



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

ANALYZÁTOR SIGNÁLU V TELEVIZNÍCH KABELOVÝCH ROZVODECH

TV DISTRIBUTION NETWORK SIGNAL ANALYZER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL MATYÁŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POVALAČ

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Pavel Matyáš

ID: 77717

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Analyzátor signálu v televizních kabelových rozvodech

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte používané koncepce měření úrovně signálu v televizních kabelových rozvodech.

Navrhněte blokové schéma měřicího systému s digitálně řízeným širokopásmovým televizním tunerem, logaritmickým detektorem a grafickým zobrazovacím modulem. Navrhněte obvodové schéma a desky plošných spojů systému.

Realizujte prototyp analyzátoru pro televizní kabelové rozvody. Vytvořte obslužný firmware pro řídicí mikroprocesor analyzátoru. Proveďte experimentální měření parametrů prototypu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ŘÍČNÝ, V. Základy televizní techniky. Elektronické skriptum. Brno: VUT FEKT v Brně, 2006.

[2] 45-860MHz Radio receiver based on UV916-tuner [Online]. Publikováno 9. srpna 2001 [cit. 9. prosince 2010]. Dostupné na [www: http://hem.passagen.se/communication/uv916rec.html](http://hem.passagen.se/communication/uv916rec.html)

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Aleš Povalač

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Práce je zaměřena na vývoj analyzátoru televizních signálů v kabelových rozvodech. V úvodu je naznačeno blokové schéma navrhovaného analyzátoru s digitálně řízeným širokopásmovým tunerem, logaritmickým detektorem, mikroprocesorem a grafickým zobrazovacím modulem. Ke každému bloku je uveden teoretický rozbor, popis vlastností a parametrů použitých součástek.

Další části práce je uveden návrh obvodového schématu a desky plošných spojů prototypového přípravku, na kterém se experimentálně ověřovaly jeho vlastnosti a parametry.

Poslední část práce se věnuje finálnímu dokončení prototypového přípravku, vývoji obslužného firmwaru a experimentálnímu ověření parametrů přípravku.

KLÍČOVÁ SLOVA

Analyzátor televizních signálů, Logaritmický detektor, SAW filtr, I²C, AD8310, UV1316, ARM, STM32F, PWM,

ABSTRACT

Aim of this project is development of the analyser for cable distributed television signals. At the beginning is a block diagram of the suggested analyser with digitally controlled wideband tuner, logarithmic detector, microcontroller and a graphical display module. For each block there is a theoretical analysis, features description and description of the electronic components that were used.

In the next part of this project is introduced the design of circuit schematic and printed circuit board of prototyping kit, that was used for experiments and testing of its features and parameters.

Last part of this thesis focuses on finishing of a prototyping kit, development of firmware and experimental verification of the prototype's parameters.

KEYWORDS

Analysers for television signals, Logarithmic detector, SAW filter, I²C, AD8310, UV1316, ARM, STM32F, PWM

MATYÁŠ, P. *Analyzátor signálu v televizních kabelových rozvodech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 38 s., 10 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Aleš Povalač

PROHLÁŠENÍ

Jako autor diplomové práce na téma „Analyzátor signálu v televizních kabelových rozvodech“ dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Alešovi Povalačovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Úvod	1
1 Teoretický rozbor	2
1.1 Blokové schéma.....	2
1.2 Televizní tuner	3
1.2.1 Vysokofrekvenční zesilovač a směšovač.....	4
1.2.2 Frekvenční Syntéza.....	4
1.3 I ² C	7
1.4 Pásmová propust s povrchovou akustickou vlnou.....	8
1.4.1 Princip.....	8
1.5 Logaritmičtý detektor.....	9
1.5.1 Princip.....	9
1.6 Norma ČSN EN 500 83	10
2 hardwarové řešení	11
2.1 Televizní tuner	11
2.1.1 Tuner UV1316	11
2.1.2 Komunikace s tunerem po I ² C sběrnici	15
2.2 SAW Filtr G 3355K.....	16
2.3 Logaritmičtý detektor AD8310.....	17
2.4 A/D převodník	18
2.5 Mikroprocesor.....	20
2.5.1 STM32F101R8	20
2.6 Displej.....	20
2.6.1 Zpětnovazební smyčka využívající PWM	21
2.7 Napájecí obvody	22
2.7.1 Stabilizátory napětí LF50 a LF33	23
2.7.2 Step-Up měnič MAX5026.....	23
2.7.3 Nabíjecí obvod.....	25

2.7.4	Koncepce ovládání.....	27
2.8	Realizace prototypu	27
3	Firmware	31
3.1	Ovladače jednotlivých částí.....	32
3.1.1	Ovladač grafického displeje.....	32
3.1.2	Ovladač A/D převodníku	33
3.1.3	Čtení stavů tlačítek a rotačního enkodéru.....	33
3.2	Funkce a možnosti analyzátoru.....	34
3.2.1	Kontinuální měření	34
3.2.2	Periodické měření	35
3.2.3	Zobrazení spektra.....	36
4	Experimentální měření	37
5	Závěr	38
	Literatura	39
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	40
	Seznam příloh	41

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Blokové schéma uvažovaného analyzátoru televizních signálů	2
Obr. 1.2:	Obecné blokové schéma vstupního dílu televizního přijímače [1]	3
Obr. 1.3:	Kmitočtové poměry ve vstupním dílu TVP pro C9 a normy D/K [3]	4
Obr. 1.4:	Princip frekvenční syntézy ladícího napětí [1]	5
Obr. 1.5:	Charakteristika fázového detektoru [2].....	6
Obr. 1.6:	Filtr s povrchovou akustickou vlnou [6].....	8
Obr. 1.7:	Blokové schéma logaritmického zesilovače tvořeného kaskádou zesilovačů [7].....	9
Obr. 2.1:	Blokové schéma použitého televizního tuneru UV1316 [9].....	12
Obr. 2.2:	Závislost zisku tuneru na naladěné frekvenci	13
Obr. 2.3:	Závislost zisku vstupních zesilovačů tuneru UV1316 na řídicím napětí U_{AGC} pro pásma <i>Middle</i> a <i>High</i>	14
Obr. 2.4:	Přenosová charakteristika filtru G 3355 K pro obrazové pásmo	16
Obr. 2.5:	Dynamický rozsah logaritmického detektoru AD8310	17
Obr. 2.6:	Dynamický rozsah logaritmického detektoru AD8310 při použití automatického řízení zisku	18
Obr. 2.7:	Fotografie použitého displeje ITDB02 [13].....	20
Obr. 2.8:	Zapojení vstupních pinů displeje ITDB02.....	21
Obr. 2.9:	Ukázka zapojení převodníku TTL logiky z 3,3V na 5V s výstupním RC filtrem.....	22
Obr. 2.10:	Typické zapojení stabilizátoru LF33 [17].....	23
Obr. 2.11:	Navrhnuté zapojení zvyšujícího měniče MAX5026 [16]	24
Obr. 2.12:	Zapojení vstupní napájecí a nabíjecí části s LM317 v proudovém režimu..	26
Obr. 2.13:	Fotografie obou částí krabičky zobrazující propojení displeje a rotačního enkodéru s hlavní deskou plošných spojů bez připojené baterie.	28
Obr. 2.14:	Fotografie odkrytovaného přístroje zobrazující horní stranu desky plošného spoje a umístění baterií	29
Obr. 2.15:	Fotografie spodní strany desky plošných spojů obsahující veškeré smd součástky	29
Obr. 2.16:	Fotografie finální podoby navrženého televizního analyzátoru.....	30
Obr. 3.1:	Struktura firmwaru analyzátoru televizních signálů	31
Obr. 3.2:	Ukázka písma Terminus Bold o rozlišení 16x32px.....	32

Obr. 3.3: Obrázovka zobrazující menu s výběrem jednotlivých typů měření.....	34
Obr. 3.4: Obrázovka kontinuálního měření s červeným bargrafem	35
Obr. 3.5: Obrázovka kontinuálního měření se zeleným bargrafem	35
Obr. 3.6: Obrázovka v režimu periodického měření	36
Obr. 3.7: Zobrazení spektra v režimu měření	37
Obr. 3.8: Zobrazení spektra režimu markeru	37
Obr. 4.1: Experimentální ověření přesnosti měření navrhnutého analyzátoru televizních signálů	37

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1:	Požadované úrovně signálu na výstupu účastnické zásuvky televizní distribuční sítě pro jednotlivá televizní a rozhlasová pásma dle ČSN EN 500 83.....	10
Tab. 2.1:	Frekvenční rozsah a rozdělení jednotlivých pásem tuneru UV1316 [9].....	12
Tab. 2.2:	Obsah slabik povelů pro ovládání frekvenční syntézy tuneru typu UV1316 [9]	15
Tab. 2.3:	Nastavení bitů MA1 a MA0 dle velikosti přivedeného napětí na pin 3. $V_S = 5\text{ V}$ [9].....	15
Tab. 2.4:	Minimální krok měřené hodnoty pro různé kombinace ref. napětí a počtu hladin A/D převodníku	19
Tab. 2.5:	Soupis mezních povolených a typických hodnot napájecích napětí pro jednotlivé použité součástky	22
Tab. 5.1:	Televizní kanály III. televizního pásma pro analogovou televizi, norma D [3]	52
Tab. 5.2:	Televizní kanály III. televizního pásma pro analogovou televizi, norma B [3]	52
Tab. 5.3:	Televizní kanály IV. a V. televizního pásma pro analogovou televizi [3] ..	53
Tab. 5.4:	Přehled „S“ kanálů pro televizní kabelové rozvody [3].....	54
Tab. 5.5:	Televizní kanály III. televizního pásma pro digitální televizi DVB-T [3]...	55

ÚVOD

Semestrální práce popisuje konstrukci analyzátoru televizních signálů, jehož úkolem je měřit úroveň signálů v televizních rozvodech a to jak analogového vysílání, tak i pozemského digitálního vysílání. Přístroj najde uplatnění například při konstrukci rozvodů společných domovních kabelových rozvodů, kdy je potřeba pro celkovou rozvahu kabelového rozvodu znát velikost signálu na jeho vstupu.

V úvodu práce je uvedeno blokové schéma, na kterém jsou uvedeny základní bloky tvořící samotný analyzátor televizních signálů. K několika základním blokům je uveden teoretický rozbor jejich činnosti.

V kapitole věnující se hardwarovému návrhu samotného přístroje je popsán postup při výběru konkrétních součástí a jsou zde i uvedeny obvodové schémata jednotlivých částí.

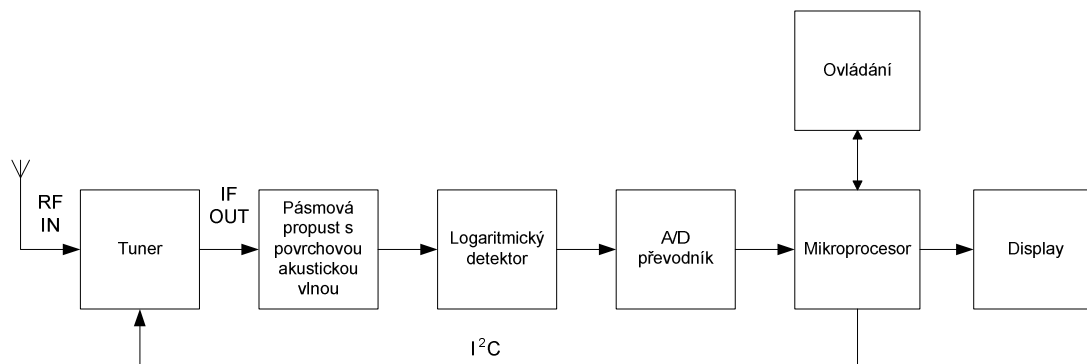
Třetí kapitola se věnuje popisu obslužného firmwaru. Jsou zde popsány jednotlivé funkce analyzátoru.

Předposlední kapitola obsahuje výsledky experimentálního měření, které mělo ověřit parametry a přesnost navrhnutého analyzátoru.

Práci uzavírá poslední kapitola, která shrnuje celou práci.

1 TEORETICKÝ ROZBOR

1.1 Blokové schéma



Obr. 1.1: Blokové schéma uvažovaného analyzátoru televizních signálů

Na Obr. 1.1 je nakresleno blokové schéma předpokládaného analyzátoru televizních signálů. Signál z antény vstupuje do kanálového voliče, ve kterém je za pomoci mikroprocesoru přes sériovou sběrnici I^2C vybrán požadovaný televizní kanál. Na výstupu kanálového voliče je stálý mezifrekvenční signál, který je potřeba kmitočtově filtrovat pomocí filtru s povrchovou akustickou vlnou. Následuje logaritmický detektor, jehož výstupní napětí je úměrné logaritmu vstupního napětí nebo proudu. Posledním krokem před vstupem signálu do mikroprocesoru je jeho převod z analogové podoby do digitální. To zajišťuje A/D převodník, který díky použití logaritmického detektoru může mít menší rozlišovací schopnost. Obvykle postačí A/D převodník integrovaný přímo v mikroprocesoru.

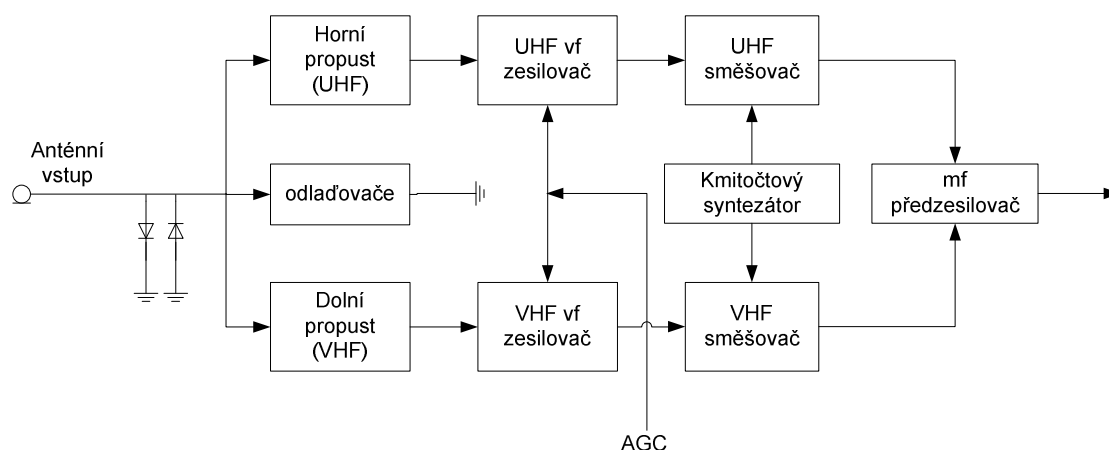
Mikroprocesor má na starost, mimo již zmíněného ladění televizních kanálů, i výstup na grafický displej a řízení automatického zisku AGC.

V následujících podkapitolách jsou jednotlivé bloky analyzátoru popsány více dopodrobna.

1.2 Televizní tuner

Hlavním úkolem televizního tuneru je převést vybraný televizní signál z I. až V. pásma na signál se stálou mezifrekvencí, který je pak podroben jednotnému hlavnímu zesílení a úpravám šířky pásma. Děje se tak směřováním přijímaného signálu s frekvencí místního oscilátoru. Na výstupu kanálového voliče se objeví konstantní mezifrekvenční signál, v němž se uplatňuje ten vstupní televizní signál, který je určen naladěním místního oscilátoru.

Základní části obecného kanálového voliče jsou zobrazeny na Obr. 1.2. K anténnímu vstupnímu konektoru jsou připojeny ochranné diody proti přepětí a odladovače nežádoucích kmitočtů. Pomocí filtrů typu horní a dolní propust, sestavené z pasivních prvků, se televizní pásmo o rozsahu 49 až 860MHz rozdělí na kmitočtová pásma VHF a UHF. Dále pak následuje řízený vysokofrekvenční zesilovač, jehož zesílení je třeba měnit přiváděním regulačního napětí AGC. Vysokofrekvenční zesilovač pracuje do zátěže v podobě pásmové propusti a ta přivádí signál frekvenčně vymezený do směšovače. Na druhý vstup směšovače je přiváděn signál z kmitočtového syntezátoru. Na výstupu směšovače je mezifrekvenční signál f_{mf} , který dále zesílí v mezifrekvenčním předzesilovači.



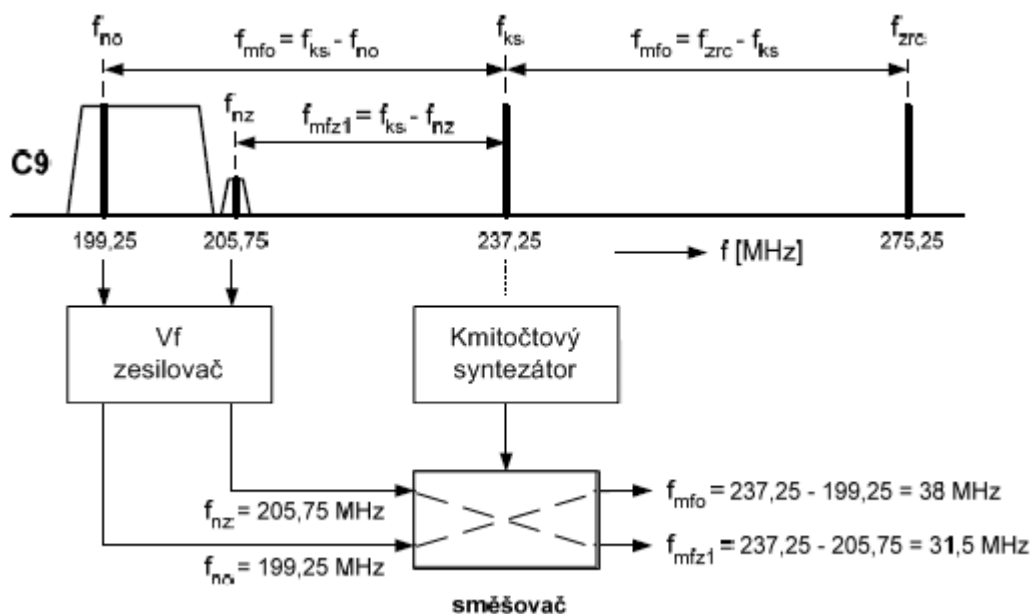
Obr. 1.2: Obecné blokové schéma vstupního dílu televizního přijímače [1]

Celé frekvenční televizní pásmo 49 až 860MHz, tj. pásma I. až III. (VHF) a pásma IV. a V. (UHF) nemůžou zpracovat jeden vf zesilovač se stálými rezonančními obvody. Proto je přijímaný televizní signál rozdělen do dvou nebo tří okruhů, v nichž se část pásma zesílí a směšuje samostatně. Za společným anténním vstupem se signál rozděluje do části UHF a do části VHF. Z důvodů snazšího přeladění je VHF pásmo rozděleno na subpásma VHF I, VHF II a VHF III. [1], [2]

1.2.1 Vysokofrekvenční zesilovač a směšovač

Vysokofrekvenční zesilovač v kanálovém voliči, a to v části UHF i VHF je vždy jednostupňový osazený unipolárním tranzistorem MOSFET pro jeho velkou vstupní impedanci a málo zakřivenou převodní charakteristiku. Tyto dvě vlastnosti zajišťují malé šumové číslo a velkou odolnost proti křížové modulaci. Hlavní úlohou zesilovače je maximálně zesílit slabé vstupní televizní signály, řádu desítek μV , avšak od určité velikosti vstupního signálu (asi 1mV) musí zesilovač plynule a samočinně zesílení zmenšovat, aby se nezahltily další zesilovací stupně v televizním přijímači. Děje se tak změnou napětí U_{AGC} , které vytvářeno v obvodech za obrazovým demodulátorem.

Televizní signál zesílený v zesilovači se přivádí z pásmové propusti do dalšího stupně kanálového voliče, do aditivního směšovače. Jeho úkolem je přeměnit frekvenci přijímaného televizního signálu na novou nižší neproměnou frekvenci nazývanou obrazová mezifrekvence. S celým pásmem obrazové mezifrekvence se na výstupu směšovače objeví i zvuková mezifrekvence. Její vznik je výsledkem prvního směšování. Směšovač využívá nelinearity tranzistoru a vytváří ze signálů dvou různých kmitočtů signál výstupní. Tento signál obsahuje teoreticky nekonečně mnoho kombinačních kmitočtů $f_{mf} = m \cdot f_{ks} + n \cdot f_n$, kde m, n jsou celá čísla. Z tohoto spektra se vhodným pásmovým filtrem vybere pouze produkt s tzv. mezifrekvenčním kmitočtem.

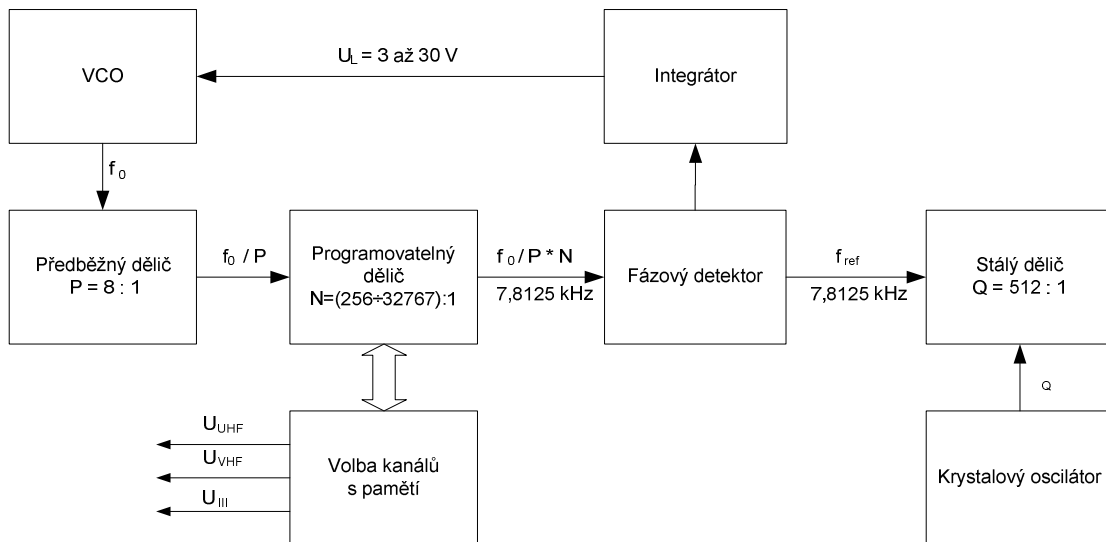


Obr. 1.3: Kmitočtové poměry ve vstupním dílu TVP pro C9 a normy D/K [3]

1.2.2 Frekvenční Syntéza

Frekvenční syntéza pracuje na principu zpětnovazební smyčky, které říkáme fázový závěs PLL. Vzorek frekvence f_0 z napětím řízeného oscilátoru kanálového voliče dělený zvoleným poměrem se ve fázovém detektoru porovná s frekvencí krystalového oscilátoru a jeho výstupem se po integraci v podobě ladícího napětí U_L řídí

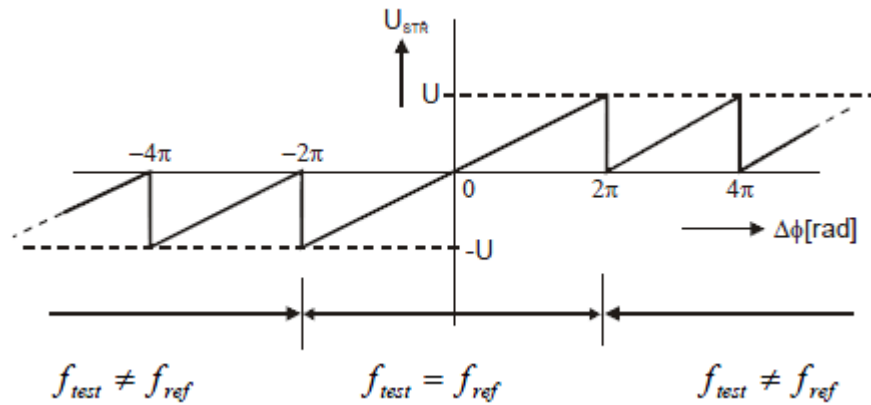
oscilátor. Ladící napětí se v době fáze zachycení mění tak dlouho, až se frekvence oscilátoru dělena určitým nastaveným dělicím poměrem, kterým se volí kanál, rovná i co do fáze referenční frekvenci odvozené z krystalového oscilátoru. Při této podmínce se fázový detektor uzamkne a ladící napětí U_L zůstává na stálé hodnotě. Stabilita oscilátoru kanálového voliče je dána stabilitou referenčního krystalového oscilátoru.



Obr. 1.4: Princip frekvenční syntézy ladícího napětí [1]

V televizních přijímačích se používá kmitočtový syntezátor s nepřímou koherentní syntézou s pevným předděličem, pracující na principu fázového závěsu. Základní zapojení takového syntezátoru je nakresleno na Obr. 1.4.

Frekvence oscilátoru nejvyššího kanálu v pásmu UHF je téměř 900 MHz. Programovatelný dělič při ladění kanálu nemůže tak velkou hodnotu zpracovat, proto se dělí frekvence oscilátoru na všech pásmech předběžným děličem v poměru $P = 8:1$. Za děličem P následuje programovatelný dělič N s nastavitelným poměrem $N = 256 \div 32\,767$, který může být řízen přes paralelní sběrnici nebo po sériové lince. Frekvence oscilátoru f_0 dělena celkovým poměrem PN dává testovanou frekvenci, která se přivádí na jeden vstup fázového detektoru. Na jeho druhý vstup se po vydělení frekvence krystalu $f_Q = 4$ MHz stálým dělicím poměrem $Q = 512 : 1$ přivede signál s referenčním kmitočtem f_{ref} . Podle vzájemného fázového, resp. kmitočtového vztahu vstupních signálů, může výstupní napětí fázového detektoru nabývat kladných nebo záporných hodnot. Pokud oba vstupní signály jsou kmitočtově i fázově shodné, tak potom výstupní napětí fázového detektoru je nulové a syntezátor je v ustáleném stavu. Závislost střední hodnoty výstupního napětí komparátoru $U_{STŘ}$ na fázovém rozdílu vstupních signálů je nakreslena na Obr. 1.5.



Obr. 1.5: Charakteristika fázového detektoru [2]

Výstup fázového detektoru je připojen na vstup integrátoru. Integrátor podle polarity vstupního napětí zvyšuje nebo snižuje své výstupní napětí. Rychlost této změny závisí na časové konstantě integrátoru. Pokud je na vstupu integrátoru nulové napětí, tak se jeho výstupní napětí nemění a zůstává na aktuální hodnotě.

Pro stanovení výstupního kmitočtu syntezátoru se vychází z ustáleného stavu syntezátoru, který je charakterizován rovností kmitočtů na vstupech kmitočtové fázového komparátoru [2]

$$f_{test} = f_{ref} \quad (1.1)$$

Po dosazení do rovnice (1.1) lze psát

$$\frac{f_o}{P \cdot N} = \frac{f_Q}{Q} \Rightarrow f_o = \frac{P \cdot N}{Q} \cdot f_Q \quad (1.2)$$

Pro kmitočtový krok syntezátoru platí:

$$\Delta f_{ref} = \frac{P \cdot N}{Q} \cdot f_0 - \frac{P \cdot (N-1)}{Q} \cdot f_0 = \frac{P}{Q} \cdot f_{ref} \quad (1.3)$$

Pokud se změní dělicí poměr N na hodnotu např. N' , tak dojde k porušení rovnosti vstupních kmitočtů fázového detektoru. Jeho výstupní napětí způsobí vzrůst nebo pokles napětí vstupujícího do integrátoru a tím dojde k přeladění VCO směrem k novému kmitočtu. Toto přeladování probíhá tak dlouho, dokud není splněna podmínka (1.1). [1], [2]

1.3 I²C

Ovládání tuneru probíhá po dvojvodičové sběrnici I²C. Jedná se o interní datovou sběrnici sloužící pro obousměrnou komunikaci a přenos dat mezi jednotlivými integrovanými obvody v rámci jednoho zařízení. Veškerá komunikace probíhá pomocí dvou vodičů, z nichž jeden je datový, po kterém se posílají užitečná data. Je označován jako SDA. Druhý vodič slouží pro hodinový signál SCL. Každé zařízení připojené k I²C sběrnici musí mít vlastní sedmibitovou adresu. Ke sběrnici lze tedy připojit teoreticky maximálně 128 zařízení. Přenosová rychlost sběrnice je dána frekvencí hodin na SCL vodiči. V základní verzi je frekvence hodin 100 kHz. Ve vylepšených verzích to může být až 400 kHz. Výchozí stav na sběrnici je v logické jedničce, což je zajištěno přivedením napájecího napětí přes pull-up rezistory. Možné dovolené napětí je 3,3 nebo 5 V. Obvody komunikující po sběrnici se rozdělují do dvou skupin na *Master* nebo *Slave*. Řídící zařízení *Master* vždy zahajuje komunikaci a také generuje hodinový signál na vodiči SCL. Pokud jedno zařízení vysílá, tak všechny ostatní zařízení přijímají a pouze podle adresy určují, zda jsou data určena jim. Součástí adresy zařízení je i informace, zda zařízení *Master* chce data vysílat nebo přijímat [5].

Na sběrnici mohou nastat tyto stavy: [5]

- **Klidový stav**

Nastává vždy, když neprobíhá žádná komunikace. Je zajištěn logickými jedničkami na obou vodičích.

- **Startovací bit**

Veškerá komunikace na sběrnici musí být zahájena startovacím bitem. Je vygenerován tak, že se změní úroveň na datovém vodiči SDA z log. 1 na log. 0, zatímco SCL je v logické 1.

- **Přenos dat**

Data jsou přenášena po bajtech, což je 8 po sobě jdoucích bitů. Po každém přeneseném bajtu následuje potvrzovací bit označovaný jako ACK.

- **Potvrzující bit ACK**

Potvrzovací bit generuje zařízení, které přijímalo data a potvrzuje tím, že přenos dat proběhl v pořádku a zároveň tím oznamuje, že je připraveno přijímat další sérii dat. Pokud přenos proběhl v pořádku, tak odešle logickou 0. Pokud přenos selhal nebo pokud má dojít k ukončení přenosu, tak stav zůstává na logické 1.

- **Stop bit**

Ukončuje přenos. Je generován podobně jako bit startovací, jenom s tím rozdílem, že na datovém vodiči SDA se změní stav z logické 0 na logickou 1. SCL zůstává v logické 1.

1.4 Pásmová propust s povrchovou akustickou vlnou

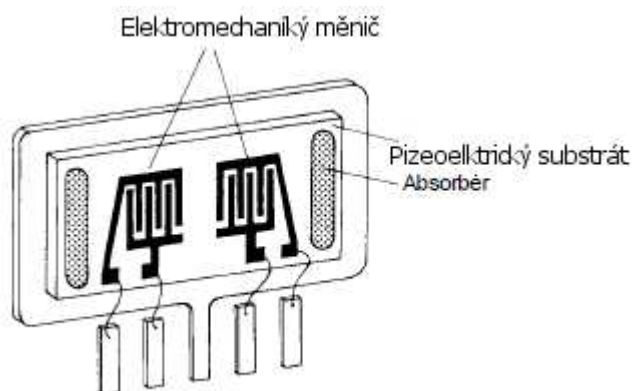
Pásmová propust je použita z důvodu velké širokopásmovosti logaritmického detektoru. V případě výskytu rušivých signálů na vyšších frekvencích by tyto signály mohly značně ovlivňovat výsledky měření. Použitím vhodné pásmové propusti zajistíme, že logaritmický detektor bude měřit úroveň signálu pouze v požadovaném pásmu.

1.4.1 Princip

Filtry s povrchovou akustickou vlnou (zkráceně SAW filtry) jsou integrované pasivní součástky s charakteristikou pásmového filtru. Jejich činnost je založena na interferenci mechanických povrchových vln. Ve srovnání s jinými typy filtrů vykazují SAW filtry řadu pozitivních vlastností:

- Vysoce výkonné
- Stabilní charakteristika
- Nepotřebují přizpůsobení
- Odezva amplitudy a fáze může být stanovena nezávisle na sobě
- Malé rozměry

Vnitřní struktura filtru je naznačena na Obr. 1.9. Na monokrystalu z piezoelektrického substrátu je napařena struktura ve tvaru hřebenů. Tyto elektrody ve tvaru hřebenu vybudí akustické vlny, které se šíří po povrchu materiálu k výstupním elektrodám. Uspořádání a tvar těchto elektrod (prstů) určuje tvar útlumové a fázové charakteristiky. Konkrétně vzdálenost sousedních prstů určuje střední kmitočet propustného pásma, zatímco počet prstů se podílí na výsledné šířce propustného pásma. Čím více prstů, tím je šířka pásma menší. Povrchové vlny odražené od okrajů filtru pohlcuje absorpér, který tak eliminuje rušivé signály. [2]



Obr. 1.6: Filtr s povrchovou akustickou vlnou [6]

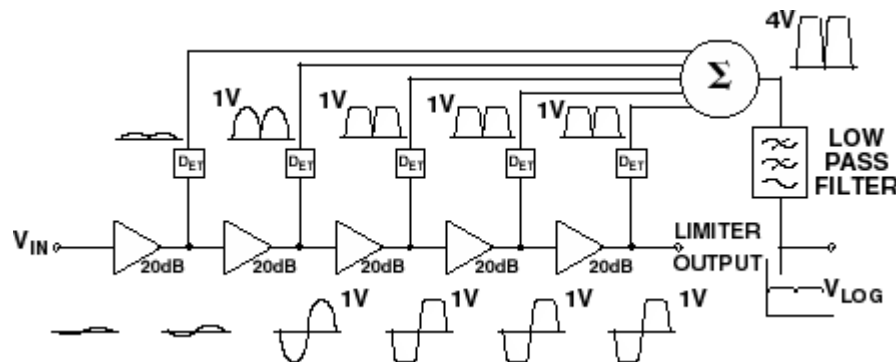
1.5 Logaritmický detektor

Úroveň signálu na výstupu pásmové propusti je sledována logaritmickým detektorem, jehož výstupní napětí je úměrné logaritmu vstupního napětí nebo proudu. Tato jeho vlastnost je výhodná pro další zpracování v mikroprocesoru.

1.5.1 Princip

Logaritmický detektor, nebo taky logaritmický zesilovač, je obecně chápán jako zařízení, které počítá logaritmus obálky vstupního signálu. Mezi jeho hlavní výhody patří obrovský dynamický rozsah zpracovávaného vstupního signálu, který dosahuje několika dekad. To vše při zachování velké širokopásmovosti řádu stovek MHz.

Vnitřní zapojení logaritmického detektoru je znázorněno na Obr. 1.7. Jedná se o několikastupňovou kaskádu omezujících zesilovačů s malým lineárním zesílením, v tomto případě je zvoleno zesílení 20 dB, což odpovídá desetinásobnému zesílení. Malé zesílení umožňuje zachovat velkou šířku kmitočtového pásma. Signál vstupuje do prvního zesilovače v řetězci, kde je desetkrát zesílen. Takto signál prochází každým dalším zesilovacím stupněm. V určité fázi bude amplituda zesilovaného signálu tak velká, že dojde k jeho omezení. V případě Obr. 1.7 je limit 1 V. Poté co signál dosáhne omezení, pokračuje do dalšího stupně, ve kterém se zachová jeho maximální amplituda 1 V. Signál na výstupu každého zesilovače je zároveň veden do usměrňovače, který převádí zápornou půlvlnu na kladnou. Výstupy z těchto usměrňovačů se sčítají a přes dolní propust jsou vedeny na výstup celého logaritmického detektoru [7].



Obr. 1.7: Blokové schéma logaritmického zesilovače tvořeného kaskádou zesilovačů [7]

Hodnotu výstupního napětí logaritmického detektoru pak lze [7] přepočítat na hodnotu v dBV pomocí vzorce:

$$V_{IN} = \frac{V_{OUT}}{Slope} + V_{INTERCEPT} \quad [dBV, V, V/dB, dBV] \quad (1.4)$$

kde V_{in} je vstupní úroveň signálu, V_{OUT} je stejnosměrná hodnota napětí na výstupu logaritmického detektoru, $Slope$ je strmost převodní charakteristiky a $V_{INTERCEPT}$ je průsečík s osou x při prodloužení lineární části charakteristiky.

1.6 Norma ČSN EN 500 83

Technické požadavky na TV kabelové sítě se souborem parametrů i příslušnými měřicími metodami jsou definovány v normě ČSN EN 500 83. Dodržení těchto parametrů zaručuje požadovanou kvalitu výstupního televizního signálu.

Tab. 1.1: Požadované úrovně signálu na výstupu účastnické zásuvky televizní distribuční sítě pro jednotlivá televizní a rozhlasová pásma dle ČSN EN 500 83

Frekvenční pásmo	Úroveň signálu [dB μ V]		Minimální C/N [dB]
	Minimální	Maximální	
DV, SV	38	74	-
VKV mono	49	80	41
VKV stereo	50	80	51
TV I, III, STV I, II	52	83	43
TV IV, V, STV III	60	83	45

2 HARDWAROVÉ ŘEŠENÍ

2.1 Televizní tuner

Na trhu je v současné době dostupné velké množství televizních tunerů. Podle typu zařízení, pro které jsou určeny, se dají rozdělit do dvou hlavních skupin. Tou první skupinou jsou tunery, které se používají v přídatných PCI kartách pro stolní počítače. Tyto tunery se vyznačují tím, že na svých výstupních pinech mají přímo kompozitní video a dvoukanálový audio signál, který je možno hned v dalších obvodech digitalizovat. Toto řešení je výhodné pro svou jednoduchou konstrukci, protože tuner již obsahuje vše potřebné, včetně DC/DC konvertoru, takže mu stačí jedno napájecí napětí. Typickým zástupcem tohoto typu tunerů je například tuner s typovým označením FM1216 pocházející od firmy Philips, který můžeme najít na většině televizních PCI kartách.

K těmto typům tunerů je poměrně dobře dostupná technická dokumentace, která je potřebná ke zjištění všech potřebných parametrů a hlavně obsahují informace o ovládní po I²C sběrnici. Tyto tunery jsou však naprosto nevhodné pro měřicí účely, protože zde není na výstup vyveden první mezifrekvenční signál o kmitočtu okolo 38MHz. Tento mezifrekvenční signál mají vyveden tunery, které se používají v televizních přijímačích. Zde je i přes značné množství dostupných typů tunerů výběr značně omezen faktem, že pro tyto tunery je prakticky nedostupná technická dokumentace. Tímto se výběr zúžil pouze na dva typy tunerů, které oba pocházejí od firmy Philips. Tím prvním je tuner UV916, ke kterému sice není dostupná technická dokumentace, ale jelikož je velmi oblíben u radioamatérů, tak k němu existuje poměrně důvěryhodný popis alespoň základních parametrů a nastavení [8]. Druhý tuner je UV1316, ke kterému je dostupná technická dokumentace [9]. Z porovnání dostupných dat obou tunerů vyplývá, že jde o identické tunery, které se liší pouze v zapojení výstupních pinů a ve velikosti pouzdra, kdy tuner UV1316 patří do rodiny velikostně malých tunerů. Cenově vycházejí oba tunery velmi podobně, a jelikož k tuneru UV1316 je dostupná oficiální dokumentace, tak bude v analyzátoru použit právě tento typ.

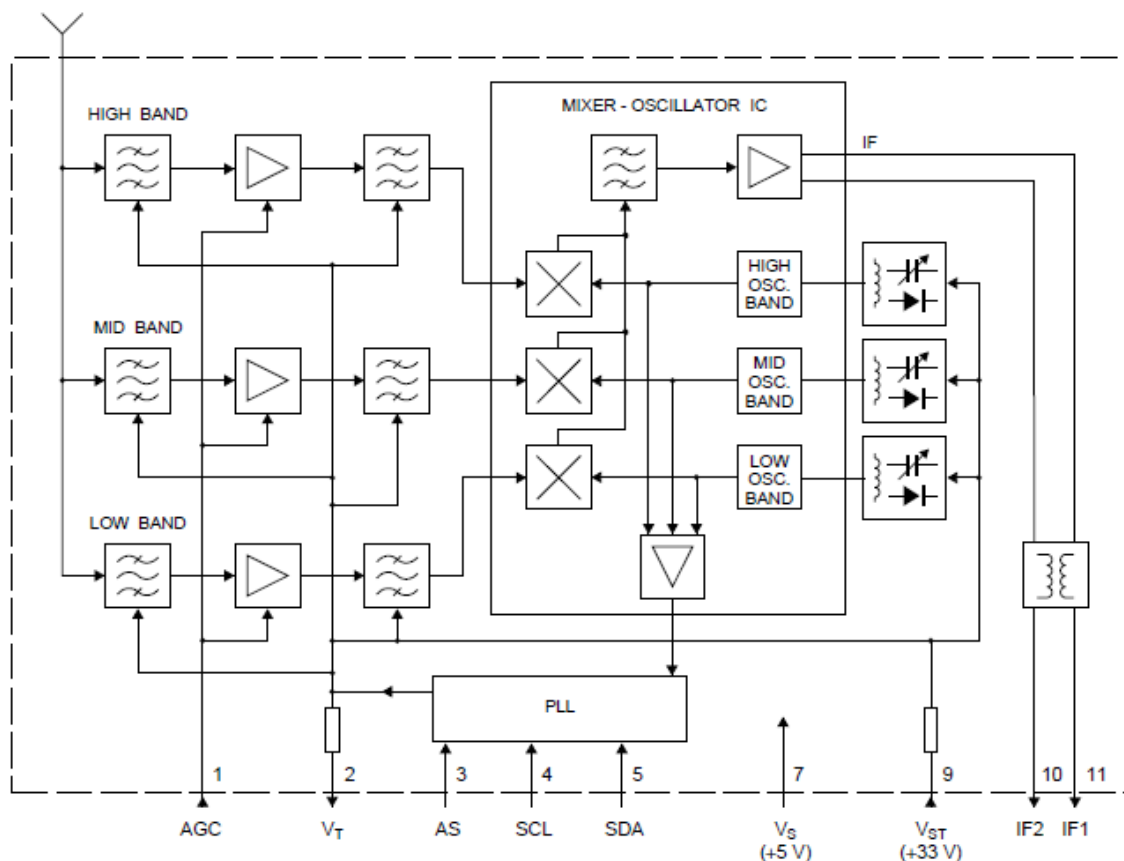
2.1.1 Tuner UV1316

Tento tuner patří do rodiny tunerů UV1300, které jsou navrženy tak, aby podporovaly širokou škálu aplikací. Jedná se o kombinovaný VHF, UHF tuner s podporou všech světových televizních norem. Frekvenční rozsah a rozdělení jednotlivých pásem jsou uvedeny v Tab. 2.1.

Tab. 2.1: Frekvenční rozsah a rozdělení jednotlivých pásem tuneru UV1316 [9]

Pásmo	Rádiové kanály		Kabelové kanály	
	Rozsah kanálů	Frekvenční rozsah [MH]	Rozsah kanálů	Frekvenční rozsah [MH]
Low band	E2 až C	48,25 až 82,25	S01 až S10	69,25 až 168,25
Mid band	E5 až E12	175,25 až 224,25	S11 až S39	231,25 až 447,25
High band	E21 až E69	471,25 až 855,25	S40 až S41	455,25 až 463,25

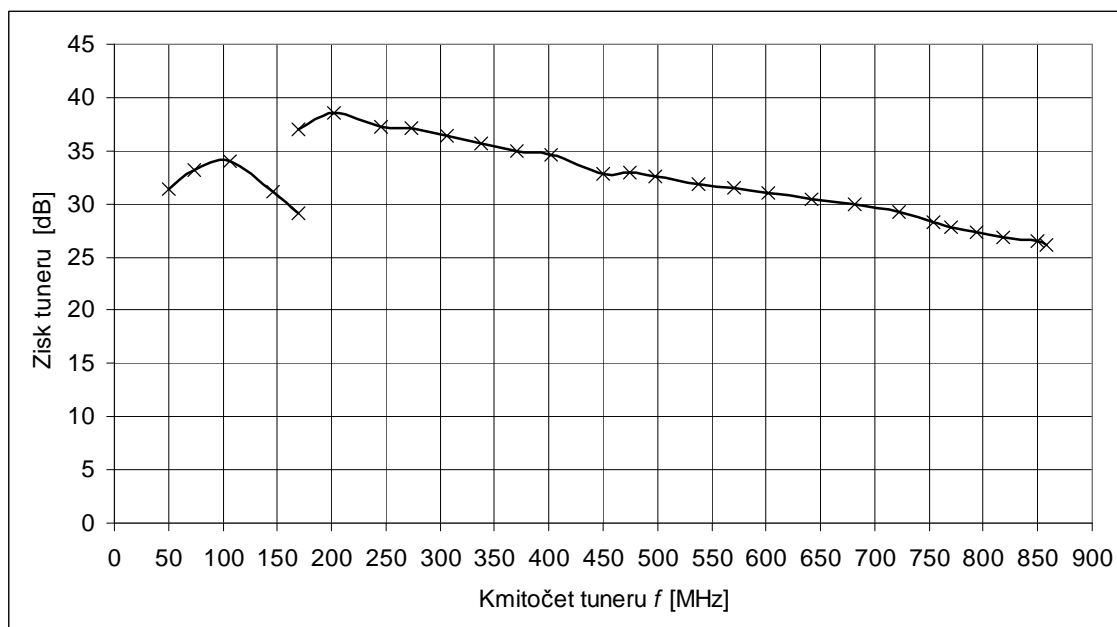
Na Obr. 2.1 je uvedeno blokové schéma použitého tuneru, včetně popisu vstupním a výstupních pinů. Napájecí napětí je +5 V a velikost ladícího napětí je +33 V. Pro získání ladícího napětí bude muset být použit nějaký vhodný zvyšující měnič. Na výstupu tuneru je stálý mezifrekvenční signál s obrazovou nosnou na 38,90 MHz.



Obr. 2.1: Blokové schéma použitého televizního tuneru UV1316 [9]

Udávaný napěťový zisk tuneru, přes celé kmitočtové pásmo, je v rozmezí 38 až 50 dB, přičemž typická udávaná hodnota je 44 dB. Na Obr. 2.2 je reálný průběh zisku, který byl ověřen měřením. Z grafu je vidět, že rozmezí napěťového zisku je nižší, než jak je uváděno v datasheetu [9]. V pásmu od 50 do 169 MHz se zisk pohybuje

v rozmezí 30 až 35 dB. Po přechodu do středního pásma zisk skokově vzroste na hodnotu cca 38 dB a následně se vzrůstající frekvencí lineárně klesá až na hodnotu 26 dB.



Obr. 2.2: Závislost zisku tuneru na naladěné frekvenci

Aby zobrazovaná hodnota síly signálu odpovídala síle signálu, který je na vstupu televizního tuneru, tak bude potřeba tento napěťový zisk odečítat od změřené hodnoty. Toto se bude provádět přímo v mikroprocesoru. V případě frekvencí v rozmezí od 50 do 201 MHz nelze průběh nijak jednoduše matematicky popsat, takže pro tyto frekvence zde bude tabulka zisků.

Pro frekvence od 202 MHz a výše lze průběh popsat rovnicí přímky:

$$y = -0,0181 \cdot x + 37,98 \quad (2.1)$$

Napěťový zisk pro požadovanou frekvenci lze následně vyjádřit jako:

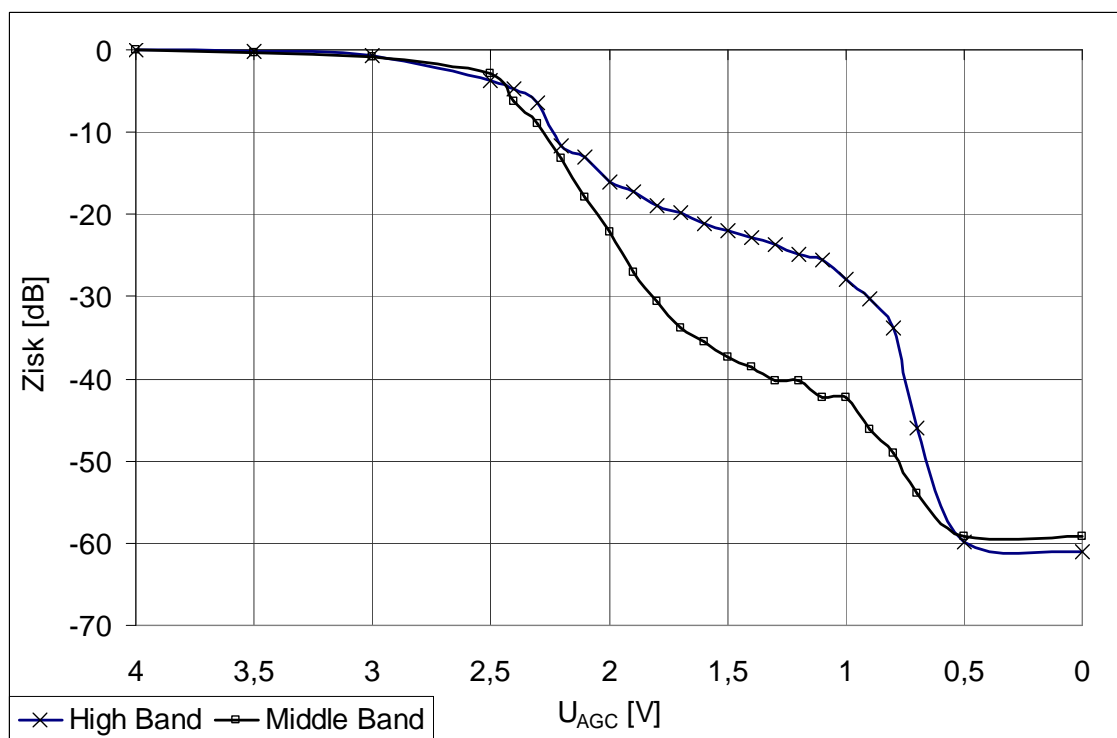
$$[dB] = -0,0181 \cdot (f - 202) + 37,98 \quad (2.2)$$

kde f je frekvence v MHz

Jakékoliv zesílení RF systémů pracujících s televizním signálem musí obsahovat funkce pro automatické řízení zisku. Je to hlavně z důvodu velkého kolísání signálu na vstupu tuneru. Tyto výkyvy mohou dosáhnout velkého poměru. Zesilovač s pevným ziskem nikdy nebude moci pracovat s takhle velkými výkyvy signálu. Obecně mohou nastat

dva případy. V tom prvním bude zesilovač přidávat hodně šumu ke slabým signálům, v tom druhém případě může dojít k jeho zahlcení příliš silným signálem.

Tuner UV1316 obsahuje na vstupu 3 samostatné zesilovací stupně, které fungují jako útlumové články pro automatické řízení zisku. Jsou řízeny společně jedním napětím přivedeným na pin 1. Maximální dovolené napětí jsou 4 V, při kterých je útlum roven 0 dB. Při klesajícím napětí útlum roste. Závislost útlumu na napětí je nelineární a má pro každé pásmo, i frekvenci, jiný průběh. V případě použití tuneru v televizním přijímači tato skutečnost ničemu nevádí, protože není potřeba znát přesnou hodnotu útlumu. Jedinou podmínkou zde je, aby na výstupu tuneru nepřesahovala úroveň signálu 105 dB μ V [9]. Při využití v měřicím přístroji však již bude potřeba znát přesnou hodnotu útlumu, protože tato hodnota se musí zpětně přičíst k zobrazované naměřené hodnotě intenzity signálu. Na Obr. 2.3 je vidět závislost útlumu změřená pro dvě různé frekvence. V pásmu *High* se jedná o frekvenci 746 MHz a v pásmu *Middle* jde o frekvenci 181 MHz. Jak je vidět, tak jednotlivé průběhy útlumu jsou značně odlišné, takže pro aplikaci AGC bude nutno vytvořit tabulku, ve které bude jednotlivým frekvencím přiřazena hodnota napětí, při kterém je útlum roven určité hodnotě.



Obr. 2.3: Závislost zisku vstupních zesilovačů tuneru UV1316 na řídicím napětí U_{AGC} pro pásmo *Middle* a *High*

2.1.2 Komunikace s tunerem po I²C sběrnici

K zápisu veškerých hodnot se využívá čtyř pracovních registrů, jejichž podrobný popis je uveden v Tab. 2.2.

Tab. 2.2: Obsah slabik povelů pro ovládání frekvenční syntézy tuneru typu UV1316 [9]

Název Bajtu	Bity								A ⁽¹⁾
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	MSB							LSB	
Adresa zařízení	1	1	0	0	0	MA1	MA2	R/W ⁽²⁾	A
Program. dělič N 1. Byte	0	N14	N13	N12	N11	N10	N9	N8	A
Program. dělič N 2. Byte	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	N0	A
Řízení 1. Byte	1	CP	T1	T0	1	1	1	0	A
Přepínání pásem	X ⁽³⁾	X	X	X	X	PUHF	PVHFH	PVHFL	A

Poznámka:

1. A = Potvrzovací bit
2. R/W bit = 0 pro zápis, R/W bit = 1 pro čtení
3. X = může obsahovat libovolnou hodnotu

Adresa zařízení je dána podle prvního řádku v Tab. 2.2. Hodnoty 2. a 3. bitu označené jako MA1 a MA2 slouží pro analogový adresní pin 3 s označením AS, s jehož pomocí je možné na jedinou sběrnici připojit až čtyři totožné tunery, neboť podle velikosti napětí přivedeného na pin AS se adresy dále mění (viz Tab. 2.2)

Tab. 2.3: Nastavení bitů MA1 a MA0 dle velikosti přivedeného napětí na pin 3. $V_s = 5\text{ V}$ [9]

MA1	MA0	Adresa	Napětí na PIN 3
0	0	\$C0	0 až $0,1V_s$
0	1	\$C2	- ⁽¹⁾
1	0	\$C4	0,4 až $0,6V_s$
1	1	\$C6	0,9 až V_s

Pokud je pin 3 nepřipojen (tj. není na něj přivedeno žádné napětí), tak se adresa nastaví automaticky na hodnotu \$C2.

Hodnoty bitů N0 až N14 určuje hodnotu N programovatelného děliče, kterým se bude dělit vstupní frekvence f_o . Výpočet pro naladění požadované frekvence se využije vzorce, který je uveden [9]:

$$N = 16 \cdot (f_{RF(PC)} + f_{IF(PC)}) \quad [-, \text{MHz}, \text{MHz}] \quad (2.3)$$

Kde $f_{RF(PC)}$ je nosná obrazu laděné frekvence a $f_{IF(PC)}$ je nosná obrazu mezifrekvenčního signálu.

Frekvence oscilátoru se potom určí ze vztahu:

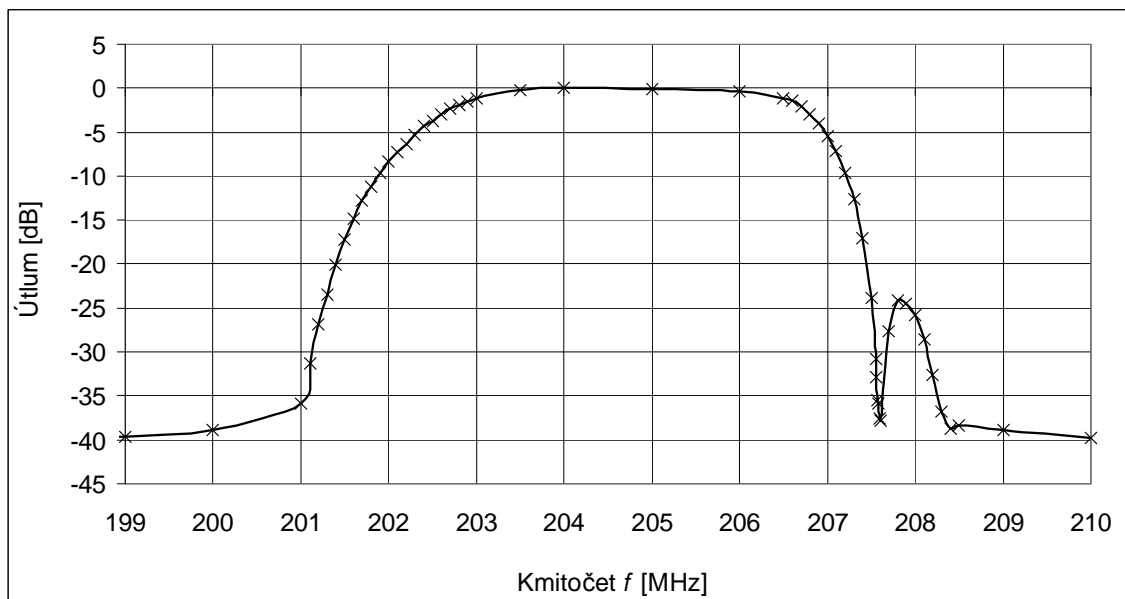
$$f_{osc} = \frac{N}{16} \text{ [MHz, -]} \quad (2.4)$$

Bit označený jako CP slouží ke změně rychlosti přeladování, kdy hodnota CP = 1 slouží k rychlému ladění a hodnota CP = 1.

Poslední pracovní registr, v Tab. 2.2 označený jako *Přepínání pásem*, slouží k volbě vstupního filtru. Tyto vstupní filtry určují pásmo, ve kterém bude tuner pracovat, viz Tab. 2.1. Hodnoty registru pro přepínání jednotlivých pásem, které jsou uvedeny v datasheetu [9] však neodpovídají použitému typu tuneru, takže při testování I²C komunikace mezi tunerem a MCU tuner nepřepínal jednotlivá pásma. Správné hodnoty registru se našly v datasheetu k integrovanému obvodu TDA6502 [10], kterým je tuner UV1316 osazen. Požadované pásmo se aktivuje přivedením jedničky na pozici, kde PUHF značí *High Band*, PVHFH značí *Middle Band* a PVHFL označuje *Low Band*.

2.2 SAW Filtr G 3355K

Filtr použitý v navrhovaném analyzátoru pochází od firmy Siemens a jeho typové označení je G 3355 K. Jde SAW filtr pracujícím v televizní normě B/G s nosnou obrazu na 39,80 MHz. Na území České republiky je však využívána televizní norma D/K, která se od normy B/G liší tím, že odstup nosných zvuku a obrazu je 6,5 MHz, kdežto u normy B/G to je 5,5 MHz. To však nepředstavuje problém, protože tento filtr má samostatný výstup pro obrazové a zvukové pásmo. K logaritmickému detektoru se tedy přivede pouze signál s obrazovou nosnou. Na nepřipojený výstup, který obsahuje zvukovou nosnou je připojen rezistor R₁ = 2 kΩ. Experimentálním měřením byla ověřena přenosová charakteristika pro obrazové pásmo, viz Obr. 2.4. Šířka pásma pro pokles o 3 dB je cca 4,2 MHz.

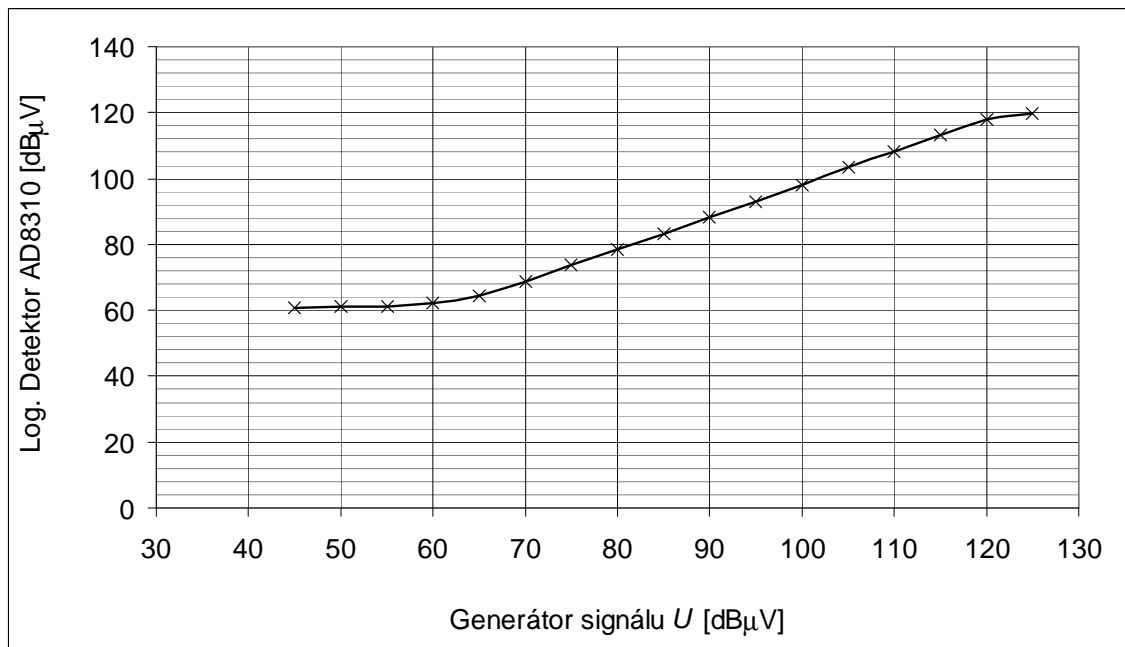


Obr. 2.4: Přenosová charakteristika filtru G 3355 K pro obrazové pásmo

2.3 Logaritmický detektor AD8310

Logaritmický detektor pro navrhovaný analyzátor byl vybrán moderní integrovaný obvod od firmy *Analog Devices* s typovým označením AD8310. Tento detektor je vybaven symetrickým vstupem, což je výhodné, protože výstup z tuneru UV1316 je také symetrický [9]. Detektor je schopný pracovat v kmitočtovém pásmu od 0Hz až po 440MHz. Z tohoto důvodu je mezi tuner a logaritmický detektor zařazena pásmová propust, která zajistí, že detektor bude měřit pouze požadovaný mezifrekvenční signál.

Udávaný dynamický rozsah dosahuje hodnoty 95 dB [11]. Měřením byl ověřen skutečný dynamický rozsah cca 60 dB, viz Obr. 2.5. Nižší hodnota je pravděpodobně způsobena nevhodným návrhem prototypové desky plošného spoje a hlavně absencí stínění prototypového přípravku.

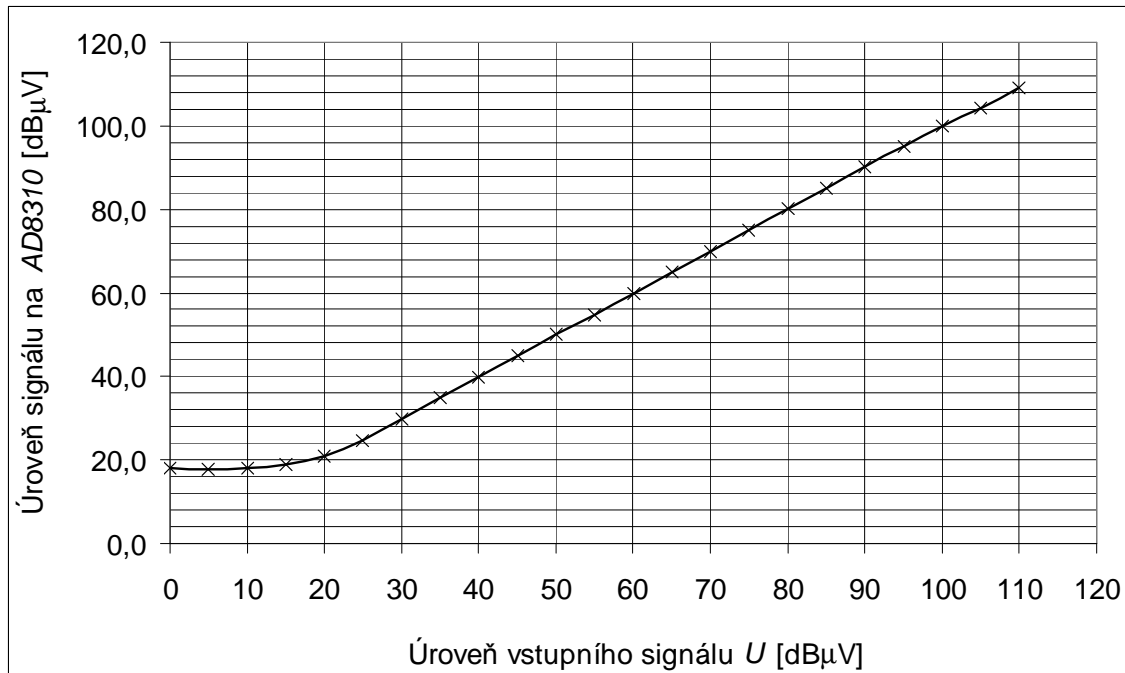


Obr. 2.5: Dynamický rozsah logaritmického detektoru AD8310

Při měření s tunerem UV1316 je k získání skutečné měřené hodnoty potřeba odečíst zisk mezifrekvenčního zesilovače. Potom nejmenší úroveň vstupního signálu, kterou je možno změřit je cca 20 dB μ V, což při dynamickém rozsahu logaritmického detektoru cca 60 dB dělá maximální měřitelnou úroveň signálu 80 dB μ V.

Norma ČSN EN 500 83 (viz Tab. 1.1) definuje požadované úrovně signálu na výstupu účastnické zásuvky televizní distribuční sítě pro jednotlivá pásma. Minimální úroveň takového signálu je 52 dB μ V a maximální povolená úroveň je 83 dB μ V. Minimální měřitelná úroveň signálu navrhovaného analyzátoru je hluboko pod definovanou minimální povolenou hodnotou. Maximální povolená úroveň signálu je však mimo měřitelný rozsah logaritmického detektoru. Tento problém se dá odstranit využitím automatického řízení zisku. Experimentálním měřením byl ověřen dynamický rozsah cca 90 dB, kdy maximální měřitelná úroveň je 110 dB μ V viz Obr. 2.6.

Teoreticky se lze dostat na maximální měřitelnou úroveň 140 dB μ V.



Obr. 2.6: Dynamický rozsah logaritmického detektoru AD8310 při použití automatického řízení zisku

Při znalosti strmosti převodu 0,024V/dB a průsečíku -108 dBV můžeme doplnit vzorec 1.4:

$$V_{IN} = \frac{V_{OUT}}{0,024} - 108 [dBV, V] \quad (2.5)$$

Převod z [dBV] na [dB μ V] se provede prostým přičtením hodnoty 120, takže vzorec 1.9 můžeme dále upravit:

$$V_{IN} = \frac{V_{OUT}}{0,024} + 12 [dB\mu V, V] \quad (2.6)$$

2.4 A/D převodník

Pro další zpracování v mikroprocesoru je potřeba analogové výstupní napětí z logaritmického detektoru převést do digitální podoby. K převodu bude použit A/D převodník integrovaný přímo v mikroprocesoru. Dnešní dostupné mikroprocesory obsahují většinou 10 až 12 bitový A/D převodník. V případě 10 bitového převodníku dostáváme rozlišení 1024 hladin, u 11bitového převodníku 2048 hladin a 4096 hladin u 12 bitového A/D převodníku.

Dále při znalosti maximálního výstupního napětí logaritmického detektoru AD8310, které je 2,6 V [11], můžeme určit minimální hodnotu referenčního napětí pro převod. Hodnota 2,6 V není moc vhodná, protože nejčastěji se referenční napětí A/D převodníku odvozuje od napájecího napětí, které bývá 3,3 nebo 5 V.

Při nejhorší možné variantě, což je 10bitový A/D převodník s referenčním napětím 5V dostaneme minimální měřitelnou změnu napětí 4,88 mV. Tato změna napětí odpovídá změně o jedničku na nejméně významném bitu. Strmost převodní charakteristiky logaritmického detektoru AD8310 je 24 mV/dB, z čehož vyplývá, že nejjemnější možný krok měření je 0,203 dB. V Tab. 2.4 jsou uvedeny všechny možné kombinace referenčního napětí a počtu hladin A/D převodníku.

Tab. 2.4: Minimální krok měřené hodnoty pro různé kombinace ref. napětí a počtu hladin A/D převodníku

Ref. Napětí A/D [V]	Počet hladin A/D [-]	Nejmenší měř. změna [mV/bit]	Rozlišení [dB]
3,3	1024 (10 bit)	3,22	0,134
	2048 (11 bit)	1,61	0,067
	4096 (12 bit)	0,81	0,034
5	1024 (10 bit)	4,88	0,203
	2048 (11 bit)	2,44	0,102
	4096 (12 bit)	1,22	0,051

Z Tab. 2.4 vyplývá, že pokud chceme měřit s rozlišením na jedno desetinné místo, tak při referenčním napětí 5 V můžeme použít 12bitový převodník. Při referenčním napětí 3,3V můžeme použít 11 nebo 12bitový A/D převodník.

Obecný vztah pro určení napětí na A/D převodníku je:

$$U_{ADC} = \frac{ADC}{pocet_hladin} \cdot U_{REF} [V, -, V] \quad (2.7)$$

Kde ADC je výsledná hodnota po dokončení A/D převodu.

Potom můžeme vzorec 2.6 upravit do finálního tvaru:

$$V_{IN} = \frac{ADC \cdot U_{REF}}{0,024 \cdot 1024} + 12 [dB\mu V, -, V] \quad (2.8)$$

2.5 Mikroprocesor

Použitý mikroprocesor je od firmy STMicroelectronics a je z řady STM32F, což je řada 32bitových mikroprocesorů z populární rodiny ARM s novým jádrem CORTEX-M3 disponující vysokým výpočetním výkonem, velkými paměťmi a širokou škálou periférií.

2.5.1 STM32F101R8

Konkrétní typ byl vybrán model mikroprocesoru s označením STM32F101R8 v pouzdře LQFP64, které poskytuje dostatek I/O pinů. Jádro mikroprocesoru podporuje běh na kmitočtu až 36MHz. Dále obsahuje 64kB programové paměti, 10kB SRAM, 12bitový A/D převodník, I²C, PWM, 3 16bitové čítače a časovače [12]. Mikroprocesor obsahuje i další komunikační rozhraní a periférie, ale pro účely navrhovaného analyzátoru televizního signálu jsou dostačující pouze výše vyjmenované. Detailnější informace k jednotlivým komunikačním rozhraním budou uvedeny v kapitole věnující se firmwaru přístroje.

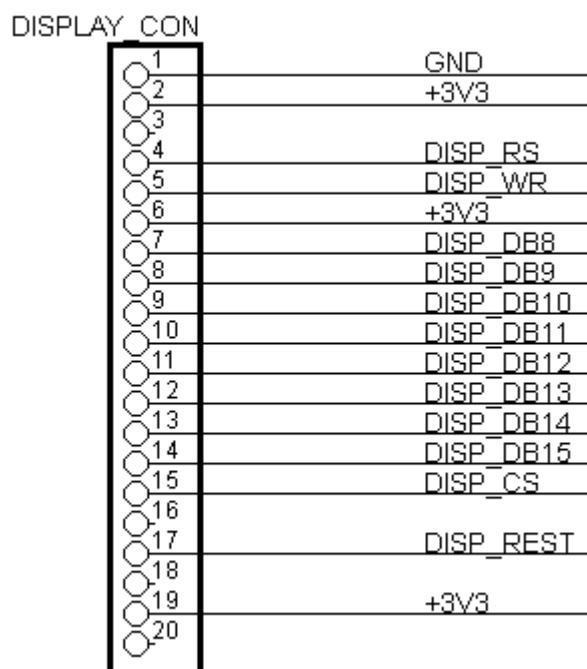
2.6 Displej

Jako zobrazovací jednotka změřených dat byl vybrán modul ITDB02, který obsahuje barevný grafický TFT displej. V porovnání s nejpoužívanějšími monochromatickými grafickými displeji má tento displej výhodu v tom, že rastr displeje je mnohem jemnější, takže při vyšším rozlišení má menší rozměry. Další nespornou výhodou je možnost zobrazení barev. Modul, vyjma samotného displeje, obsahuje i slot pro SD kartu, který však v navrhovaném analyzátoru nebude využíván. Komunikace s displejem a SD kartou je zajištěna přes 40pinový konektor, který umožňuje snadné připojení přes 40žilový IDE kabel. Na Obr. 2.7 fotky samotného modulu převzaté z webu výrobce [13].



Obr. 2.7: Fotografie použitého displeje ITDB02 [13]

LCD displej na modulu ITDB02 má označení 240374PQ. Jde o 2,4" displej o rozlišení 320x240px s podporou zobrazení až 65 000 barev. Displej obsahuje řadič ILI9325, který podporuje 8 nebo 16bitovou datovou komunikaci. Provoz v 8bitovém režimu je výhodný u MCU s menším počtem I/O pinů [13]. Nevýhodou je, že zobrazování dat na displeji trvá dvojnásobnou dobu, než v případě provozu v 16bitovém režimu. Je to z toho důvodu, že 16bitová data se musí nejprve rozdělit na dvě 8bitová slova a ty se následně vyšlou nadvakrát do řadiče. Ve výchozím stavu je displej provozován v 8bitovém režimu, kdy jsou využívány datové piny DB08 až DB15. Mimo datové piny potřebuje ke svému provozu ještě piny RS (*Register Select*), WR (*Write*), CS (*Chip Select*), RST (*reset*) a RD (*Read Data*), který je nutno držet stále v log. 1, takže jeho připojení k mikroprocesoru není potřeba. V součtu pro svůj provoz potřebuje displej ITDB02 na mikroprocesoru 12 I/O pinů. Rozložení I/O pinů displeje ITDB02 je znázorněno na Obr. 2.8.



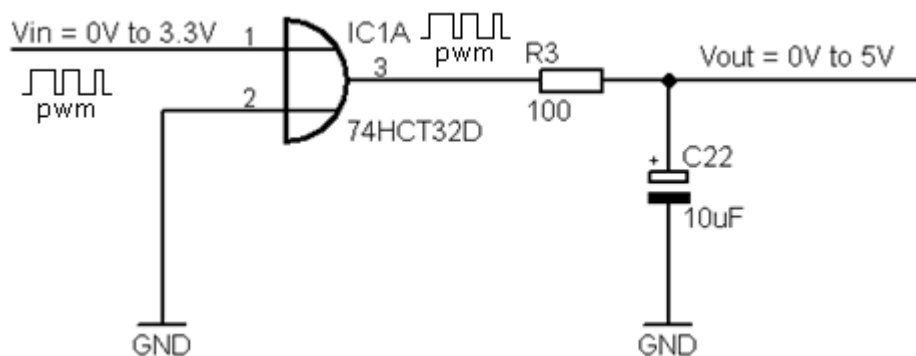
Obr. 2.8: Zapojení vstupních pinů displeje ITDB02

2.6.1 Zpětnovazební smyčka využívající PWM

Ke zvýšení dynamického rozsahu logaritmického detektoru je využívána zpětnovazební smyčka AGC, kterou se řídí útlum signálu ve vstupní části televizního tuneru. K nastavení potřebného napětí na vstupním pinu AGC tuneru UV1316 je využívána PWM modulace, generovaná pomocí mikroprocesoru STM32F101R8. Ten je však schopen dodávat napětí v rozmezí 0 až 3,3 V [12]. Útlumové články v tuneru UV1316 však mají nulový útlum při 4 V [9] a jeho postupným snižováním se útlum zvyšuje.

Z tohoto důvodu bylo navrženo řešení, které obsahuje převodník logiky 74HCT32

(High speed CMOS - TTL compatible) [14]. Ten v sobě obsahuje 4 hradla OR, takže na jeden vstup hradla je přiveden PWM signál a druhý vstup hradla je uzemněn. Na výstupu dostáváme PWM signál převedený na úroveň 5V. Převodní charakteristika je lineární a maximální napětí na výstupu převodníku je cca 4,9V, což je plně dostačující hodnota. Zapojení je uvedeno na Obr. 2.9



Obr. 2.9: Ukázka zapojení převodníku logiky z 3,3V na 5V s výstupním RC filtrem

Na výstupu převodníku je dále zapojen RC filtr, který odstraňuje PWM modulaci a vyhlazuje výstupní napětí. Hodnoty rezistoru R_3 a kondenzátoru C_{22} byly zvoleny za pomoci aplikace dostupné na adrese [15].

Rozkmit výstupního napětí je potom $\Delta V_{pk-pk} = 0.023$ V, což vzhledem k citlivosti útlumových článků televizního tuneru UV1316 dostačující hodnota.

2.7 Napájecí obvody

Navrhovaný analyzátor televizního signálu vyžaduje pro svůj provoz 3 různé hodnoty napájecího napětí, přičemž jedna z hodnot napájecího napětí je poměrně netypická. Veškerá napájecí napětí jednotlivých součástek jsou uvedena v Tab. 2.5.

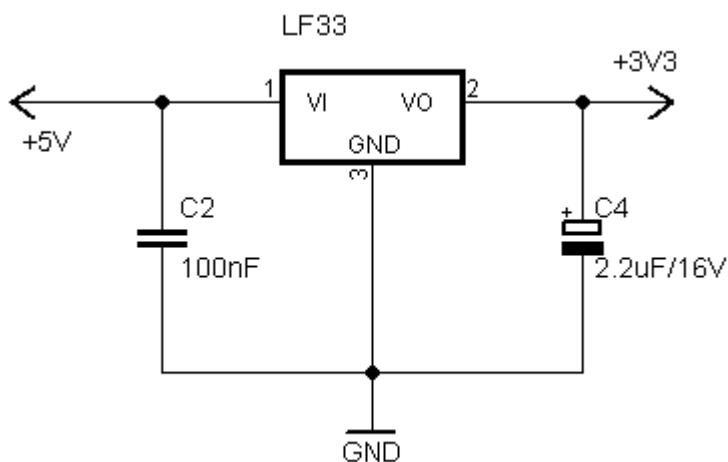
Tab. 2.5: Soupis mezních povolených a typických hodnot napájecích napětí pro jednotlivé použité součástky

Označení součástky	Vyžadované napětí [V]		
	Min	Typ.	Max
UV1316 – napájecí [9]	4,8	5	5,5
UV1316 – ladící [9]	30	33	35
STM32F101R8 [12]	2,0	3,3	3,6
AD8310 [11]	2,7	5	5,5
74HCT32 [14]	-0,5	-	7
Displej [13]	2,4	3,3	3,3
MAX5056 [16]	3,0	-	11

2.7.1 Stabilizátory napětí LF50 a LF33

Pro vytvoření napětí o hodnotě 3,3 a 5V jsou využity stabilizátory LF33 a LF50. Vyznačují se velmi nízkým pokles napětí (0,45V), nízkým klidovým proudem, nízkým šumem a nízkou vlastní spotřebou, což je vhodné pro aplikace s bateriovým napájením [17].

Typické zapojení stabilizátoru LF33 je uvedeno na obr. 2.11.

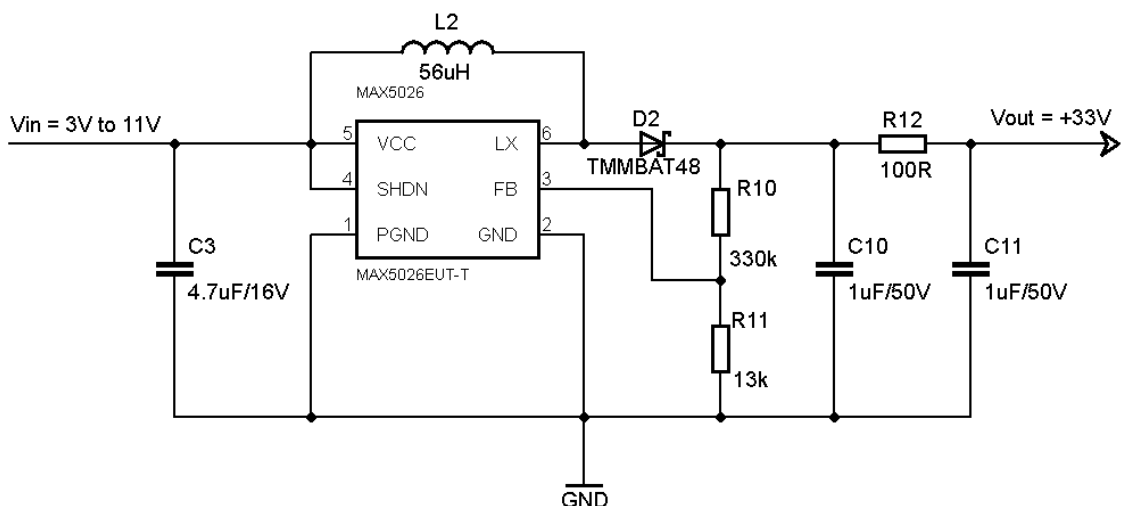


Obr. 2.10: Typické zapojení stabilizátoru LF33 [17]

2.7.2 Step-Up měnič MAX5026

Širokopásmový televizní tuner UV1316 vyžaduje mimo napájecího napětí také napětí pro frekvenční syntézu, jehož hodnota je +33V. Pro tento účel byl vybrán obvod od firmy Maxim s označením MAX5026. Jeho primární určení je, mimo jiných, také pro použití v set-top-boxech pro tvorbu ladícího napětí. S porovnáním s jinými obvody se vyznačuje jednoduchým zapojením vyžadující minimum okolních součástek a navíc je dimenzován na malý proudový odběr, takže při jeho provozu nevznikají zbytečné ztráty [16].

Na Obr. 2.12 je uvedeno použité zapojení, již s konkrétními typy a hodnotami součástek. Na výstupu je zařazen filtrační RC článek, který dále pomáhá vyfiltrovat výstupní napětí. Zapojení vychází z referenčního zapojení, které je uvedeno v [13].



Obr. 2.11: Navrhnuté zapojení zvyšujícího měniče MAX5026 [16]

Postup při výběru konkrétních hodnot rezistorů R_{10} , R_{11} a tlumivky L_2 vychází ze vzorců uvedených v datasheetu [16] a je následující:

$$R_{10} = R_{11} \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) \quad [\Omega, \Omega, V, V] \quad (2.9)$$

Kde V_{REF} je rovno 1,25 V.

Hodnota rezistoru R_{11} byla zvolena tak, aby po dosazení do vzorce (2.9) hodnota rezistoru R_{10} vyšla co nejbližší dostupné řadě. Pro výstupní napětí $V_{out} = 33$ V a zvolený rezistor $R_{11} = 13$ k Ω vyšla hodnota rezistoru $R_{10} = 330,2$ k Ω . Nejbližší nižší hodnota je 330 k Ω .

$$L_{UPPER} = \frac{V_{IN}^2 \cdot (V_{OUT} - V_{IN}) \cdot T_S \cdot \eta}{2 \cdot I_{OUT} \cdot V_{OUT}} \quad [H, V, V, V, s, -, A, V] \quad (2.10)$$

$$L_{LOWER} = \frac{2 \cdot T_S \cdot (V_{OUT} - V_{IN}) \cdot I_{OUT}}{\eta \cdot \left(\frac{V_{IN}}{5} \cdot 260mA \right)^2} \quad [H, s, V, V, A, -, V] \quad (2.11)$$

, kde V_{IN} vstupní napětí, V_{OUT} je požadované výstupní napětí, I_{OUT} je výstupní proud, η je účinnost měniče a T_S je perioda měniče.

Po dosazení do vzorců 2.10 a 2.11 dostaneme mezní hodnoty cívky L_2 . Pro hodnoty $V_{IN} = 8$ V, $V_{OUT} = 33$ V, $I_{OUT} = 1,7$ mA [6], $\eta = 0,4$ [16] a $T_S = 2$ μ s [16] je $L_{LOWER} = 2,45$ μ H a $L_{UPPER} = 34$ 5 μ H.

Vzhledem k tomu, že MAX5026 používá vysokou spínací frekvenci 500 kHz, tak je doporučeno použít tlumivku s feritovým jádrem nebo podobné. Výslovně se nedoporučují tlumivky se železným jádrem kvůli jejich vysokým ztrátám při frekvencích nad 500 kHz. [16].

Použitá tlumivka v analyzátoru má indukčnost $L_2 = 56 \mu\text{H}$.

Měřením bylo ověřeno, že výstupní napětí zvyšujícího měniče je při použití výše uvedených hodnot součástek $U_{\text{OUT}} = +33,7 \text{ V}$, což je v mezích povolených hodnot viz Tab. 2.5.

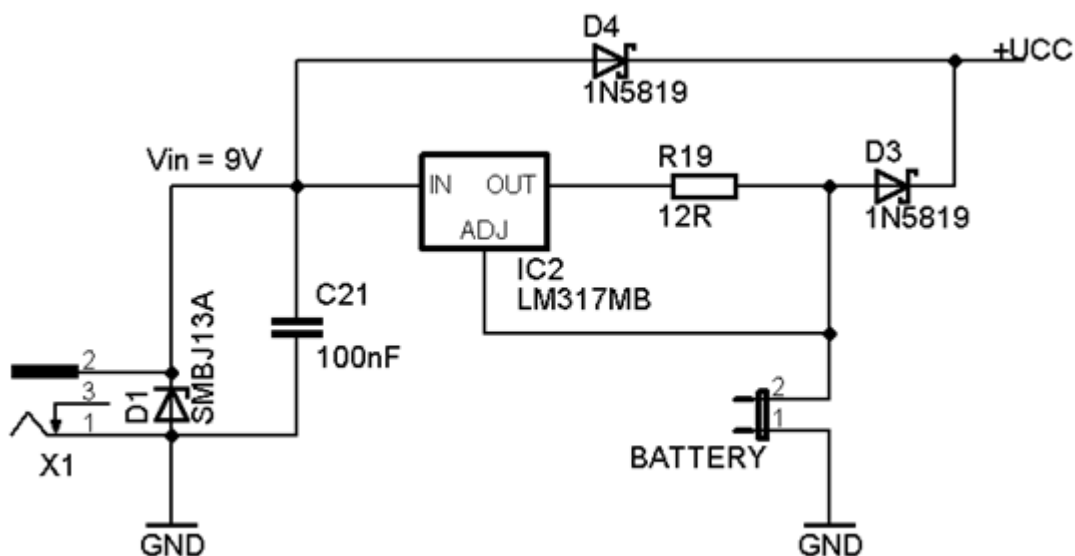
2.7.3 Nabíjecí obvod

Jelikož je celé zařízení koncipováno jako přenosný ruční přístroj, u kterého se předpokládá bateriový provoz. Ten umožní měření s přístrojem i na místech bez přístupu ke zdroji elektrického napětí. Vzhledem k vyšším cenám Li-Ion a Li-pol akumulátorů, které navíc vyžadují poměrně přesné nabíjení. Z tohoto důvodu bylo zvoleno řešení využívající standardní tužkové nabíjecí NiMH AA baterie. Výhoda v použití tužkových baterií je také v tom, že v případě potřeby je možné je lehce vyměnit za nové baterie.

Při udávaném jmenovitém napětí jednoho článku 1,2V a požadovaném výstupním napětí minimálně 5,5V je zapotřebí 5 článků zapojených do série. Pouzdra na tužkové baterie se však vyrábějí pouze pro sudý počet článků. U pouzdra pro 4 články dostaneme výstupní napětí rovno 4,8V, což je pod hranici funkčnosti stabilizátoru LF50. Musíme tedy použít pouzdro pro 6 článků, při kterém dostaneme na výstupu 7,2V, což je dostačující.

Měřením byl určen proudový odběr celého zařízení, který činí zhruba 220mA. Při použití článků s kapacitou 1000mAh dostáváme 270 minut provozu analyzátoru z baterií.

Ačkoliv jdou baterie poměrně snadně vyměnit, tak byl navržen jednoduchý nabíjecí obvod, využívající stabilizátor LM317 pracující v proudovém režimu [18]. Ten po připojení napájecího adaptéru bude nabíjet baterie. Navrhnuté zapojení je zobrazeno na Obr. 2.13.



Obr. 2.12: Zapojení vstupní napájecí a nabíjecí části s LM317 v proudovém režimu

Zapojení obsahuje napájecí konektor X1, ke kterému je připojen transil sloužící jako ochrana proti případným špičkám v síti a zároveň slouží jako ochrana proti případnému přepólování. Napájecí napětí je rovno 9V. Toto napětí dále vstupuje do stabilizátoru LM317 a zároveň je přes schottkyho diodu D₄ přivedeno k napájecím svorkám samotného zařízení. Na výstupu stabilizátoru LM317, který pracuje jako zdroj proudu s výstupním regulovaným proudem. K nastavení výstupního proudu slouží rezistor R₁₉. Jeho hodnota je zvolena podle vzorce (2.13). Dodávaný proud má hodnotu cca 100mA, což je desetinová hodnota kapacity použitých baterií. Napětí z baterií je zase přivedeno přes schottkyho diodu D₃ k napájecím svorkám přístroje. Schottkyho diody D₃ a D₄ slouží k zabránění, aby se jednotlivá napětí nedostala na vstup/výstup stabilizátoru LM317.

Hodnota výstupního proudu se určí dle vzorce [18]:

$$I_L = \frac{1,25}{R_{19}} \quad [A, \Omega] \quad (2.12)$$

Pro určení hodnoty rezistoru R_S můžeme vzorec (1.16) upravit do podoby

$$R_{19} = \frac{1,25}{I_L} \quad [\Omega, A] \quad (2.13)$$

Pro požadovaný výstupní proud 100mA, což je desetina kapacity použitých baterií, vychází hodnota rezistoru R_S = 12,5 Ω. Nejbližší dostupná hodnota odporu je 12 Ω. Při jeho použití se výstupní proud zvýší jen nepatrně. Při tomto nabíjecím proudu bude nabíjení trvat, při úplně vybitých bateriích, zhruba 10 hodin.

2.7.4 Koncepce ovládání

Ovládání je řešeno pomocí tří tlačítek a jednoho mechanického rotačního enkodéru. Dvě boční tlačítka a rotační enkodér slouží pro pohyb po jednotlivých položkách a přeladování kanálů. Třetí tlačítko umístěné na přední straně slouží pro vstup do jednotlivých položek a potvrzování zadaných parametrů.

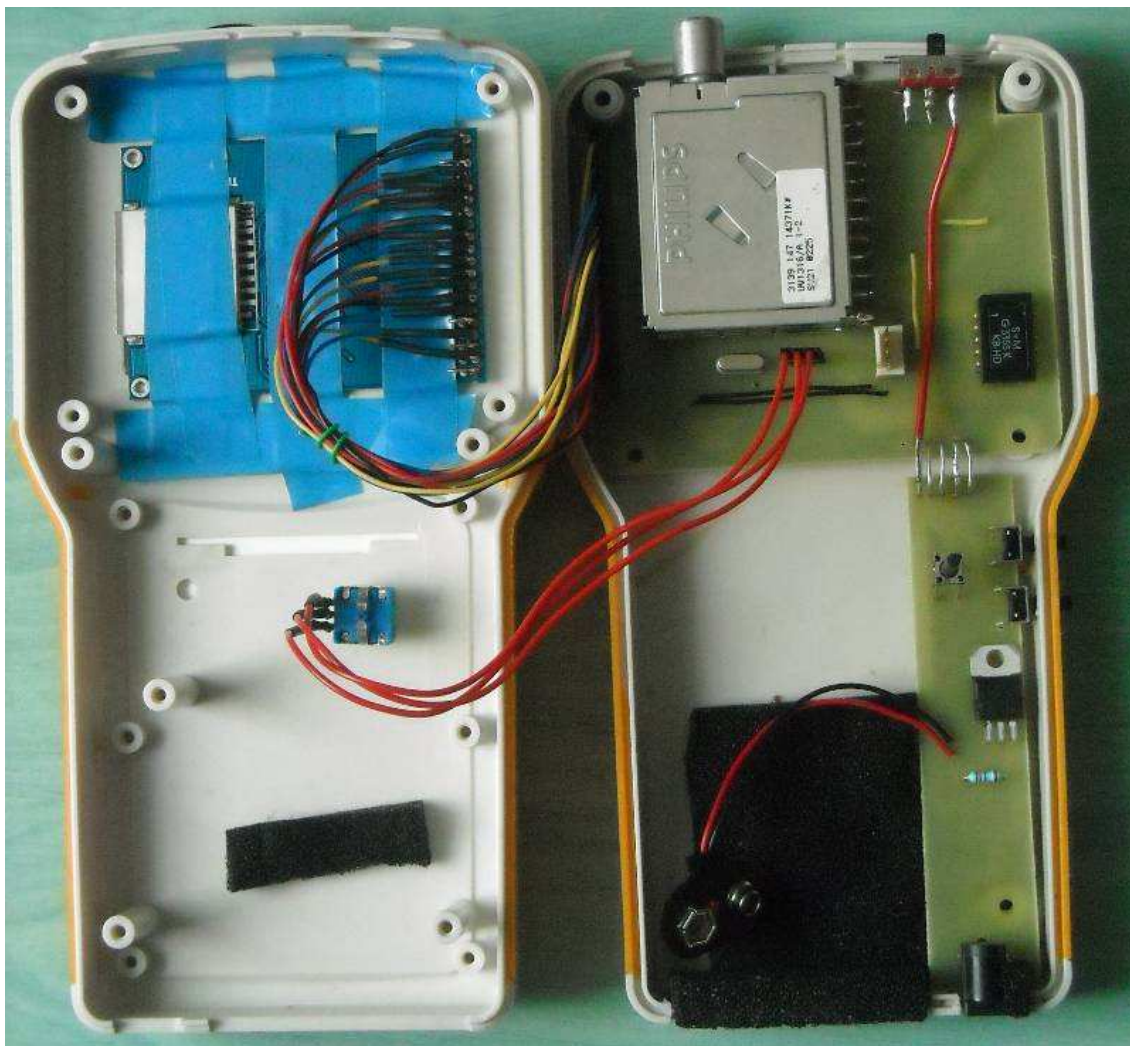
2.8 Realizace prototypu

Deska plošných spojů je rozdělena na dvě části, kdy hlavní deska plošných spojů obsahuje všechny důležité součásti zařízení a druhá deska plošných spojů obsahuje nabíjecí část zobrazenou na Obr. 2.14. Dále tato část desky plošných spojů obsahuje 3 tlačítka. S hlavní deskou je spojena pomocí drátových propojek. Toto řešení dvou desek plošných spojů bylo zvoleno z důvodu, aby při výrobě desky plošných spojů nevzniklo zbytečně mnoho odpadního materiálu. Další výhodou tohoto řešení je, že pokud se někdy v budoucnu bude měnit nabíjecí část, třeba z důvodu použití jiného typu baterií, tak stačí vyměnit pouze jednu část desky plošných spojů.

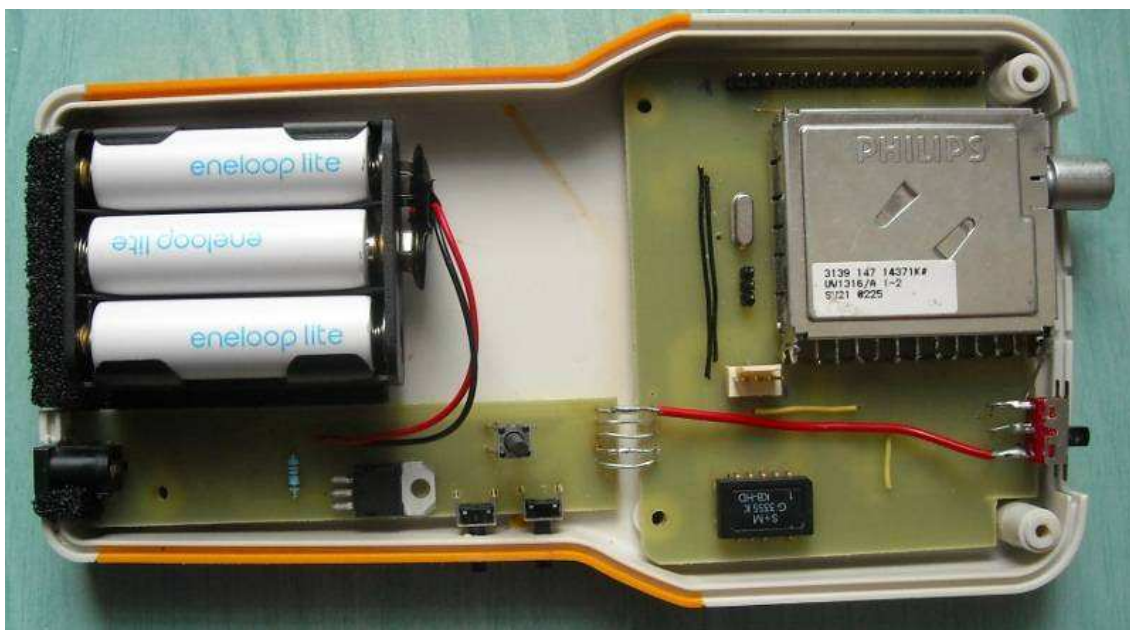
Deska plošných spojů je navržena jako jednostranná s minimem drátových propojek. Veškeré SMD součástky jsou tedy umístěny ve spodní straně desky plošných spojů.

Připojení displeje a rotačního enkodéru je řešeno pomocí konektorů, protože tyto dvě součásti zařízení jsou pevně uchyceny v horní části krabičky (viz Obr. 2.14).

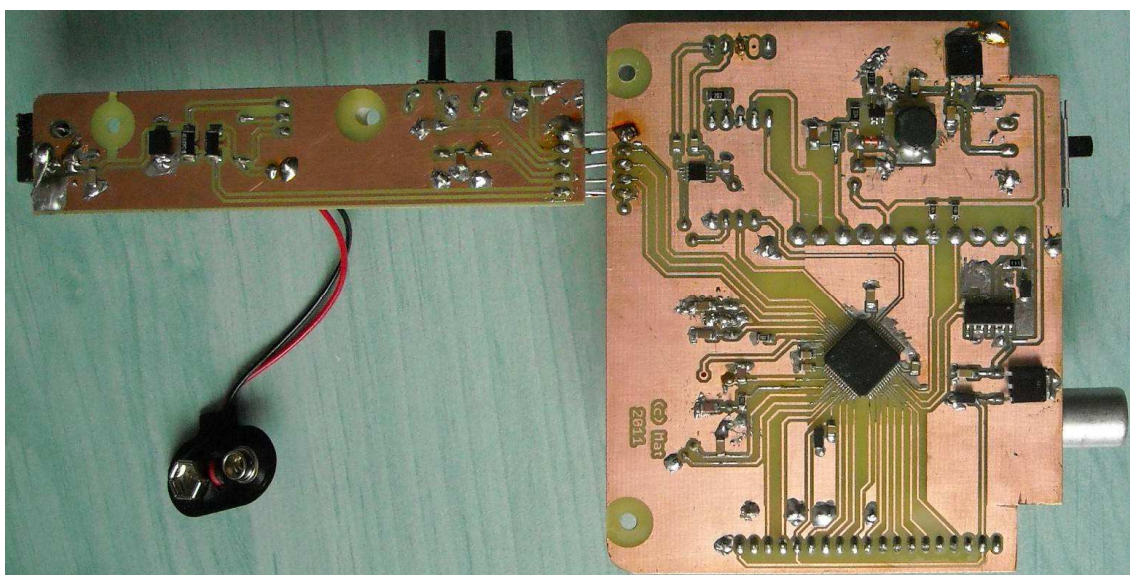
Veškeré součásti navrženého televizního analyzátoru jsou umístěny do krabičky pro přenosná zařízení CP-21-157A od výrobce COMBIPLAST. Vnější rozměry krabičky jsou 112mm na šířku, 204mm na výšku a hloubka krabičky je 38mm. Toto jsou jediné rozměry, které výrobce s prodejcem uvádějí, takže veškeré další rozměry musely být změřeny. Vnitřní uspořádání krabičky je znázorněno na Obr. 2.14.



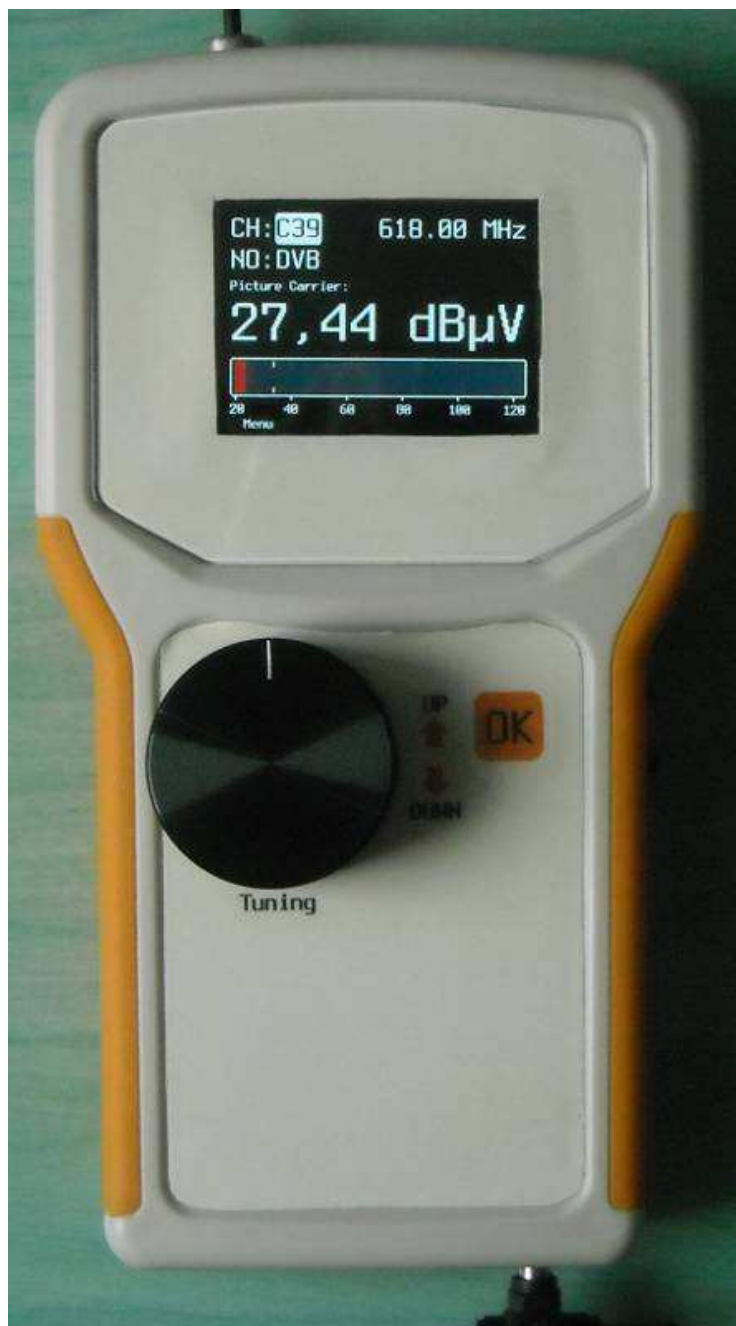
Obr. 2.13: Fotografie obou částí krabičky zobrazující propojení displeje a rotačního enkodéru s hlavní deskou plošných spojů bez připojené baterie.



Obr. 2.14: Fotografie odkrytovaného přístroje zobrazující horní stranu desky plošného spoje a umístění baterií



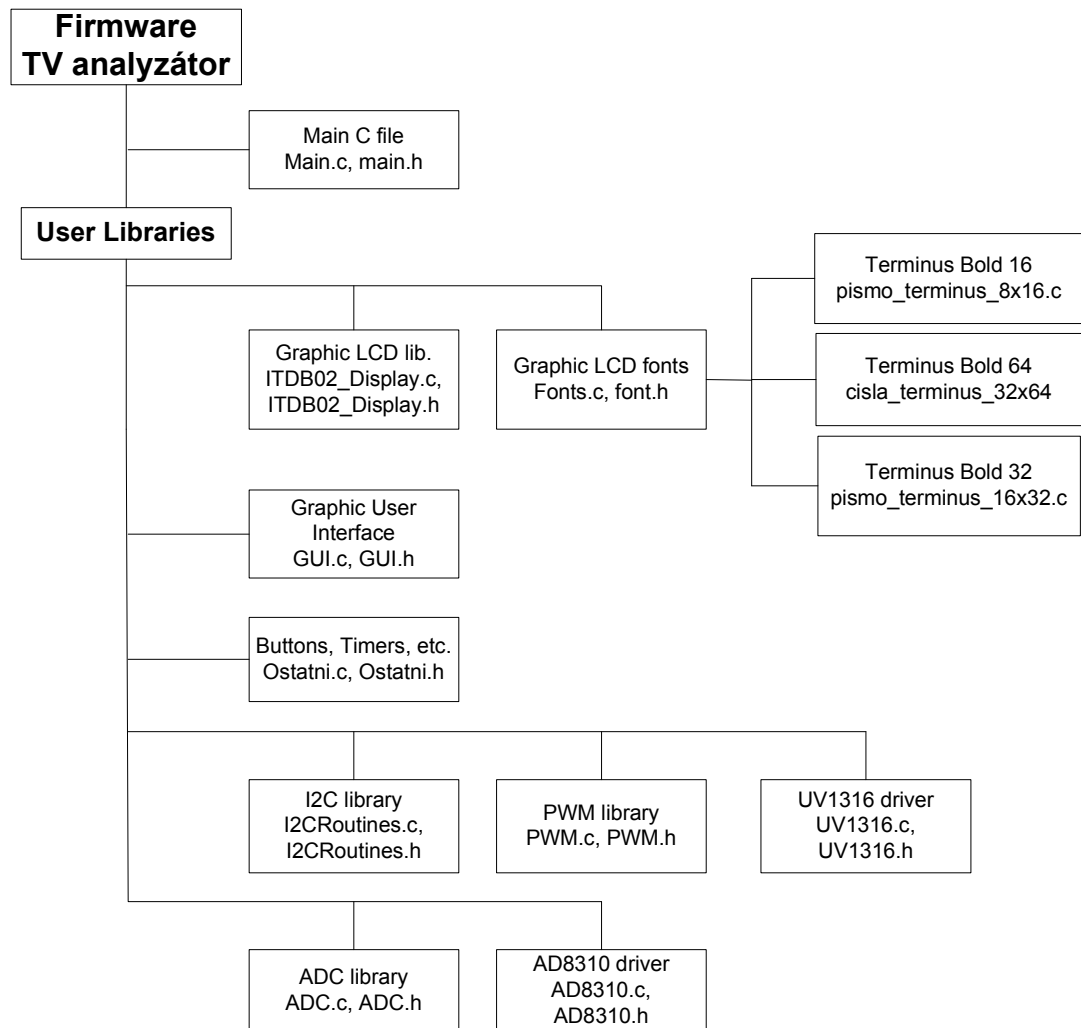
Obr. 2.15: Fotografie spodní strany desky plošných spojů obsahující veškeré smd součástky



Obr. 2.16: Fotografie finální podoby navrženého televizního analyzátoru

3 FIRMWARE

Obslužný firmware mikroprocesoru analyzátoru je napsán v jazyce C. Kompilátor byl použit komerční od firmy Keil s názvem ARMCC (*ARM C/C++ Compiler*) s nastavbou microLib. Struktura firmwaru je znázorněna na Obr. 3.1.



Obr. 3.1: Struktura firmwaru analyzátoru televizních signálů

Firmware funguje jako jednoduchý stavový automat. V hlavní funkci main je umístěna nekonečná smyčka, ve které se stále dokola volají funkce zajišťující jednotlivé akce. Příslušná akce se vykoná na základě stavů uložených v globálních proměnných.

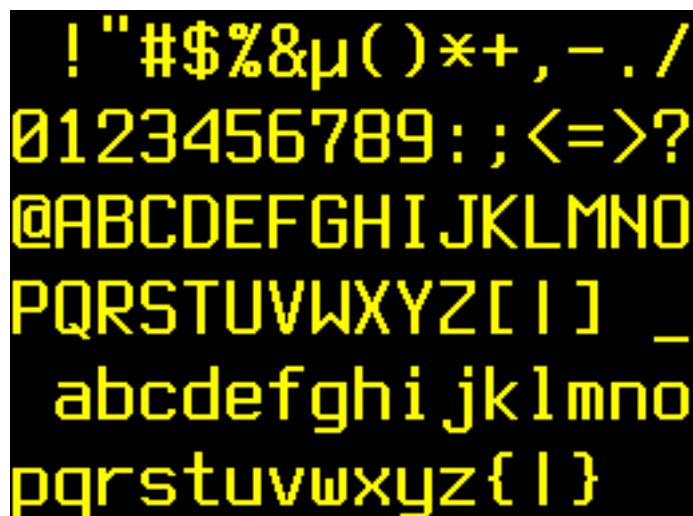
3.1 Ovladače jednotlivých částí

Při vytváření ovladačů je plně využíváno knihovny Standard Peripherals Library, takže při nastavování jednotlivých periférií nebylo potřeba přistupovat přímo k registrům, ale vždy se pouze zavolá odpovídající funkce s potřebnými parametry. Toto řešení značně zlepšuje čitelnost kódu.

3.1.1 Ovladač grafického displeje

Pro obsluhu grafického displeje s řadičem ILI9325 se vycházelo z volně dostupné knihovny od Henninga Karlina [19]. Tato knihovna však je určena pro 8bitové mikroprocesory od Atmelu, takže funkce knihovny musely být upraveny tak, aby byla knihovna schopná fungovat na mikroprocesorech řady STM32Fxxx. Knihovna je také poměrně náročná na programovou paměť mikroprocesoru. Je to dáno částečně tím, že knihovna je psána značně univerzálně a podporuje například režim provozu displeje jak na výšku, tak i na šířku. Dále podporuje zobrazení pro poměr stran 4:3 i 16:9. Paměťová náročnost tedy byla značně redukována tím, že z knihovny byla odstraněna podpora režimu zobrazování na výšku a zobrazení poměru stran 4:3.

Použitý řadič displeje neobsahuje žádnou znakovou řadu, je tedy nutné znakové sady realizovat v rámci knihovny displeje. Původní knihovna sice obsahovala 2 různé velikosti písma, které však nebylo vhodné jak velikostně, tak ani vzhledově. Z toho důvodu byla vytvořena vlastní sada písem využívající volně dostupný font Terminus Bold. Byly vytvořeny 3 různé velikosti. Dvě sady o velikosti 8x16px a 16x32 obsahují celou znakovou sadu čítající 95 znaků. Tyto znakové sady jsou využívány pro zobrazení textových nabídek a dialogů. Třetí znaková sada má velikosti 32x64px a slouží k zobrazení měřené úrovně televizního signálu v režimu kontinuálního měření. Z důvodu poměrně velké paměťové náročnosti takto velkého písma obsahuje sada pouze číslice od 0 do 9, desetinnou čárku, lomené závorky, znaménko plus, mínus a jednotku dB μ V. Všechna písma jsou uložena v programové paměti. Na Obr. 3.2 je zobrazena znaková sada o rozlišení 16x32px.



Obr. 3.2: Ukázka písma Terminus Bold o rozlišení 16x32px

Ačkoliv se v úvodu kapitoly uvádí, že se díky použití knihovny od výrobce nemusí při přístupu na jednotlivé piny přistupovat přímo k registrům, protože se pro tyto účely využívají knihovní funkce. V případě displeje však byly tyto funkce značně neefektivní a vykreslování díky nic trvalo znatelně déle. Při použití přímého přístupu k registrům se vykreslování na displej zrychlilo 2x.

3.1.2 Ovladač A/D převodníku

Ovladač A/D převodníku obsahuje pouze jednu inicializační funkci. Více ke čtení z A/D převodníku není potřeba, protože se zde využívá metody DMA (*Direct Memory Access*). Díky této metodě dochází ke zprostředkování dat mezi jednotkou A/D převodníku a pamětí bez účasti jádra mikroprocesoru. Ve firmwaru se tedy nemusíme vůbec starat o čtení z A/D převodníku, protože to se nám provádí automaticky a hodnota převodu je uložena do zvolené proměnné.

K aplikaci vzorce (2.8), který zajišťuje převod hodnoty po A/D převodu na hodnotu v dB μ V, dochází ve funkci nazvané `ad8310_read()`. V této funkci se nejdříve provádí průměrování několika hodnot měření A/D převodníku. Následně dojde k přepočtu zprůměrovaných hodnot na hodnotu v dB μ V. Před zobrazením hodnoty na displeji ještě následuje podmínka, která pokud je změřená hodnota větší jak 80 dB μ V, tak na základě naladěné frekvence nastaví na PWM výstup příslušnou hodnotu napětí a k výsledné hodnotě úrovně signálu přičte 40 dB, což je hodnota útlumu nastavená na útlumovém článku tuneru UV1316. Tím je zajištěn celkový dynamický rozsah přístroje 100 dB.

3.1.3 Čtení stavů tlačítek a rotačního enkodéru

Čtení stavu tlačítek probíhá v rámci přerušení od TIM2, který vyvolá přerušení zhruba každých 44 ms. Pro čtení stavů tlačítek je tato doba moc krátká, takže v přerušení je podmínka, která zajišťuje, že stav stisku tlačítka je kontrolován jednou za 132 ms, což odstraní vliv případných zákmitů a zároveň dostáváme ideální opakovací periodu při trvalém stisku tlačítka.

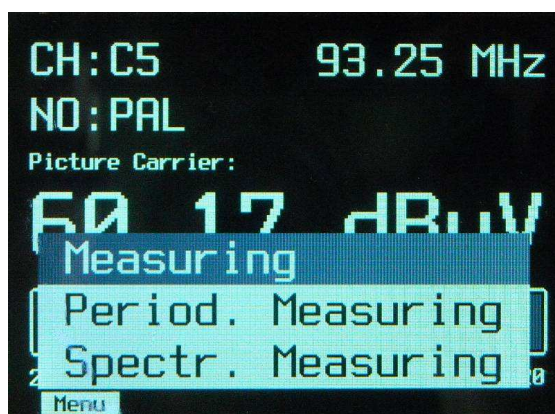
Princip rotačního enkodéru spočívá v tom, že enkodér generuje 2 obdélníkové pulzy fázově posunuté zhruba o 90°. Vyhodnocení směru otočení probíhá tak, že při jedné hraně jednoho pulzu čteme stav druhého pulzu a podle toho, jestli je v log. 1 nebo v log. 0 buďto přičítáme nebo odečítáme. Jelikož rotační enkodér generuje pevný počet pulzů v jednom otočení, tak je možné jeho stav kontrolovat přímo v rámci přerušení od TIM2, což je každých 44 ms.

Pokud podmínka v přerušení vyhodnotí stisk tlačítka, případně otočení rotačním enkodérem, tak dojde k nastavení příslušné globální proměnné, jejíž hodnota se následně kontroluje ve funkci `keyboard()` a na základě série podmínek se vykoná příslušná akce. Po jejím vykonání dojde k vynulování proměnné, ve kterém byla uložena informace o stisku tlačítka.

3.2 Funkce a možnosti analyzátoru

Ačkoliv umožňuje použitý displej zobrazit až 65000 barev, tak je v grafickém prostředí využíváno hlavně barev černé, bílé a odstínů šedi. Je to z toho důvodu, že takhle je dosaženo vysokého kontrastu, takže na displeji bude možno pohodlně číst i na slunci.

Firmware obsahuje tři různé možnosti měření. Jednotlivé měření jsou přístupné přes tlačítko *Menu*, které je umístěno v pravém dolním rohu obrazovky. Po vstoupení do této nabídky se zastaví aktuální měření a zobrazí se nabídka zobrazená na Obr. 3.3.



Obr. 3.3: Obrazovka zobrazující menu s výběrem jednotlivých typů měření

3.2.1 Kontinuální měření

Jedná se o základní typ měření, které je aktivní po zapnutí přístroje. Jeho grafická podoba je zachycena na Obr. 3.4 a Obr. 3.5. Na prvním řádku vlevo je uveden aktuální naladěný kanál a napravo je uvedena frekvence, která odpovídá číslu kanálu. Na druhém řádku je norma, ve které přístroj ladí kanály. Na výběr je klasická analogová norma PAL a digitální kanály DVB-T. Zbývající část displeje je věnována zobrazení aktuální úrovně měřeného signálu v dB μ V. Měřená hodnota je znázorněna i v grafické podobě ve formě bargrafu. Bargraf mění svou barvu podle úrovně měřeného signálu. Pokud úroveň měřeného spadá do intervalu 60 až 80 dB μ V, tak je bargraf zelený viz obr. 3.5. Pokud spadá mimo tuto mez, tak je červený viz Obr. 3.4. Tato mez vychází z údajů uvedených v Tab. 1.1, který je v kapitole 1.6.

Na bargrafu je dále pomocí dvou bílých značek zachycena poslední maximální hodnota měření. Pokud během 5 sekund nedojde ke změně maximální změřené hodnoty, tak dojde k jejímu vynulování.

Pohyb po jednotlivých položkách se provádí buďto bočními tlačítky nebo rotačním enkodérem. Aktuální poloha kurzoru, je znázorněn bílým obdélníkem, který je vykreslen okolo položky (viz Obr. 3.4). Stiskem tlačítka OK vybereme označenou položku, jejíž označení se tímto změní na bílou s černým písmem (viz Obr. 3.5). Pokud položka takto označena, tak opětovným stiskem bočních tlačítek nebo otočením

rotačního enkodéru dojde ke změně hodnoty. V případě stavu na Obr. 3.5 dojde ke změně kanálu. Tato změna je okamžitá a nemusí se nijak potvrzovat. Stiskem tlačítka OK dojde k opuštění položky, takže se dostaneme ze stavu Obr. 3.5 do stavu na Obr. 3.4.



Obr. 3.4: Obrazovka kontinuálního měření s červeným bargrafem



Obr. 3.5: Obrazovka kontinuálního měření se zeleným bargrafem

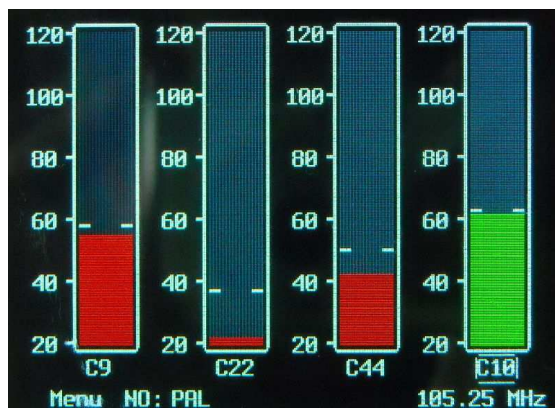
Na Obr. 3.4 a 3.5 je zachycen zdánlivý rozpor, kdy číselná hodnota zobrazuje nějakou hodnotu, která nekoresponduje s hodnotou zobrazenou na bargrafu. Tento rozpor však není způsoben softwarovou chybou, ale faktem, že není možné v jeden okamžik vykreslit na displeji číselnou hodnotu a hodnotu na bargrafu. Vždy je nejprve vykreslena číselná hodnota a až pak je aktualizován bargraf. Snímky obrazovky byly pořizovány digitálním fotoaparátem, který prostě zachytí stav, kdy číselná hodnota je již aktualizována, ale na bargrafu je stále zobrazena předchozí hodnota. Při pozorování lidským okem tyto změny probíhají v tak rychlém sledu za sebou, že to vypadá, jako by obě položky byly aktualizovány v jeden okamžik.

3.2.2 Periodické měření

Periodické měření (Obr. 3.6) je obdobou kontinuálního měření, akorát s tím rozdílem, že místo jednoho měřeného kanálu provádíme periodické měření 4 námi zvolených kanálů. Tento režim je výhodný, pokud potřebujeme proměřovat více kanálů současně (např. při nastavování televizní antény). Na displeji jsou v tomto režimu zobrazeny 4 svislé bargrafy. Jejich činnost je naprosto shodná s bargrafem u kontinuálního měření. Měření v tomto režimu je pouze orientační, takže zde není zobrazována přesná číselná hodnota změřené úrovně na daném televizním kanálu. Změna kanálů se provádí stejným způsobem jako u kontinuálního měření. Bočními tlačítky nebo rotačním enkodérem posouváme kurzor po jednotlivých položkách. Na Obr. 3.6 je kurzor u posledního bargrafu a označuje kanál C10. Po stisku tlačítka OK bychom vstoupili do této nabídky, takže bočními tlačítky nebo rotačním enkodérem

bychom mohli měnit kanál, na kterém chceme provádět měření. V pravém dolním rohu je zobrazována frekvence položky, na které se právě nachází kurzor.

Dle datasheetu k televiznímu tuneru UV1316 [6] je maximální doba přeladění 150ms. Tato hodnota pravděpodobně platí pro mezní stavy dvou frekvencí. Experimentálně bylo ověřeno, že tato doba je kratší, takže před každým čtení hodnoty se čeká cca 75ms.



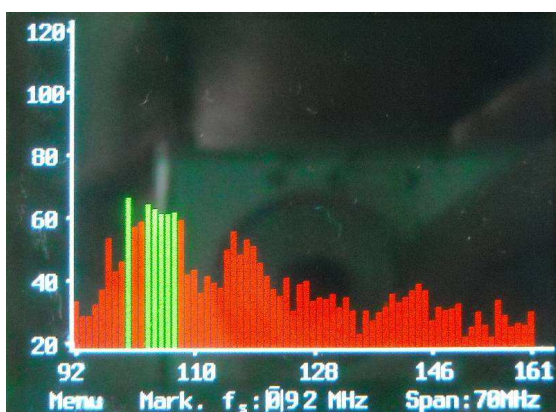
Obr. 3.6: Obrazovka v režimu periodického měření

3.2.3 Zobrazení spektra

Posledním typem měření je zobrazení frekvenčního spektra. Spektrum je vykreslováno s krokem 1 MHz a SPAN je pevně nastavený na 70MHz. Zobrazení spektra je možné ve dvou režimech. První je režim měření, kdy se ve vybraném pásmu spektrum neustále přeladňuje (viz Obr. 3.7). Spektrální čára pro každou frekvenci má zase odpovídající barvu, která koresponduje se změřenou úrovní signálu.

Do druhého režimu se dostaneme aktivací tlačítka „Mark.“. V tomto režimu se zastaví přeladování spektra a na displeji zůstane zobrazeno poslední změřené spektrum signálů a nad jednou změřenou hodnotou se objeví marker, kterým je možné skákat po jednotlivých frekvencích. V pravém horním rohu se zobrazuje frekvence a změřená úroveň signálu, která odpovídá aktuální poloze markeru (viz Obr. 3.8). Z toho režimu se dostaneme zpět opětovným stiskem tlačítka OK.

Nastavení frekvence je řešeno tak, že se nastavuje počáteční frekvence, od které se má měřit. Nastavování probíhá tak, že stovky, desítky a jednotky nastavují zvlášť. Budeme-li chtít například nastavit počáteční frekvenci na 106 MHz, tak musíme na pozici stovek nastavit jedničku a tu potvrdit. Dále se posuneme na pozici desítek, kde nastavíme 0, kterou zase musíme potvrdit a nakonec se posuneme na pozici jednotek, kde nastavíme 6, kterou zase musíme potvrdit. Pokud budeme chtít nastavit počáteční frekvenci moc vysokou nebo moc nízkou, tak dojde k automatickému nastavení nejmenší nebo nejvyšší možné nastavitelné frekvence. Například pokud budeme chtít zobrazit spektrum od 10MHz, což je hodně mimo rozsah televizního tuneru UV1316, tak dojde k automatickému nastavení na počáteční frekvenci 50 MHz.



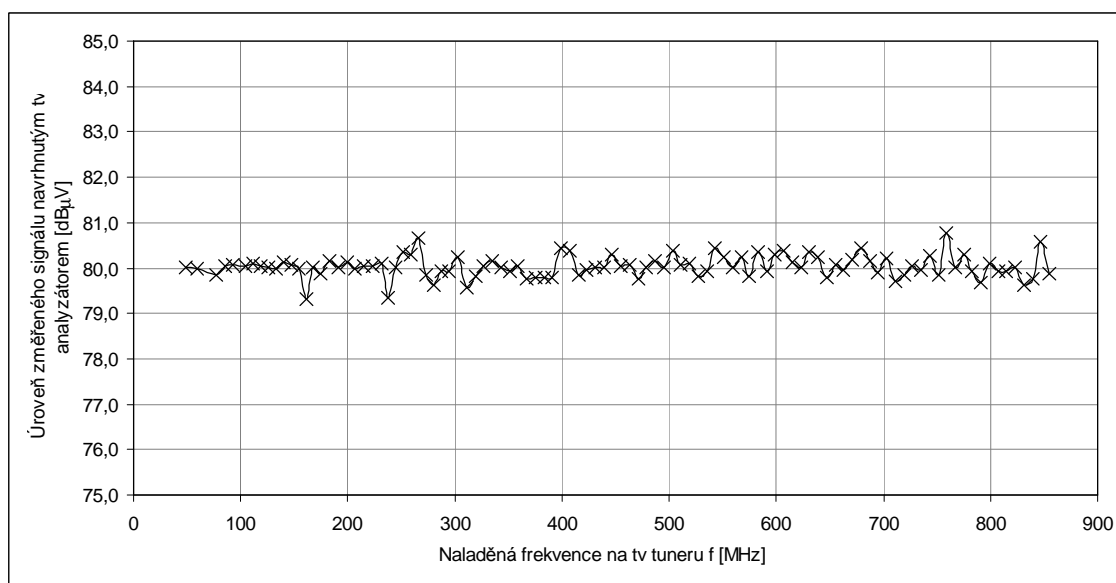
Obr. 3.7: Zobrazení spektra v režimu měření



Obr. 3.8: Zobrazení spektra režimu markeru

4 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Na závěr bylo provedeno experimentální měření, při kterém byla ověřována přesnost měření u navrhnutého analyzátoru televizního signálu. Na generátoru signálu byla nastavena konstantní hodnota výstupní úrovně signálu rovna 80 dBuV, která byla následně připojena pomocí koaxiálního kabelu na vstup tuneru UV1316. Ještě před tím však byl změřen útlum samotného koaxiálního kabelu. Tento útlum se následně přičítal ke změřeným hodnotám. Toto měření bylo provedeno pro každý televizní kanál zvlášť. Výsledky měření přesnosti jsou vyneseny do grafu zobrazeného na Obr. 4.1.



Obr. 4.1: Experimentální ověření přesnosti měření navrhnutého analyzátoru televizních signálů

5 ZÁVĚR

V diplomové práci byl popsán kompletní postup při vývoji analyzátoru televizních signálů v kabelových rozvodech. V úvodu práce je uvedeno blokové schéma předpokládaného analyzátoru, ze kterého se vychází v dalších částech práce. První kapitola je věnována teoretickému popisu fungování televizního tuneru, logaritmického detektoru a SAW filtru.

Druhá část práce se zabývá výběrem konkrétních typů součástek a návrhem dílčích obvodových schémat. Jako televizní tuner byl vybrán tuner UV1316, který se svými rozměry hodí pro ruční měřicí přístroj. Je však primárně určen do televizních přijímačů, takže pro potřeby analyzátoru musel být proměřen jeho zisk, který není přes celé laditelné pásmo konstantní. Tento naměřený zisk se musí následně odečítat od změřené hodnoty.

Za televizním tunerem je zařazen SAW filtr, jež musel být vymontován ze staré nefunkční televize, protože SAW filtry pro televizní pásma není možné zakoupit v maloobchodním prodeji. Výstup filtru je připojen k logaritmickému detektoru AD8310, který měl být se svým teoretickým dynamickým rozsahem dostačující pro měření potřebného rozsahu úrovní televizního signálu. Měřením však byl změřen mnohem menší, než byl udávaný dynamický rozsah. Místo udávaných 90 dB bylo změřeno pouze 60 dB. Maximální měřitelná úroveň, po odečtení zisku tuneru byla cca 80 dB, což je nedostačující už pouze z hlediska normy ČSN EN 500 83. Dynamický rozsah je tedy zvětšen za pomoci zpětnovazební smyčky, kterou při překročení určité úrovně měřeného signálu nastavíme útlum 40 dB, čímž jsme schopni měřit úroveň signálu až do 120 dBuV. Útlumové články na vstupu tuneru UV1316 však zase nemají pro celé laditelné pásmo konstantní, což v případě televizního přijímače nevádí. V našem případě to byl problém, takže pro každý televizní kanál musela být změřena potřebná velikost napětí, při které byl útlum roven 40 dB.

Pro řízení celého zařízení byl vybrán moderní 32bitový mikroprocesor s jádrem ARM CORTEX-M3, který poskytuje dostatečný výkon pro všechny připojené periférie, včetně použitého barevného grafického displeje.

V třetí části byl popsán vyvinutý firmware, řídící všechny součásti zařízení. Na mikroprocesoru běží jednoduchý stavový automat, který na základě série podmínek volá funkce, které vykonávají odpovídající činnost. Rozsah firmwaru je cca 5000 řádků zdrojového kódu, velikosti po kompilaci je 41kB, z čehož písmo zabírá cca 19kB.

V závěru práce bylo provedeno experimentální měření, které mělo určit přesnost přístroje pro celé laditelné pásmo. Díky vhodně nastaveným korekcím zisku a zpětnovazební smyčky tuneru UV1316, které jsou prováděny softwarově je přesnost měření ± 2 dBuV.

LITERATURA

- [1] VÍT, Vladimír. *Televizní technika : Anténní rozvody a signálové obvody televizorů*. 1. Praha : AZ Servis, 1993. 455 s. ISBN 80-901554-0-5.
- [2] HANUS, Stanislav. *Základy Televizní techniky II: Přednášky*. 16. 12. 2009. 65 s.
- [3] HANUS, Stanislav. *Základy Televizní techniky I: Přednášky*. 30. 9. 2009. 82 s.
- [4] ŘÍČNÝ, V. *Základy televizní techniky. Elektronické skriptum*. Brno: VUT FEKT v Brně, 2006.
- [5] *I²C-bus specification and user manual. User manual* [online]. NXP, 2007. < http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf >
- [6] *SAW Components. Katalog*. Siemens Matsushita Components, 2008
- [7] NASH, Eamon *Ask the Applications Engineer : Logarithmic Amplifiers Explained*. [online]. 1999. < <http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/33-03/ask28/log-amps.pdf> >
- [8] *45-860MHz Radio receiver based on UV916-tuner* [Online]. Publikováno 9. srpna 2001 [cit. 9. prosince 2010]. <http://hem.passagen.se/communication/uv916rec.html>
- [9] *UV1316 – VHF/UHF television tuner*. Data sheet. Philips Semiconductors, 1996.
- [10] *TDA6502 – 5 V mixers/oscillators and synthetizers for cable TV and VCR 2-band tuners*. Data sheet. Philips Semiconductors, 2001.
- [11] *AD8310 – Fast, Voltage-Out DC-440MHz, 95dB Logarithmic Amplifier*. Data sheet [Online]. Analog Devices, Inc., 2005. < <http://www.analog.com/UploadedFiles/DataSheets/AD8310.pdf> >
- [12] *STM32F101x8 – Medium-density access line, ARM-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, 6 timers, ADC and 7 communication interfaces*. Data sheet [Online]. STMicroelectronics, 2011. <http://tinyurl.com/62x49xh>
- [13] *ITead Studio* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. 2.4" TFT LCD : ITDB02-2.4DWOT (without touch). Dostupné z WWW: <iteadstudio.com>.
- [14] *74HC32; 74HCT32 Quad 2-input OR gate*. Data sheet [Online]. Philips Semiconductors, 2003. http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT32.pdf
- [15] *RC Low-pass Filter Design for PWM*. Application [Online]. OKAWA Electric Design, 2008. <http://sim.okawa-denshi.jp/en/PWMtool.php>
- [16] *MAX5026 – 500kHz, 36V Output, SOT23, PWM Step-Up DC-DC Converters*. Data sheet [Online]. Maxim. 2009. < <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX5025-MAX5028.pdf> >
- [17] *VERY LOW DROP VOLTAGE REGULATORS WITH INHIBIT*. Data sheet. STMicroelectronics, 2004
- [18] *LM317 - 3-Terminal Adjustable Regulátor*. Data sheet [Online]. National Semiconductor, 2011. < <http://www.national.com/ds/LM/LM117.pdf> >
- [19] *Henning Karlsen* [online]. 2011 [cit. 2011-04-30]. Library: ITDB02_Graph. Dostupné z WWW: <<http://www.henningkarlsen.com>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

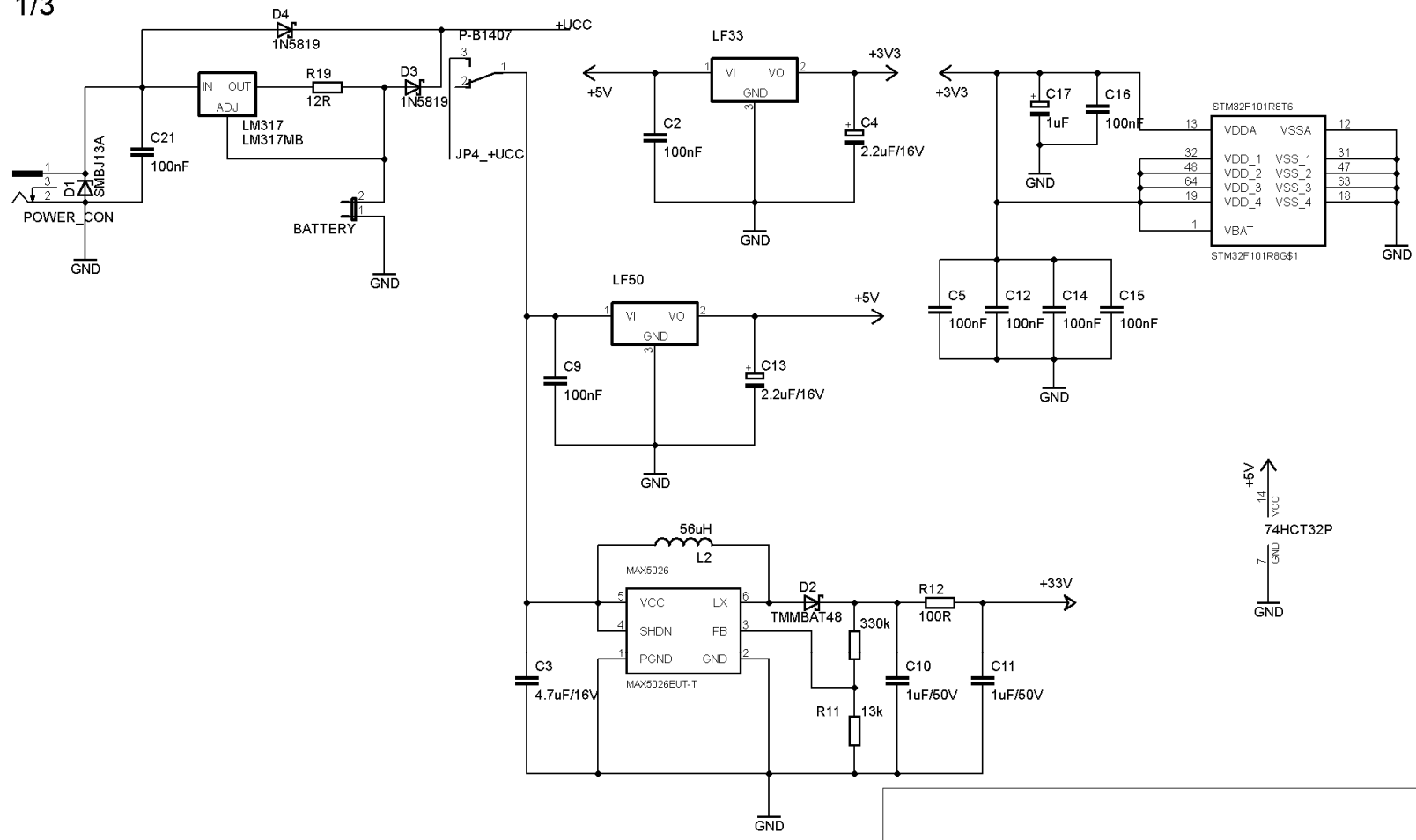
UHF	–	Ultra High Frequency
ARMCC	–	ARM C/C++ Compiler
VHF	–	Very High Frequency
DMA	–	Direct Memory Access
AGC	–	Automatic Gain Control / Samočinné řízení zisku
PLL	–	Phase-Locked Loop
IF	–	Intermediate Frequency
RF	–	Radio frequency
I ² C	–	Inter Integrated Circuits
SCL	–	Standard Clock
SDA	–	Standard Data
TTL	–	Transistor-Transistor-Logic
ČSN	–	Česká Státní Norma
PWM	–	Pulse-Width Modulation
ACK	–	Acknowledgement
SAW	–	Surface Acoustic Wave
A/D	–	Analogově digitální převodník
RS	–	Register Select
WR	–	Write
CS	–	Chip Select
RST	–	Reset
RD	–	Read Data

SEZNAM PŘÍLOH

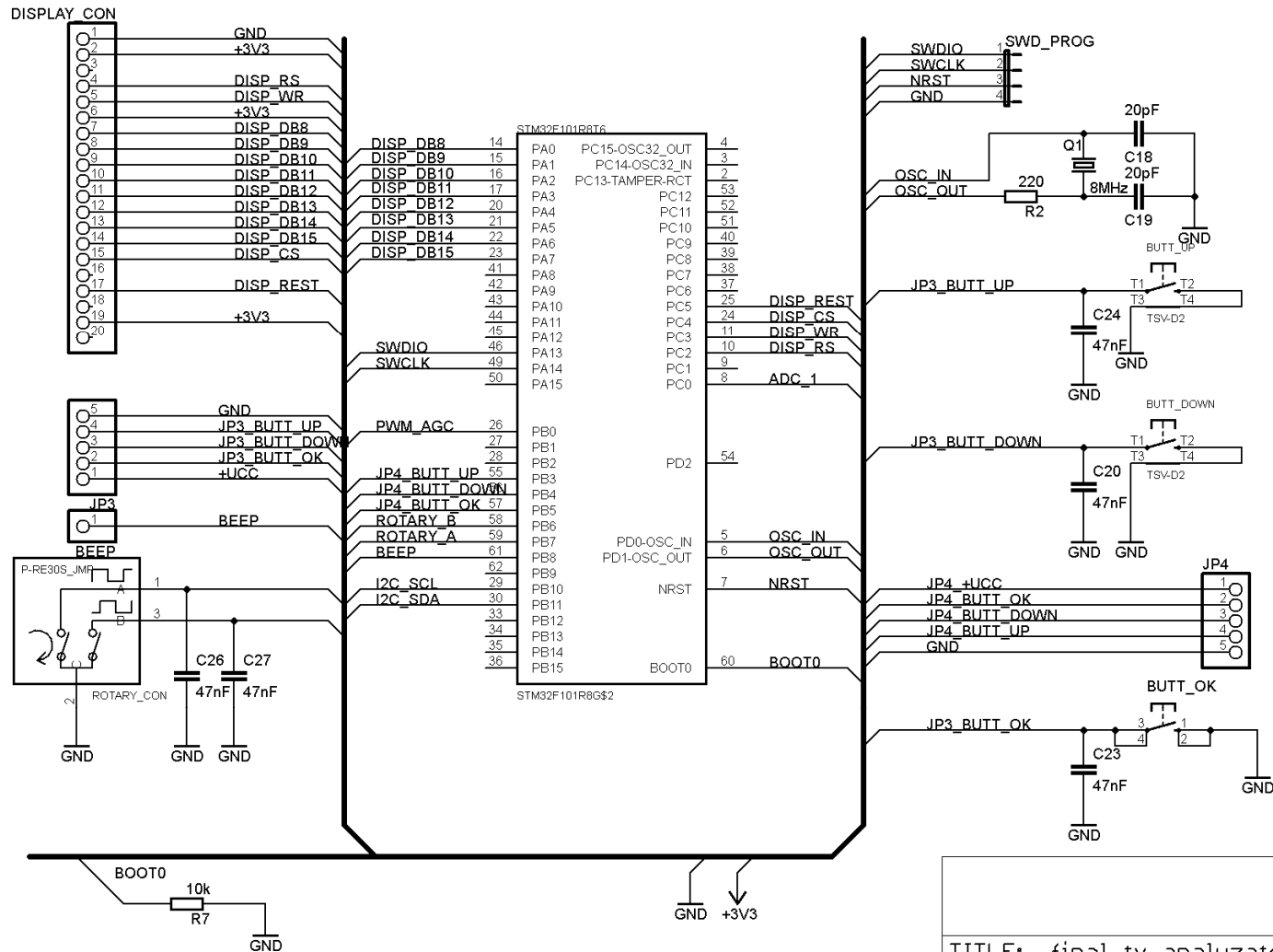
A	Obvodové schéma prototypového přípravku	42
B	Výkresy plošných spojů	46
B.1	Motiv desky plošných spojů – spodní strana	46
B.2	Osazovací plán – spodní strana desky plošných spojů	47
B.3	Osazovací plán – horní strana desky plošných spojů	48
B.4	Potisk předního panelu přístroje	49
C	Seznam součástek	50
D	televizní pásma	52

A OBVODOVÉ SCHÉMA PROTOTYPOVÉHO PŘÍPRAVKU

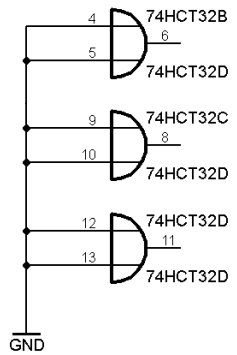
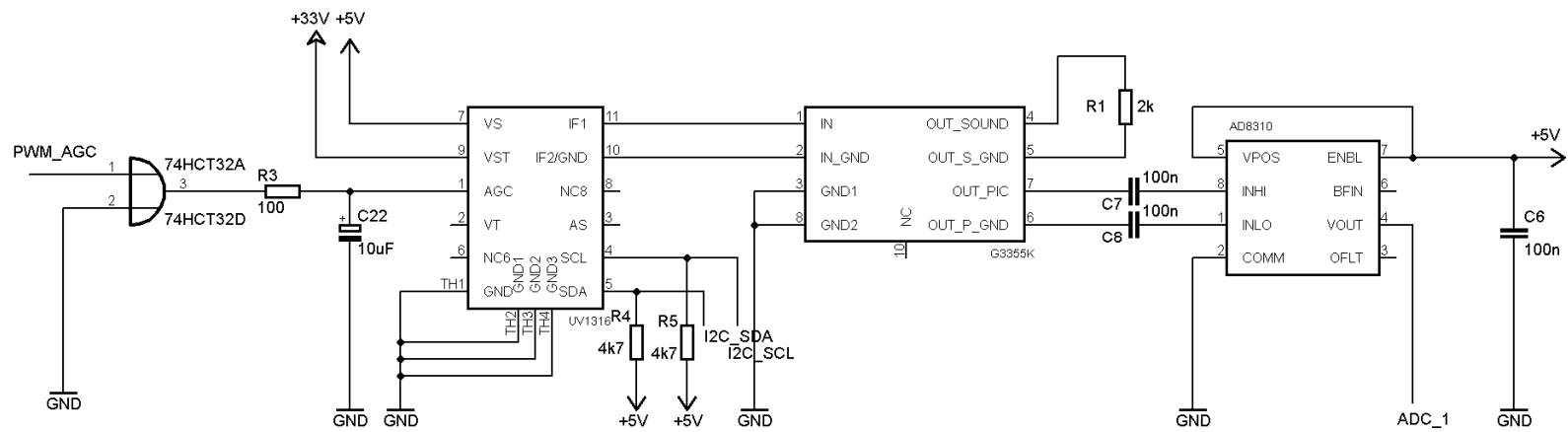
1/3



TITLE: final_tv_analyzator	
Document Number:	REU:
Date: 16.5.2011 17:50:03	Sheet: 1/3



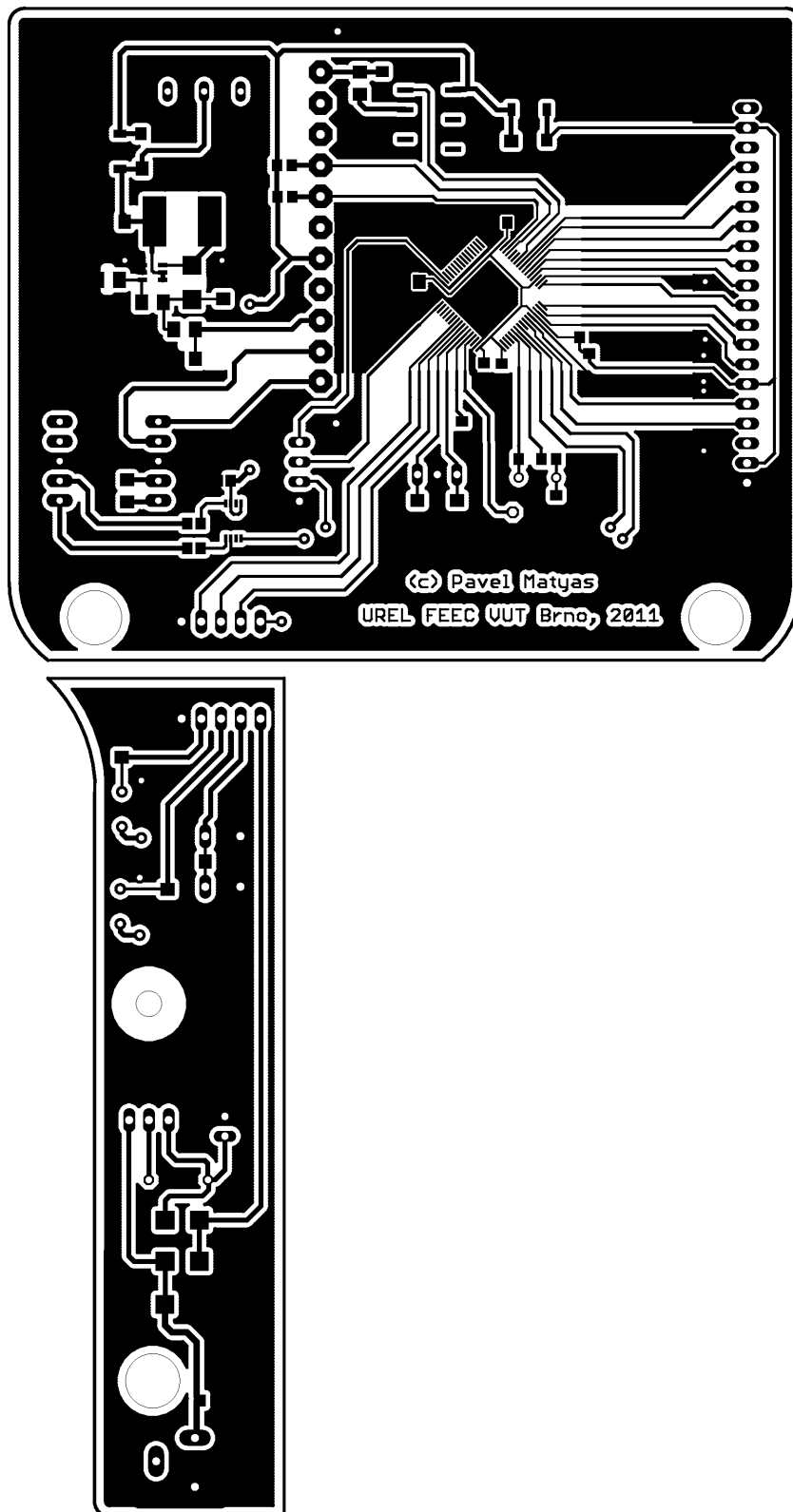
TITLE: final_tv_analyzator	
Document Number:	REV:
Date: 16.5.2011 17:50:03	Sheet: 2/3



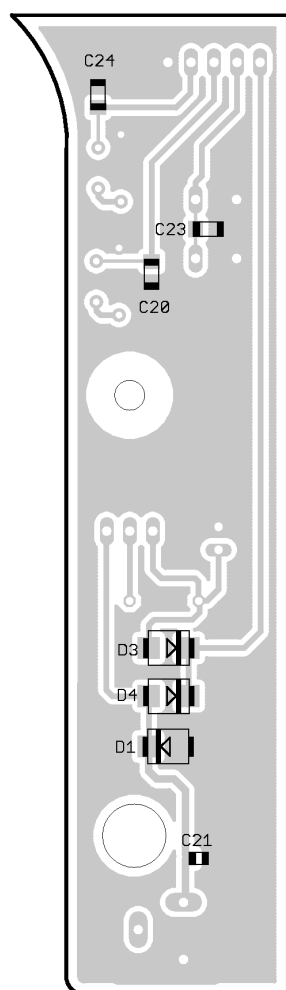
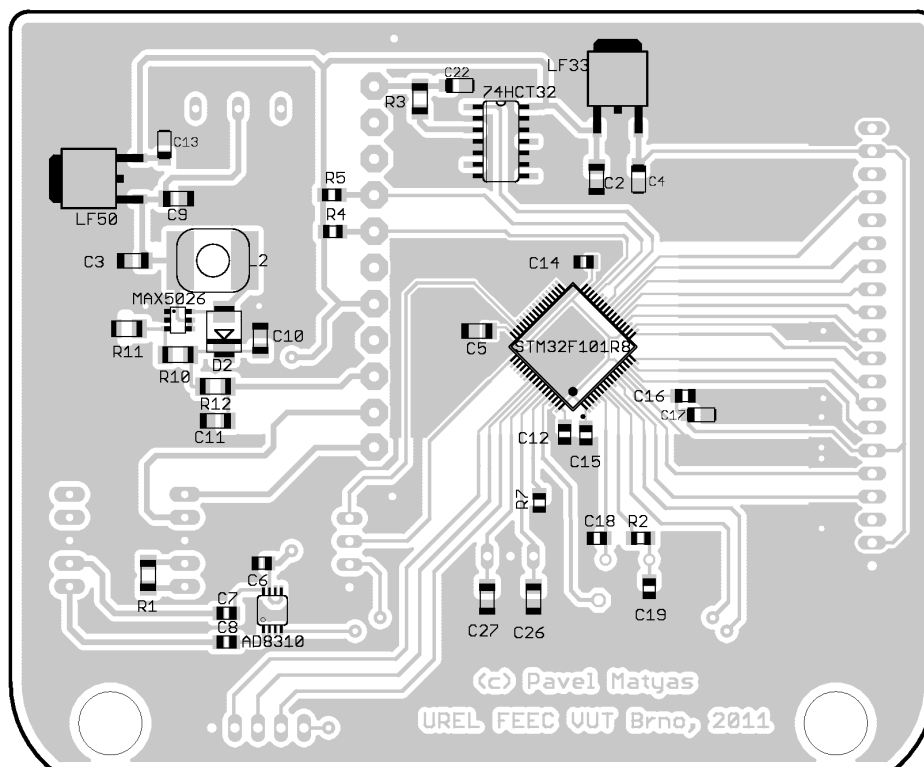
TITLE: final_tv_analyzator	
Document Number:	REV:
Date: 16.5.2011 17:50:03	Sheet: 3/3

B VÝKRESY PLOŠNÝCH SPOJŮ

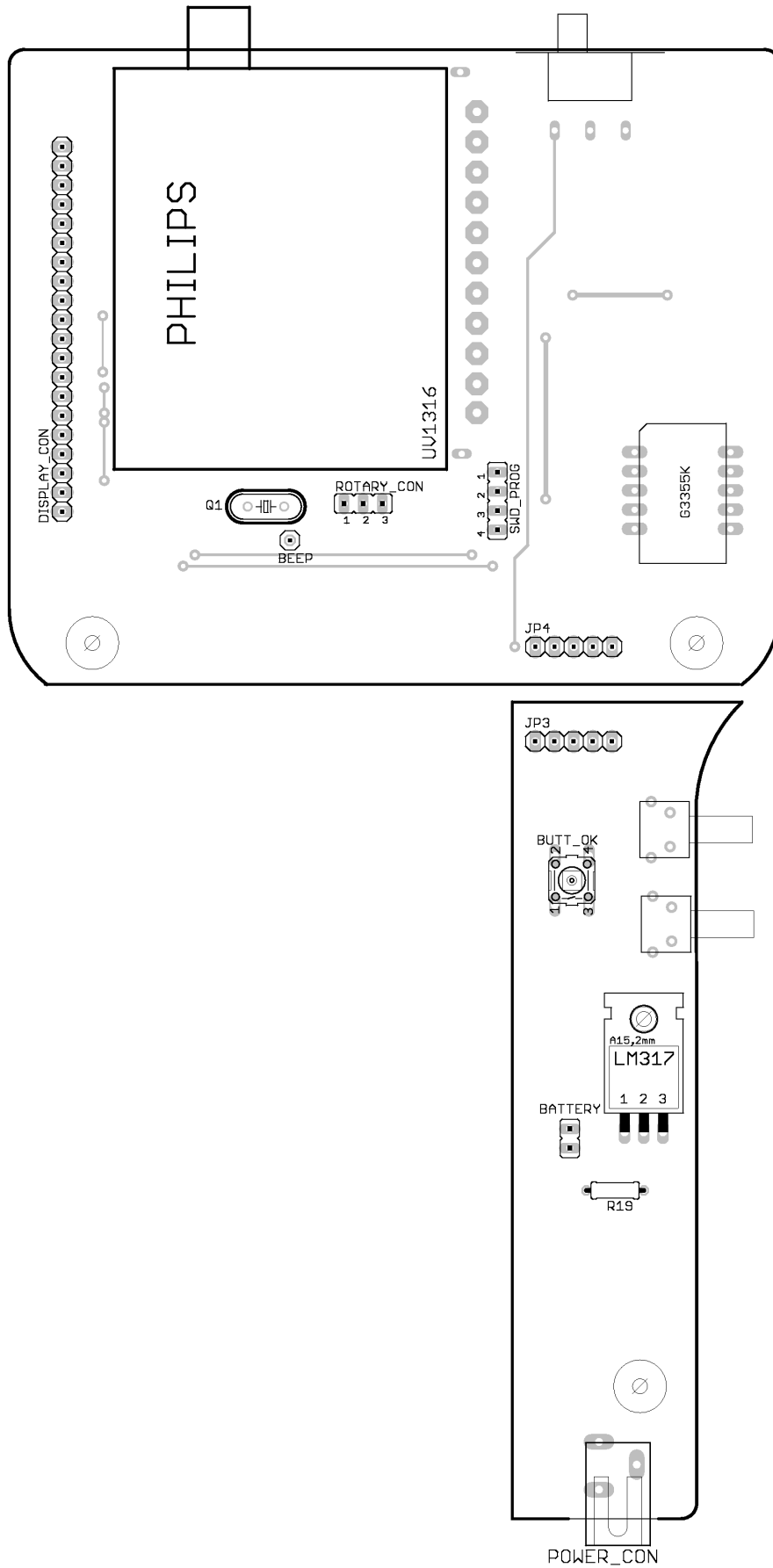
B.1 Motiv desky plošných spojů – spodní strana



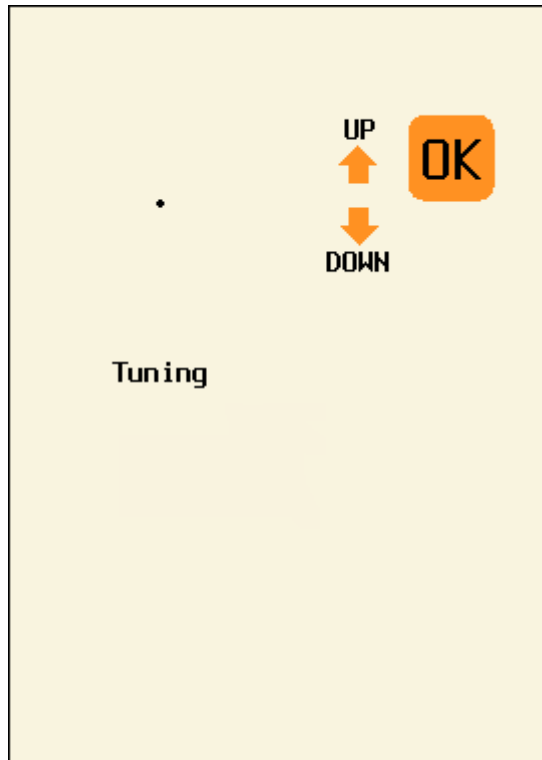
B.2 Osazovací plán – spodní strana desky plošných spojů



B.3 Osazovací plán – horní strana desky plošných spojů



B.4 Potisk předního panelu přístroje



C SEZNAM SOUČÁSTEK

Part	Value	Package
UV1316	UV1316	
74HCT32	74HCT32D	SO14
AD8310	AD8310	MSOP08
BATTERY	JP1E	JP1
BEEP	PINHD-1X1	1X01
BUTT_DOWN	TSV-D2	TC-0202-T
BUTT_OK		B3F-10XX
BUTT_UP	TSV-D2	TC-0202-T
C2	100nF	C1206
C3	4.7uF/16V	C1206
C4	2.2uF/16V	SMC_A
C5	100nF	C1206
C6	100n	C0805
C7	100n	C0805
C8	100n	C0805
C9	100nF	C1206
C10	1uF/50V	C1206
C11	1uF/50V	C1206
C12	100nF	C0805
C13	2.2uF/16V	SMC_A
C14	100nF	C0805
C15	100nF	C0805
C16	100nF	C0805
C17	1uF	SMC_A
C18	20pF	C0805
C19	20pF	C0805
C20	47nF	C1206
C21	100nF	C0805
C22	10uF	SMC_A
C23	47nF	C1206
C24	47nF	C1206
C26	47nF	C1206
C27	47nF	C1206
D1	SMBJ13A	SMB
D2	TMMBAT48	SMB
D3	1N5819	SMB
D4	1N5819	SMB
DISPLAY_CON	PINHD-1X20	1X20
G3355K	G3355K_MIRROR	DIP10K_MIRROR
JP3	PINHD-1X5	1X05
JP4	PINHD-1X5	1X05
L2	56uH	
LF33	7805DT	TO252
LF50	7805DT	TO252
LM317	LM317MB	TO220L1
MAX5026	MAX5026EUT-T	SOT23-6L
POWER_CON	SCD-014A	SCD-014-A
Q1	HC49/S 8MHz	HC49/S

R1	2k0	R1206
R2	220R	R0805
R3	100R	R1206
R4	4k7	R0805
R5	4k7	R0805
R7	10k	R0805
R10	330k	M1206
R11	13k	M1206
R12	100R	M1206
R19	12R	0207/7
ROTARY_CON	P-RE30S_JMP	JP2
STM32F101R8	STM32F101R8T6	LQFP64
SWD_PROG	JP4E	JP4
POWER SWITCH	P-B1407	P-B1407

D TELEVIZNÍ PÁSMA

Tab. 5.1: Televizní kanály III. televizního pásma pro analogovou televizi, **norma D** [3]

Označení TV kanálu	Krajní kmitočty TV kanálu [MHz]		Střední kmitočet [MHz]	Nosná obrazu [MHz]	Nosná zvuku [MHz]
R 6	174	182	178	175,25	181,75
R 7	182	190	186	183,25	189,75
R 8	190	198	194	191,25	197,75
R 9	198	206	202	199,25	205,75
R 10	206	214	210	207,25	213,75
R 11	214	222	218	215,25	221,75
R 12	222	230	226	223,25	229,75

Tab. 5.2: Televizní kanály III. televizního pásma pro analogovou televizi, **norma B** [3]

Označení TV kanálu	Krajní kmitočty TV kanálu [MHz]		Střední kmitočet [MHz]	Nosná obrazu [MHz]	Nosná zvuku [MHz]
E 5	174	181	177,5	175,25	180,75
E 6	181	188	184,5	182,25	187,75
E 7	186	193	189,5	187,25	192,75
E 8	195	202	198,5	196,25	201,75
E 9	202	209	205,5	203,25	208,75
E 10	209	216	212,5	210,25	215,75
E 11	216	223	219,5	217,25	222,75
E 12	223	230	226,5	224,25	229,75

Tab. 5.3: Televizní kanály IV. a V. televizního pásma pro analogovou televizi [3]

Číslo TV kanálu	Krajní kmitočty TV kanálu [MHz]		Nosná obrazu [MHz]	Nosná zvuku, norma G [MHz]	Druhá nosná zvuku, norma G [MHz]	Nosná zvuku, norma K [MHz]
IV. Televizní pásmo						
21	470	478	471,25	476,75	476,99	477,75
22	478	486	479,25	484,75	484,99	485,75
23	486	494	487,25	492,75	492,99	493,75
24	494	502	495,25	500,75	500,99	501,75
25	502	510	503,25	508,75	508,99	509,75
26	510	518	511,25	516,75	516,99	517,75
27	518	526	519,25	524,75	524,99	525,75
28	526	534	527,25	532,75	532,99	533,75
29	534	542	535,25	540,75	540,99	541,75
30	542	550	543,25	548,75	548,99	549,75
31	550	558	551,25	556,75	556,99	557,75
32	558	566	559,25	564,75	564,99	565,75
33	566	574	567,25	572,75	572,99	573,75
34	574	582	575,25	580,75	580,99	581,75
35	582	590	583,25	588,75	588,99	589,75
36	590	598	591,25	596,75	596,99	597,75
37	598	606	599,25	604,75	604,99	605,75
V. Televizní pásmo						
38	606	614	607,25	612,75	612,99	613,75
39	614	622	615,25	620,75	620,99	621,75
40	622	630	623,25	628,75	628,99	629,75
41	630	638	631,25	636,75	636,99	637,75
42	638	646	639,25	644,75	644,99	645,75
43	646	654	647,25	652,75	652,99	653,75
44	654	662	655,25	660,75	660,99	661,75
45	662	670	663,25	668,75	668,99	669,75
46	670	678	671,25	676,75	676,99	677,75
47	678	686	679,25	684,75	684,99	685,75
48	686	694	687,25	692,75	692,99	693,75
49	694	702	695,25	700,75	700,99	701,75
50	702	710	703,25	708,75	708,99	709,75
51	710	718	711,25	716,75	716,99	717,75
52	718	726	719,25	724,75	724,99	725,75
53	726	734	727,25	732,75	732,99	733,75
54	734	742	735,25	740,75	740,99	741,75
55	742	750	743,25	748,75	748,99	749,75
56	750	758	751,25	756,75	756,99	757,75
57	758	766	759,25	764,75	764,99	765,75

58	766	774	767,25	772,75	772,99	773,75
59	774	782	775,25	780,75	780,99	781,75
60	782	790	783,25	788,75	788,99	789,75
61	790	798	791,25	796,75	796,99	797,75
62	798	806	799,25	804,75	804,99	805,75
63	806	814	807,25	812,75	812,99	813,75
64	814	822	815,25	820,75	820,99	821,75
65	822	830	823,25	828,75	828,99	829,75
66	830	838	831,25	836,75	836,99	837,75
67	838	846	839,25	844,75	844,99	845,75
68	846	854	847,25	852,75	852,99	853,75
69	854	862	855,25	860,75	860,99	861,75

Tab. 5.4: Přehled „S“ kanálů pro televizní kabelové rozvody [3]

Označení TV kanálu	Nosná obrazu [MHz]	Nosná zvuku [MHz]
SE 1	105,25	110,75
SE 2	112,25	117,75
SE 3	119,25	124,75
SE 4	126,25	131,75
SE 5	133,25	138,75
SE 6	140,25	145,75
SE 7	147,25	152,75
SE 8	154,25	159,75
SE 9	161,25	166,75
SE 10	168,25	173,75
SE 11	231,25	236,75
SE 12	238,25	243,75
SE 13	245,25	250,75
SE 14	252,25	257,75
SE 15	259,25	264,75
SE 16	266,25	271,75
SE 17	273,25	278,75
SE 18	280,25	285,75
SE 19	287,25	292,75
SE 20	294,25	299,75
S 21	303,25	308,75
S 22	311,25	316,75
S 23	319,25	324,75
S 24	327,25	332,75
S 25	335,25	340,75
S 26	343,25	348,75
S 27	351,25	356,75
S 28	359,25	364,75

S 29	367,25	372,75
S 30	375,25	380,75
S 31	383,25	388,75
S 32	391,25	396,75
S 33	399,25	404,75
S 34	407,25	412,75
S 35	415,25	420,75
S 36	423,25	428,75
S 37	431,25	436,75
S 38	439,25	444,75
S 39	447,25	452,75
S 40	455,25	460,75
S 41	463,25	468,75

Tab. 5.5: Televizní kanály III. televizního pásma pro digitální televizi DVB-T [3]

Číslo TV kanálu	Krajní kmitočty TV kanálu [MHz]		Střední kmitočet [MHz]
5	174	181	177,5
6	181	188	184,5
7	188	195	191,5
8	195	202	198,5
9	202	209	205,5
10	209	216	212,5
11	216	223	219,5
12	223	230	226,5
21	470	478	474
22	478	486	482
23	486	494	490
24	494	502	498
25	502	510	506
26	510	518	514
27	518	526	522
28	526	534	530
29	534	542	538
30	542	550	546
31	550	558	554
32	558	566	562
33	566	574	570
34	574	582	578
35	582	590	586
36	590	598	594
37	598	606	602
38	606	614	610

39	614	622	618
40	622	630	626
41	630	638	634
42	638	646	642
43	646	654	650
44	654	662	658
45	662	670	666
46	670	678	674
47	678	686	682
48	686	694	690
49	694	702	698
50	702	710	706
51	710	718	714
52	718	726	722
53	726	734	730
54	734	742	738
55	742	750	746
56	750	758	754
57	758	766	762
58	766	774	770
59	774	782	778
60	782	790	786
61	790	798	794
62	798	806	802
63	806	814	810
64	814	822	818
65	822	830	826
66	830	838	834
67	838	846	842
68	846	854	850
69	854	862	858