

CW QRP TRX HF TRAMP

Petr Fišer OK1XGL

TRAMP je krátkovlnný telegrafní QRP transceiver, který byl vyvinut pro provoz z přechodných stanovišť. Při vývoji byl kladen důraz na minimální velikost a spotřebu, při zachování kvalitních parametrů přijímače.



Obsah

1. Technické parametry.....	3
1.1. Obecné	3
1.2. Přijímač	3
1.3. Vysílač	4
2. Popis konstrukce	5
2.1. Úvodem.....	5
2.2. Blokové schéma	5
2.3. Popis jednotlivých funkčních bloků.....	7
2.4. Obvody přijímací cesty	9
2.5. Obvody vysílací cesty	18
2.6. Mechanická konstrukce.....	22
3. Programové vybavení	23
3.1. Stručný popis ovládání.....	23
3.2. Popis programu	25
4. Oživení	26
5. Použitá literatura	27

1. Technické parametry

1.1. Obecné

Parametr	Hodnota	Poznámka
Rozměry	45 x 103 x 105 mm	
Hmotnost	cca 300 g	
Pásmo	80 m, 40 m, 30m a 20 m	
Napájení	10 – 14 V	
Druh VFO	DDS s referencí 50 MHz	
Počet VFO	A a B	SPLIT možný
Ladící krok	20 Hz nebo 1 KHz	

1.2. Přijímač

Parametr	Hodnota	Poznámka
Druh	Superheterodyn s jedním směřováním	
Mezifrekvence	5 MHz	
Odběr při příjmu	115 mA	
MDS	-138 dBm (0,029 uV)	
Citlivost pro 10dB S/N	-130 dBm (0,071 uV) a lepší	
DR blok. odstup kmitočtů 2KHz	120 dB a lepší	
DR IMD3 odstup kmitočtů 2KHz	102 dB a lepší	
IP3 odstup kmitočtů 2KHz	+15 dBm a lepší	
IP2	+98 dBm a lepší	
Potlačení zrcadlového příjmu	50 dB a lepší	
Potlačení příjmu na mezifrekvenci	65 dB a lepší	

Selektivita VF	5+2 krystalový filtr 400 Hz/-6 dB	
Selektivita NF	200 Hz/-6 dB	
Audio výstup	1 W do 8 ohmů – doporučuji sluchátka 32 ohmů stereo	
RIT	+/- 2 KHz s krokem 10 Hz	
S-metr	ANO	
AGC	ANO, trvale pomalé (2 sec)	
Útlumový článek	6, 12 a 18 dB	

1.3. Vysílač

Parametr	Hodnota	Poznámka
Koncový stupeň	Třída C	
Výstupní výkon	0 – 5 W	při 12 V
Odběr při vysílání	0,9 A	při 5W a 12 V
Potlačení nežádoucích produktů	50 dB a lepší	
T-R Delay	QSK – 2 sec. v 5 ms krocích	
ELBUG	6-40 WPM Iambic A a B reverzace	
CW příposlech	800 Hz	
Měření výkonu	ANO	
Měření PSV	ANO	

2. Popis konstrukce

2.1. Úvodem

Tranceiver byl vyvíjen pro použití z přechodných stanovišť, speciálně pro několikadenní výlety s batohem na zádech, kdy místa pro „nepotřebné“ věci je minimum a každý gram navíc je po celodenním nošení na zádech znát. Minimální rozměry a spotřeba ovšem neměly znamenat přílišné zhoršení parametrů, zvláště přijímače. Na tranceiver byly stanoveny následující požadavky:

- aby se snadno vešel do batohu
- více pásem – výměnné moduly
- telegrafní provoz
- co nejkvalitnější přijímač
- napájení z 12 V baterie
- spotřeba při příjmu kolem 100 mA
- výkon vysílače kolem 5 W
- použití SMD součástek

2.2. Blokové schéma

Tranceiver je rozdělen do několika samostatných modulů. Na blokovém schématu jsou moduly zakresleny tak, jak jsou v krabičce skutečně rozmístěny. Modul FILTER (vyznačen šedým podkladem) je výměnný podle požadovaného pásma a je zasouván do zadní stěny tranceiveru.

Modulová konstrukce byla zvolena z prostorových důvodů, ale s výhodou ji lze využít při budoucím vylepšování. Zde bych rád poznamenal, že členění na moduly je třeba volit velmi obezřetně, aby nedošlo ke zbytečnému zhoršení parametrů. Nelze například dále dělit modul MIXER_IF, zvláště v oblasti navázání směšovače na následující obvody, nebo v oblasti hlavního krystalového filtru. Tato místa jsou velmi citlivá na rušivé signály, impedanční nepřizpůsobení a dokonalé oddělení mezi vstupem a výstupem.

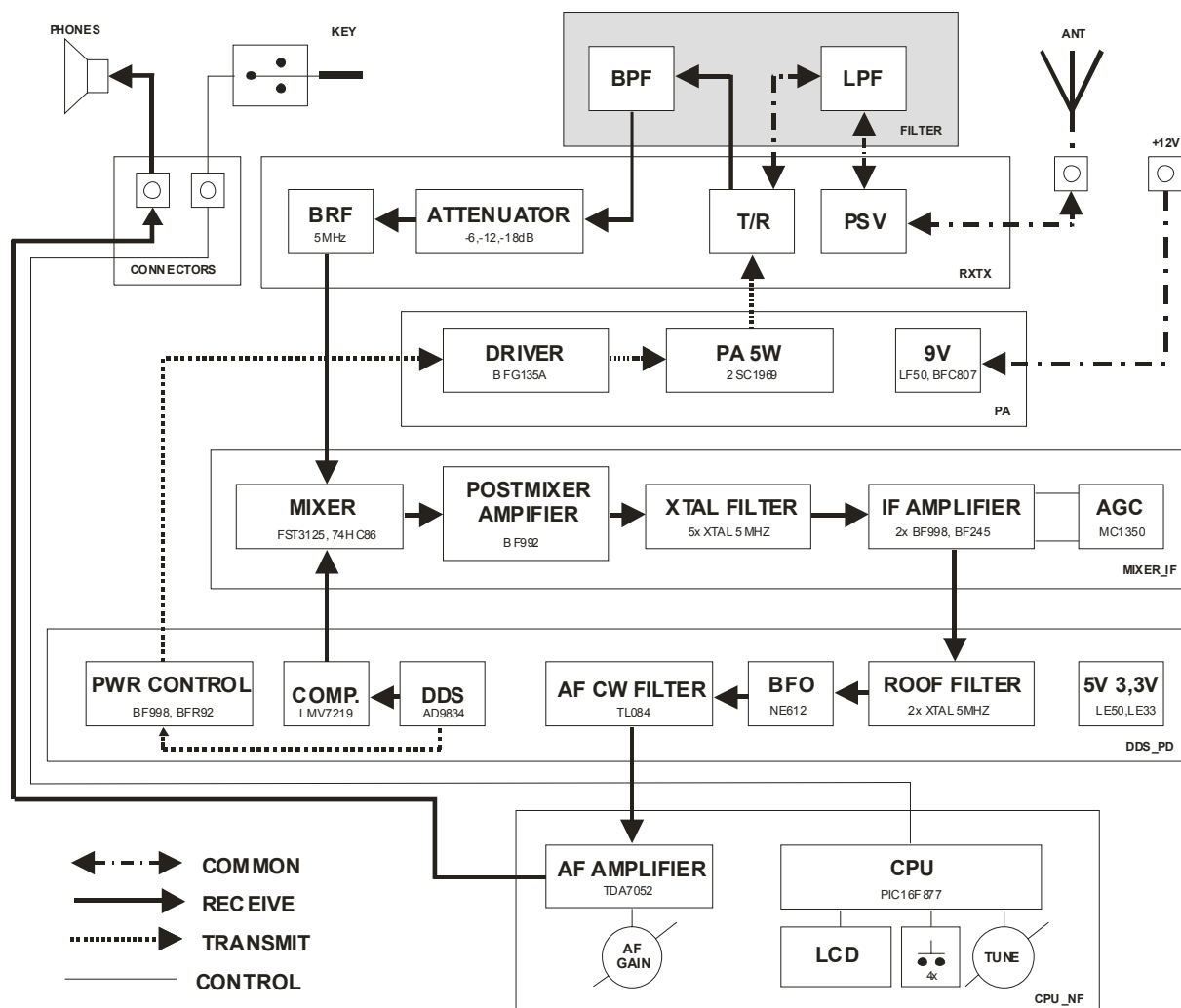
Nyní si stručně popíšeme funkci celého tranceiveru.

Signál z anténního konektoru prochází při příjmu i vysílání obvody pro měření PSV a dolní propustí LPF, která při vysílání potlačuje nežádoucí produkty koncového stupně a při příjmu vylepšuje strmost a stopband pásové propusti přijímače na vyšších kmitočtech. Poté signál přichází na anténní relé T/R, které již signál rozděluje na cestu přijímací a na cestu vysílací.

Přijímací cesta začíná pásmovou propustí BPF, která nám na vstup přijímače propustí jen signály zvoleného amatérského pásma. Následuje přepínatelný útlumový článek ATTENUATOR s útlumy 6, 12, a 18 dB. Signál dále prochází zádrží mezifrekvenčního kmitočtu BRF na směšovač MIXER.

Směšovač MIXER byl zvolen dvojitě vyvážený ve spínaném režimu. Tyto směšovače mají velmi dobré parametry a nepotřebují velký výkon z VFO. Pro dosažení nízké spotřeby, při zachování dobrých parametrů přijímače, je to ideální řešení.

Následuje zesilovač POSTMIXER AMPLIFIER, který nahrazuje ztráty v rezonančních obvodech a ve směšovači a zajišťuje impedanční přizpůsobení mezi směšovačem a krystalovým filtrem XTAL FILTER. Po průchodu krystalovým filtrem je signál zesilován v mezifrekvenčním zesilovači IF AMPLIFIER.



Zesílený mezifrekvenční signál prochází jednoduchým dvoukrytalovým filtrem ROOF FILTER, který významně potlačuje širokopásmový šum mezifrekvenčního zesilovače.

Mezifrekvenční signál zbavený širokopásmového šumu je přiveden do produkt detektoru BFO a z ním se již nachází slyšitelný signál. Ten je dále upraven nízkofrekvenční telegrafní pásmovou propustí AF CW FILTER. Tento signál je zesílen NF zesilovačem AF AMPLIFIER a přiveden na sluchátkový výstup.

VFO, tedy lokální oscilátor, je generován obvodem přímé kmitočtové syntézy DDS. Lze jím dosáhnout výborné kmitočtové stability při nízké spotřebě. Pro potřeby spínaného směšovače je signál z DDS komparátorem COMP upraven na obdélníkový signál.

Vysílací cesta je velmi jednoduchá. Signál z DDS je zesilován zesilovačem s proměnným zesílením PWR CONTROL, aby bylo možné řídit výkon vysílače. Tento signál je zaveden do budiče DRIVER, který budí koncový stupeň PA 5W ve třídě C a zajišťuje jeho správné klíčování. Signál z koncového stupně je přes anténní relé T/R zaveden do dolní propusti LPF a přes obvody měření PSV na anténní konektor.

Řízení celého transceiveru obstarává procesor PIC. Díky procesorovému řízení je možné zvýšit komfort obsluhy a v malém prostoru realizovat užitečné doplňky jako je PSV metr, elbug, více VFO apod.

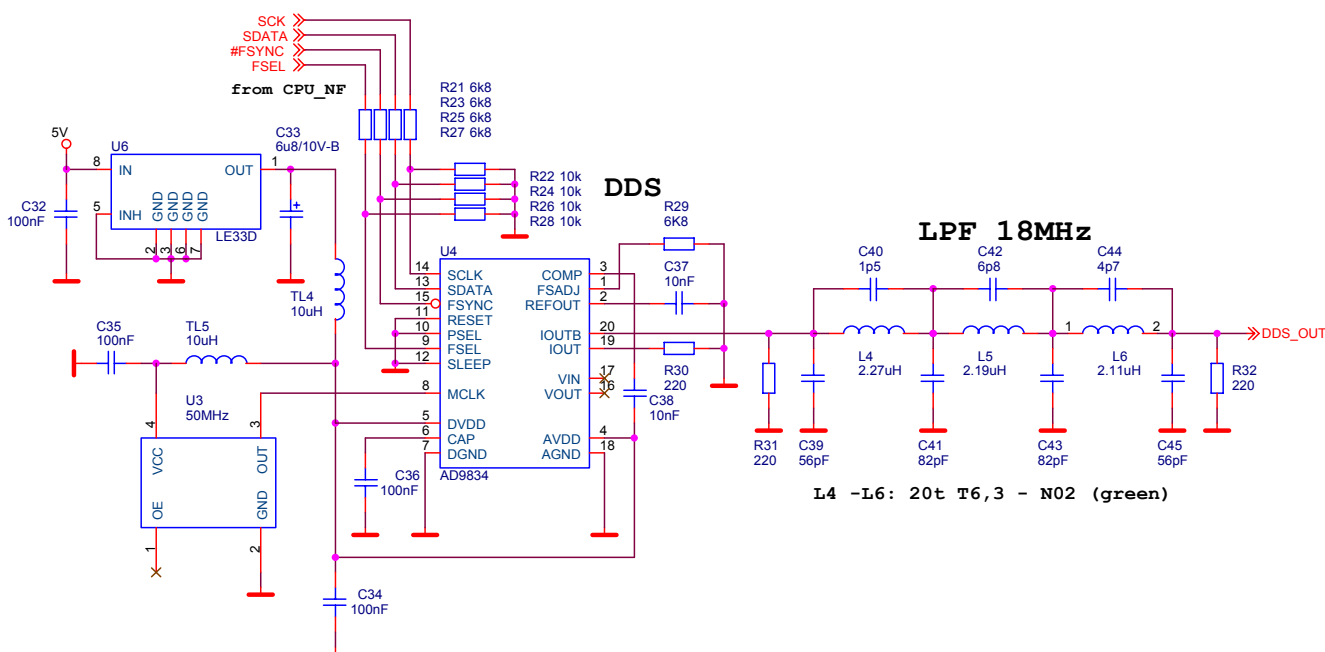
2.3. Popis jednotlivých funkčních bloků

Nyní se podívejme podrobněji na jednotlivé funkční bloky tranceiveru, zobrazené na blokovém schématu. V následujícím popisu jsou použity jen podstatné části schématu. Kompletní schémata jsou v samostatných dokumentech jednotlivých modulů, které obsahují vše potřebné pro jejich výrobu. Součástky, jejichž hodnota ve schématu začíná znakem #, jsou neosazené. V některých případech se na jejich místa osazují součástky pro doladění obvodu.

Začneme popisem lokálního oscilátoru VFO.

2.3.1. DDS (modul DDS_PD)

Lokální oscilátor VFO je generován obvodem přímé kmitočtové syntézy (DDS). Lze jím dosáhnout výborné kmitočtové stability při malých rozměrech a nízké spotřebě. Není třeba nic nastavovat ani teplotně kompenzovat.



Obvod DDS U4 a referenční oscilátor U3 je napájen napětím 3,3 V pro dosažení velmi nízké spotřeby. Spotřeba obvodu DDS je 6 mA a spotřeba referenčního oscilátoru 18 mA.

Referenční oscilátor má kmitočet 50 MHz. Teoreticky je tedy možné dosáhnout výstupního kmitočtu až 25MHz, ovšem za předpokladu, že výstupní dolní propust bude ideální. Pro reálné dolní propusti by výstupní kmitočet neměl příliš překračovat 1/3 kmitočtu referenčního oscilátoru.

Kvalitní dolní propust zařazená na výstupu DDS je základem úspěchu použití DDS jako VFO. Tato propust musí dobře filtrovat nejen nejbližší nežádoucí harmonické kmitočty generovaného signálu, ale musí dobře potlačovat i referenční kmitočet oscilátoru a jeho harmonické. Při návrhu dolní propusti je třeba věnovat velkou pozornost především použitým indukčnostem resp. jádrům, na kterých jsou navinuty. Indukčnosti si musí uchovat své vlastnosti i na vysokých kmitočtech, aby propust potlačovala i referenční kmitočet a jeho harmonické. Zbytky referenčního kmitočtu ve výstupním signálu DDS by nám ve směšovači generovaly nežádoucí produkty, které by se projevil falešnými signály při ladění po pásmu.

Použitá dolní propust za DDS má zlomový kmitočet 18 MHz a je složena ze tří eliptických sekcí, které mají dostatečnou strmost a potlačení v nepropustném pásmu. Přesné naladění eliptických sekcí není potřebné a vzhledem k velmi malým kapacitám C40, C42 a C44 ani možné. Mírné rozladění způsobí jen mírné posunutí zlomového bodu propusti. Tvar křivky, útlum v propustném pásmu, a co je důležité, stopband zůstane v podstatě nezměněn. Při dodržení hodnot indukčností s 10 % přesností není třeba nic ladit. Přesnost kondenzátorů je zajištěna použitím hmoty NPO.

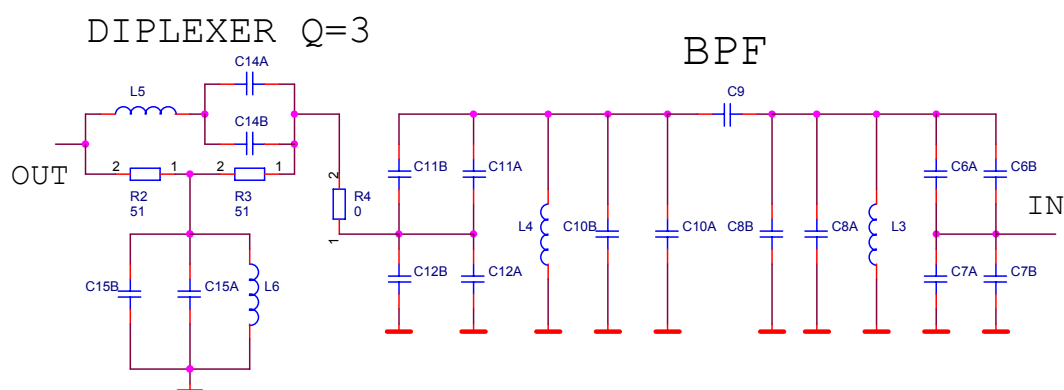
Na výstupu dolní propusti poskytuje VFO sinusový signál o velikosti 600 mVpp na zatěžovací impedanci 220 ohmů. Potlačení všech nežádoucích produktů je lepší než 55 dB. Potlačení referenčního oscilátoru, který nám nejvíce vadí, je ještě výrazně větší. Konstrukce klasického VFO s obdobnými parametry, při spotřebě do 30 mA a velmi malém potřebném prostoru je prakticky nemožná.

2.4. Obvody přijímací cesty

Signál z anténního konektoru, je po průchodu obvody měření PSV, dolní propustí LPF (popis viz Obvody vysílací cesty) a anténním relé T/R, přiveden na pásmovou propust BPF.

2.4.1. BPF (modul FILTER)

Pásmová propust vybere ze signálu z antény jen kmitočty, které chceme přijímat. Tedy jen kmitočty ze zvoleného amatérského pásma. Kvalita této propusti zásadním způsobem ovlivní potlačení příjmu na zrcadlovém a mezifrekvenčním kmitočtu. Byla zvolena poněkud netypická kombinace dvouokruhové pásmové propusti a diplexeru.



Výsledné parametry této propusti jsou téměř shodné s tříokruhovou pásmovou propustí. Naladění tříokruhové pásmové propusti ovšem není snadné, zvláště v případě použití indukčností na toroidech. Při ladění obvykle docílíme buď dobré strmosti, ovšem při velkém průchozím útlumu, nebo dosáhneme malý útlum, ale strmost a stopband není jak má být. O správné impedanci ani nemluvě. Proto byla zvolena kombinace pásmové propusti dvouokruhové, doplněné o diplexer s jakostí 3. Naladění dvouokruhové pásmové propusti je, pokud byla správně navržena, snadné.

Jen stručně postup ladění: Rozpojíme vazební kondenzátor (C9) a budící generátor připojíme postupně na jednotlivé rezonanční okruhy právě přes tento vazební kondenzátor. Okruhy doladíme do rezonance na středu pásma (maximální VF napětí na nějakém detektoru) přidáním malých kondenzátorů přímo k indukčnosti (C8, C10). Po propojení okruhů vazebním kondenzátorem obvykle stačí drobné doladění na minimální útlum filtru.

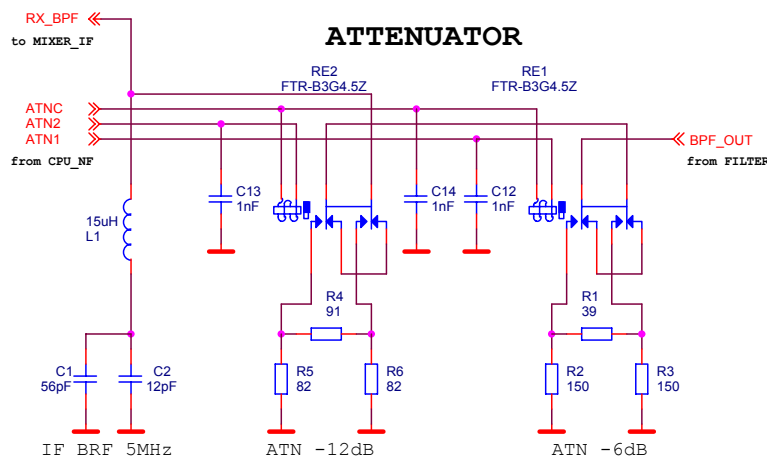
Diplexer při dodržení hodnot součástek obvykle není třeba ladit vůbec a jeho ladění je velmi nekritické. Typická hodnota průchozího útlumu pro pásmovou propust je 1,5 dB a pro diplexer 0,5 dB. Celkový útlum filtru by měl tedy být kolem 2 dB.

Zařazením diplexeru též zajistíme, že výstupní impedance filtru bude v širokém rozsahu kmitočtů reálných 50 ohmů. Pásmová propust má reálnou impedanci 50 ohmů jen ve svém propustném pásmu kmitočtů. Mimo propustné pásmo má impedance kapacitní nebo induktivní charakter. Následujícím obvodem je směšovač, který pro svou správnou funkci vyžaduje, aby jeho vstupy byly zatíženy reálnou impedancí v širokém kmitočtovém rozsahu. Diplexer nám tento požadavek splní.

Signál z pásmové propusti je přiveden do útlumového článku.

2.4.2. ATTENUATOR a BRF (modul RXTX)

Útlumový člunek je tvořen dvěma přepínatelnými příčkovými články s útlumy 6 a 12 dB s impedancí 50 ohmů.



Útlum 18 dB vznikne zařazením obou článků. Články jsou přepínány bistabilními relé, které se přepínají krátkým impulzem a nezvyšují zbytečně spotřebu při příjmu.

Zádrž mezifrekvenčního kmitočtu BRF je tvořena jednoduchým sériovým rezonančním obvodem L1, C1 a C2. Měření ukázala, že není potřeba ji osazovat, protože nežádoucí příjem je dostatečně potlačen vstupní pásmovou propustí a kvalitami směšovače. Naopak, její použití by mohlo negativně ovlivnit vlastnosti směšovače. Směšovač by měl mít připojeno na svém vstupu reálnou zátěž o impedanci 50 ohmů a zádrž by mohla do vstupu zanášet nežádoucí reaktivní složky. Ideálním místem pro připojení zádrže by bylo mezi pásmovou propust a diplexer v bloku BRF.

Signál dále pokračuje na vstup směšovače.

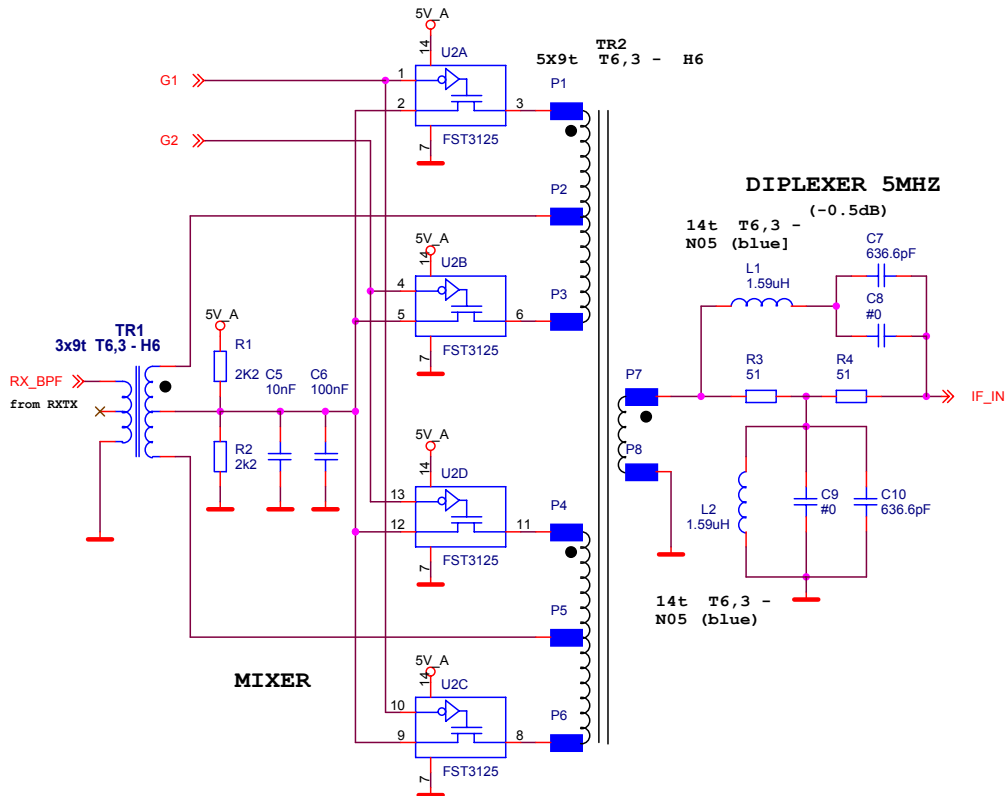
2.4.3. MIXER (modul MIXER_IF)

Směšovač byl zvolen dvojité vyvážený ve spínaném režimu. Tyto směšovače mají velmi dobré parametry při nízké spotřebě a nízkých nárocích na výkon z VFO. Jako spínacího prvku je použita čtveřice spínačů FST3125. Tyto spínače jsou velmi rychlé, což je velmi důležitá podmínka pro správnou funkci spínaného směšovače, a mají odpor v sepnutém stavu jen 4 ohmy. Samotný směšovač (bez diplexeru) má průchozí útlum 5 dB a bod zahrazení IP3 až +37 dB (20 KHz odstup kmitočtů). Potlačení vstupního signálu a signálu z VFO na výstupu směšovače je lepší než 45 dB.

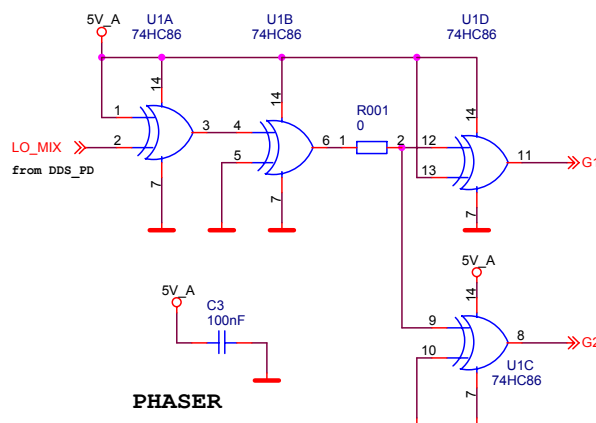
FST3125 je sice hůře dostupný a dražší než oblíbený 74HC4066, dosažené parametry za to však stojí. Typický odpor spínačů 74HC4066 v sepnutém stavu je 50 ohmů, který by výrazně zvýšil průchozí útlum směšovače. 74HC4066 nemají dostatečnou rychlost spínání, a proto se jako spínací prvek směšovače dají použít nejvýše do 40 m pásma. Parametry směšovače přímo určují kvalitu přijímače. Následující obvody již jen více či méně kvalitu zhoršují, a proto by se na směšovači nemělo šetřit a měla by mu být věnována maximální péče.

Signál ze směšovače je zaveden do diplexeru. Diplexer nám zlepšuje parametry přijímače z hlediska nežádoucích intermodulačních produktů, které vznikají ve směšovači. Nežádoucí produkty ležící mimo propustné pásmo diplexeru jsou stravovány na rezistorech R3 a R4. Směšovač pro svou správnou funkci potřebuje, aby jeho vstup a především výstup byl zatížen reálnou impedancí 50 ohmů, pro kterou byl navržen, a to v širokém rozsahu kmitočtů. Tuto podmínku nám též pomáhá splnit diplexer.

Použitý diplexer ve tvaru T článku je trochu zrádný, protože reálnou impedanci 50 ohmů má jen v nepropustném pásmu kmitočtů. V propustném pásmu se chová jako spojka, a proto následující obvod musí mít vstupní impedanci reálných 50 ohmů.



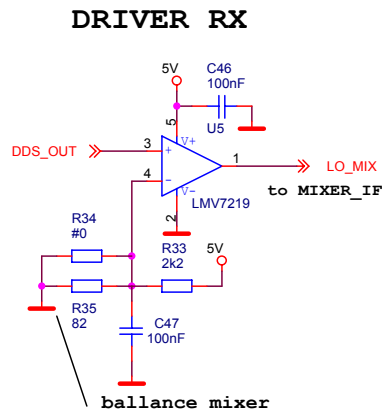
Směšovač pro svou funkci vyžaduje dva obdélníkové signály lokálního oscilátoru, které jsou fázově posunuty o 180 stupňů. Tyto signály generuje fázovací člen využívající hradel s funkcí XOR, která signál buď neinvertují (U1C) nebo invertují (U1D). Tím je minimalizována fázová chyba mezi invertovaným a neinvertovaným signálem. Korekce chyby fáze a vyvážení směšovače se provádějí změnou střídy vstupního obdélníkového signálu z VFO.



Druhý vstup směšovače vyžaduje signál z lokálního oscilátoru VFO, ovšem s obdélníkovým průběhem.

2.4.4. COMP (modul DDS_PD)

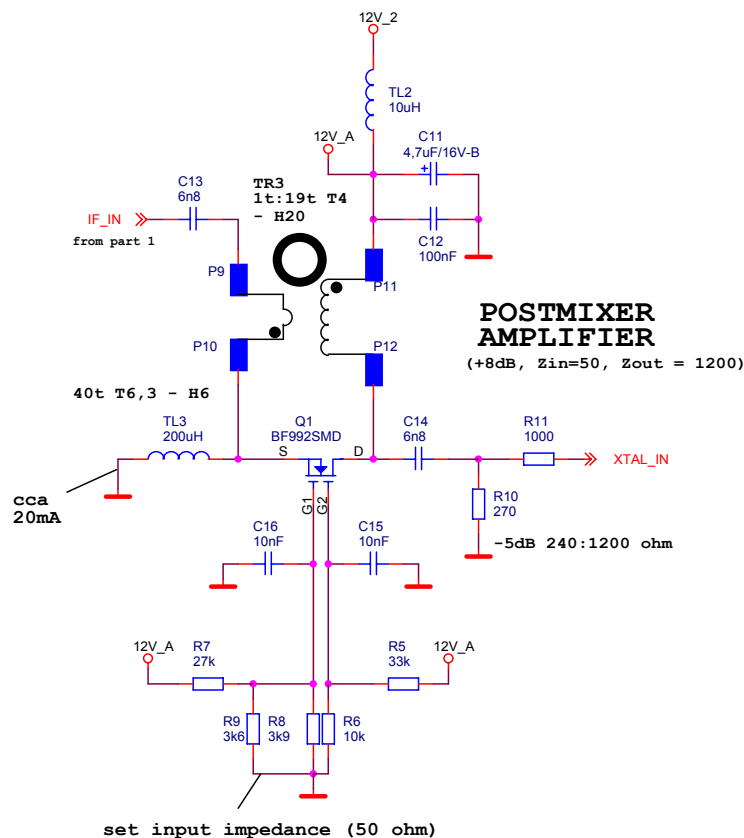
Sinusový signál z DDS je pro potřeby směšovače v přijímači převeden rychlým komparátorem na obdélníkový signál. Změnou střídý obdélníkového signálu rezistory R34 a R35 se směšovač přijímače vyváží.



Výstupní signál ze směšovače dále pokračuje na oddělovací zesilovač.

2.4.5. POSTMIXER AMPLIFIER (modul MIXER_IF)

Zesilovač hradí ztráty ve směšovači a vstupních laděných obvodech. Další důležitou funkcí toho zesilovače je impedanční přizpůsobení a oddělení mezi směšovačem a krystalovým filtrem.



Vstupní impedance zesilovače musí být reálných 50 ohmů. Zesilovač musí být schopen lineárně zpracovat signály od slabých, až po ty nejsilnější. Ostatně jako každý obvod zařazený před mezifrekvenční zesilovač. Bylo zvoleno zapojení zesilovače se společnou bází (hradlem).

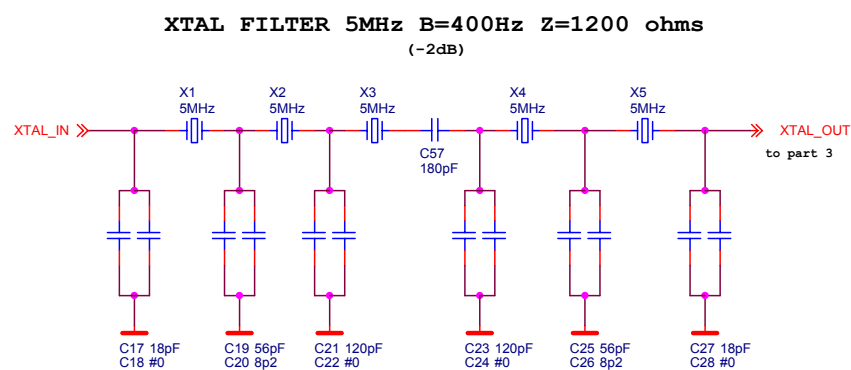
Toto zapojení zesilovače má reálný vstupní odpor 50 ohmů v širokém rozsahu kmitočtů a dokáže zpracovávat větší rozsah amplitud vstupního signálu než klasické zapojení se společným emitorem, a to při menším kolektorovém proudu. Linearitu zesilovače dále vylepšuje záporná zpětná vazba zavedená přes transformátor TR3. Na výstupu zesilovače je zařazen útlumový článek -5 dB, který přizpůsobuje výstupní impedanci zesilovače vstupní impedanci krystalového filtru, který následuje. Ztrátové přizpůsobení je voleno zcela záměrně, protože impedance krystalového filtru je reálná jen pro propustné pásmo filtru. V nepropustném pásmu má impedance výraznou reaktivní složku. Ztrátové přizpůsobení tuto vlastnost krystalových filtrů zmírňuje a zesilovač bude zatížen rozumnou impedancí. Zisk zesilovače i s útlumovým článkem je kolem 8 dB, což je pro uhrazení ztrát postačující.

Ještě bych se zastavil u výběru vhodného typu tranzistoru. Vstupní odpor zesilovače se společnou bází je dán převrácenou hodnotou přenosové admitance. Tento parametr (Y_{fs}) je udáván v katalogovém listu tranzistoru a pro našich požadovaných 50 ohmů by měl být kolem 20 mS. Zesilovač se bude výrazným způsobem podílet na výsledném šumovém čísle přijímače. Proto je třeba volit tranzistor s nízkým šumem. Pozor na moderní tranzistory, které jsou optimalizovány pro velmi vysoké kmitočty, a na nízkých kmitočtech šumí.

Signál z oddělovacího zesilovače dále pokračuje do mezifrekvenčního filtru.

2.4.6. XTAL FILTER (modul MIXER_IF)

Krystalový filtr vybere ze signálu ze směšovače jen požadovaný mezifrekvenční signál. Kvalita filtru určuje selektivitu přijímače.

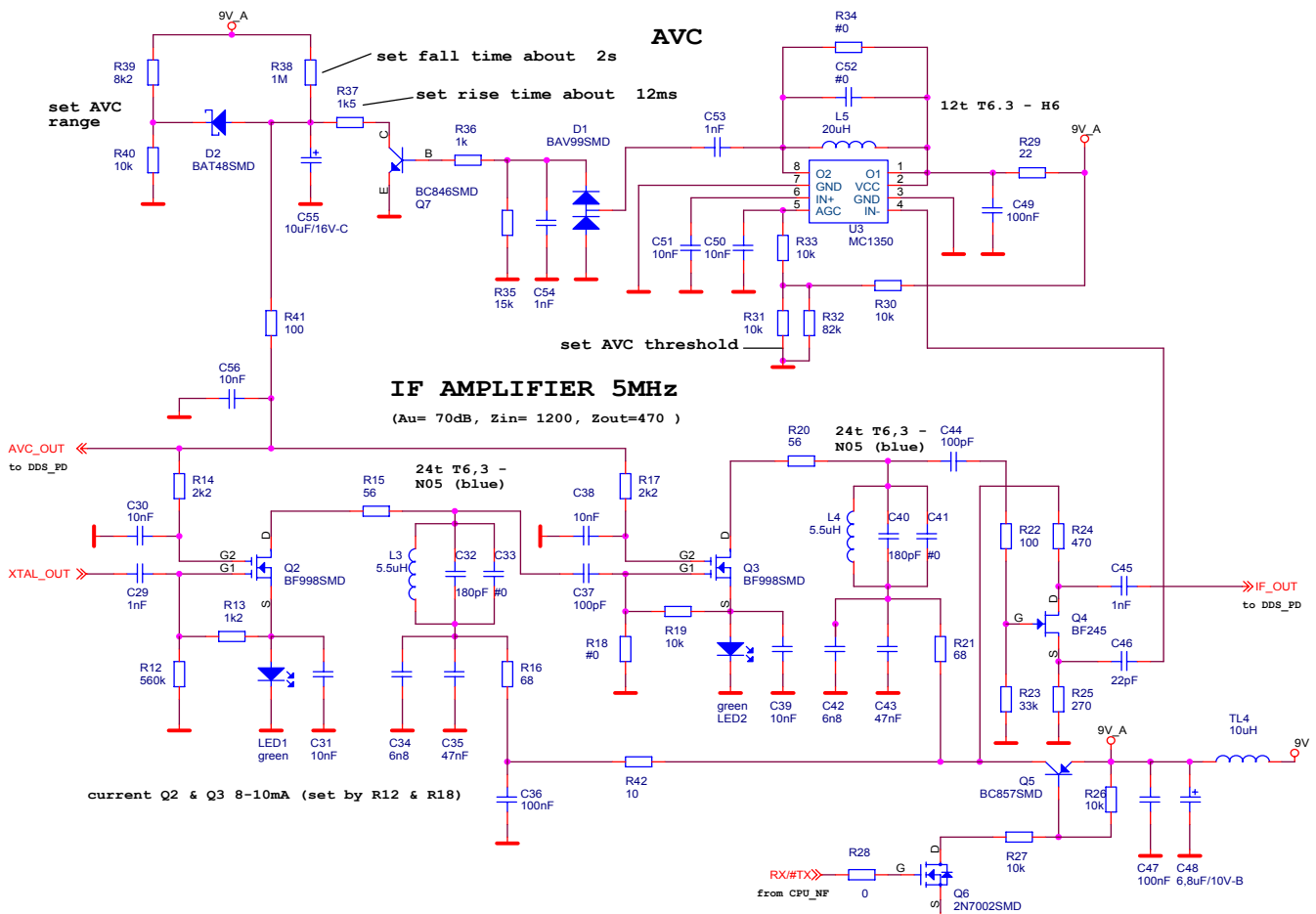


Krystalový filtr je příčkový s pěti krystaly se šířkou pásma 400 Hz. Ve filtru byly použity krystaly s nízkým profilem, které sice mají mírně vyšší sériový odpor než klasické, ale mají výrazně vyšší jakost. Pro konstrukci úzkých CW filtrů jsou tedy velmi vhodné. Doporučuji používat krystaly značkové, např. Geyer. Kvalita dnešních značkových krystalů je taková, že je prakticky není třeba vybírat. Jejich parametry mají velmi malý rozptyl na rozdíl od neznačkových, tzv. počítačových krystalů. Cenově jsou si velmi podobné.

Mezifrekvenční signál z krystalového filtru dále pokračuje do mezifrekvenčního zesilovače.

2.4.7. IF AMPLIFIER a AGC (modul MIXER_IF)

Mezifrekvenční zesilovač zesílí mezifrekvenční signál na úroveň potřebnou pro produkt detektor. Konstrukce zesilovače byla zvolena diskretní s dvoubázovými tranzistory, která je sice složitější než použití integrovaného obvodu, ale to je vyváženo nižším šumem zesilovače a větším rozsahem řízení zisku.



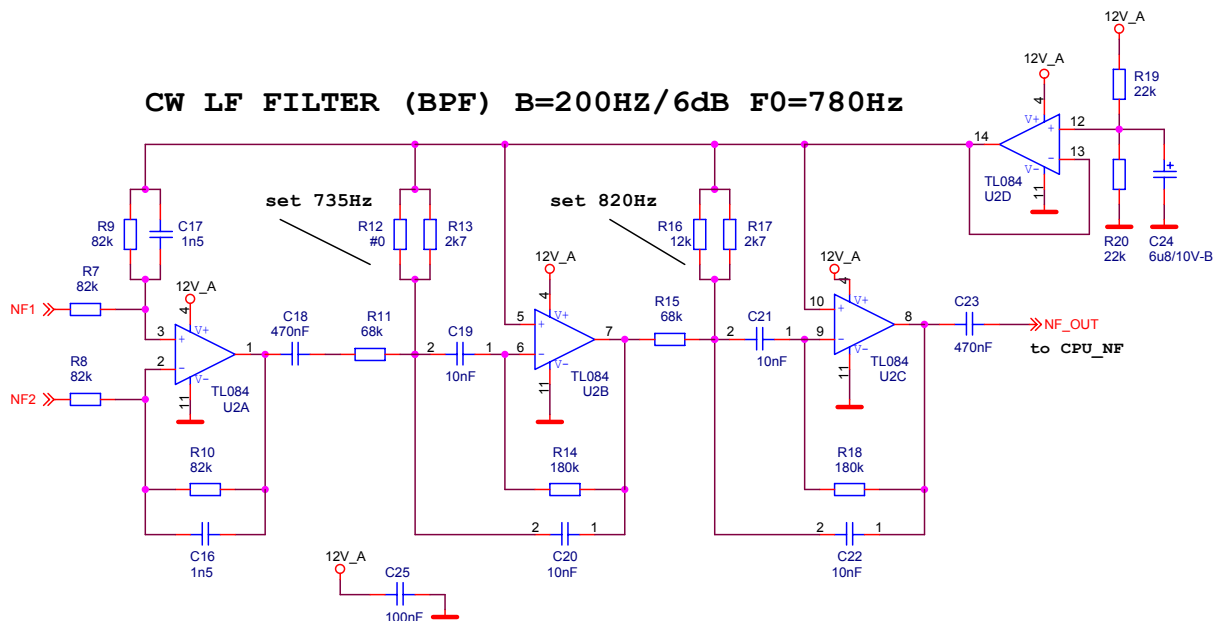
Zesilovač má dva řízené stupně s tranzistory Q2 a Q3. Laděné obvody v kolektorech tranzistorů významně omezují širokopásmový šum zesilovače. LED diody v emitorech tranzistorů umožňují plný rozsah řízení zisku tranzistoru stejnosměrným napětím, přivedeným do druhé báze tranzistoru. Poslední stupeň mezifrekvenčního zesilovače osazený tranzistorem Q4 má zisk kolem 6 dB a rozděluje mezifrekvenční signál na výstupní signál pro produkt detektor a signál pro AGC.

AGC zesilovač je realizován integrovaným zesilovačem MC1350. Zesílení tohoto zesilovače se nastaví rezistory R31 a R32 tak, aby při úrovni signálu cca S3 na vstupu přijímače následující obvody AGC právě začaly snižovat zisk mezifrekvenčního zesilovače. Signál z AGC zesilovače je usměrněn diodami D1 a výsledné stejnosměrné napětí ovládá nabíjení a vybíjení kondenzátoru C55, který spolu s rezistory R37 a R38 určují časové konstanty AGC. Napětí na kondenzátoru C55 řídí zisk mezifrekvenčního zesilovače a je též využito pro signál S-metru. Zisk mezifrekvenčního zesilovače je 70 dB a rozsah řízení zisku je větší jak 110 dB. Mezifrekvenční zesilovač je napájen jen při příjmu. Obvody AGC musí být napájeny stále.

Zesílený mezifrekvenční signál dále pokračuje do druhého mezifrekvenčního filtru a produkt detektoru.

2.4.9. AF CW FILTER (modul DDS_PD)

NF signál z BFO je přiveden do nízkofrekvenčního CW filtru s vrcholovým kmitočtem 780 Hz a kompromisní šířkou pásma 200 Hz.

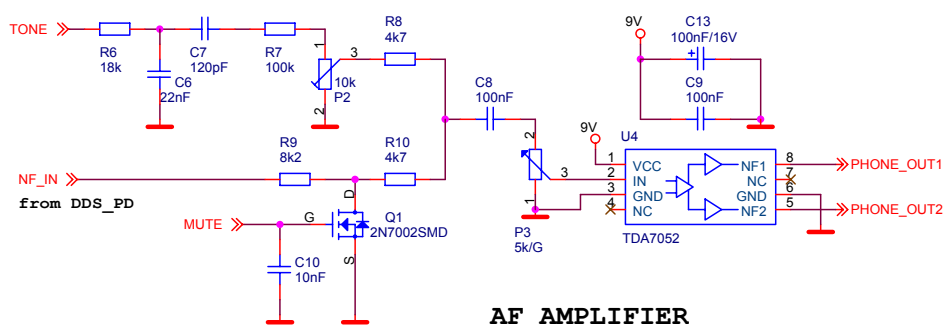


CW filtr je tvořen jednoduchou dolní propustí s U2A, za kterou následuje dvojitá pásmová propust s U2B a U2C. Vrcholový kmitočet jednotlivých pásmových propustí je mírně odlišný, aby propustné pásmo filtru bylo ploché. Jehlový tvar propustného pásma spolu s příliš strmými boky CW filtru způsobuje zvonění filtru.

Výsledný NF signál je zesílen NF zesilovačem a přiveden do reproduktoru nebo sluchátek.

2.4.10. AF AMPLIFIER (modul CPU_NF)

Signál z nízkofrekvenčního CW filtru je přiveden do jednoduchého odporového směšovače R8 a R10, kde se mísí se signálem příposlechu.



Tranzistorem Q1 je signál z CW filtru při vysílání blokován. Signál příposlechu je generován řídicím mikropočítačem a RC články R6, C6, R7, C7 upraví jeho obdélníkový průběh na ucho přijatelnější tvar. Trimrem P2 lze nastavit úroveň příposlechu. Sloučené signály jsou přes regulátor hlasitosti P3 zavedeny do nízkofrekvenčního zesilovače.

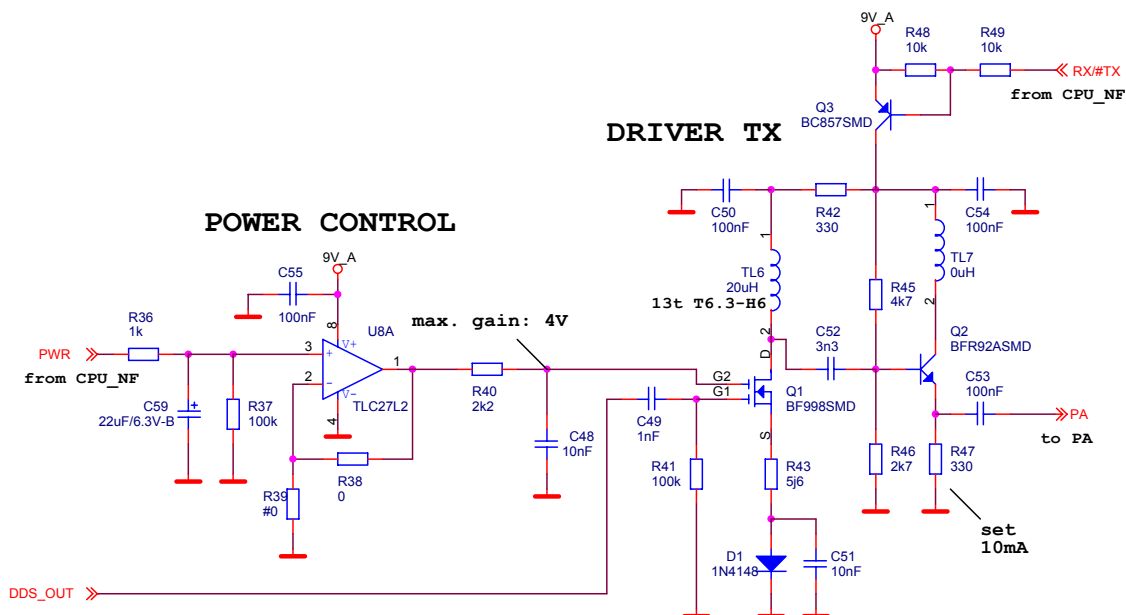
Použitý NF zesilovač TDA7052 nevyžaduje žádné vnější součástky, zabere tedy minimální plochu. Jeho vlastní šum je výrazně menší než u oblíbeného a často používaného NF zesilovače LM386. Mírnou nevýhodou je, že sluchátka nebo reproduktor nejsou zapojena proti zemi, protože zesilovač pracuje v můstkovém režimu.

2.5. Obvody vysílací cesty

Signál z VFO je zaveden do zesilovače s proměnným zesílením.

2.5.1. PWR CONTROL (modul DDS_PD)

Pro potřeby řízení výkonu vysílače je signál z VFO zaveden do zesilovače s proměnným zesílením.



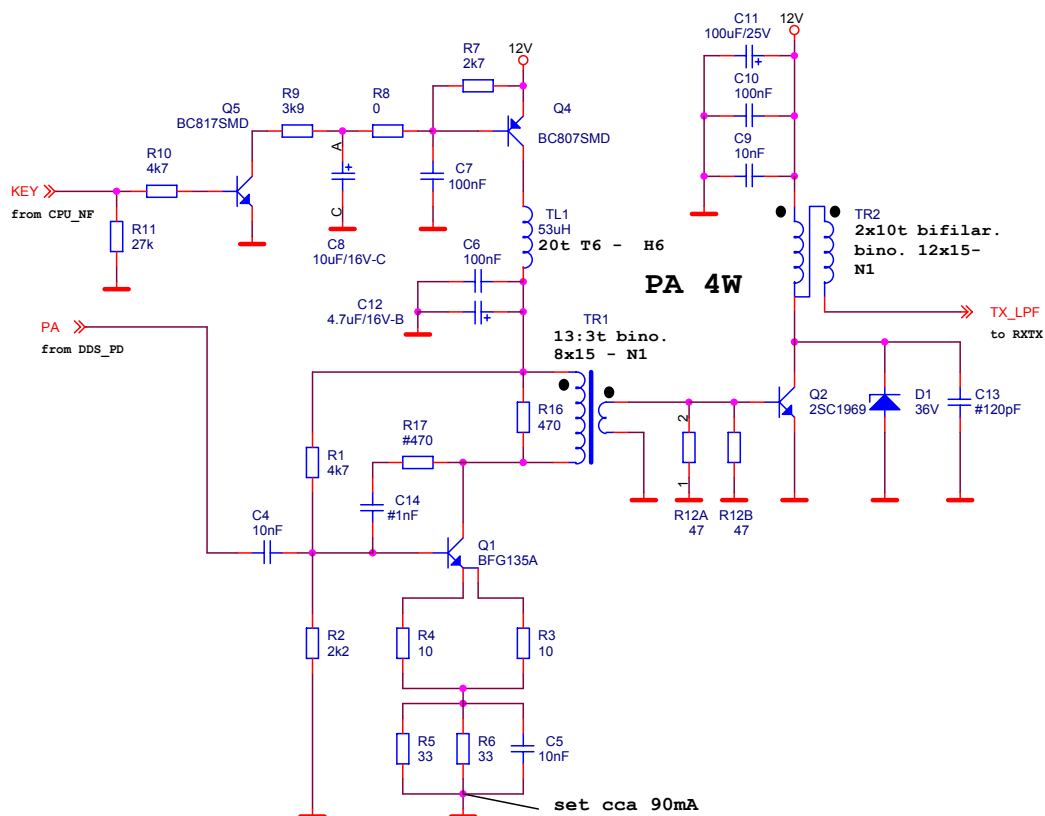
Zesilovač je osazen dvoubázovým tranzistorem Q1, jehož zesílení lze snadno řídit napětím na druhé bázi tranzistoru. Velikost indukčnosti TL6 určuje maximální zesílení zesilovače. Toto řešení není zcela ideální, neboť takto zapojený zesilovač není vhodný pro zpracování velkých signálů. Výstupní signál zesilovače není proto zcela čistý. Vyšší harmonické jsou potlačeny jen o cca 30 dB. Vzhledem k tomu, že koncový stupeň je ve třídě C, lze se s vyšším obsahem harmonických smířit. Za vlastním zesilovačem následuje emitorový sledovač Q2, který zajistí nízkou výstupní impedanci zesilovače.

Napětí pro řízení zisku zesilovače se získává transformací signálu PWM (signál s konstantním kmitočtem, ale s proměnnou střídou) z mikroprocesoru na stejnosměrné napětí. Převod nastává na RC članku R36, C59, R37. Proměnné stejnosměrné napětí je snímáno napěťovým sledovačem U8A a přivedeno na druhou bázi tranzistoru Q1.

Signál s říditelnou amplitudou je zaveden do vlastního CW vysílače.

2.5.2. DRIVER a PA (modul PA)

CW vysílač je zapojen v dnes již klasickém zapojení s koncovým stupněm ve třídě C.



Signál s proměnným VF napětím pro vysílač je přiveden na budič s tranzistorem Q1. Tento stupeň pracuje ve třídě A. Ke stabilitě stupně přispívají neblokované rezistory R3 a R4, které zavádějí zápornou zpětnou vazbu. V případě potřeby je možné zavést kmitočtově závislou zápornou zpětnou vazbu pomocí R17, C14. Výstupní výkon se předává do koncového stupně přes transformátor TR1, který transformuje velmi nízkou vstupní impedanci koncového stupně na vhodnou zatěžovací impedanci budiče.

Koncový stupeň s tranzistorem Q2 pracuje ve třídě C. Výstupní výkon se předává přes transformátor 1:4 do dolní propusti, která odstraní nežádoucí složky signálu, které zesilovače ve třídě C produkují. Dioda D1 chrání tranzistor Q2 před zničením v případě odpojení antény.

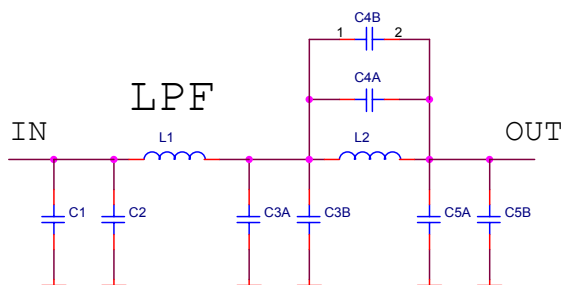
Klíčování vysílače se provádí spínáním napájecího napětí pro budič (Q1) tranzistorem Q4. Hodnotami součástek R7, R8, R9, C7, C8 je tvarována telegrafní značka.

Návrhu vysílače nebyla věnována taková péče jako přijímači a jeho zapojení není úplně optimální, přesto nabídně při 12V napájení více než 5W výkonu na všech požadovaných pásmech při účinnosti 60 procent. Mnohem více by transceiveru slušel vysílač ve třídě E a určitě bude předmětem dalšího vývoje.

Signál z vysílače dále pokračuje přes anténní relé T/R do dolní propusti LPF.

2.5.3. LPF (modul FILTER)

Dolní propust potlačuje nežádoucí produkty vysílače a při příjmu vylepšuje stopband a strmost pásmové propusti BPF na vyšších kmitočtech.



Dolní propust je složena z Čebiševova článku s indukčností L1 a z eliptického článku s indukčností L2. Indukčnosti jsou navinuty na železoprachových jádrech Amidon. Železoprachová jádra snášejí větší sycení než jádra feritová, a můžeme tedy použít menších jader. Použitá jádra mají průměr 10 mm. Feritová jádra, zvláště ty z bývalé produkce Prametů Šumperk, sice lákají k použití kvůli nízké ceně a snadné dostupnosti, ale pro 5 W výkonu by bylo nutné slepit alespoň dvě 10 mm jádra dohromady. I v tomto případě na spodních pásmech bude sycení jádra na hranici možností těchto feritů. Jen připomínám, že přesycení jádra vede vzniku vyššího útlumu, nežádoucích produktů a může dojít i ke zničení jádra. Ačkoli celý transceiver je osazen SMD součástkami, kondenzátory pro dolní propust jsou klasické, a nejlépe slídové. Musí být minimálně na 100V a takové kondenzátory v SMD provedení nejsou běžně dostupné.

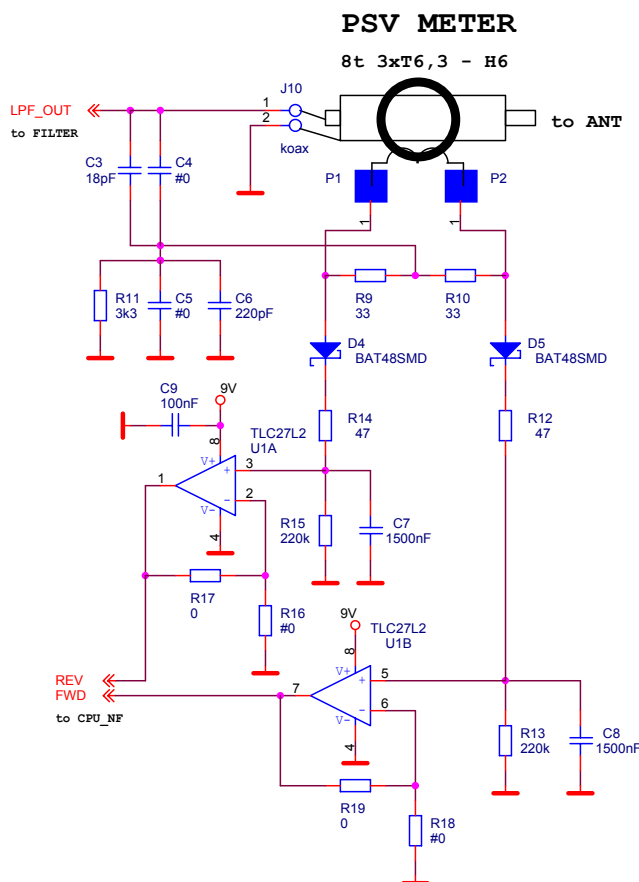
Ještě bych se zastavil u výběru typu zapojení filtru. Obvyklá konstrukce se dvěma Čebiševovými články, známá z konstrukcí pocházejících převážně z USA, má nedostatečnou strmost. Druhou harmonickou signálu potlačuje takovýto filtr v ideálním případě o 32 dB, a to neodpovídá našim povolovacím podmínkám. V USA je požadováno pro amatérské vysílače do výkonu 5 W potlačení nežádoucích produktů minimálně 30 dB. Dva jednoduché Čebiševovy články „s odřenými ušima“ postačují, ovšem nám povolovací podmínky ukládají potlačení nežádoucích produktů minimálně 40 dB bez výjimky. Obvyklou konstrukci se dvěma Čebiševovými články je možné použít za lineární dvojčinný koncový stupeň, který sám o sobě druhou harmonickou účinně potlačuje. Za koncový stupeň ve třídě C, který produkuje velké množství nežádoucích harmonických se v žádném případě nehodí.

Řešením je použití Čebiševova filtru se třemi indukčnostmi nebo použitá kombinace čebiševova článku s článkem eliptickým. Výhodou Čebiševova filtru je, že jej obvykle není třeba doladovat. Eliptické propusti jsou na dodržení přesnosti součástek náročnější. V našem konkrétním případě je naladění snadné. Pokud byl filtr správně navržen, stačí, když změnou C4 nastavíme minimální průchozí útlum filtru. Útlum filtru by měl být pod 1dB. Typická hodnota je 0,6 dB.

Signál z dolní propusti pokračuje do obvodů měření výkonu a PSV.

2.5.4. PSV (modul RXTX)

PSV metr je v klasickém zapojení s jedním toroidním proudovým transformátorem a napěťovým kapacitním děličem.



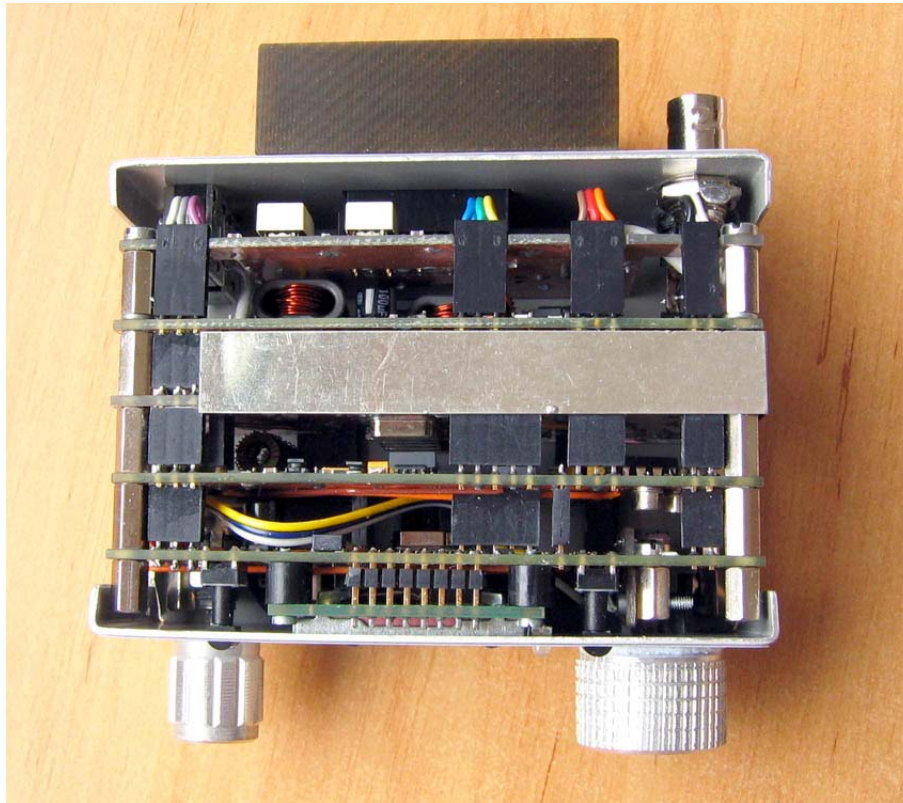
Napětí z můstku odpovídající dodanému a odraženému výkonu, je usměrněno shottkyho diodami D4 a D5 a kumulováno na kondenzátorech C7 a C8. Rezistory R12 a R14 linearizují diody. Výsledná stejnosměrná napětí jsou snímána napěťovými sledovací a přivedena do řídicího mikroprocesoru. Přesto, že řídicí mikroprocesor může nedokonalosti PSV můstku kompenzovat, je vhodné můstek na nejnižším pásmu vykompenzovat. Při připojené zátěži 50 ohmů a maximálním výkonu vysílače nastavíme změnou hodnoty kondenzátoru C6 v kapacitním děliči minimální, nejlépe nulové napětí na signálu REV.

2.5.5. CPU (modul CPU_NF)

Celý transceiver je řízen mikroprocesorem PIC16F877. Pro zobrazování potřebných údajů je k mikroprocesoru připojen dvouřádkový LCD display 2x8 znaků. Pro ovládání transceiveru je k mikroprocesoru připojeno optické inkrementální čidlo a čtyři tlačítka. Analogové signály z jednotlivých modulů (signály PSV metru, napětí AVC apod.) jsou připojeny na vstupy integrovaného A/D převodníku. Signál pro ovládání výkonu vysílače a generování příposlechu jsou připojeny na výstupy integrované PWM jednotky. Ostatní signály jsou běžné digitální signály a výběr jejich připojení k mikroprocesoru byl volen s ohledem na návrh plošného spoje.

2.6. Mechanická konstrukce

Jednotlivé moduly jsou až na výjimky pospojovány konektory typu lámací kolíková lišta – dutinková lišta a v rozích sešroubovány kovovými distančními sloupky výšky 10 mm. Celý transceiver tak tvoří kompaktní celek, který je zabudován do hliníkové skříňky firmy TEKO.



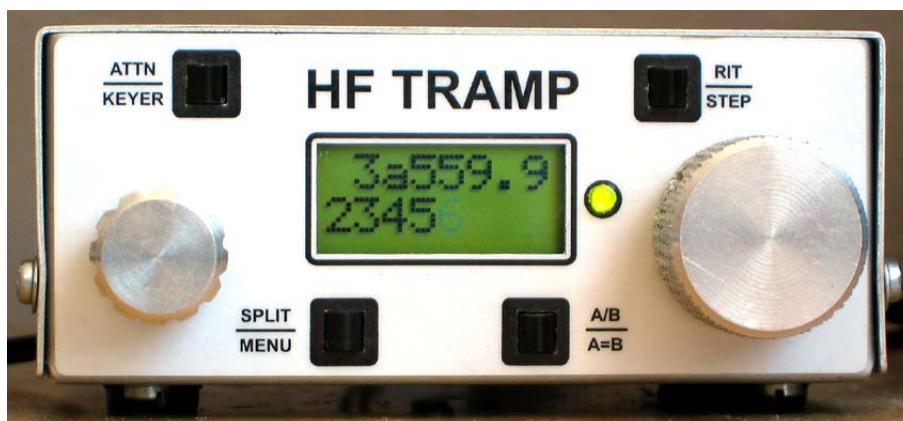
3. Programové vybavení

3.1. Stručný popis ovládání

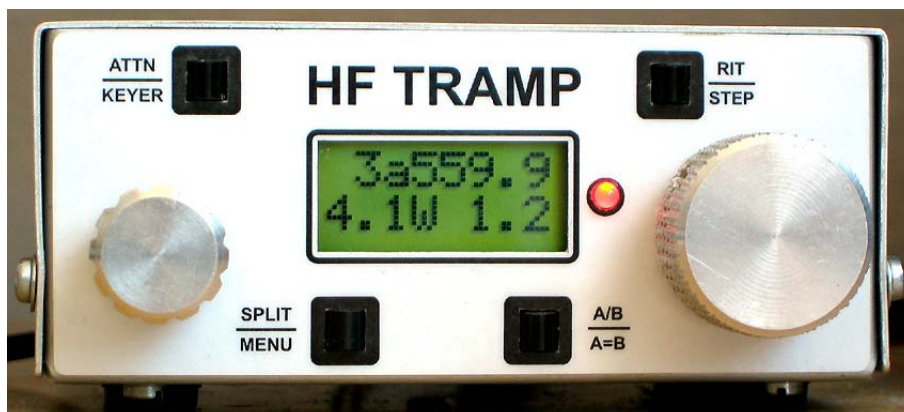
Ovládání transceiveru je jednoduché až intuitivní. Do konektorů na zadním panelu transceiveru připojíme sluchátka, ruční telegrafní klíč nebo pastičku, anténu, napájení a modul FILTER podle zvoleného pásma.



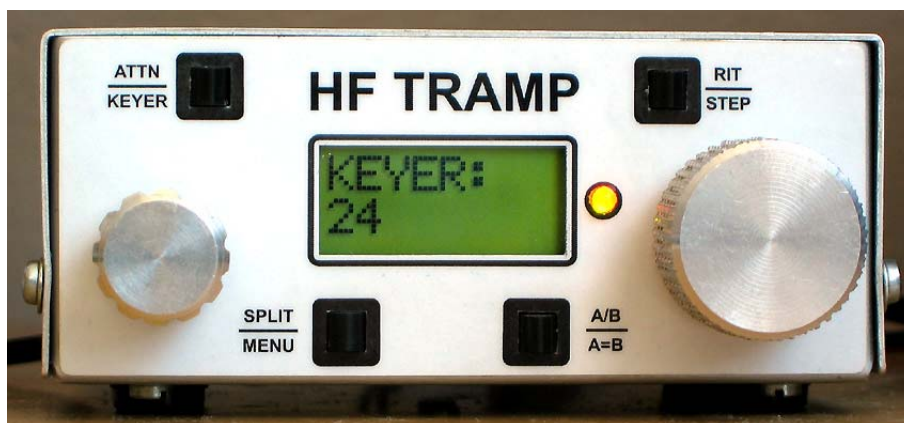
Po připojení napájení se transceiver vždy naladí na hlavní QRP kmitočet zvoleného pásma. První řádek LCD displeje zobrazuje přijímaný kmitočet s přesností 100 Hz. Místo desetinné tečky u řádu MHz je zobrazováno písmeno **a** nebo **b**, označující zvolené VFO.



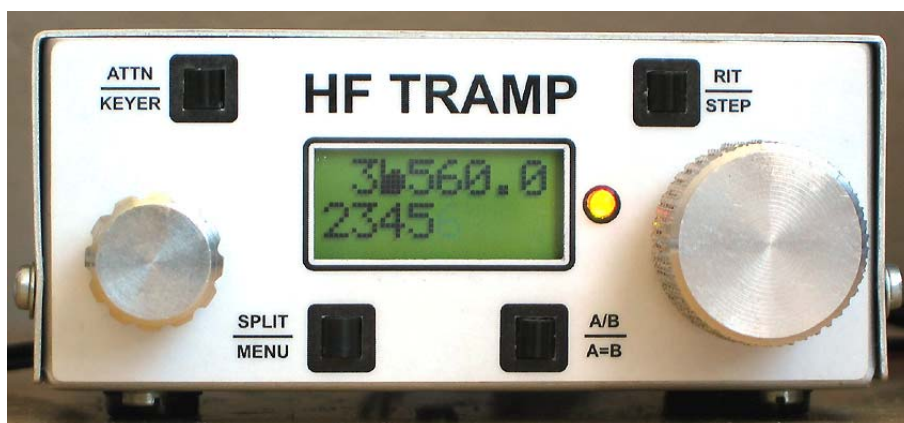
Druhý řádek při příjmu zobrazuje S-metr a při vysílání výkon vysílače a PSV.



Transceiver se ovládá ladícím knoflíkem a čtyřmi tlačítky. Každé tlačítko má dvě funkce. Funkce uvedená v horním řádku popisu tlačítka se vyvolává krátkým stiskem, funkce uvedená v dolním řádku (pod čarou) pak stiskem dlouhým. Funkce se ukončí opětovným stiskem tlačítka. Pokud funkce nastavuje nějaký parametr (např. rychlost elbugu), je v prvním řádku zobrazován název parametru a ve druhém jeho hodnota. Nastavení se provádí ladícím knoflíkem.



Aktivace funkce SPLIT je signalizována vyplněním bříška písmena.



Funkce, které nejsou dostupné přímo pomocí tlačítek, jsou dostupné v menu transceiveru.

Signalizační LED svítí červeně při vysílání. Při příjmu svítí zeleně, pokud není zařazen žádný útlum. Při zařazení útlumu svítí žlutě. LED bliká, pokud je vybitá baterie.

3.2. Popis programu

Program pro mikroprocesor byl napsán v jazyce C pro překladač firmy CCS. Program není jednoduchý a jeho popis by byl velmi složitý a pro řadu radioamatérů nesrozumitelný. Podrobnosti lze nalézt přímo v komentovaném zdrojovém kódu.

4. Oživení

Konstrukce tranceiveru je velmi rozsáhlá a vyžaduje značné zkušenosti v ožívování VF obvodů. Popis konstrukce nelze chápat jako stavební návod. Uvedu proto jen pár poznámek k oživení.

Je výhodné začít stavbu od modulu CPU_NF, abychom získali možnost ovládat funkčnost modulů ostatních. Po naprogramování řídicího procesoru a připojení 5 V napájení by se měl na LCD displeji ohlásit řídicí program.

Budeme pokračovat modulem DDS_PD. Na modulu je třeba naladit nízkofrekvenční CW filtr. Filtr je napájen z 12 V, ale ostatní obvody vyžadují 9 V napájení. Je proto vhodné naladit CW filtr samostatně a prozatím jej vyřadit propojkou. U záznějového oscilátoru je třeba upravit jeho kmitočet tak, aby na jeho výstupu vznikl zázněj o kmitočtu 780 Hz. Střídu obdélníkového signálu pro potřeby směšovače je v této fázi ožívování vhodné nastavit na 50 %.

Budeme pokračovat modulem MIXER_IF. Při osazování je třeba dbát na správné smysly vinutí transformátorů ve směšovači a zesilovači za směšovačem. Na modulu je třeba naladit rezonanční obvody v mezifrekvenčním zesilovači a nastavit AGC obvody tak, aby při signálu o úrovni cca S3, přivedeném na vstup zesilovače, právě začalo docházet ke snižování jeho zisku. Vstupní impedanci zesilovače za směšovačem je třeba nastavit na 50 ohmů. Směšovač je třeba vyvážit změnou střídy obdélníkového signálu z VFO. To se provádí na modulu DDS_PD.

Budeme pokračovat modulem PA. Na modulu je třeba nastavit klidový proud budiče koncového stupně. Po osazení tohoto modulu již budeme celý tranceiver napájet přímo z 12V a můžeme odstranit dočasné vyřazení CW filtru.

Budeme pokračovat modulem RXTX a moduly filtrů FILTER. V jednotlivých modulech filtrů je třeba naladit pásmovou propust pro přijímač a dolní propust pro vysílač. Na modulu RXTX je třeba vyvážit PSV můstek.

5. Použitá literatura

Hlavním inspiračním zdrojem byla dokumentace k velmi dobrým transeiverům firmy Elecraft. Dále pak knižní vydání technických článků vycházejících v anglickém radioamatérském časopise RadCom, firemní literatura firmy Analog Devices a nezapomenutelné knihy Amatérská radiotechnika, ve kterých jsou cenné a dodnes platné informace o správné konstrukci přijímačů pro amatérská pásma.

- www.elecraft.com
- www.analog.com
- překladač jazyka C pro mikrokontroléry PIC <http://www.ccsinfo.com/>
- Daneš a kol.: Amatérská radiotechnika, díly 1 - 4
- RadCom, RSGB: Technical Topics Scrapbook