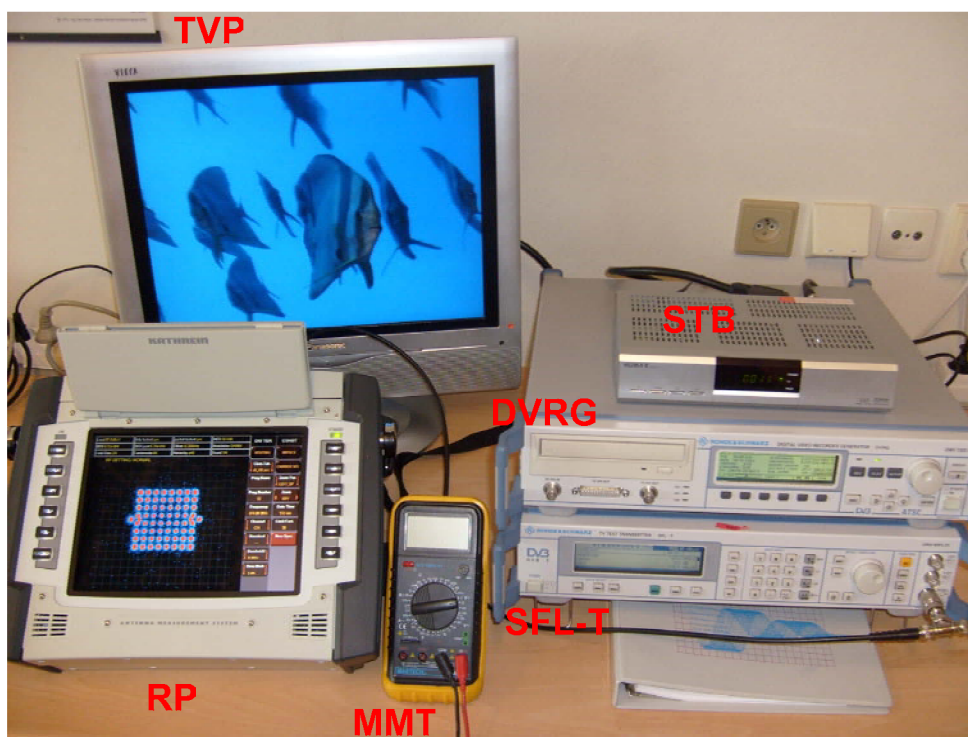
Jednotlivé bloky přijímače jsou vzájemně propojeny a řízeny přes společnou sběrnici (I<sup>2</sup>C).

Tab. 5.1: Přehled použitých tunerů a integrovaných obvodů jednotlivých set top boxů

|                  | Tuner             | COFDM demodulátor | CPU, MPEG dekodér | A/V matice   | Flash             | SDRAM       |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------|
| <b>HUMAX</b>     | Philips TDM1316AL | TDA10046A         | STi5518           | STV6412A     | ST M28W           | HY57V       |
| <b>TechniSat</b> | Thomson DTT7592   | TDA10046A         | Conexant CX24146  | AKM AK4702VQ | Excelssemi ES29LY | S6416A      |
| <b>iCAN</b>      | Thomson DTT7592   | STV0360B          | STi5516AVC        | -            | ST                | HY57V, M12L |

## 6 MĚŘÍCÍ PRACOVISTĚ

Pro měření vybraných parametrů set top boxů bylo z dostupných přístrojů navrženo měřicí pracoviště viz obr. 6.1, stávající se z digitálního videorekordéru a generátoru transportního toku (**DVRG**), laboratorního televizního vysílače DVB-T (**SFL-T**), referenčního (měřicího) přijímače (**RP**), testovaného přijímače (**STB**), multimetru (**MMT**), televizního přijímače (**TVP**) a propojovacích vodičů.



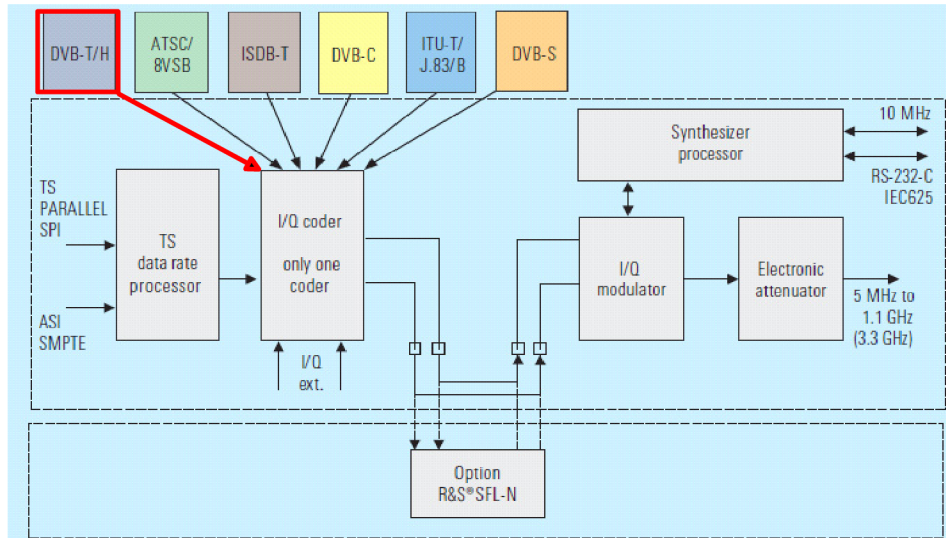
Obr. 6.1: Rozmístění přístrojů měřicího pracoviště

Digitální videorekordér a generátor transportního toku **Rohde & Schwarz DVRG** je přístroj založený na PC platformě, který dokáže zaznamenávat a následně generovat digitální videosignály ve formě MPEG-2 transportního toku. Pro testování set top boxů tento přístroj nabízí vlastní rozsáhlou knihovnu rozličných transportních streamů. Ovládání přístroje se provádí pomocí otočného ovladače a tlačítek na čelním panelu.

Laboratorní televizní vysílač **Rohde & Schwarz SFL-T** podporuje standard DVB-T/H a umožňuje nastavení celé řady parametrů vysílaného signálu: Šířka pásma televizního kanálu (8 MHz, 7 MHz, 6 MHz, 5 MHz), mód počtu nosných (2k, 4k, 8k), použitá vnitřní modulace (QPSK, 16QAM, 64QAM), kódový poměr vnitřního kodéru (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8), ochranný interval (1/4, 1/8, 1/16, 1/32), hierarchický nebo nehierarchický režim. Dále umožňuje nastavení některých méně žádoucích stavů, které mohou vzniknout u skutečného vysílače DVB-T. Jedná se o amplitudové nevyvážení, nedostatečné potlačení nosné a fázový posuv I/Q složek v konstelačním diagramu. Střední frekvenci vysílaného signálu lze nastavit v rozsahu 5 MHz – 1,1 GHz s úrovní -140 dBm – 0 dBm. Ovládání přístroje se provádí výběrem příslušného parametru

z menu, pomocí otočného ovladače, případně pomocí kurzorových a potvrzovacích tlačítek. Hodnoty parametrů je možné zadávat přímo z numerické klávesnice.

Blokový diagram vysílače SFL je uveden na obr. 6.2. Datový tok MPEG-2 z generátoru DVRG je přiveden na synchronní, paralelní vstupní rozhraní TS PARALLEL SPI. Dále je přizpůsobena jeho datová rychlost a následuje kanálové kódování (dle vybraného standardu) a modulace. Volitelně může být k vysílači SFL připojen šumový generátor SFL-N. Výsledný vysokofrekvenční signál je přes elektronický atenuátor přiveden na výstupní BNC konektor.



Obr. 6.2: Blokový diagram laboratorního vysílače R&S SFL (převzato z [11])

Jako měřicí (referenční) přijímač je použit přijímač **KATHREIN MSK200**. Jedná se o přístroj založený na PC platformě na bázi Linux, určený k měření parametrů analogové i digitální televize a rozhlasu. Kromě standardů pro pozemní televizní přenos, podporuje i standardy kabelového a satelitního vysílání. Přístrojem lze měřit vstupní úroveň signálu, modulační chybovost MER pro digitální modulační, chybovosti BER před a za Viterbiho dekodérem a dále lze přístroj přepnout do režimu spektrálního analyzátoru, paměťového osciloskopu, monitoru MPEG transportního toku nebo do režimu pro analýzu konstelačního diagramu. Naladění požadovaného kanálu se provádí automaticky nebo manuálně výběrem z kmitočtové tabulky. Po demodulaci přijímaného signálu přístroj automaticky zobrazí na displeji jeho parametry (typ modulační, kódový poměr, délku ochranného intervalu apod.). Na displeji lze též sledovat přijímaný televizní kanál. Ovládání přístroje probíhá pomocí 12 tlačítek na čelním panelu (zvaných Hard Keys) a dále pomocí tlačítek na dotykovém 10,4 TFT barevném displeji (Soft Keys). Zobrazované průběhy a měřená data je možné ukládat do paměti přístroje a následně přenášet do externího zařízení prostřednictvím USB, RS-232 nebo Ethernetového rozhraní.

Televizní přijímač **Panasonic Viera TX-20LA2P** slouží ke sledování kvality obrazu přijímaného signálu. Měřený set top box je připojen na AV1 televizního přijímače pomocí kabelu SCART.

## 7 EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY

Pro měření vybraných parametrů set top boxů byl zvolen střední kmitočet nosného signálu 474 MHz (C21). Pro ověření stejné funkce ladicích obvodů v různých částech UHF pásma byl zvolen i druhý kmitočet 818 MHz (C64). Na zvolených kanálech nevysílá žádný okolní analogový ani digitální televizní vysílač, proto můžeme zanedbat případné vzájemné rušení. Mód počtu nosných byl zvolen 8k a šířka pásma televizního kanálu 8 MHz. Minimální doporučená hodnota úrovně signálů pro digitální televizní vysílání, dle [8], činí 45 dB $\mu$ V, maximální hodnota 70 dB $\mu$ V. S ohledem na tuto skutečnost, byla pro většinu měření stanovena úroveň signálu 60 dB $\mu$ V na vstupu přijímače. Nastavení ostatních parametrů bylo v průběhu měření měněno, jejich hodnoty jsou v každé z následujících podkapitol vždy uvedeny.

Pro analýzu I/Q složek konstelačního diagramu (měření vlivu nedostatečného potlačení nosné, amplitudového nevyvážení a fázové chyby) v podkapitolách 2, 3 a 4 byly zvoleny následující parametry vysílaného signálu:

- 1) standard používaný v ČR – modulace 64QAM, kódový poměr 2/3,
- 2) nejmenší robustnost – modulace 64QAM, kódový poměr 7/8 a
- 3) velká robustnost – modulace QPSK, kódový poměr 2/3.

### 7.1 Kmitočtová stabilita set top boxů

Při měření kmitočtové stability byly na vysílači nastaveny následující parametry: Modulace datových nosných 64QAM, kódový poměr 2/3 a ochranný interval 1/4. Účelem měření bylo zjistit odchylky kmitočtu od nominální hodnoty, při kterých je set top box schopen bezchybně přijímat vysílaný signál. Hodnota nastaveného kmitočtu na vysílači byla posouvána v krocích v okolí nominální hodnoty a sledoval se stav, při kterém došlo k výpadku schopnosti přijímače dekodovat transportní tok, tedy k výpadku obrazu. Na měřicím přijímači byly zároveň sledovány hodnoty chybovostí BER a MER v závislosti na měnícím se kmitočtu. Závěrem lze říci, že s měnícím se kmitočtem se hodnota chybovostí ani kvalita obrazu nijak výrazně neměnila, od kritického kmitočtu docházelo přímo ke skokovému výpadku obrazu.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách (7.1 – 7.3), kde  $f_{kH}$  a  $f_{kD}$  značí hodnotu horního a dolního kritického kmitočtu, při kterém došlo k výpadku schopnosti přijímače dekodovat transportní tok.  $\Delta f_H$  a  $\Delta f_D$  značí rozdíl kritického kmitočtu oproti nominální hodnotě  $f$ .

Tab. 7.1: Naměřené hodnoty kmitočtové stability pro set top box HUMAX F3-FOX T

| Nominální hodnota $f = 474$ MHz |                                | Nominální hodnota $f = 818$ MHz |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| $f_{kH}, f_{kD}$ [MHz]          | $\Delta f_H, \Delta f_D$ [kHz] | $f_{kH}, f_{kD}$ [MHz]          | $\Delta f_H, \Delta f_D$ [kHz] |
| 474,0905988                     | +90,5988                       | 818,0853115                     | +85,3115                       |
| 473,8933208                     | -106,6792                      | 817,8880478                     | -111,9522                      |

Tab. 7.2: Naměřené hodnoty kmitočtové stability pro set top box TechniSat DigiPal 2 TX

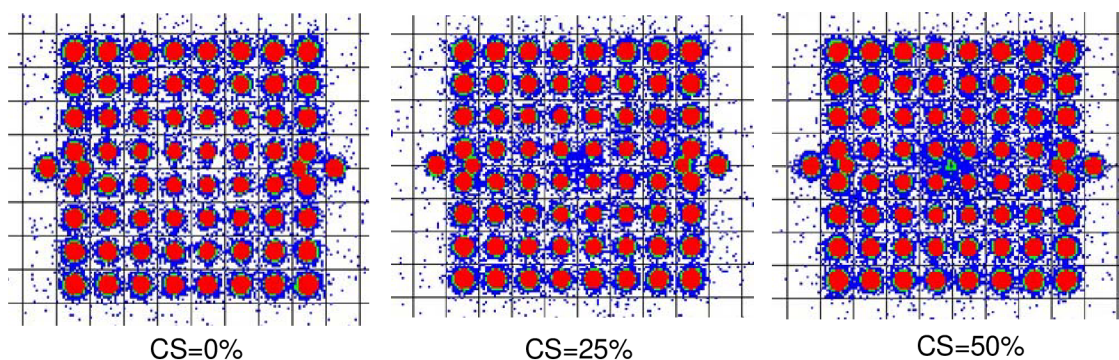
| Nominální hodnota $f = 474$ MHz |                                | Nominální hodnota $f = 818$ MHz |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| $f_{kH}, f_{kD}$ [MHz]          | $\Delta f_H, \Delta f_D$ [kHz] | $f_{kH}, f_{kD}$ [MHz]          | $\Delta f_H, \Delta f_D$ [kHz] |
| 474,0964561                     | +96,4561                       | 818,0986025                     | +98,6025                       |
| 473,8990812                     | -100,9188                      | 817,8990836                     | -100,9164                      |

Tab. 7.3: Naměřené hodnoty kmitočtové stability pro set top box iCAN 2000T

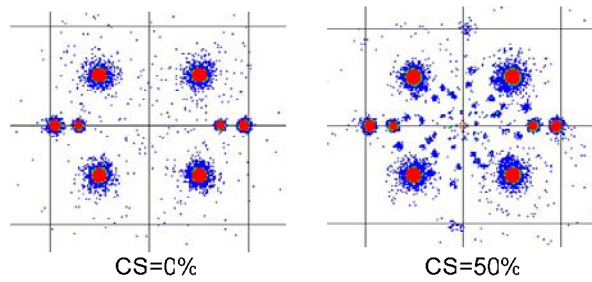
| Nominální hodnota $f = 474$ MHz |                                | Nominální hodnota $f = 818$ MHz |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| $f_{kH}, f_{kD}$ [MHz]          | $\Delta f_H, \Delta f_D$ [kHz] | $f_{kH}, f_{kD}$ [MHz]          | $\Delta f_H, \Delta f_D$ [kHz] |
| 474,0945398                     | +94,5398                       | 818,0994274                     | +99,4274                       |
| 473,8984218                     | -101,5782                      | 817,9020012                     | -97,9988                       |

## 7.2 Měření vlivu nedostatečného potlačení nosné

Měření vlivu nedostatečného potlačení nosné (CS) na funkci přijímače bylo prováděno pro úroveň vysílaného signálu  $60 \text{ dB}\mu\text{V}$ . Hodnota potlačení nosné byla postupně zvyšována (od 0% do 50%). Měřicí přijímač prováděl analýzu konstelačního diagramu a zároveň vyhodnocoval chybovost přijímaného signálu. Vliv změny nedostatečného potlačení nosné vlny na konstelační diagram, jak je patrné z obr. 7.1 pro modulaci 64QAM a na obr 7.2 pro modulaci QPSK, nebyl nijak výrazný. Naměřené hodnoty při různých kódových poměrech při zachování modulace byly téměř shodné. Proto jsou v tab. 7.4 a následných grafických průbězích uvedeny pouze parametry pro nejméně a nejvíce robustní zabezpečení vysílaného signálu. Hodnota BER1 představuje chybovost před Viterbiho dekodérem (před FEC) a hodnota BER2 chybovost za Viterbiho dekodérem.



Obr. 7.1: Vliv nedostatečného potlačení nosné na celkový konstelační diagram 64QAM



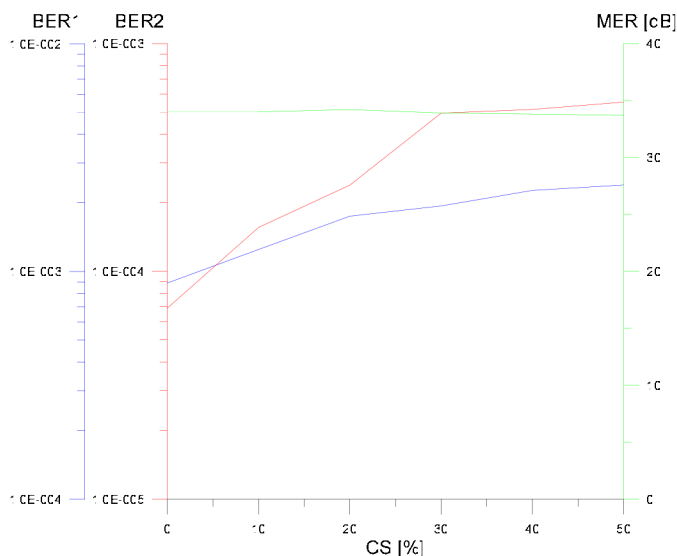
Obr. 7.2: Vliv nedostatečného potlačení nosné na celkový konstelační diagram QPSK

Při zvětšování CS pro nejméně robustní signál (obr. 7.3) nepatrně narůstaly obě chybovosti BER, hodnota MER zůstávala spíše na stejné úrovni. Pro robustní signál (obr. 7.4) byla největší změna, oproti nejméně robustnímu signálu, patrná v chybovosti BER za Viterbiho dekodérem. Tato chybovost byla v případě robustního zabezpečení podstatně nižší a vlivem nepřenosnosti měření měla nepatrně klesající charakter. Kvalita přijímaného signálu, indikovaná jednotlivými přijímači, byla při různých parametrech vysílání a při měnící se hodnotě CS stále na maximální úrovni 100%. Pouze u přijímače TechniSat docházelo během měření k neustálému kolísání kvality na indikátoru v rozsahu 40 – 100%, přesná hodnota tak nemohla být odečtena.

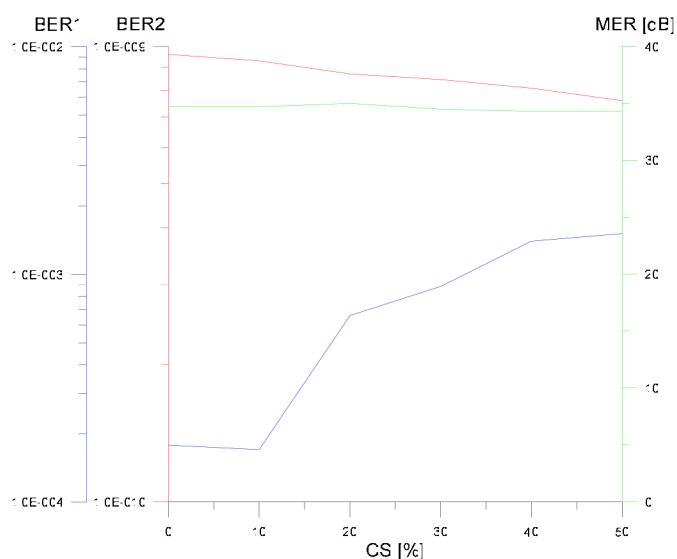
Tab. 7.4: Naměřené hodnoty chybovostí pro nedostatečné potlačení nosné: a) nejmenší robustnost (tabulka vlevo), b) největší robustnost (tabulka vpravo).

| CS [%] | BER1[-]  | BER2 [-] | MER [dB] | CS [%] | BER1[-] | BER2 [-] | MER [dB] |
|--------|----------|----------|----------|--------|---------|----------|----------|
| 0      | 8,9E-04  | 6,9E-05  | 34,0     | 0      | 1,8E-04 | 9,6E-10  | 34,7     |
| 10     | 1,3E-03  | 1,6E-04  | 34,0     | 10     | 1,7E-04 | 9,3E-10  | 34,7     |
| 20     | 1,8E-03  | 2,4E-04  | 34,2     | 20     | 6,6E-04 | 8,7E-10  | 35,0     |
| 30     | 1,9E-03  | 5,0E-04  | 33,9     | 30     | 8,9E-04 | 8,5E-10  | 34,5     |
| 40     | 2,3E-03  | 5,1E-04  | 33,8     | 40     | 1,4E-03 | 8,1E-10  | 34,3     |
| 50     | 2,40E-03 | 5,53E-04 | 33,7     | 50     | 1,5E-03 | 7,6E-10  | 34,3     |





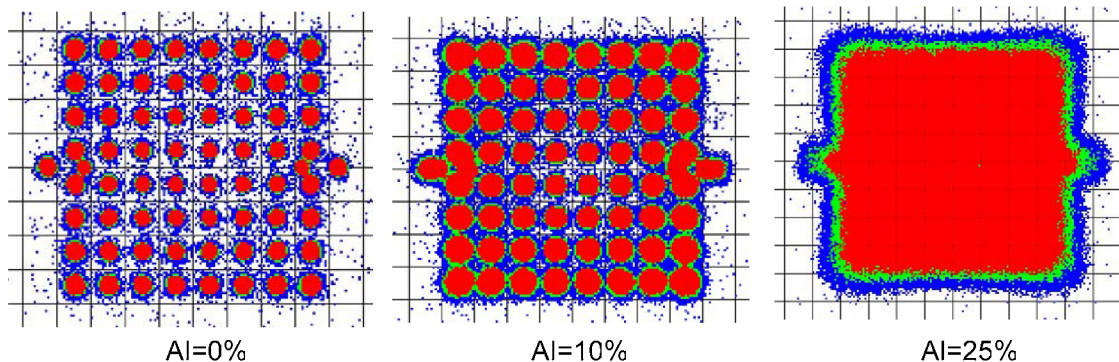
Obr. 7.3: Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem při nejmenší robustnosti vysílaného signálu při změně CS



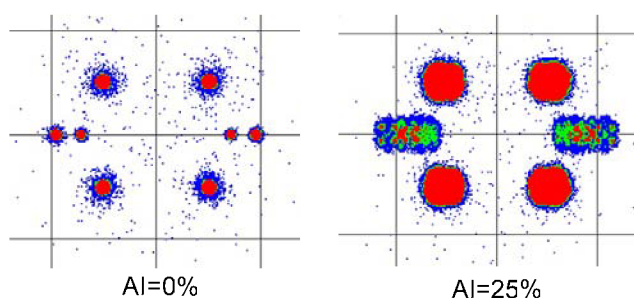
Obr. 7.4: Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem při největší robustnosti vysílaného signálu při změně CS

### 7.3 Měření vlivu amplitudového nevyvážení

Při měření vlivu amplitudového nevyvážení (AI) na funkci přijímače byla hodnota amplitudového nevyvážení na vysíláči postupně zvyšována od 0% do 25%. Stejně měření bylo provedeno i pro snižující se hodnotu od 0% do -25%. Měřící přijímač prováděl analýzu konstelačního diagramu a zároveň vyhodnocoval chybovost přijímaného signálu. Vliv změny amplitudového nevyvážení na konstelační diagram je patrný z obr. 7.5 pro modulaci 64QAM a na obr 7.6 pro modulaci QPSK. Se zvyšující se hodnotou amplitudového nevyvážení se digram pro modulaci 64QAM stával nečitelným.



Obr. 7.5: Vliv amplitudového nevyvážení na celkový konstelační diagram modulační 64QAM

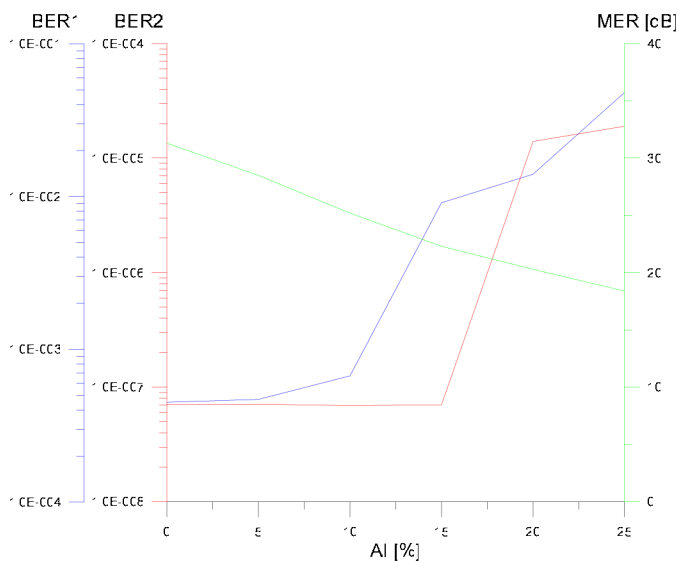


Obr. 7.6: Vliv amplitudového nevyvážení na celkový konstelační diagram modulační QPSK

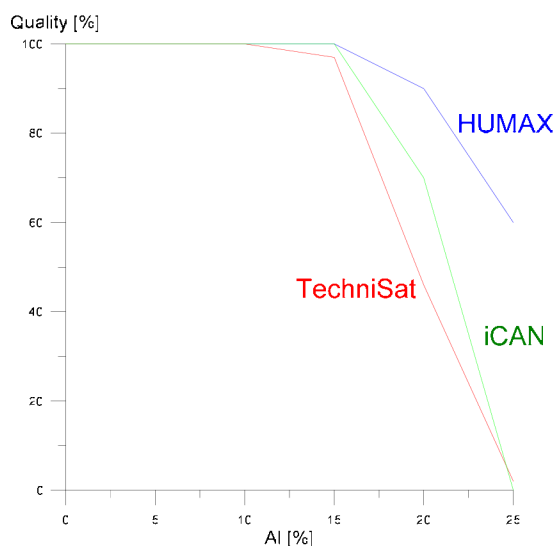
Při nastavení standardních parametrů vysílání používaných v ČR – modulační 64QAM a kódový poměr 2/3, bylo pouze u přijímače iCAN při AI=25% patrné kostičkování v obraze. Ostatní přijímače si s tímto nastavením poradily bez problémů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 7.5. Veličiny  $Q_H$ ,  $Q_T$  a  $Q_i$  představují hodnoty kvality signálu indikované jednotlivými přijímači.  $Q_H$  popisuje přístroj HUMAX,  $Q_T$  TechniSat a  $Q_i$  přijímač iCAN. Grafické znázornění chybovostí je na obr. 7.7 a závislost změny amplitudového nevyvážení na kvalitě přijímaného signálu indikované přijímači na obr. 7.8.

Tab. 7.5: Naměřené hodnoty chybovostí a kvality signálu pro amplitudové nevyvážení při 64QAM a CR 2/3

| AI [%] | BER1 [-] | BER2 [-] | MER [dB] | $Q_H$ [%] | $Q_T$ [%] | $Q_i$ [%] |
|--------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 0      | 4,5E-04  | 7,1E-08  | 31,3     | 100       | 100       | 100       |
| 5      | 4,7E-04  | 7,1E-08  | 28,5     | 100       | 100       | 100       |
| 10     | 6,7E-04  | 6,9E-08  | 25,2     | 100       | 100       | 100       |
| 15     | 9,1E-03  | 7,0E-08  | 22,3     | 100       | 97        | 100       |
| 20     | 1,4E-02  | 1,4E-05  | 20,3     | 90        | 46        | 70        |
| 25     | 4,8E-02  | 1,9E-05  | 18,4     | 60        | 2         | 0         |



Obr. 7.7: Graf chybovostí naměřených měřicím přijímačem pro 64QAM, CR 2/3 při změně AI

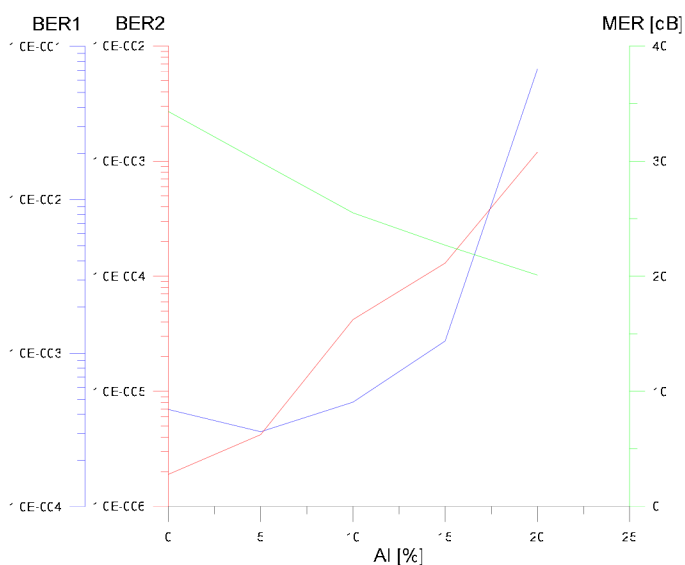


Obr. 7.8: Graf kvality přijímaného signálu indikované jednotlivými přijímači pro 64QAM, CR 2/3 při změně AI

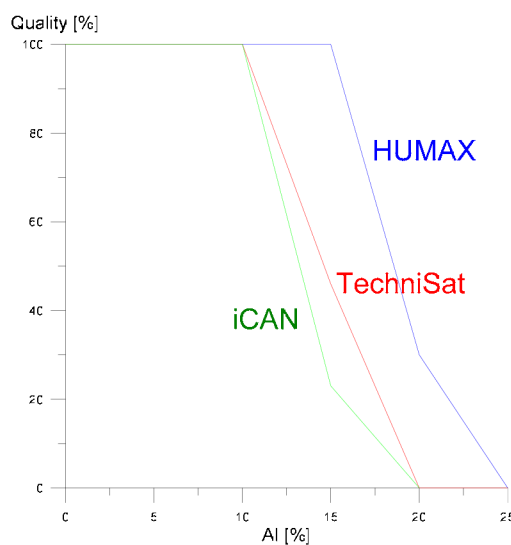
Pokud však došlo ke změně kódového poměru na 7/8 při stejné modulaci (nejmenší robustnost vysílaného signálu), u přijímače iCAN došlo při hodnotě AI=20% k výpadku obrazu. U přijímače HUMAX bylo při této hodnotě patrné nejprve kostičkování a k výpadku obrazu došlo při hodnotě AI=21%. Přijímač TechniSat vykazoval kostičkování již při hodnotě AI=19%, avšak k úplnému výpadku obrazu došlo až při hodnotě AI=23%. Naměřené hodnoty chybovostí a kvality signálu pro toto nastavení jsou uvedeny v tab. 7.6, grafické závislosti na obr. 7.9 a 7.10. Při nastavení amplitudového nevyvážení  $\pm 25\%$ , nebyl měřicí přijímač již schopen změřit hodnoty chybovostí vysílaného signálu, proto zde nejsou uvedeny.

Tab. 7.6: Naměřené hodnoty chybovostí a kvality přijímaného signálu pro nejméně robustní vysílaný signál při amplitudovém nevyvážení

| AI [%] | BER1[-] | BER2 [-] | MER [dB] | Q <sub>H</sub> [%] | Q <sub>T</sub> [%] | Q <sub>i</sub> [%] |
|--------|---------|----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0      | 4,3E-04 | 1,9E-06  | 34,3     | 100                | 100                | 100                |
| 5      | 3,1E-04 | 4,2E-06  | 29,9     | 100                | 100                | 100                |
| 10     | 4,8E-04 | 4,2E-05  | 25,5     | 100                | 100                | 100                |
| 15     | 1,2E-03 | 1,3E-04  | 22,7     | 100                | 46                 | 23                 |
| 20     | 7,1E-02 | 1,2E-03  | 20,1     | 30                 | 0                  | 0                  |
| 25     | N/A     | N/A      | N/A      | 0                  | 0                  | 0                  |



Obr. 7.9: Graf chybovostí naměřených měřicím přijímačem pro nejméně robustní signál při změně AI



Obr. 7.10: Graf kvality přijímaného signálu indikované jednotlivými přijímači pro nejméně robustní vysílaný signál při změně AI

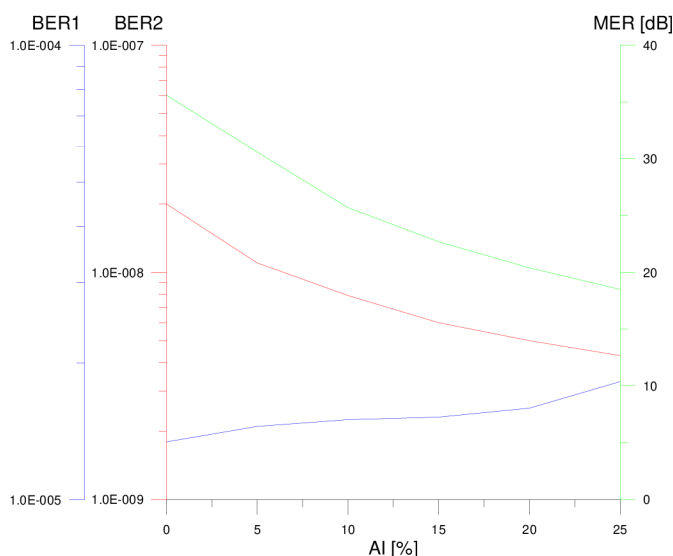
S modulací QPSK byla chybovost za Viterbiho dekodérem velmi nízká. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 7.7 a grafická závislost chybovostí na obr. 7.11. Kvalita přijímaného signálu, zobrazená pomocí indikátorů kvality jednotlivých přijímačů, neklesla pod maximální hodnotu 100% ani při nastavení nejhoršího nevyvážení  $\pm 25\%$ . Proto zde srovnání úrovní kvality není uvedeno.

Modulační chybovost MER, při zvyšující se hodnotě AI, klesala vždy přibližně stejně, bez ohledu na robustnost signálu.

Přijímače se chovaly stejně i při nastavování záporných hodnot amplitudového nevyvážení. Rovněž na druhém měřícím kmitočtu (818 MHz), nebyly pozorovány žádné výrazné odchylky od naměřených hodnot při kmitočtu 474 MHz.

Tab. 7.7: Naměřené hodnoty chybovostí pro robustní signál při amplitudovém nevyvážení

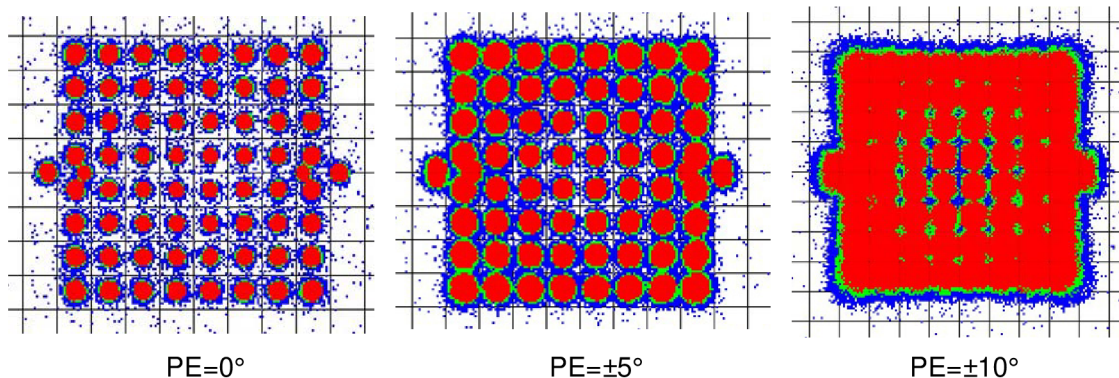
| AI [%] | BER1 [-] | BER2 [-] | MER [dB] |
|--------|----------|----------|----------|
| 0      | 1,3E-05  | 2,0E-08  | 35,6     |
| 5      | 1,5E-05  | 1,1E-08  | 30,6     |
| 10     | 1,5E-05  | 7,9E-09  | 25,7     |
| 15     | 1,5E-05  | 6,0E-09  | 22,7     |
| 20     | 1,6E-05  | 5,0E-09  | 20,4     |
| 25     | 1,8E-05  | 4,3E-09  | 18,5     |



Obr. 7.11: Graf chybovostí naměřených měřícím přijímačem pro robustní signál při změně AI

## 7.4 Měření vlivu fázové chyby

Laboratorní vysílač dovolil nastavovat hodnotu fázové chyby (PE) v rozsahu od  $-10^\circ$  do  $+10^\circ$ . Protože však naměřené hodnoty chybovostí byly shodné pro kladné i záporné hodnoty nastavené fázové chyby, jsou dále uváděny výsledky pouze pro kladné hodnoty. Na obr. 7.12 je vidět vliv fázové chyby na konstelační diagram. Při nastavení hodnoty  $PE \pm 10^\circ$  se diagram stával nečitelným.

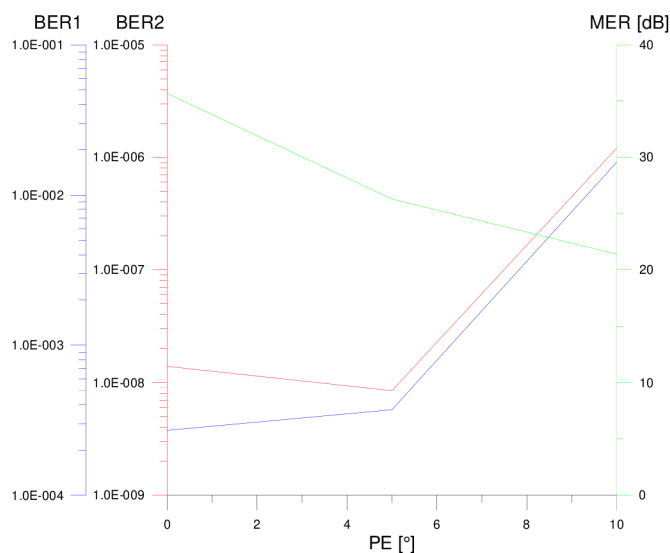


Obr. 7.12: Vliv fázové chyby na celkový konstelační diagram 64QAM

V tab. 7.8 jsou uvedeny naměřené hodnoty chybovostí pro modulaci 64QAM a kódový poměr 2/3 při měnící se fázové chybě. Grafická závislost rostoucích chybovostí vlivem zvyšující se fázové chyby je na obr. 7.13. Kvalita přijímaného signálu indikována na jednotlivých přijímačích byla na hranici 100%, proto její průběh není zobrazen.

Tab. 7.8: Naměřené hodnoty chybovostí pro 64QAM a CR 2/3 při fázové chybě

| PE [°] | BER1[-] | BER2 [-] | MER [dB] |
|--------|---------|----------|----------|
| 0      | 2,7E-04 | 1,4E-08  | 35,7     |
| 5      | 3,7E-04 | 8,5E-09  | 26,3     |
| 10     | 1,7E-02 | 1,2E-06  | 21,4     |



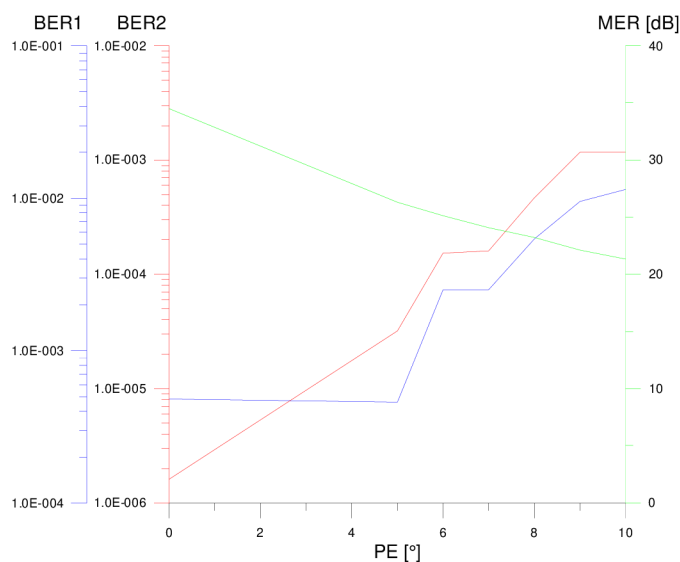
Obr. 7.13: Graf chybovostí naměřených měřicím přijímačem pro 64QAM, CR 2/3 při změně PE

Ke zhoršení příjmu došlo při změně kódového poměru na 7/8. Z naměřených hodnot (tab. 7.9) a grafického průběhu (obr. 7.14) je patrné, že při daném nastavení vzrostla chybovost za Viterbiho dekodérem. U přijímače iCAN došlo při hodnotě

PE=10° k úplnému výpadku obrazu, u přijímače TechniSat bylo při této hodnotě patrné kostičkování a značné zamrzání obrazu. Přijímač HUMAX zvládl dané nastavení bez ztráty kvality.

Tab. 7.9: Naměřené hodnoty chybovostí pro nejmenší robustnost při změně PE

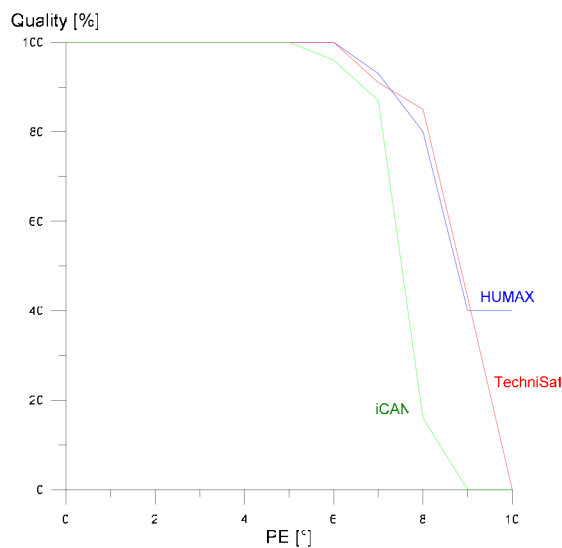
| PE [°] | BER1 [-] | BER2 [-] | MER [dB] | Q <sub>H</sub> [%] | Q <sub>T</sub> [%] | Q <sub>i</sub> [%] |
|--------|----------|----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0      | 4,8E-04  | 1,6E-06  | 34,5     | 100                | 100                | 100                |
| 5      | 4,6E-04  | 3,2E-05  | 26,3     | 100                | 100                | 100                |
| 6      | 2,5E-03  | 1,5E-04  | 25,1     | 100                | 100                | 96                 |
| 7      | 2,5E-03  | 1,6E-04  | 24,1     | 93                 | 91                 | 87                 |
| 8      | 5,4E-03  | 4,7E-04  | 23,2     | 80                 | 85                 | 16                 |
| 9      | 9,5E-03  | 1,2E-03  | 22,1     | 40                 | 43                 | 0                  |
| 10     | 1,1E-02  | 1,1E-03  | 21,3     | 40                 | 2                  | 0                  |



Obr. 7.14: Graf chybovostí naměřených měřicím přijímačem pro nejmenší robustnost při změně PE

Pro robustní modulaci QPSK (tab. 7.10) nedošlo u žádného přijímače při rostoucí fázové chybě k poklesu kvality Q pod maximální hodnotu 100%. Naměřené chybovosti BER byly velmi nízké (obr. 7.16).

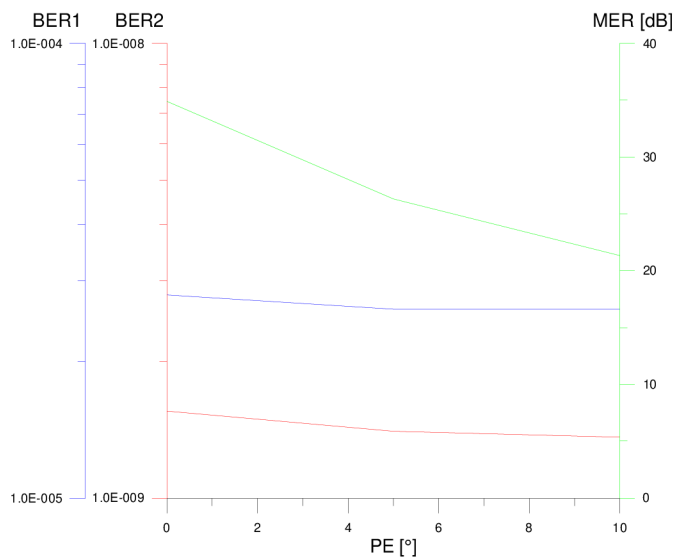
Modulační chybovost MER, při zvyšující se hodnotě PE, rovněž klesala vždy přibližně stejně, bez ohledu na robustnost signálu.



Obr. 7.15: Graf kvality přijímaného signálu indikované jednotlivými přijímači pro nejméně robustní vysílaný signál při změně PE

Tab. 7.10: Naměřené hodnoty chybovostí pro robustní signál při změně PE

| PE [°] | BER1[-] | BER2 [-] | MER [dB] |
|--------|---------|----------|----------|
| 0      | 2,8E-05 | 1,6E-09  | 34,9     |
| 5      | 2,6E-05 | 1,4E-09  | 26,3     |
| 10     | 2,6E-05 | 1,4E-09  | 21,3     |



Obr. 7.16: Graf kvality přijímaného signálu indikované jednotlivými přijímači pro robustní vysílaný signál při změně PE

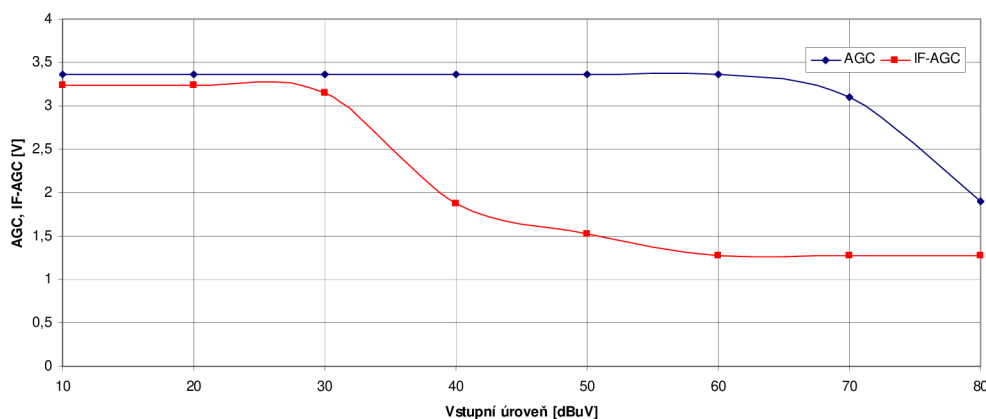


## 7.5 Měření vlivu úrovně vstupního signálu na řízení vyrovnání citlivosti tuneru

Měření bylo prováděno na tuneru TDM1316AL set top boxu HUMAX FOX-F3 T, který je pro potřeby laboratorní výuky pro toto měření upraven. Modulace datových nosných byla zvolena 64QAM a kódový poměr 2/3. Na svorky AGC a GND tuneru byl připojen multimetr přepnutý na stejnosměrné měření. V závislosti na změně úrovně vstupního signálu z laboratorního vysílače bylo měřeno napětí vyrovnávající citlivost tuneru AGC při zapnutém a vypnutém režimu AGC. Totéž měření bylo provedeno pro svorky IF-AGC (řízení vyrovnání zisku mezifrekvenčního zesilovače). V OSD menu přijímače byla sledována úroveň a kvalita signálu. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 7.11, kde STR vyjadřuje úroveň signálu a Q kvalitu signálu zjištěnou z OSD menu přijímače. Tuner DTT7592, který je součástí ostatních přístrojů tomuto měření nebyl podroben, protože se nepodařilo nalézt jeho katalogový list a tím nebylo možné zjistit rozložení a funkci jednotlivých pinů.

Tab. 7.11: Měření vlivu úrovně vstupního signálu na řízení vyrovnání citlivosti tuneru

| Vstupní úroveň [dB $\mu$ V] | AGC zapnuto |            |         |       | AGC vypnuto |         |       |
|-----------------------------|-------------|------------|---------|-------|-------------|---------|-------|
|                             | AGC [V]     | IF-AGC [V] | STR [%] | Q [%] | IF-AGC [V]  | STR [%] | Q [%] |
| 10                          | 3,36        | 3,24       | 0       | 0     | 3,24        | 0       | 0     |
| 20                          | 3,36        | 3,24       | 0       | 0     | 3,24        | 0       | 0     |
| 30                          | 3,36        | 3,24       | 21      | 100   | 3,24        | 75      | 100   |
| 40                          | 3,36        | 1,88       | 36      | 100   | 1,88        | 97      | 100   |
| 50                          | 3,36        | 1,52       | 54      | 100   | 1,52        | 100     | 100   |
| 60                          | 3,36        | 1,27       | 62      | 100   | 1,27        | 100     | 100   |
| 70                          | 3,1         | 1,27       | 73      | 100   | 1,27        | 100     | 100   |
| 80                          | 1,9         | 1,27       | 87      | 100   | 1,27        | 100     | 100   |

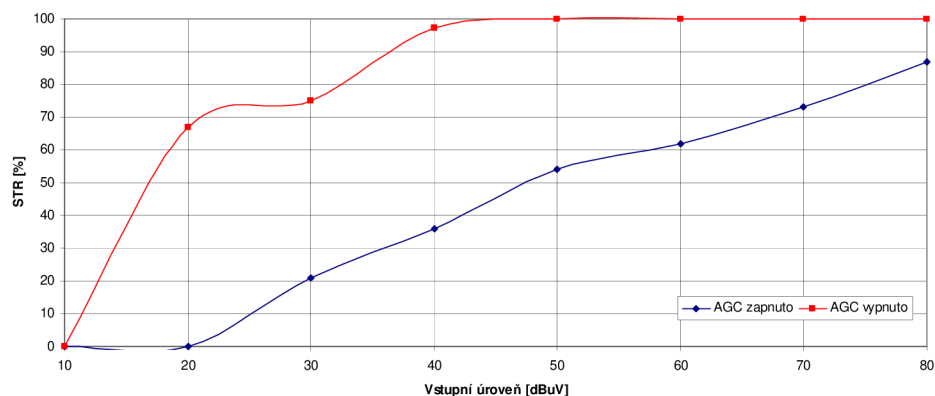


Obr. 7.17: Grafická závislost AGC a IF-AGC na vstupní úrovni přijímače

Průběh řídicího napětí (obr. 7.17) zapnutého obvodu AGC je nejprve, při zvyšující se vstupní úrovni, dlouho konstantní a od hodnoty 70 dB $\mu$ V začíná klesat. Hodnota

řídícího napětí IF-AGC klesá již od úrovně vstupního napětí 40 dB $\mu$ V. Napětí IF-AGC je nezávislé na funkci AGC, proto jsou naměřené hodnoty IF-AGC shodné pro vypnutý i zapnutý obvod AGC.

Na obr. 7.18 jsou znázorněny průběhy závislosti úrovně signálu indikovaného pomocí OSD menu přijímače na měnící se skutečné vstupní úrovni. Při zapnutém obvodu AGC byla tato závislost téměř lineární. Bez zapnutého obvodu tato úroveň prudce narůstala až do hodnoty 100%.



Obr. 7.18: Grafická závislost úrovně signálu indikované pomocí OSD menu přijímače na skutečné vstupní úrovni při zapnutém a vypnutém obvodu AGC

## 8 ZÁVĚR

Byly představeny standardy pro digitální televizní vysílání (DVB), z nichž standard pro pozemní vysílání (DVB-T) je hlavní náplní této práce. V úvodu byly zmíněny výhody a nevýhody digitálního televizního vysílání a dále se práce zabývá popisem systému DVB-T.

Zdrojové kódování zahrnuje způsob komprimace datových signálů a tvorbu multiplexu. Kanálové kódování a kanálová modulace upravuje multiplexovaný signál tak, aby jej bylo možné přenášet z vysílací antény přenosovým prostředím do antény přijímače. Pozemní přenosové prostředí aplikuje na přenášený signál velké množství nežádoucích vlivů, jako je například šum, odrazy, vícecestné šíření apod. Aby bylo možné signál nerušeně přijímat, musí být přenášený signál dostatečně odolný (robustní). Robustnost přenášeného signálu je ovlivněna zvolenými parametry při kanálovém kódování a modulaci. Schopnost příjmu signálu rovněž závisí, mimo jiné, i na parametrech použitého přijímače (set top boxu), které byly v práci také popsány.

Hlavní kapitolou je rozbor měřitelných parametrů přijímačů, dle doporučení ETSI TR 101 290. Na základě získaných poznatků o systému DVB-T a způsobu měření parametrů přijímačů byla snaha realizovat měření většiny uvedených parametrů.

Před samotným měřením byl proveden rozbor topologie dostupných set top boxů. Na základě této analýzy bylo zjištěno, že vysoká míra integrace jednotlivých bloků DVB-T přijímače, nedovoluje provádět měření parametrů přímo v jednotlivých bodech měření tak, jak je definuje technická příručka ETSI TR 101 290 a jak jsou zobrazeny v obecném blokovém diagramu na obr. 3.1, byť by pro měření daných parametrů byly dostupné měřicí přístroje. Proto bylo navrženo měřicí pracoviště, stávající se z referenčního (měřicího) přijímače, na kterém byly jednotlivé parametry měřeny. Testovaný set top box byl paralelně s měřícím přijímačem připojen k laboratornímu vysílači pomocí stejně dlouhých koaxiálních kabelů. Hodnoty změřené měřícím přijímačem lze tak přirovnat hodnotám na vstupu testovaného zařízení. Laboratorní vysílač umožnil nastavovat různě robustní zabezpečení vysílaného signálu. Bohužel však nebyl vybaven šumovým generátorem R&S SFL-N, který by umožnil realizovat měření více parametrů. Proto se měření omezilo jen na měření kmitočtové stability, analýzu I/Q složek v konstelačním diagramu a měření vlivu úrovně vstupního signálu na řízení vyrovnaní citlivosti tuneru.

Při měření kmitočtové stability bylo zjištěno, že drobná odchylka od nominálního kmitočtu neovlivní chybovost ani kvalitu obrazu - od určité kritické frekvence dojde přímo k výpadku obrazu. Naměřené hodnoty kmitočtové stability se pohybují v průměru kolem hodnoty  $\pm 98$  MHz a mírně se liší, vzhledem k nastavené nominální hodnotě.

Pro analýzu I/Q složek v konstelačním diagramu byly zvoleny 3 úrovně robustnosti vysílaného signálu. Nejvíce robustní signál s modulací QPSK při různých nastavení zkreslujících parametrů (nedostatečné potlačení nosné, amplitudové nevyvážení, fázová chyba) nepředstavoval žádné poruchy v příjmu televizního signálu. Naměřené chybovosti BER byly na nízké úrovni. Rovněž samotné nedostatečné potlačení nosné vlny nemělo výrazný vliv na kvalitu přijímaného signálu. Amplitudové nevyvážení a

fázová chyba však při svých maximálních hodnotách, které bylo možné na laboratorním vysílači nastavit, způsobovaly pro méně robustní signál poruchy příjmu, kostičkování a výpadky obrazu. Z naměřených hodnot je patrné, že všechny 3 testované set top boxy, byly vůči nepříznivým vlivům téměř stejně odolné, avšak je možné pozorovat drobné rozdíly. Nejhorší si v testu vedl nejdražší přijímač iCAN, u kterého zpravidla docházelo k poruchám v přijímaném signálu nejdříve. Nejlépe odolával přijímač HUMAX a poté přístroj TechniSat. Tyto přístroje jsou vybaveny shodným typem COFDM demodulátoru. Přední vlastností přístroje iCAN však byla rychlá reakce na změnu parametrů vysílaného signálu bez nutnosti přeladování. Naopak přijímač HUMAX bylo nutné automaticky nebo manuálně přeladit s téměř každou změnou parametrů vysílání. Samotné nastavení nedostatečného potlačení nosné, amplitudového nevyvážení a fázové chyby kvalitu příjmu ovlivňují jen minimálně. Jak bylo dále experimentálním měřením zjištěno, větší problémy v kvalitním příjmu u méně robustního signálu by způsobila kumulace více nežádoucích vlivů, např. amplitudového nevyvážení při nedostatečném potlačení nosné vlny.

Posledním parametrem měření byl vliv úrovně vstupního signálu na řízení vyrovnání citlivosti tuneru TDM1316AL. Průběh řídicího napětí zapnutého obvodu AGC je nejprve se zvyšující se vstupní úrovní dlouho konstantní a od hodnoty 70 dB $\mu$ V začíná klesat. Hodnota řídicího napětí IF-AGC klesá již od úrovně vstupního napětí 40 dB $\mu$ V. Napětí IF-AGC je nezávislé na funkci AGC. Při zapnutém obvodu AGC byla závislost úrovně signálu indikovaná v OSD menu přístroje na skutečné vstupní úrovni téměř lineární. Bez zapnutého obvodu tato úroveň prudce narůstala až do hodnoty 100% a dále byla na této hodnotě konstantní.

# LITERATURA

- [1] KRATOCHVÍL, T. *Digitální televizní systémy* [online]. Brno: VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007 [cit. 8.12.2009]. Přednáškové skriptum. Dostupné na www: < <https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=78158> >.
- [2] *Základy televizní techniky* [online]. Brno: VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009 [cit. 8.12.2009]. Návod pro laboratorní cvičení č. 9. Dostupné na www: < <https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=77341> >.
- [3] HANUS, S. *Základy televizní techniky* [online]. Brno: VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009 [cit. 8.12.2009]. Přednášková prezentace č. 11. Dostupné na www: < <https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=84658> >.
- [4] BEDNÁŘ, J., GREGORA, P. *Přijem DVB-T*. BEN – technická literatura, Praha, 2007. 136 s. ISBN 978-80-7300-221-3.
- [5] HANUS, S. *Základy televizní techniky* [online]. Brno: VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009 [cit. 12.12.2009]. Přednášková prezentace č. 10. Dostupné na www: < <https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=84656> >.
- [6] LÍŠKA, D. *Digitální terestriální televize DVB-T: Technické minimum - MPEG 2* [online]. Únor 2002 [cit. 12.12.2009]. Dostupné na www: < [http://www.digitalnitelevize.cz/magazin/dvb-t/dvb-t-technologie/technicke\\_minimum\\_mpeg2.html](http://www.digitalnitelevize.cz/magazin/dvb-t/dvb-t-technologie/technicke_minimum_mpeg2.html) >.
- [7] ETSI EN 300 744. *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television* [online]. Ver. 1.6.1 01-2009 [cit. 25.10.2009]. Dostupné na www: < [http://pda.etsi.org/pda/home.asp?wki\\_id=5MVrO06BeHjlrkmjlaB1](http://pda.etsi.org/pda/home.asp?wki_id=5MVrO06BeHjlrkmjlaB1) >.
- [8] LEGŇŇ, M. *Televizní technika DVB-T*. BEN – technická literatura, Praha, 2006. 288 s. ISBN 978-80-7300-204-3.
- [9] ETSI TR 101 290. *Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems* [online]. Ver. 1.2.1 05-2001 [cit. 25.10.2009]. Dostupné na www: < [http://pda.etsi.org/pda/home.asp?wki\\_id=NB1xsdlQzYlrmlnaP14C](http://pda.etsi.org/pda/home.asp?wki_id=NB1xsdlQzYlrmlnaP14C) >.
- [10] iCAN 2000T *User manual* [online] [cit. 10.4.2010]. Dostupné na www < [http://www.i-can.tv/downloads/2000T/iCAN2000T\\_user\\_manual.pdf](http://www.i-can.tv/downloads/2000T/iCAN2000T_user_manual.pdf) >.
- [11] Rohde and Schwarz. *TV Test Transmitter R&S SFL* [online]. Ver. 04.00, červenec 2005 [cit. 10.4. 2010]. Produktový list. Dostupné na www < [http://www2.rohde-schwarz.com/file\\_6131/Sfl\\_en.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file_6131/Sfl_en.pdf) >.
- [12] ST, *STV0360, STV0361* [online]. [cit. 10.4.2010]. Katalogový list. Dostupné na www <<http://www.st.com/stonline/products/literature/bd/10696.pdf> >.
- [13] ST, *STV6412A* [online]. [cit. 10.4.2010]. Katalogový list. Dostupné na www <<http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/9754.pdf> >.
- [14] ST, *STi5514* [online]. [cit. 10.4.2010]. Katalogový list. Dostupné na www <<http://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/456/STI5514-pdf.php> >.

# SEZNAM ZKRATEK

|       |   |
|-------|---|
| AFC   | Automatic Frequency Control, automatická regulace kmitočtu                      |
| AI    | Amplitude Imbalance, amplitudové nevyvážení                                     |
| APSK  | Amplitude and Phase Shift Keying, amplitudově fázové klíčování                  |
| BER   | Bit Error Ratio, bitová chybovost   |
| C/N   | Carrier-to-Noise ratio, poměr výkonu signálu k výkonu šumu modulovaného signálu |
| CA    | Conditional Access, podmíněný přístup   |
| CPU   | Central Processing Unit, řídicí jednotka  |
| CR    | Code Rate, kódový poměr   |
| CS    | Carrier Suppression, potlačení nosné  |
| DUT   | Device Under Test, testované zařízení   |
| DVB-C | Digital Video Broadcasting-Cable, digitální kabelová televize                   |
| DVB-H | Digital Video Broadcasting-Handheld, digitální televize do ruky                 |
| DVB-S | Digital Video Broadcasting-Satellite, digitální satelitní televize              |
| DVB-T | Digital Video Broadcasting-Terrestrial, digitální pozemní televize              |
| END   | Equivalent Noise Degradation, rovnocenné šumové zkreslení                       |
| EPG   | Electronic Program Guide, elektronický programový průvodce                      |
| ES    | Elementary Stream, elementární datový tok                                       |
| ETSI  | European Telecommunications Standards Institute                                 |
| FEC   | Forward Error Correction, dopředná chybová ochrana                              |
| FFT   | Fast Fourier Transform, rychlá Fourierova transformace                          |
| GI    | Guard Interval, ochranný interval   |
| HDTV  | High Definition Television, televize s vysokou rozlišovací schopností           |
| I/Q   | In-phase/Quadrature components, soufázová/kvadraturní složka                    |
| IDTV  | Integrated Digital Television, televize s integrovaným digitálním tunerem       |
| IEC   | International Electrotechnical Commission                                       |
| IF    | Intermediate Frequency, mezifrekvence   |
| ITU   | International Telecommunication Union   |
| LCD   | Liquid Crystal Display, zobrazovací zařízení z tekutých krystalů                |
| LDPC  | Low Density Parity Check, kód kontroly parity s nízkou hustotou                 |

|        |   |
|--------|---|
| MER    | Modulation Error Ratio, modulační chybovost   |
| MHP    | Multimedia Home Platform, domácí multimediální platforma                                |
| MPEG   | Moving Picture Experts Group, skupina zbývající se zpracováním obrazu                   |
| NTSC   | National Television System(s) Committee, standard analogového televizního signálu       |
| OFDM   | Orthogonal Frequency Division Multiplexing, ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením |
| PAL    | Phase Alternating Line, standard kódování barevného televizního signálu                 |
| PCI    | Peripheral Component Interconnect, počítačová sběrnice                                  |
| PCMCIA | Peripheral Component MicroChannel Interconnect Architecture, rozšiřující slot počítače  |
| PE     | Phase Error, fázová chyba   |
| PES    | Packetized Elementary Stream, paketizovaný elementární tok                              |
| PJ     | Phase Jitter, fázový jitter   |
| QAM    | Quadrature Amplitude Modulation, kvadrurní amplitudová modulace                         |
| QE     | Quadrature Error, kvadrurní chyba   |
| QEF    | Quasi Error Free, kvazi-bezchybný   |
| QPSK   | Quadrature Phase Shift Keying, kvadrurní klíčování s posunem fáze                       |
| OSD    | On Screen Display, menu zobrazované na obrazovce  |
| RF     | Radio Frequency, radiofrekvenční  |
| RMS    | Root Mean Square, efektivní hodnota   |
| RS     | Reed Solomon, Reed Solomonovo kódování  |
| SECAM  | Séquentiel Couleur A Mémoire, standard kódování barevného televizního signálu           |
| SFN    | Single Frequency Network, jednofrekvenční síť   |
| STB    | Set Top Box, přijímač digitálního televizního vysílání                                  |
| TFT    | Thin-Film Transistor, technologie výroby displejů                                       |
| TPS    | Transmission Parameter Signalling, informace o parametrech vysílání                     |
| TS     | Transport Stream, transportní tok   |
| UHF    | Ultra-High Frequency, ultra vysoké kmitočty   |
| USB    | Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice                                      |
| VHF    | Very-High Frequency, velmi vysoké kmitočty  |