

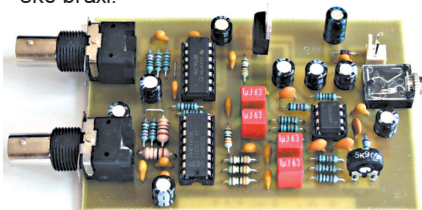
UP konvertor pro experimenty s SDR a DVB-T přijímačem

Ing. Miroslav Gola, OK2UGS

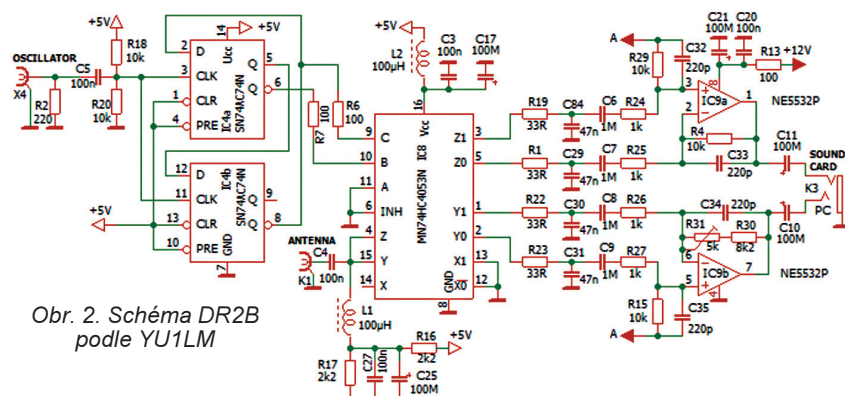
Již několik let můžeme s potěšením sledovat, že se pro nás „bastlíře“ otevřelo nové téma, které opět dává možnost k pestrým experimentům, pokusům na elementární úrovni i ovládnutí těch nejnovějších technologických poznatků v oboru Software Defined Radio (SDR). Softwarové rádio je moderní rádiová technologie, která využívá digitální zpracování signálů, což v praxi přináší značné zjednodušení konstrukce rádiového přijímače. V moderním SDR přijímači byste marně hledali složité vstupní obvody, drahé filtry, běžné v mezifrekvenčních zesilovačích superhetů, žádné detektory nebo demodulátory, plné klasických součástek. Signál z antény je přiveden na vstup rychlého převodníku A/D a digitální data postupují dále ke zpracování výkonnou výpočetní technikou - vše se řeší zpracováním v osobním počítači v prostředí výkonného software, který umožňuje bez dalších zásahů do „hmatatelné“ části přijímače rozsáhlou modifikaci jeho vlastností. Filtraci a demodulaci vykoná příslušný počítačový program. Významnou výhodou příjmu prostřednictvím SDR software je možnost „vidět“ rádiové signály i v okolí aktuálního příjmu na naladěné frekvenci, a i další signály v okolí. Umožní nám to přehledové okno SDR programu (bandskop).

Proč SDR

Za poměrně krátkou dobu se technologie SDR rozrostla do takové míry, že nelze v jednom textu popsat, byť jen stručně, její mohutný záběr. Doporučuji se porozhlédnout po internetu, např. na [1] nalezneme přednášku Ing. Pavla Míška OK7PM, nebo si stáhnout Sborník přednášek - Rádioamaterské setkání Tatry 2008. Jsou zde uvedené velmi podrobné a srozumitelné výčty mnoha detailů problematiky SDR. My se soustředíme jen na malou výseč a popíšeme začínajícím postup jak jednoduše a levně vstoupit do praxe SDR technologie, aplikované v radioamatérské praxi.



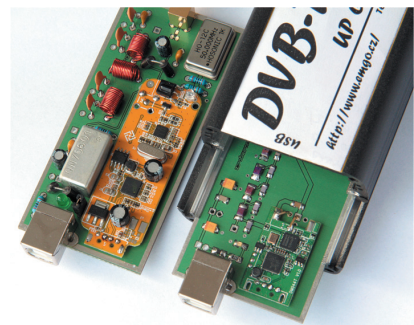
Obr. 1. SDR přijímač DR2B podle YU1LM



Obr. 2. Schéma DR2B podle YU1LM

Na pozvání přátel navštívil v roce 2012 Setkání radioamatérů v Holcích Tasič Siniša - Tasa YU1LM. Tasa [2] je autorem nejen populárních jednoduchých SDR zařízení, známých pod označením DRxx (obr. 1), ale pracoval i na konstrukci SDR transceiveru Genesis pro pásma 160 - 6 m, jehož stavebnici lze zakoupit. Tasoova prezentace na setkání inspirovala mnohé radioamatéry ke stavbě přijímače DR2B a další ke drobným konstrukčním úpravám a jeho SMT modifikacím.

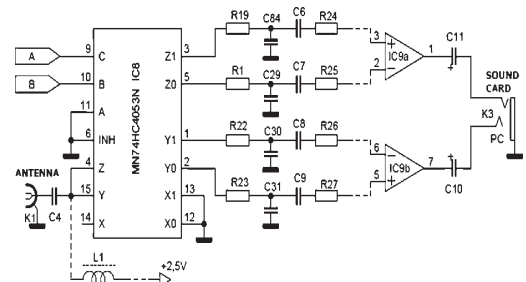
DR2B (obr. 2, 3) je jednoduchý I/Q konvertor s nulovou mezifrekvencí (ZIF) - homodyn, kde je vstupní signál převáděn přímo ve směšovači do základního pásma. V zapojení rádia DR2B se používá vylepšená verze kvadraturního detektoru (obr. 4) Tayloe. Konstruktor, radioamáter Dan Tayloe N7VE obdržel za původní myšlenku na zapojení detektoru US patent [3]. Upravená verze detektoru je osazena obvodem 74HC4053, na jehož vstup přivedeme signál z antény a na výstupu obdržíme vzorky signálů s fázovým posuvem $0^\circ + 180^\circ + 90^\circ + 270^\circ$, které se sčítají v nízkošumo-



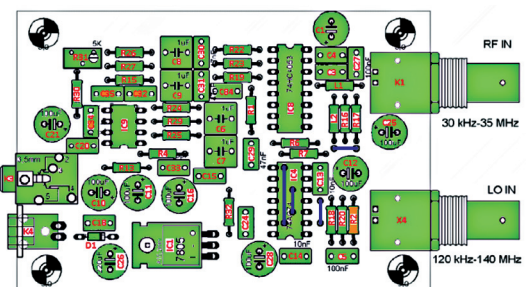
vých operačních zesilovačích. Na výstupu zesilovačů obdržíme signály I (fázový) a Q (kvadraturní), vzájemně posunuté o 90° , které přivedeme na vstup zvukové karty počítače a SDR program jej demoduluje podle námi definovaných podmínek (druh modulace, šířka pásma filtrů apod.). Podmínkou je, aby zvuková karta měla vstup stereo, 24bitové převodníky se vzorkovací frekvencí nejméně 96 kHz. Kmitočet lokálního oscilátoru přijímače DR2B určuje pásmo, na kterém bude SDR přijímač pracovat. Bližší informace naleznete na www stránkách [4] a také v publikaci Tasa YU1LM [5].

SDR bez hardware?

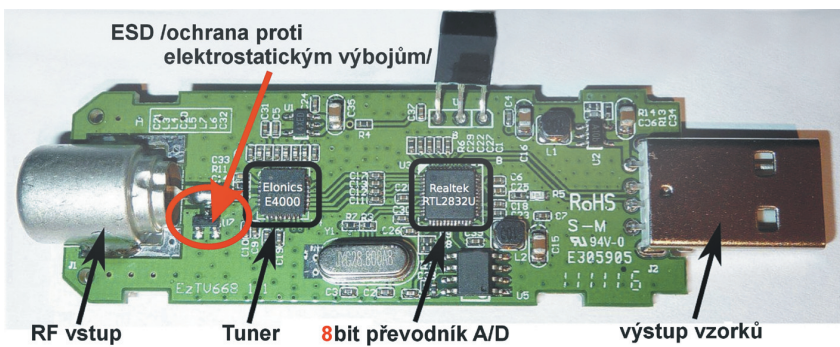
Pro první experimenty se SDR nebudeme potřebovat žádný hardware, postačí nám jen osobní počítač a zvuková karta. Z internetu si stáhneme soubory ve formátu wav [6] nebo <http://www.rfspace.com/RFSPACE/Support.html> [7] jsou to záznamy výstupních signálů I a Q z přijímače, které přivedeme do vstupu zvukové karty osobního počítače. Spuštěním wav souboru v některém



Obr. 4. Schéma vylepšené verze kvadraturního detektoru Tayloe



Obr. 3. DPS DR2B podle YU1LM



Obr. 5. DVB-TE4000 RTL2832U

z SDR programů nahradíme hardwareovou část přijímače a můžeme ladit stanice, přepínat módy a filtry jako při živém provozu.

Zajímavou variantou experimentování se SDR bez hardware je projekt WebSDR, který byl původně koncipován jako prostředek radioamatérů - posluchačů, pro příjem EME signálů, prostřednictvím radioteleskopu s parabolickou anténou o průměru 25 metrů, umístěnou v holandské lokalitě Dwingeloo [8]. První krátkovlnný WebSDR byl uveden do provozu na Štědrý den 2007 v radioklubu holandské University of Twente. Po dalším vývoji byl tento projekt uvolněn radioamatérské veřejnosti v dubnu 2008. Zájem o projekt byl velký a od té doby mnoho amatérů po celém světě vytvářejí a provozují své vlastní WebSDR servery. V Česku jsem si vyzkoušel tři aplikace na adresách z Hradce Králové [9], z Cínovce [10] nebo z Rosic [11]. Vložte do internetového prohlížeče adresu <http://websdr.org/> [12] a otevře se vám výčet SDR aplikací přijímačů ze všech světových stran, které umožňují poslech přes internet z různých lokalit na různých kmitočtových pásmech od velmi dlouhých vln, až po kmitočty v pásmu 10 GHz. Přijímače SDR připojené k internetu umožňují mnoha posluchačům naladit se samostatně a poslouchat různé signály. Každý připojený posluchač může přeladovat pásmo a poslouchat jinou frekvenci.

Přehledový přijímač pro každého

Výčet SDR aplikací v přijímačích nebo transcierech zaplňují www prostor a jejich studiem lze strávit mnoho času, získat řadu inspirativních poznatků pro vlastní konstrukce, které jsou pak podkladem pro práci radiotechnických kroužků dětí a mládeže.

Asi nejmatatelnějším důkazem mého tvrzení je přijímač DVB-T USB Dongle (obr. 5), původně určený pro příjem pozemní digitální televize, který lze

koupit ve více než přijatelné cenové hladině několika stokorun v prodejních s výpočetní technikou nebo na prodejních serverech, například eBay. Jeho zapojením do USB portu počítače, připojením vhodné antény a spuštěním software získáme docela slušný prostor k experimentům s příjmem ráiových signálů až do řádu GHz.

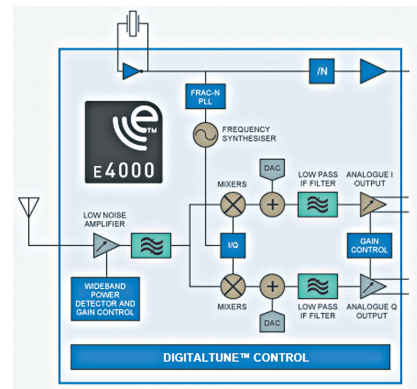
Stručný popis výrobcem nezveřejněných vlastností

DVB-T USB Dongle byly výrobcem určeny pro příjem digitální televize v pásmu VHF a UHF. Avšak netrvalo dlouho a snad jako první (?) si Eric Fry už v březnu 2010 povšimnul možnosti jeho přeladování. Zásluhou vývojáře Linux kernelu V4L/DVB studenta univerzity ve Finské Oulu Antti Palosaariho, který v únoru 2012 poprvé popsal možnost získat surová 8bit I/Q data z obvodu Realtek RTL2832U se radioamatérská obec přiblížila k dalším nepublikovaným vlastnostem. Brzy na to vytvořil Steve Markgraf z OsmoSDR softwarový balíček pod názvem RTL-SDR, pomocí kterého bylo již možné ladit tuner a ukládat získaná I/Q data do souboru.

Tím se rozvinula lavina zájmu, jsou publikovány úpravy samotného přijímače i programového vybavení, informace se šíří napříč internetem v nespočetných variantách. Nejprve se objevily softwarové doplňky, které povýšily modul na přehledový přijímač v rozsahu desítek MHz až po kmitočty řádu GHz.

V DVB-T modulech, které jsem vyzkoušel se nejčastěji vyskytuje čipová sada s Elonics E4000 (obr. 6) nebo nověji s Rafael R820T (obr. 7), ve spojení s převodníkem Realtek RTL2832U (obr. 8).

Čip E4000 nebo R820T jsou digitálně řízené tunery, které vyberou frekvenční pásmo kolem cílové střední frekvence a převedou je na I a Q signály do základního pásma.

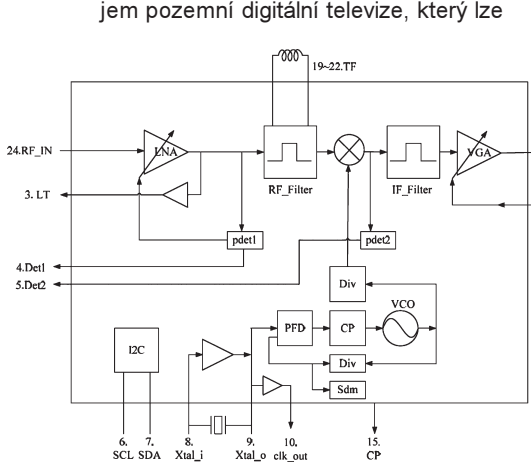


Obr. 6. E4000 blokové schéma

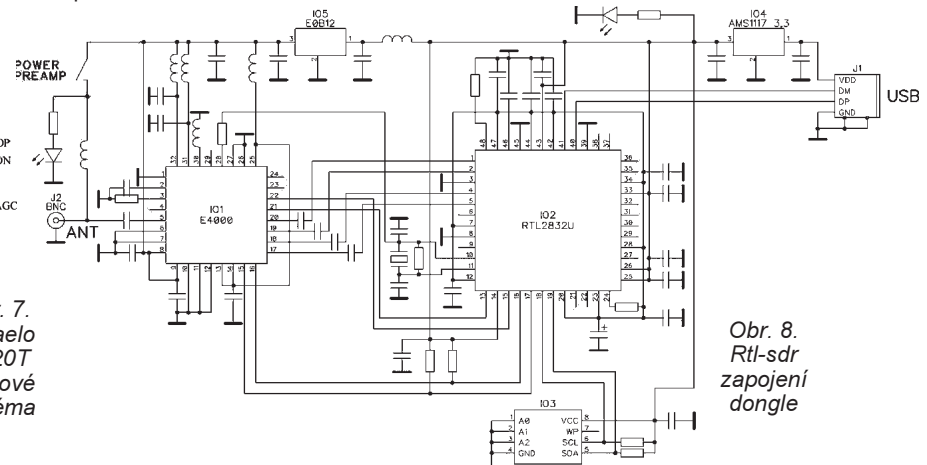
Čip Elonics E4000 lze podle mého přeladovat od 54 do 2200 MHz s mezerou 1100 až 1250 MHz. Čip Rafael R820T má frekvenční rozsah od 24 do 1877 MHz s mezifrekvenčním kmitočtem 3,57 MHz, zatímco E4000 používá Zero-IF. Kmitočtové rozsahy nejsou u různých výrobců jednotné. Anténní vstupy obou čipů mají impedanci 75 Ω.

Oba vstupní čipy se v provozu citelně zahřívají - obvod R820T dosahuje na povrchu pouzdra teploty až 77 °C, při odběru proudu 300 mA, obvod E4000 se zahřívá na teplotu nižší, pouze asi 37 °C, při odběru proudu asi 170 mA. Pouzdro DVB-T COFDM demodulátoru RTL2832U dosahuje teploty až 56 °C. Následkem zvýšené teploty uvnitř DVB-T modulu dochází ke kmitočtové fluktuaci oscilátoru 28,8 MHz. Po zahřátí vykazuje kmitočtovou stabilitu pouze 20 až 30 ppm. Pro běžný provoz není potřeba do teplotního režimu DVB-T modulu nijak zasahovat. Pro úzkopásmový provoz (CW a SSB...) ve vyšších kmitočtových pásmech již je vhodné zavést některý z osvědčených postupů a čipy opatřit miniaturními chladiči, s patřičnými otvory v plastovém pouzdru, nebo vytvořit tepelný most mezi čipy a kovovým pouzdem náhradního kovového obalu přijímače. Na internetu lze najít četné návody, jak se s odvodem tepla vypořádat. Doporučuji video z YouTube [13]. Některá řešení doporučují výměnu prostého krystalu za TCXO, nebo aplikaci externího oscilátoru.

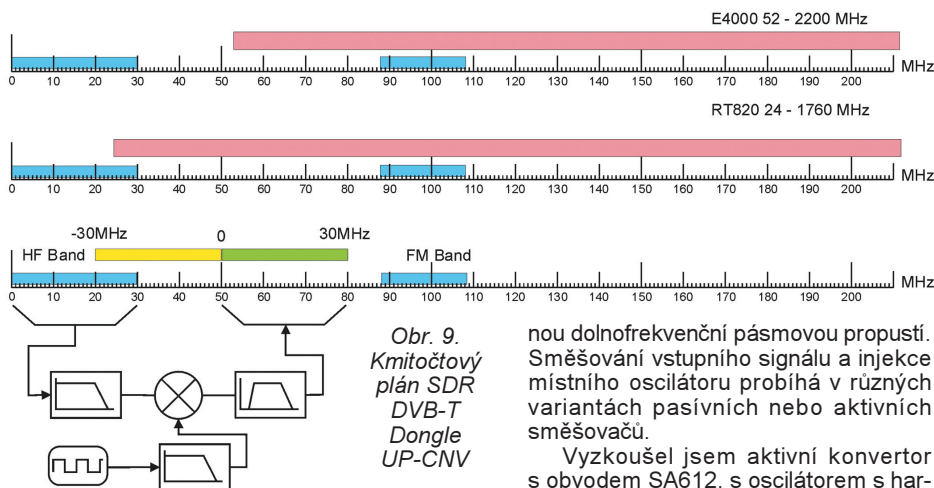
Na tuner je navázán čip Realtek RTL2832U, který slouží jako velmi rychlý 8bitový analogově digitální převodník s maximální rychlostí ADC 3,2 Msp a dynamickým rozsahem 48 dB. Navzorkovaný signál základního pásma převede do hostitelského počítače přes USB2 port. RTL2832U je vysoce výkonný DVB-T COFDM demodulátor, s využitelnou šířkou pásma 2,8 MHz.



Obr. 7. Rafaelo R820T blokové schéma



Obr. 8. Rtl-sdr zapojení dongle



Obr. 9. Kmitočtový plán SDR DVB-T Dongle UP-CNV

DVB-T přijímač ve spolupráci s up konvertorem

DVB-T přijímač můžeme zasunout rovnou do konektoru USB portu počítače a po nainstalování programu připojit anténu a zahájit příjem. V přijímači za několik stovek korun nelze očekávat splnění všech našich představ o SDR přijímači.

Je potřeba si uvědomit, že i sebepokročilejší SDR přijímač musí mít alespoň na vstupu kvalitní analogový filtr a zesilovač. Potom v ideálním případě následuje rychlý převodník A/D, což je zatím celkem problém, proto se ještě používá analogový směšovač (nejlépe dvojité vyvážený) a teprve potom převodníky A/D.

Když se však spokojíme s menším dynamickým rozsahem a omezenou vstupní citlivostí - budeme mít v rukou inspirující nástroj k poslechu rozhlasu, radioamatérského provozu, satelitní komunikace s ISS, příjem meteorologických informací ze satelitů NOAA a mnoha dalších služeb.

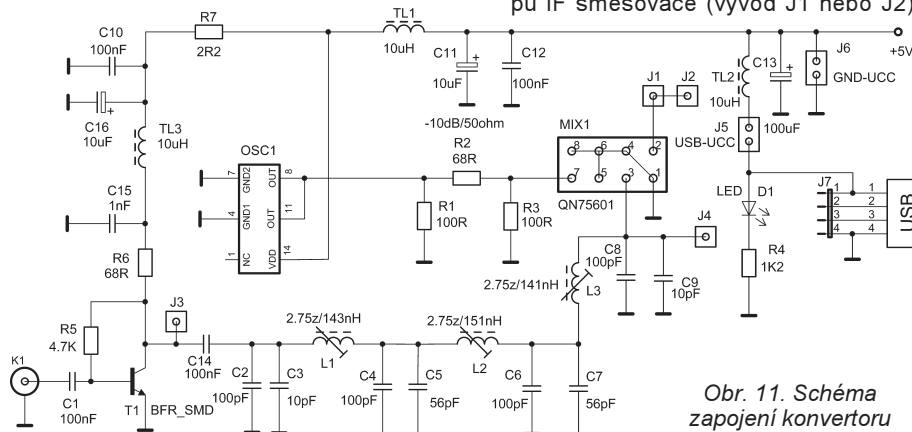
Záhy však zjistíme, že nám přijímač DVB-T neumožňuje obsáhnout kmitočty od velmi dlouhých vln až po krátké vlny, kde probíhá hlavní část radioamatérského provozu. Snadným řešením problému je předřazení UP konvertoru, který vstupní kmitočty z antény převede do pracovní oblasti DVB-T přijímače (viz obr. 9). Nejčastěji je kmitočtové pásmo 0 až 30 MHz převedeno do oblasti 50 až 80 (nebo 120 až 150 MHz) jednoduchým směšovačem s předřaze-

nou dolnofrekvenční pásmovou propustí. Směšování vstupního signálu a injekce místního oscilátoru probíhá v různých variantách pasivních nebo aktivních směšovačů.

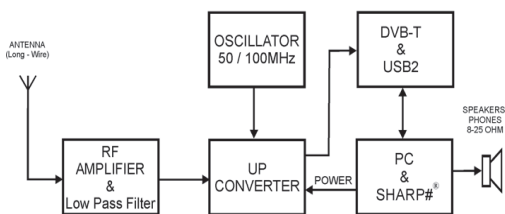
Vyzkoušel jsem aktivní konvertor s obvodem SA612, s oscilátorem s harmonickým krystalem 100 MHz, konvertor s FET tranzistorem BF982 a posléze jsem zvolil konečnou variantu, sestavenou ze starých šuplíkových zásob a součástek s drátovými vývody, s monolitickým oscilátorem 50 a 100 MHz ze starých počítačových desek. Mohl jsem v úvodu zvolit konstrukci postavenou na bázi SMT technologie, ale co pak s těmi zbývajícími součástkami, které pomalu upadají v zapomnutí? Například stále vynikající pasivní kruhový směšovač Tesla QN75601, nebo soupravu vřívky s kovovým krytem 5FF22116, kterou vyráběla TESLA Kolin, určenou před časem pro polytechnickou výchovu mládeže. Je zde ke zvážení i neméně důležitý fakt, že začínajícího bastlíře spolehlivě odradí první neúspěch, který je spojený s osazováním a pájením SMD součástek na miniaturní desce s plošnými spoji. Ale abych nebyl nařčen ze staromilství, dále nabízím i návrh v provedení SMT.

UP konvertor s jednoduchou pásmovou propustí na vstupu

Na obr. 10 si prohlédneme blokové schéma sestavy UP konvertoru a DVB-T přijímače a na obr. 11 jeho elektrické schéma. Signál z antény je přes oddělovací kondenzátor přiveden do báze tranzistoru T1, který jej zesílí asi 4x. Na kolektor je navázána dolnofrekvenční propust' (Butterworth) se zlomovým kmitočtem 30 MHz. Signál ze vstupního filtru přivedeme na RF vstup kruhového směšovače QN75601 a na vstup LO injekci signálu z oscilátoru 50 MHz (nebo varianty, podle vlastního kmitočtového plánu), přes útlumový článek. Na výstupu IF směšovače (vývod J1 nebo J2)



Obr. 11. Schéma zapojení konvertoru



Obr. 10. Blokové schéma konvertoru s přijímačem

obdržíme součtový a rozdílový signál, který je konečným produktem konverze. Součtový směšovací produkt (30 + 50 MHz) zapadá do dnes již nevyužívaného rozhlasového pásma OIRT.

Popis stavby konvertoru

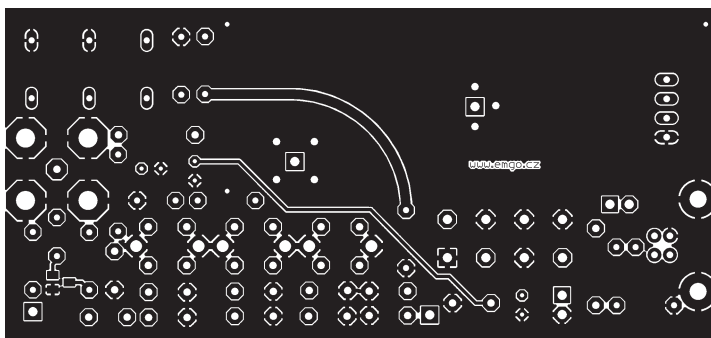
Dříve, než zahájíme stavbu UP konvertoru, doporučuji vyzkoušet funkci vašeho DVB-T přijímače v prostředí původního software dodávaného výrobcem a pak v prostředí vhodného programu pro SDR funkci přijímače. Předem se tak seznámíte s jejich vlastnostmi. Nabudete jistotu, že pokud se při ožívování vyskytne závada, budete ji hledat jen v UP konvertoru. To je zpravidla v situaci, kdy máme k dispozici pouze multimetr a jeden kus DVB-T přijímače, důležitý poznatek.

Stavba konvertoru je velmi jednoduchá, zvládně ji každý začátečník, který je alespoň obeznámen se základními pracovními postupy ve vysokofrekvenční technice a s měřicími metodami za podpory multimetru. Při pečlivé práci nebude potřeba žádných speciálních vřívkových přístrojů, zvláště když budeme sestavovat konvertor z ověřených součástek, ze stavebnice emgo [28].

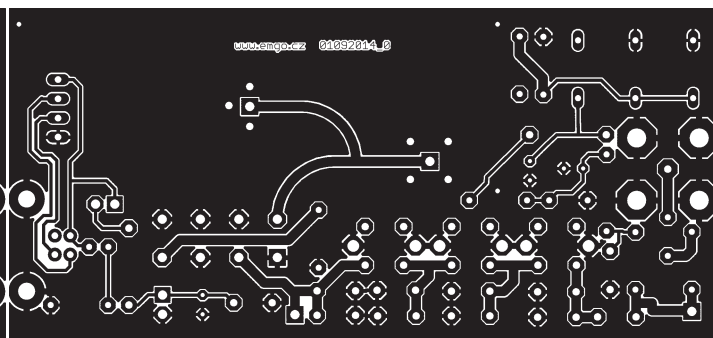
Elementárním základem úspěchu je kvalitní zapájení součástek doporučených hodnot do desky, na jejich předepsané pozice a na šetrné provedení úpravy přijímače DVB-T!!! Právěskly míněné upozornění pro začátečníky: O čas, který ušetříte při rychlém postupu osazování a pájení, pak zajistíte přijedete při nastavování a ožívování. Nedoporučuji pracovat s „trafopáječkou“, ale spíše s mikropáječkou s regulovanou teplotou pájecího hrotu, kterou vyrobíme kvalitnější spoje. Na aukru si lze levně obstarat například starší provedení mikropáječky TESLA ERS50, ke které lze zakoupit sadu pájecích hrotů různých tvarů a velikostí, i speciální hrot, který vám ulehčí vyjímání SMD součástek ze starších desek.

Výchozí inspiraci pro základní zapojení mi poskytl přítel, radioamatér Georgie Smart M1GEO, který jej použil pro FunCube dongle [14]. Jednodušší funkční schéma snad nelze sestavit. Je ovšem dobrým výchozím prvkem pro další experimenty. V první fázi můžeme sestavit zapojení se vstupní dolnofrekvenční propustí, realizovanou na kostičkách v kovových krytech nebo se samonosnými vzdušnými cívkami. Obě varianty mají své opodstatnění.

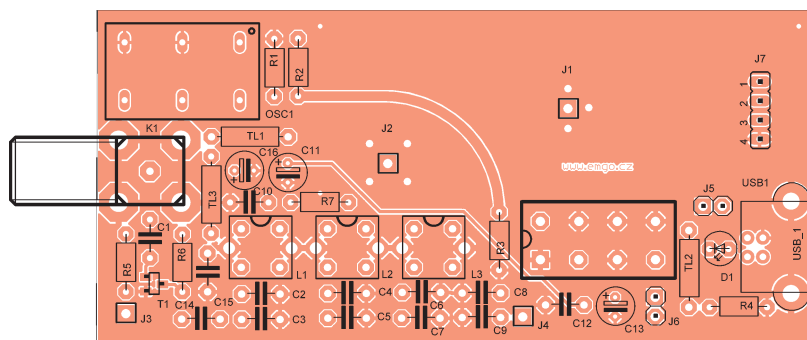
Na obr. 12 a 13 je deska s plošnými spoji a na obr. 15 rozmístění součástek první varianty. Můžeme začít vkládat do desky součástky podle obr. 14 a sezna-



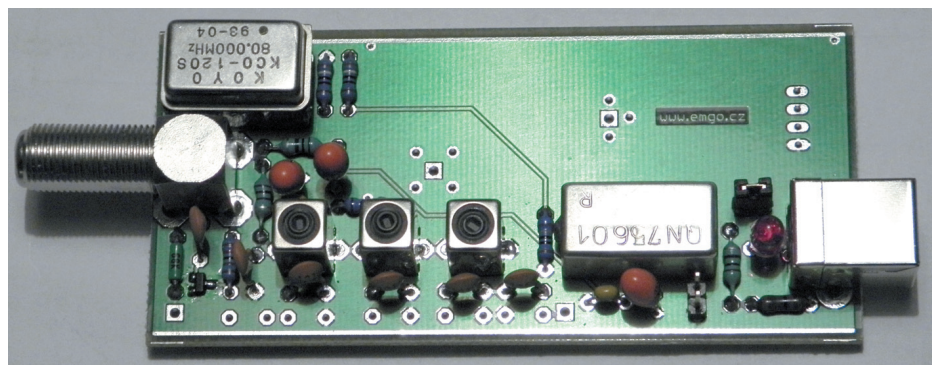
Obr. 12. Deska s plošnými spoji konvertoru - horní strana



Obr. 13. Deska s plošnými spoji konvertoru - spodní strana



Obr. 14. Rozmístění součástek konvertoru



Obr. 15. Fotografie osazeného UP konvertoru

mu součástek. Nejprve osadíme T1, pokud zvolíme zapojení s předzesilovačem. V opačném případě neosadíme rezistory R5, R6 a kondenzátory C14, C15, C16 a tlumivku TL3. Rezistor R7 nahradíme drátovou propojkou, nebo osadíme rezistorem s nulovým odporem. Z konektoru K1 vedeme signál přes kondenzátor C1 do uzlu L1, C2, C3. Dále osadíme zbyváající rezistory, kondenzátory, tlumivky, LED, objímkou pro hybridní modul oscilátoru 50 MHz, směšovač QN75601. Vstupní konektor K1 je typu F a získal jsem ho z tuneru starého satelitního přijímače. Konektor je běžně dostupný i v prodejní síti náhradních dílů (např. HADEX [15]) a hlavně laciný, tak se nám bude hodit do konceptu co nejlevnějšího konvertoru.

Dále si připravíme cívky L1 až L3. Použil jsem kostičky o průměru 5 mm, s Al krytem se základnou 7 x 7 mm, ze stavebnice pro radioamatéry. Na kostičku navineme 2,75 závitů lakovaného drátu o průměru 0,3 mm. Po připájení vývodů vinutí na základnovou armaturu kostičky závitů cívky lehce zalijeme včelím voskem, nebo parafínem. Do kostiček zašroubujeme feritová jádra N05 (Pramet Šumperk - modré). Pokud sestavujeme konvertor ze stavebnice, budeme mít cívky L1 až L3 navinuté

a přednastavené na doporučenou indukčnost. Patříte-li mezi neodbytně zvědavé, nabízí se vám příležitost využít nastavení indukčnosti pomocí přípravku, který si lze opatřit podle veleúspěšné, myslím, že dodnes nepřekonané publikace Miloše Zajíce [16] (nebo v PE 3/1999). Pokud již čítač máte, rozhodně doporučuji si alespoň sestavit přípravek na měření LC, se kterým při nastavování hodnoty v okolí 150 nH hravě naměříte. Po navinutí L1 až L3 nastavíte požadovanou indukčnost cívky v přípravku pomocí feritového jádra v kostičce cívky a pak je zapájíte do desky. Víím, že by bylo zábavnější nastavovat vstup přijímače na pracovišti s rozmítaným vf generátorem, ale kdo ze začínajících elektroniků ho má na svém pracovním stole?

Nakonec osadíme vstupní F konektor (obr. 16) a USB konektor (obr. 17). Na desce nám nyní zůstává volná plocha, která je určena pro vložení DVB-T přijímače (obr. 18). UP konvertor je napájen z USB portu počítače napětím 5 V, které prochází filtry z tlumivek TL1 až TL3 a příslušných kondenzátorů. Před instalací DVB-T přijímače do konvertoru ověříme multimetrem napájecí napětí na propojce J5 (5 V). V bodě J3, naměříme ve verzi s tranzistorem 2,3 V

a na vývodu 14 hybridního oscilátoru 50 MHz, bychom měli naměřit plné napájecí napětí 5 V, ovšem až po propojení J5. Odběr proudu by se měl pohybovat v rozmezí 10 až 30 mA. Je ovlivněn konkrétním typem hybridního oscilátoru.

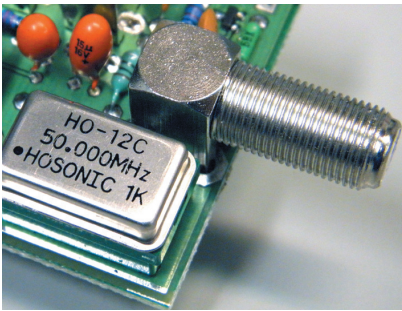
UP konvertor a pásmová propust na vstupu ze samonosných cívek

První varianta konvertoru byla sestavena již před dvěma lety a ukázalo se, že vinutí cívky a jejich pájení na kostičky není právě přitažlivá a zábavná činnost. Proto byla vstupní propust ve druhém vzorku přestavována na samonosné cívky (obr. 19). Pro jejich výrobu použijeme navijecí trn (například dřív vrtáku) o průměru 5 mm a postupně navineme cívky lakovaným Cu vodičem tloušťky 0,5 mm, se závitů těsně u sebe. Tím dosáhneme požadované indukčnosti i bez měřících přístrojů. Dolnofrekvenční propust je konstruována tak, aby nebylo potřeba žádného dalšího nastavování. Prostě zapájíme cívky na svá místa v desce a je hotovo.

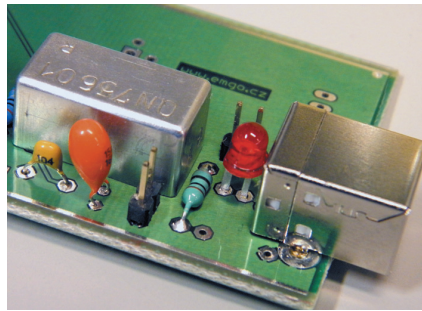
Na obr. 20 až 22 je schéma a deska s plošnými spoji. Rozmístění součástek je na obr. 23 a fotografie osazené desky na obr. 24. Ta se liší od předchozí varianty jen v detailech - pouze na pozicích L1 až L3, je jiný vstupní konektor SMA a není předřazen zesilovač s T1.

Experimentujte s návrhem pásmových propustí za podpory simulačního programu

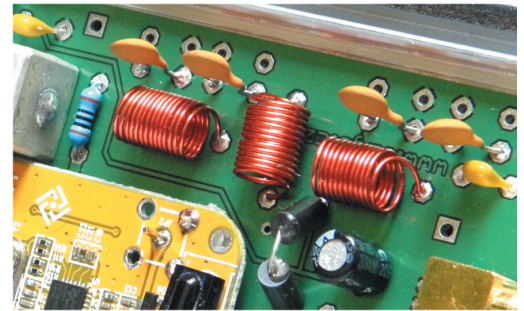
Konvertory na obr. 11 a obr. 20 splňují základní požadavky funkčnosti. Komplexním řešením je pak osazení pásmových propustí na výstup oscilátoru i směšovače, s parametry, zvolenými podle kmitočtového plánu na obr. 9. Pokud se pro dosažení optimální činnosti UP konvertoru máme zájem ponořit do studia problematiky pásmových propustí, tak se nám nabízí řada simulačních programů. Doporučuji si zvolit například RF Sim99 a navrhnout vlastní řešení Program ke stažení je na [17], datový balík naleznete v [32]. Z oscilátoru konvertorů podle obr. 11 a obr. 20 vystupuje signál, jehož harmonické složky ovlivňují výskyt parazitních složek ve výstupním signálu za směšovačem. Takže vzniklo ještě třetí zapojení konvertoru (obr. 25), kde již byly zvoleny pouze



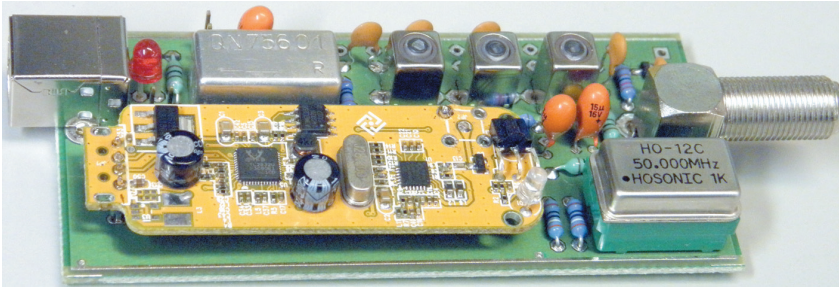
Obr. 16. F konektor a oscilátor



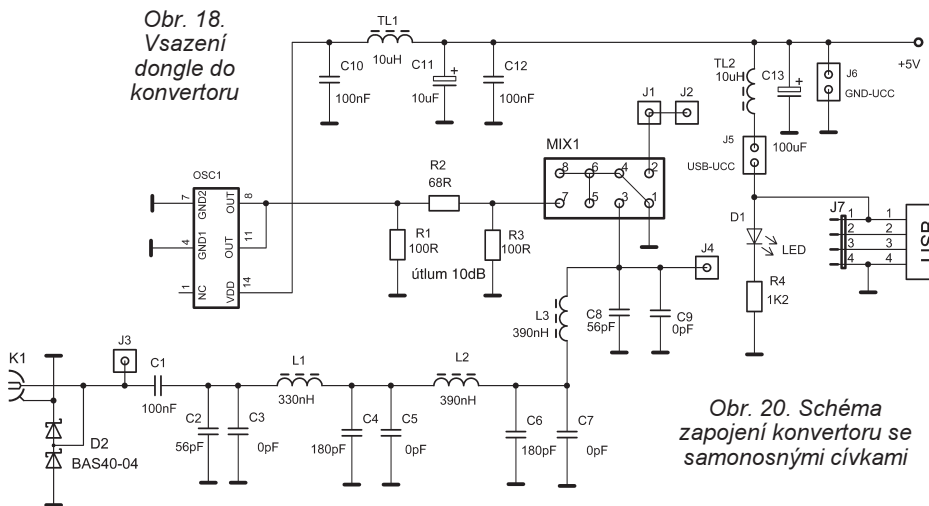
Obr. 17. USB konektor a směšovač



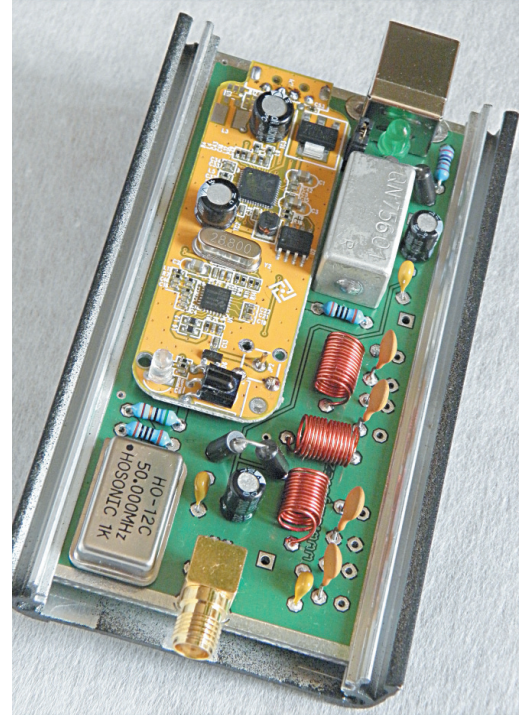
Obr. 19. CNV 2 a samonosné cívky



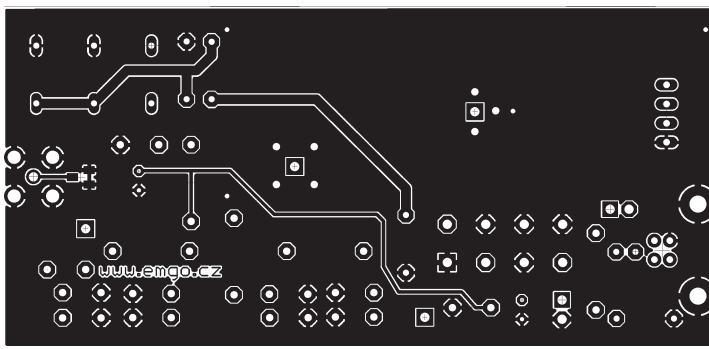
Obr. 18. Vsazení dongle do konvertoru



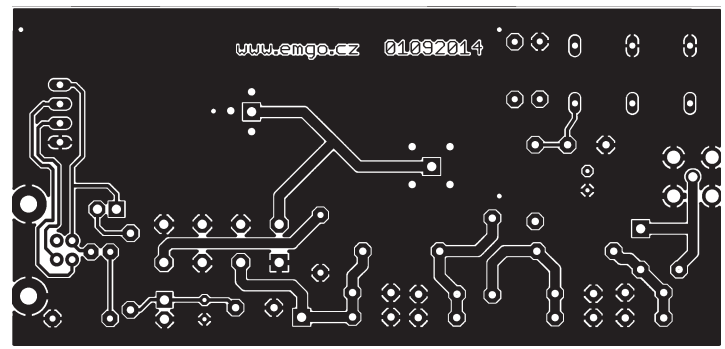
Obr. 20. Schéma zapojení konvertoru se samonosnými cívkami



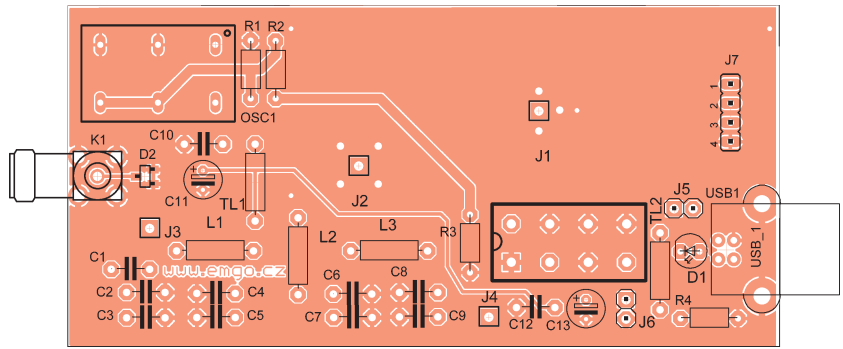
Obr. 24. Fotografie osazeného UP konvertoru se samonosnými cívkami



Obr. 21. Deska s plošnými spoji konvertoru - horní strana



Obr. 22. Deska s plošnými spoji konvertoru - spodní strana



Obr. 23. Rozmístění součástek konvertoru se samonosnými cívkami

SMD součástky, včetně cívek. To proto, že mnou oblíbená krabička BOPLA ALUBOS [18] přijme pouze rozměr desky 45 x 94 mm. Na internetu však také naleznete konstrukce, které využívají větší plochu základní desky a samonosné cívky klasické konstrukce i vývodové součástky. Moduly na základní desce jsou propojovány na signálových cestách stíněnými vodiči. Je to na první pohled trochu chaos, ale přínosný - porozumíte jednotlivým blokům zapojení, můžete snadno obměňovat jednotlivé součástky a sledovat vliv těchto změn.

(Dokončení příště)