Softwarově Definované Rádio v provozních souvislostech

(související proměny přístupu k rádiu – praktický pohled na SDR)

Brno, červen 2012

A. Úvod

Řekl kdysi klasik Seneca: „Kdo chce, toho osud vede, kdo nechce, toho vleče.“ To je motto našeho povídání. Od roku (snad) 1992 se datují první odborné články k tématu softwarově definovaného rádia (dále SDR) pro radioamatérské účely a od roku 2002 se dostalo takové pojetí rádia na stole radioamatéra do komerční polohy. Začalo se prodávat, a tím nastaly na čele vrásky způsobené rozhodováním: jít nebo nejít do toho. Na počátku to bylo snadné. SDR měla své problémy a uživatelským komfortem a parametry své klasické předchůdce nepřevyšovala. Byla zajímavým objektem rádiového a počítačového bastlení. Za dalších deset let jejich dozrávání se situace změnila. Upřesnila se definice SDR. Současné recenze o SDR řešení říkají, že jejich nástup je pro radioamatérskou obec taková technologická proměna, jako byl v poválečné době náhlý přístup ke kvalitativně vyspělé vojenské inkurantní technice. I z tohoto důvodu je škoda stát opodál. Článků a přednášek na toto téma je bezpočet. Našemu pojetí výkladu se nejvíce blíží přednáškový cyklus DARC, který byl volně zveřejněn ve zvláštním čísle časopisu CQDL [44]. My se na problém pokusíme podívat více pragmaticky, jako dychtiví zájemci o použití nových principů v radioamatérské práci. Pokusíme se přiblížit vztah radioamatérů k SDR, k jeho principům a ovládání. Následující článek by měl tento vztah vyjasnit, napravit a umožnit zájemci alespoň trochu seriózní nadhled při případné volbě.

B. Počáteční podmínky

Definice: „SDR je rádio nebo TRX, jehož veškeré funkce a rozhraní jsou definovány softwarem.“ Jak je možné toho dosáhnout? Co nejblíže k anténě signál přeměníme na čísla a ta zpracováváme v počítači matematickými postupy v přirozeném toku času, jak se říká „on-line“.

Příchodem fenoménu SDR byl nabourán letitý princip vnímání zařízení radioamatéra. Úctyhodné zařízení podle takových představ má být přiměřeně velký stroj s širokou možností ovládání a interface. Velký rozměr je příznakem vyšší kvality. K velkému zařízení nepochybně patří velké a dobře citované jméno výrobce. Těch je ostatně jen několik málo, a z těchto důvodů tito vyrábí zařízení od menších až po „vlajkové lodě“, aby uspokojily každého zájemce o značku (to neplatí o Hilberling, ale i Rolls-Royce je potvrzující výjimka). K dobrému modelu rádia patří i dobré umístění v testech a mysli uživatelů po několik let. Parametry rádií jsou sice důležité, ale trochu ustupují přece jen do pozadí zájmu většiny, a to i díky složitosti objasnění jejich významové definice (dle ARRL). Nejsnadněji si umíme představit citlivost. Ta ale k definici kvality nestačí. Něco více si k nim řekneme v kapitole 5.

SDR hardware je stabilní a daný nákupem. Uživatelské vlastnosti i interface však tvoří příslušný software. A tak SDR je nejčastěji vázáno na počítač, a to je také trochu kámen úrazu. Když už počítač mám, není chuť jej měnit, updatovat, přeinstalovávat, prostě jakkoliv měnit. Počítač je ale dobrá polovina SDR (a to ať již je uvnitř nebo venku) a jeho aktualizace je záslužná. Občerstvením počítače a update SDR software zažívá majitel to, co dříve nešlo. Má trvale nové zařízení, a to za to stojí.

Během posledních deseti či dvaceti let se do naší pozornosti dostaly čtyři zcela zásadní fenomény, které musely (anebo by měly) ovlivnit přístup k obvodové technice TRX.

Tím prvním je DX Cluster, který z vyhledávání stanic učinil hon na jednu zajímavou frekvenci, a způsobil koncentraci stanic v užším pásmu a tím spojené inference. To je příčinou složitějšího pohledu na vlastnosti jak přijímače, tak i vysílače.

Druhý fenomén je digitální provoz. Ten je z principiálních důvodů (odstup s/š) úzkopásmový. Tím je dán vysoký důraz na krátkodobou stabilitu VFO, vždyť odchylka 1ppm na 10m pásmu je v podstatě šířka pásma signálu BPSK31. Navíc je zde nutný požadavek i na lineární fázovou charakteristiku přijímače od vstupu po výstup.

Třetí fenomén je závodní provoz s velkými výkony jak do antén se ziskem, tak i do všesměrových antén.

No a podle mě, ten čtvrtý fenomén je nekontrolovaný růst šumového pozadí (snad kromě USA a GB) na HF pásmech. A to jak šumu širokopásmového, tak i selektivního. Je mnoho příčin jak vně QTH, tak i doma, a radioamatér by měl mechanismům rušení porozumět zrovna tak, jako odrušení svých rušících zařízení. Bez toho je snaha o co nejlepší zařízení zbytečná. Výsledkem tohoto fenoménu je konečně i vznik dálkově provozovaných QTH, které umísťujeme na geograficky kvalitní a klidné kóty. Na klasickém rádiu rušení, pokud není slyšet tak není vidět, pouze nechá pracovat AGC a ztrácíme citlivost (MDS). Na nárůstu šumového pozadí se podílíme i sami přebuzením PA, které vede ke splatterům a IM produktům) a QRO do všesměrových antén. Významnou negativní roli v tomto smyslu přidávají i moderní malé spínané zdroje.[45]
Zejména na úzkopásmových módech je zaveden provozní etický kodex k tomu, že zcela úměrně s poklesem šířky pásma snižujeme i ERP. To je ale i věc hamspiritu.

Tímto úvodem jsem chtěl poukázat na komplexnost problematiky a konečně i na obsah tohoto kurzu.

i) SDR, jejich druhy a přístupy k řešení - co umí navíc.
ii) Instalace SDR, konektivita s okolím - jde to i bez drátů.
iii) Jak získávat informace k problematice SDR – diskusní fóra výrobce i uživatelů.
iv) Parametry TRX podle standardu ARRL - zkusíme pochopit kvalitu z čísel.
v) Rušení v QTH - základní myšlenky k odrušování pracoviště a zařízení radioamatéra.

Chtěl bych poznamenat, že se budeme snažit osvětlovat tyto okruhy zejména z praktického hlediska a neřešit příliš teoretické zázemí. Některé vzorce budou uvedeny jen pro lepší a snadnější pochopení souvislostí.

1. Od superhetu k SDR

1.1 Vývoj

Optimální přijímač je vlastně jen konvoluční filtr uzpůsobený k získání a rekonstrukci přenášeného signálu, jehož polohu ve spektru známe. Tento ideál splňovala v počátcích rádia anebo individuálních prvních pokusů krystalka – vstupní filtr, detektor k posunu spektra do základního pásma a dolní propust. Optimální přijímač (filtr + demodulátor) tohoto typu však byl pro praktickou potřebu upravován. Laděné vstupní obvody nemohly dosáhnout potřebné úzkopásmovosti (poměřované spektrem přijímané informace), laděné zesilovací stupně těžko dosáhly potřebného zesílení a akustické měniče na výstupu potřebovaly dodat příslušnou energii. Z této situace vznikl heterodynní přijímač, znamenající zásadní pokrok v příjmové technice, (zesílení, potřebná úzkopásmovosti, dostatek energie k fyziologickému předání informace posluchači). Případné obvodové či principiální nedostatky se odstraňovaly dalším a dalším směšováním a filtry na různé úrovni kmitočtového schématu. Díky tomu všemu však vznikly problémy, které řešíme dodnes (nelinearita, parazitní produkty, intermodulační odolnost, dynamický rozsah, volba přenosové šířky pásma, fázová nelinearita v signálové cestě…).

Jakkoliv se přenosový kanál skládá z přijímače a vysílače, naše pozornost se spíše upínala ke kvalitám RX. Je to přirozené, neboť většinu času posloucháme proto, abychom mohli odpovídat. Kvalita TX, zejména ve smyslu parazitního obsahu ve vysílaném spektru a spektrálnímu šumu ovšem určuje nejenom kvalitu přenášeného signálu, ale tvoří kvalitu šumového pozadí na pásmu.

SDR je z pohledu historických problémů jen úspěšný návrat k optimálnímu přijímači ve snaze zásadně odstranit nelineární efekty, které do cesty signálu přinesl superheterodyn. Struktura SDR je optimálnímu přijímači velmi blízká. Vybraná šířka pásma je co nejblíže k anténě převedena na spojitý sled čísel, které nesou informace o veškeré situaci ve zpracovávaném pásmu s potřebným dynamickým rozsahem. Pasívní filtrace použitá mezi anténou a A/D převodníkem (ADC) musí zajistit korektní podmínky práce převodníku a vybrat z šířky pásma převodníku jen potřebnou část spektra ke zpracování. To ještě není zpracování signálu z hlediska příjmové úlohy. Zpracování přijímaného signálu nastává až ve formě digitálních dat, které produkuje ADC. A to je úloha navazující výpočetní techniky a příslušného software. Programové algoritmy umožní vybraný signál vyčistit, zesílit a korigovat čistě výpočetními prostředky. Tyto algoritmy lze změnou programového vybavení měnit a vylepšovat. Varianty SDR koncepcí probereme dále.

Spektrum v číslicové podobě získané v ADC na vstupu se zpracovává v podstatě off-line takovou rychlostí, že on-line příjem z pohledu posluchače je zaručen. Takový přijímač zobracuje celé spektrum procházející vstupním filtrem a umožňuje v něm posluchači výběr. Je to princip přímé digitální konverze (DDS).

Tento koncept však nemusí být praktický z řady důvodů. Jako varianta je do topologie vložen za filtr transformátor spektra (směšovač), který posune spektrum z rádiového kanálu do základního pásma anebo lépe, na nízkou mezifrekvenci. Aby zpracování signálů bylo jednoduché, a hlavně byl potlačen zrcadlový signál, je výstupem směšovače ortogonální signál I/Q (dvojice identických signálů s posuvem 90 st., prostě sinus a cosinus).

Při opačném postupu, to je při vysílání, náš modulační signál převedeme na čísla, výpočetními algoritmy vytvoříme modulovaný signál a posuneme jej na frekvenční ose do polohy požadované

nosné. Tento konečný tok čísel převedeme D/A převodníkem na analogový signál, který zpracujeme v zesilovači a předáme do antény.

Máme-li tok dat z ADC, je do práce zapojen počítač, který se tak stává součástí našeho rádiového zařízení a současně tvoří provozní interface operátora. Podle konceptu řešení zabírá větší či menší díl práce, vždy je však nezbytný. U jednodušších řešení je využita jeho PC zvuková karta k práci se signálem, jindy tvoří pouze zobrazovač a prostředí pro ovládací program. Jeho kvalita má vliv na kvalitu celého řešení pouze do určité míry. Jisté ale je, že musí v reálném čase obsloužit programové vybavení příslušející SDR.

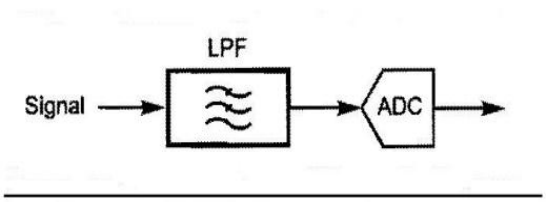
Zapojení počítače do procesu příjmu je pro mnohé frustrující a proto někteří výrobci nezaváhali a výpočetní výkon více či méně do zařízení zahrnuli. Takové postupy na různé úrovni integrity lze najít u všech výrobců dnešních transceiverů, obvyklý je DSP řízený firmware. To ale ještě není SDR. Přesto jsou na trhu SDR s integrovaným počítačem. Na počátku takové integrace byla zařízení jako Kachina 505DSP, donedávna Flex-5000C a konečně v současnosti se o vstup na trh pokouší ADT200A a RDR50B [39].

Softwarově definované rádio je však přece jen o trochu jinde. Připomeňme si, že SDR je koncepce, kde po digitalizaci je veškerá funkcionalita rádia řízena pomocí software. Software je snadno vylepšovatelný a umožňuje trvalé zkvalitňování celého TRX. Vrcholem je dnes řada transceiverů s DDS Flex-6000 [1] anebo profesionální řada přijímačů WiNRADiO Excalibur [2].

1.2 Vývoj topologie SDR

Softwarově definovaný přijímač používá princip přímé konverze pásma anebo jeho části. Tento princip je známý od poslední světové války, dosáhl popularity již v 60. letech. Nejjednodušší přístup převádí vybranou frekvenci do základního pásma. Širokopásmový signál z antény vstoupí do směšovače, kde je injektován signál oscilátoru s frekvencí odpovídající nosné zvolené stanice. Základní pásmo na výstupu je předmětem poslechu. Takto jednoduché to je. Při praktickém návrhu se však musíme detailně zajímat o účelně řešení všech částí od antény až k posluchači. A variant řešení je více. Vychází se přitom z koncepce nám dobře známé topologie superhetu postupným nahrazováním bloků od posluchače směrem k anténě. Při rozlišování typu SDR se musíme zaměřit na to, v jaké části toku přijímaného signálu dojde k digitalizaci.

V první fázi výrobci doplnili digitální zpracování signálu do nf. řetězce. V druhém kroku přenesli DSP do poslední mezifrekvence a zahrnuli do zpracování již i filtraci, filtr šumu, částečně AGC a demodulaci. To je již první smyslný pokus o digitalizaci v řetězci přijímače, který přidával užitnou hodnotu, není to ale ještě SDR. Třetím krokem je přechod k SDR pomocí přímého směšování již na vstupu, transformace spektra (obvykle části radioamatérského pásma) do základního pásma a jeho zpracování. Zpracování signálu probíhá jak časové, tak i ve frekvenční doméně pomocí zvukové karty PC. Poslední formou je přijímač s přímou konverzí celého zájmového spektra (např. KV) [3].



Obr 1: Přímá konverze přijímaného spektra

Na obrázku je nejčistější forma SDR. Je to topologie přímé digitální konverze (DDC). Signál v celé šíři spektra je zpracován vstupním anti-aliasing filtrem a následně převeden na čísla. Směšování probíhá v digitální formě a netvoří parazitní produkty.

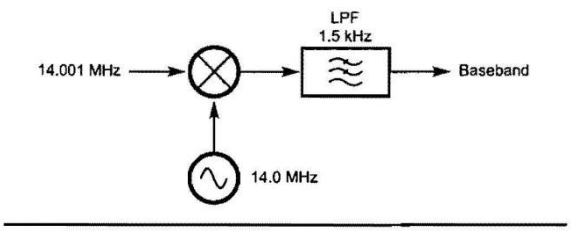
Další zpracování proběhne výhradně pomocí software.

Tento princip je jistě z hlediska výpočetního výkonu možný, je však limitován dynamickým rozsahem ADC a jeho vzorkovací frekvencí a rychlostí procesoru zpracovávajícího celý datový tok.

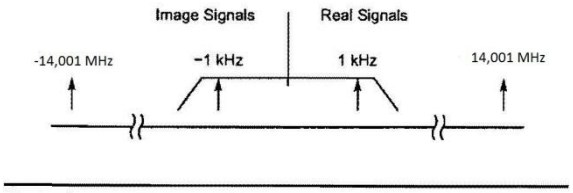
Přeladění = výběr signálu probíhá ve frekvenční doméně výběrem binu v algoritmu rychlé Fourierovy transformace (FFT). Prostě při pohledu na spektrum si vybereme signál či část spektra, kterou chceme přijmout. Matematicky se výběr provádí filtrací spektra pomocí konvolučního filtru (vynásobení spektra maskou). Takové řešení je popsáno detailněji například v [4]. Velmi často proběhne posun spektra v časové oblasti pomocí přeladitelného oscilátoru a směšovače. Tak se sníží nároky na A/D převodník. Ve formě transceiveru je doveden do úspěšného konce jako řada produktů firmy FlexRadio. Vyšší řešení, to je přímý digitální převod celého rozsahu přijímače (DDC), je uplatněn v přijímačích Perseus a WinRadio Excalibur, v TRX u zcela nové produktové řady FlexRadio Flex-6000.

V dalším výkladu použijeme obrázky z článků, které zveřejnil průkopník SDR Gerald Youngblood K5SDR [5] a svém vývoji vybudoval firmu FlexRadio.

Podívejme se na zpracování v SDR detailněji, tedy na část, kde vzniká z radiového signálu vybrané základní pásmo. Oprostěme se zatím od místa řezu v topologii, to je kde končí analogový signál a kde začíná digitální. Ono je to v podstatě jedno. Co lze udělat analogově v časové oblasti, to se zvládne digitálně a poznamenejme, že lépe.



Obr 2: Přímé analogové směšování do základního pásma

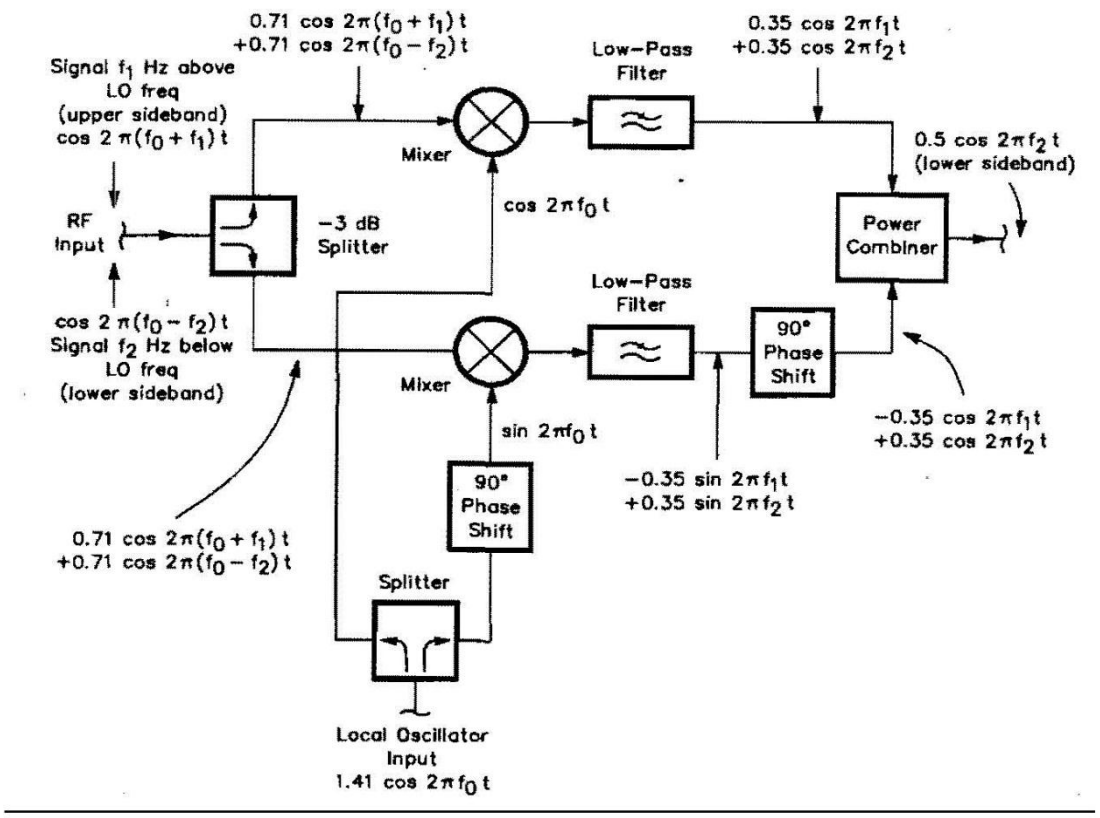


Výstupem směšování je kromě žádoucího signálu i zrcadlový signál

Způsob konverze na obrázku snižuje nároky na dynamické a šumové vlastnosti A/D převodníku. Celé zpracování proběhne v časové oblasti. Každý signál se nám ve spektru ale objeví dvakrát. V dalším zpracování (pomocí zvukové karty PC) se věnujeme odstranění zrcadla a kondici signálu. Tento způsob konverze do základního pásma nedává možnost přehledově zobrazit signály na vf. pásmu.

Vyšší úroveň přináší kvadraturní směšování.

Kvadraturní směšovač přináší základní výhodu v odstranění zrcadlového signálu. Na výstupu je jen jedno z postranních pásem. Kvadraturní směšování zavádí pojem signálů I a Q, které nás budou v dalším textu provázet, a proto se jim budeme věnovat detailněji dále.



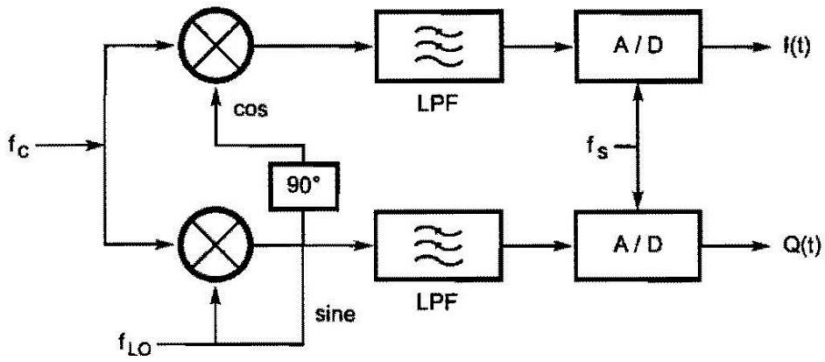
Obr. 3: Blokové schéma směšování s odstraněním zrcadlového signálu. Místní oscilátor generuje na výstupu sinusový a kosinusový signál. Dvojice identických směšovačů vytváří produkty, které po součtu obsahují pouze jedno pásmo LSB. Přesunutím výstupního fázovacího článku do horní větve se generuje USB.

Takové řešení se v počátcích ujalo a ještě i dnes se s ním experimentuje. Je snadné a levné [6]. Tímto způsobem lze snadno dekódovat základní pásmo (rozsah modulačních frekvencí). Hlavním problémem této koncepce je šum a identičnost balančních modulátorů. Zejména však konstrukce z odkazu [6]na dlouhou dobu uchválila CW příznivce a byla vylepšována již s pomocí digitálního signálového procesoru (DSP) [7].

Pokud nahradíme výstupní součtový člen dvěma A/D převodníky, dostaneme se o velký krok dále. V nejjednodušším případě vystačily převodníky v dvoukanálové zvukové kartě běžného počítače. Šířka zpracovávaného spektra je při tomto přístupu obvykle omezena na cca 20 kHz. Zájmový signál ze spektra vybereme matematickým zpracováním, tedy vhodným software. No, a tak je koncept SDR na světě. Na tomto místě experimentují úvodní SDR nadšenci.

Zařazením hardwarových A/D převodníků do topologie SDR se provede významný krok k syntéze přijímače bez kompromisů, ke kterým konstruktéra nutí počítačová zvuková karta. Zbývá rozhodnout, zda přijímač použije přímou digitální syntézu „celého obsahu antény“ anebo provedeme předběžný výběr zájmového spektra směšováním. Obě koncepce mají hlasy pro i proti. Pokud ale bude třeba provést transformaci spektra směšovačem, je třeba hledat takový, který nemá nectnosti klasické éry.

K A/D převodníku patří anti-aliasing filtr, který musí potlačit spektrum o oktávu výše nad zájmovým signálem na úroveň pod rozlišovací schopnost (dynamický rozsah) převodníku. S kvalitou převodníku složitost tohoto úkolu mocně narůstá.

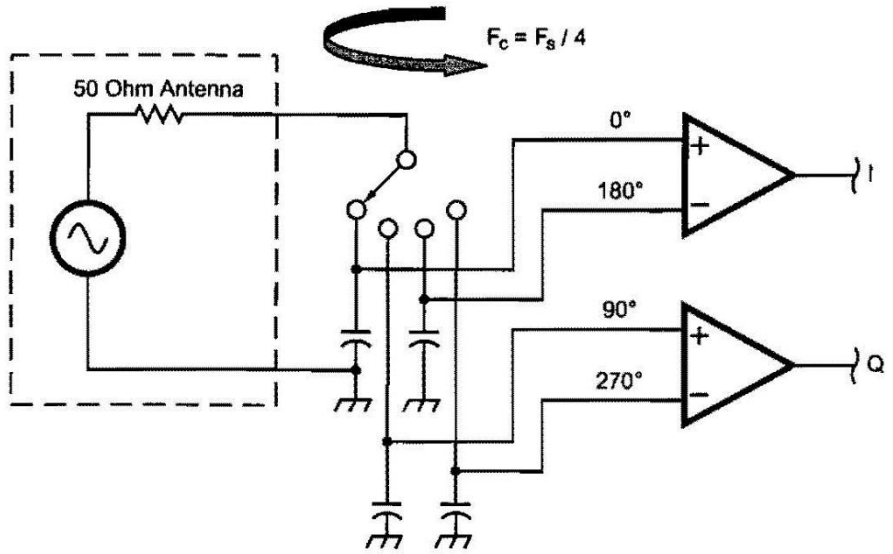


Obr 4: Kvadraturní vzorkovací směšovač. Výstupní produkty směšovačů zpracovávají dolní propusti plnící role anti-aliasing filtrů pro následující A/D převodníky. Výstupy jsou číslicové I/Q kanály.

Šířka pásma dolní propusti na vstupu převodníku plní roli anti-aliasing filtru a současně udává maximální viditelnou šířku spektra.

Velmi poučné stránky k této formě SDR má projekt SoftRock. Zájemce tam najde vysvětlení i úplné stavební návody [8].

Tento, tak často kopírovaný princip, byl ještě dále vylepšován zejména ve zlepšení poměru signál/šum. Řešení nabídl Dan Tayloe, N7VE, jako US Patent #6230000. Vznikl Tayloe Detector, který se stal součástí řešení některých výrobců [9].



Obr 5:Tayloe detektor je dvojitý kvadraturní track-and-hold obvod. Tvoří analogovou paměť pro fáze 0-90-180-270 stupňů. Rozílové zesilovače na výstupu 0-180 generují I a na výstupu 90-270 pak Q produkt pro další zpracování.

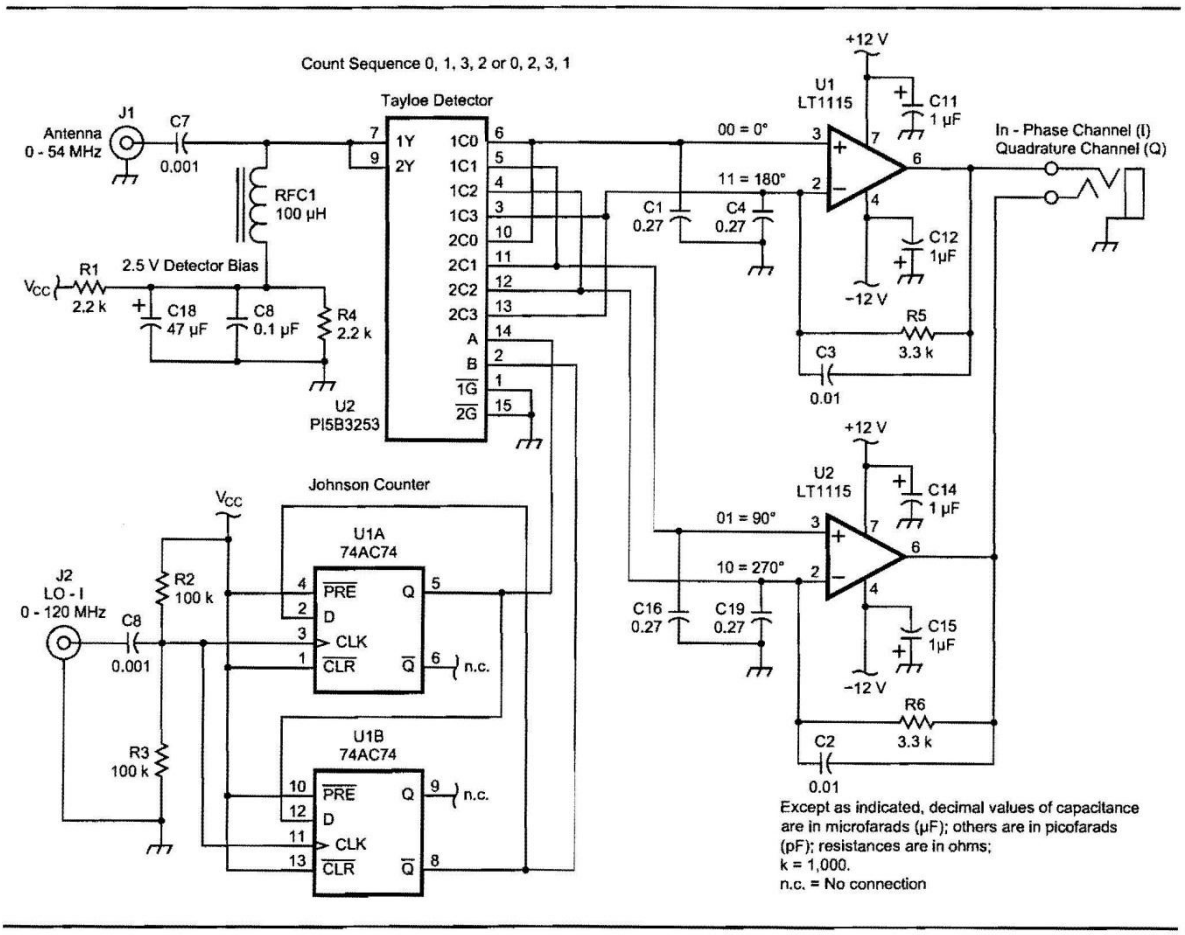
Tento obvod dělá prakticky to samé, jako balanční směšovač, avšak zcela jinak. Nikoliv jako balanční směšovač, ale jako obvod track&hold, známý jako vstupní analogová paměť z A/D převodníků. Vstupní signál je přiveden z 50 ohm zdroje na rotující spínač, na jehož paketech jsou paměťové kondenzátory. Spínač je sepnut na každý z kondenzátorů po čtvrtinu cyklu a kondenzátory po dobu sepnutí nabíjí na střední hodnotu vzorku. Protifázová napětí (0 a 180° a 90 a 270°) jsou sečtena nízkošumovými rozdílovými zesilovači na I a Q výstup. „Otáčky“ přepínače řídí VFO se čtyřnásobnou frekvencí v porovnání se signálem.
Získali jsme tím:
i) dvojnásobnou úroveň signálu tj. 6dB zisk bez přídavného šumu (diodové mixery mají ztráty cca 7dB, toto řešení pouze 1 dB.
ii) dvojnásobek vzorků během periody, vzorkovací šířka pásma dosahuje až Nyquistově frekvenci.
iii) snížení počtu zrcadel snižuje nároky na následné ztrátové filtry a snižuje další ztráty v signálové cestě.
iv) Tayloe detektor v základním pásmu rovněž pracuje jako velmi kvalitní filtr (s R=50 ohm a C=270nF je šířka pásma 5895 Hz a Q=2375)

Tento obvod, kvadraturní signálový demodulátor QSD, je základem produktů Flex a byl použit v SDR-1000 v roce 2003, prvním komerčně úspěšném SDR a stal se základem i další produkty Flex.

Základní schéma přijímače spolupracujícího se stereofonní zvukovou kartou počítače, je na Obr 6.

Jak jsme již řekli, výstupem QSD jsou dva ortogonální signály I a Q. Z principu je jedno z modulačních pásem potlačeno, jak jsme si ukázali výše.

I/Q signály jsou vedeny do A/D převodníků. Rovněž již tento přijímač používá oscilátor, který je na frekvenci posunuté od nosné o nízkou mezifrekvenci cca 11 kHz. Proč taková komplikace ve formě druhého směšování? Odpověď není složitá. Jedním z důvodů je snížení šumového čísla a tím zlepšení dynamického rozsahu. Na frekvencích do 10 kHz dominuje šum typu 1/f (blikavý šum), který roste s konstantní směrnicí směrem k nízkým kmitočtům. Posunutím spektra nad 10 kHz se této šumové složky prakticky zbavíme. Odstranění posuvu po digitalizaci ve frekvenční doméně je proces pouhého odečítání konstanty. Dalším důvodem je, že nám zůstávají k dispozici obě postranní pásma spektra. Na obrázku je aplikace Tayloe detektoru v přijímači Flex SDR-1000.



Obr 6: Praktické obvodové provedení Tayloe detektoru v jednoduchém přijímači

1.3 I/Q

I/Q koncept demodulace a modulace vyžaduje hlubší zamyšlení. Proč dva signály se stejnou informací?

Především platí, že harmonický signál je popsán rotujícím vektorem, rotace probíhá v komplexní rovině a v čase. My si jí s jistým zjednodušením představujeme jej sinusovku, jakkoliv to je průmět vektoru do osy x (reálné) a osy y (imaginární). Máme-li k dispozici úplný vektor signálu, který je právě popsán svým časovým průmětem do dvou na sebe kolmých os (to je sinus a cosinus signálu) můžeme dekódovat jakoukoliv modulaci a rovněž ji z takových signálů vytvořit. Proč je výhodné si ukážeme dále.

Signál I odpovídá cosinové složce (in-phase), signál Q odpovídá sinové složce (quadrature-phase). Z principu jsou obě složky na sebe kolmé.

Obecně můžeme modulovaný signál zapsat jako:

$$s(t) = A*\cos(\omega*t+\varphi) \quad (1)$$

kde A, F a β jsou argumenty modulace. Vždy se může modulací měnit jen jeden.

A - je amplituda harmonického signálu. Pokud se mění v rytmu modulace, jedná se o AM.

ω – je nosná frekvence. Pokud se mění v rytmu modulace mluvíme o FM.

φ – je fázový úhel. Pokud se mění v rytmu modulace, mluvíme o fázové modulaci PM.

Pro trigonometrický rozklad výrazu (1) je možné použít rovnici trigonometrické identity:

$$\cos(\alpha+\beta) = \cos\alpha * \cos\beta - \sin\alpha * \sin\beta$$

Tento výraz použijme na předchozí obecnou definici modulace (1), a dostáváme:

$$A*\cos(\omega*t+\varphi) = A*\cos(\omega*t) * \cos\varphi - A*\sin(\omega*t) * \sin\varphi \qquad (2)$$

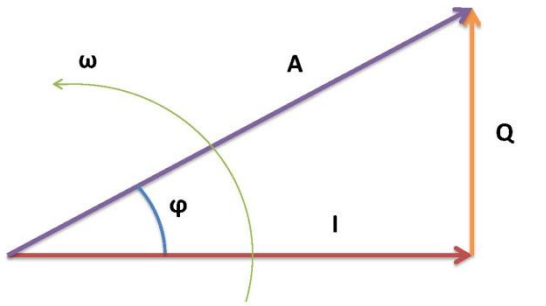
Zavedeme-li:

$I = A*\cos\varphi$

$Q = A\sin\varphi$

získá výraz (2) již srozumitelnou podobu:

$$\mathbf{A*\cos(\omega*t+\varphi) = I*\cos(\omega*t) - Q*\sin(\omega*t)} \qquad \mathbf{(3)}$$



Obr 7: I/Q složky jako modulační komponenty A a φ. Celá soustava rotuje frekvencí nosné ω.

Tento zásadní výraz (3) říká:

i) Obecný výraz pro modulaci lze popsat složkami I a Q, které jsou na sebe kolmé,
ii) I a Q nesou informaci o amplitudové případně fázové modulaci,
iii) AM a PM lze snadno provést změnou amplitudy složek I a Q,
iv) FM lze provést pomocí PM, protože obě modulace jsou svázány vztahem derivace,
v) I a Q svázány úhlem 90° společně rotují v komplexní rovině rychlostí ω. Modulace libovolné radiové frekvence se provede posuvem I/Q na ose frekvence analogovým směšováním nebo v digitální formě posuvem spektra,
vi) Ze vtahu (3) je zřejmé, že jej lze užít jak pro demodulaci, tak i modulaci.

Na závěr snad vzniká otázka, proč tak dokonalý způsob modulace a demodulace nebyl používán dříve. Pokusy modulace fázovou metodou v analogové formě byly dělány již ve 40. letech, zásadním problémem realizace je amplitudová stálost a přesný a neměnný fázový posuv 90° (dříve –45°a +45°) u obou složek oscilátoru. Jakákoliv chyba tuto metodu degraduje. Pomocí digitálního generování signálu oscilátoru je vytvoření stabilního fázového posuvu mezi složkami jednoduchou záležitostí.

1.4 Převod signálu na číslo

Proč máme před A/D převodníkem dolní propust. Co určuje šířka pásma této propustí? Co říká bitová délka převodníku?

Analogově číslicový převodník ADC převádí v diskrétních okamžicích spojitý signál na číslo. O podmínkách převodu spojitého signálu na číslo hovoří Shannonův teorém. Jeho hlavní závěr je, že abychom byli schopni pravdivě rekonstruovat spojitý signál z toku čísel, musíme odebírat alespoň dva vzorky z periody nejvyšší frekvence obsažené v harmonickém signálu. To znamená, že rychlost odběru vzorků (vzorkovací frekvence) musí být alespoň 2x větší, než je nejvyšší harmonická složka ve spektru vzorkovaného signálu. A co víc, abychom byli schopni při rekonstrukci zabránit tvorbě falešných signálů z překrývání segmentů spektra (alias-frequency), musí být vstupní spektrum signálu preventivně omezeno na polovinu vzorkovací frekvence (Nyquistovo kritérium). To je úlohou dolní propusti nazývané anti-alias filtr. Tento filtr musí potlačit vstupní signál na úrovni vzorkovací frekvence pod úroveň rozlišení převodníku. Tvorba takového filtru je nejtěžší úlohou při digitalizaci a v rozhodující míře ovlivňuje kvalitu zařízení (například 16 bit ADC by měl mít na vstupu filtr s potlačením 96dB/oct!).

Dynamický rozsah převodníku je dán jeho bitovou délkou. Protože každý vyšší bit reprezentuje dvojnásobek nižší váhy bitu, reprezentuje v log míře 6dB. Převodník 16 bitů má teoretický dynamický rozsah 16x6=96 dB. Převodníky takové délky jsou obvykle v SDR používány. Dalším parametrem je rychlost převodníku, to je zejména z pohledu maximální vzorkovací frekvence. Již víme, že bez přídavných fines jsme pak schopni přímo vzorkovat pásmo o šířce poloviny vzorkovací frekvence. Kvalitní převodníky rozliší signál až do nejnižšího bitu, prakticky však poslední bit (LSB) ztrácí ve vlastním šumu (škoda 6dB).

Ještě se však vraťme k dynamickému rozsahu. I bez toho, že nám šum ADC může pár (10 dB!) decibelů sebrat, 96 dB výše zmíněného převodníku nám nemusí stačit. Vždy obvyklé přijímače rozlišují (MDS) cca -120dB (to lze sice napravit předzesilovačem nebo útlumem na vstupu), dynamický rozsah (BDR) je u špiček lepší než 100dB. Jak tedy problém řešit? Technologicky je dnes snadnější vytvořit převodník rychlejší spíše než s větší bitovou hloubkou. Tento poznatek je řešením. Efektivního zvýšení dynamického rozsahu dosáhneme převzorkováním (over sampling), a tím dosáhneme decimace šířky pásma (BW). Prostě námi požadovanou šířku pásma signálu budeme vzorkovat podstatně rychleji, než udává Nyquistovo kritérium pro danou šířku pásma. Pak je dB dynamický rozsah převodníku s počtem bitů N dán vztahem:

D = 6,02*N + 1,8 + 10*log(vzorkovací frekvence / BW). **(4)**

Poslední člen ve vztahu je při vzorkování v souladu s Nyquistovým kritériem roven nule. Při převzorkování je ale situace jiná:

Pokud šířku pásma výstupních dat převodníku decimujeme 100x (například z 30 MHz do 300kHz okna), vzroste efektivní dynamický rozsah podle vztahu výše o hodnotu:

E = 10*log (vzorkovací frekvence /BW) = 10 * log 100 = 20 dB (4a)

No, a je tady to, co potřebujeme, decimací vstupního spektra vzrostl dynamický rozsah. O výběr šířky pozorovacího okna se nám v analogové časové doméně postará filtr a digitální formě po transformaci do frekvenční domény (rychlá Fourierova transformace) plus maska, což je snadná práce pro signálový procesor (DSP).

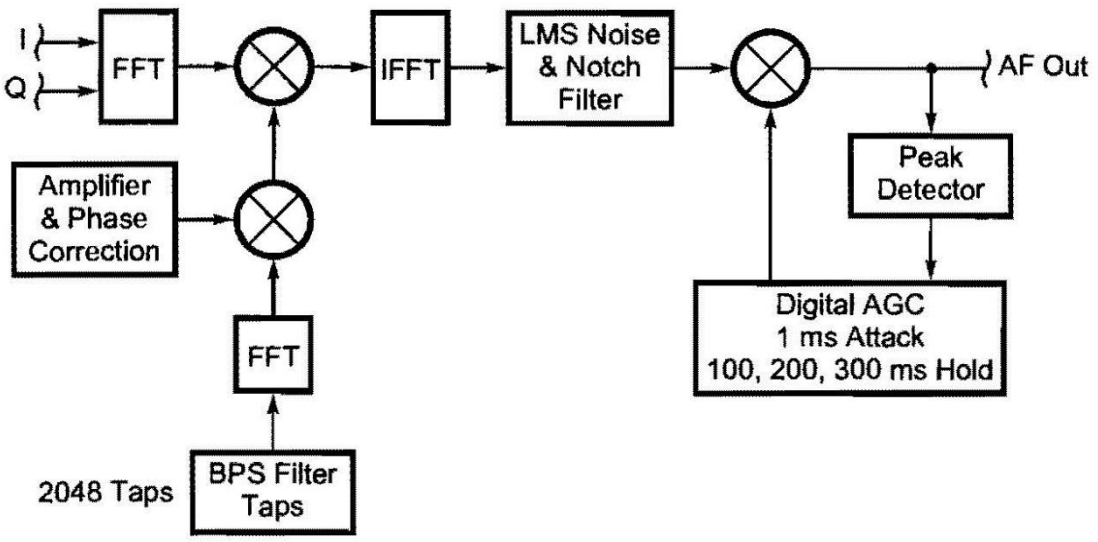
Závěr této části je ale jasný: kvalitu zpracování signálu u SDR rádia dělá jenom pár funkčních bloků: vstupní filtr (a jeho šumové číslo), vstupní atenuátor a zesilovač (dynamický rozsah a šumové číslo),

anti-aliasing filtr a jeho parametry vůči kvalitám převodníku a samotný A/D převodník (délka, rychlost, přesnost). V digitální formě můžeme parametry signálu upravovat a dokonce i vylepšovat jen tehdy, je-li provedena digitalizace v souladu s Nyquistovým kriteriem.

1.5 Co provádí software

V konvenčním rádiu probíhá zpracování signálu v časové doméně. Tato doména odpovídá našim fyzikálním zvyklostem a sledovat signály na osciloskopu je každému přirozené. Na signál se lze ovšem dívat i z pohledu frekvence, která jej tvoří. Lze jej sledovat i zpracovávat ve frekvenční doméně. Každý signál viditelný v časové doméně lze transformovat metodami Fourierovy transformace do frekvenční domény a naopak. Je jisté, že každá z interpretací má své opodstatnění a to nejen teoretické. Je zřejmé, že pokud vidíme z jakých frekvenčních složek ve frekvenční doméně je signál složen, lze snadno tyto složky korigovat. Takové operace však vyžadují on-line matematický výkon během příjmu signálu. To však snadno zvládá druhá půlka SDR a tou je počítač s příslušným software pro SDR.

Aby to měl software jednoduché, hardwarová část mu posílá I/Q signál a informaci o frekvenční ose. Představme si jen základní bloky software seřazené logicky podle výkonu funkce jako blokové schéma:



Obr 8: Struktura zpracování digitálního signálu v SDR software. I/Q signály jsou převedeny do frekvenční domény rychlou Fourierovou transformací (FFT) a následně provedena filtrace konvolucí s matematickým obrazem filtru. Následuje návrat do obvyklé časové domény signálu pomocí IFFT a včasové doméně proběhnou omezení šumu a AGC.

Analogový I/Q signál jsme digitalizovali například ve zvukové kartě našeho PC, takže do výpočtu vstupují dva toky vzájemně souvisejících hodnotových řad časové domény. Tyto řady se přepočítají do frekvenční domény. Ve frekvenční doméně se provede filtrace, filtrace vhodného SSB pásma (případně FM) konvolucí se zvoleným typem filtru. V této fázi je rovněž odvozen adaptér pro přehledové zobrazení pásma (panadapter). Proběhne demodulace posunem spektra do základního pásma. Následuje inverzní Fourierova transformace, kterou získáme demodulovaný signál v časové

oblasti v digitální formě. Následuje zpracování šumu, notch filtr a digitální AGC. Digitální AGC používá pracovní algoritmy odlišné oproti konvenčnímu rádiu. Umožňuje nejen udržovat stejnou hlasitost v poslechovém pásmu, ale při správném nastavení potlačit šum ve prospěch poslouchaného signálu. Na výstupu je D/A převodník, z něhož odebíráme signál k poslechu. Obvykle můžeme poslouchat monofonní audio nebo stereo, kde je v kanálech I a Q výstup.

Ve složitějších a kvalitnějších SDR přijímačů zvuková karta nemůže vyhovět. Její úlohu přejímají v přístroji samém digitální signálový procesor + výpočetní jádro, nyní často realizované pomocí čipu účelového FGPA (Field Programmable Gate Array) – programovatelného pole.

Ovládací software kromě signálových funkčních bloků obsahuje úplné uživatelské rozhraní (GUI) a vstupní a výstupní protokoly pro obvody pro okolí rádia.

1.6 Vysílač pomocí SDR

Zpracování signálu ve vysílači je reciprocitní k přijímači, situace je však zjednodušená. Pracujeme totiž s vyššími úrovněmi. Projděme tvorbu signálu:

i) Příprava modulační cesty: zesílení signálu z mikrofonu a filtrace, sloučení s dalšími nf. Vstupy, digitalizace, signálový processing a ALC,
ii) vytvoření I/Q modulačních signálů pro zvolenou modulaci v základním pásmu,
iii) transformace základního pásma v I/Q modulátoru pomocí nosné,
iv) úprava úrovně v budiči a koncovém stupni,
v) filtrace nežádoucích produktů a výstupní měřící obvody a anténní výstup.

Zahrnutí vysílače do SDR zařízení klade vyšší nároky na komunikaci se spolupracujícím počítačem, který nese programové vybavení pro příjem a vysílání. Kritickým prvkem je fyzické komunikační rozhraní (propojení) mezi zařízením a počítačem. Prakticky se setkáváme s propojením pomocí USB a FireWire. O těchto prostředcích se zmíníme detailněji v kapitole 2.1. Jisté však je to, že kvalita tohoto propojení se zásadním způsobem podepisuje na spokojenosti uživatele s SDR.

Poznamenejme zde, že kritickým faktorem kvality (nejen vysílače) je latence odezvy počítače a jeho komunikačních a výpočetních prostředků. Latenci jsme sice schopni ovlivnit jen určité míry. Latence vychází z podstaty činnosti počítače jako systému. Proto SDR by měl být uspořádán tak, aby jej latence počítače ovlivňovala co nejméně.

1.7 Příklady řešení

Na obrázku níže jsou některá typy současně nabízených hotových přijímačů. Současně je na trhu celá řada stavebnic. Současně je k dispozici řada software pro různé platformy a s různou úrovní údržby a podpory: PowerSDR, Winrad, SDR-Radio, Rocky, SD Radio [10], FlexRadio….

Podle mého názoru, pro pokusy mohu zvolit jakýkoliv software nebo produkt založený a otevřené licenci. Vyžaduje to ale spíše duši experimentátora, kde cesta je cíl. Pro radioamatérskou činnost je třeba jít za hotovým produktem, za kterým je hodně prodejních referencí a má dobrou podporu výrobce a uživatelského fóra.

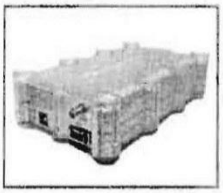
V této části výkladu bych rád zmínil, že příklady uvedené v tomto textu a citace jednotlivých řešení vychází z výrobků a přístupů, které jsou vyzkoušené v radioamatérské provozní praxi. SDR je dnes ovšem, v obecnějším pohledu, samostatným zájmovým oborem sdělovací elektroniky a mimo profesionální sféru vzniká řada konstrukcí a projektů, které buď nejsou komerčně vyzrálé, nebo cílené do radioamatérské praxe anebo kde vyvíjení SDR a jeho software je samotným cílem. Dychtivý zájemce na webu jistě najde mnoho takových projektů a může v nich hledat invenci pro vlastní přístup. Jmenujme zde alespoň některá klíčová slova pro internetový vyhledávač: HPSDR, USRP, FiFi-SDR, easySDR, HiQSDR, All Digital Transceiver, RadioJet…

Obr 9:

SRL QuickSilver QS1R

Rozsah	**15 kHz - 62 MHz**
ADC:	16-bit, 130 Msps
Software:	SDRMAX, Winrad
Web:	http://www.srl-llc.com/
Cena:	USD $799

WinRadio WR-G31DDC



Rozsah:	**9 kHz - 49.995 MHz**
ADC.	16-bit, 100 Msps
Software:	Winradio
Web:	http://www.winradio.com/home/g31ddc.htm
Cena:	USD $899

Perseus SDR

Rozsah:	**10 kHz - 30 MHz**
ADC:	14-bit, 80 Msps
Software.	Perseus, Winrad
Web:	http://www.microtelecom.it/perseus
Cena:	USD $1199

RFSPACE SDR-IQ

Rozsah.	**500 Hz - 30 MHz**
ADC:	14-bit. 66.6 Msps
Software.	SDR-Radio, SpectraVue, Winrad, Linrad
Web:	http://www.rfspace.com/RFSPACE/SDR-IQ.html
Cena:	USD $525

ELAD FDM-S1

Rozsah:	**80 kHz - 30 MHz**
ADC:	14bit, 61,44 Msps
Software:	Studio1, Winrad, HDSDR, WRplus
Web:	http://woodboxradio.com/fdm-s1.html
Cena:	USD $555

1.8 Flex Radio

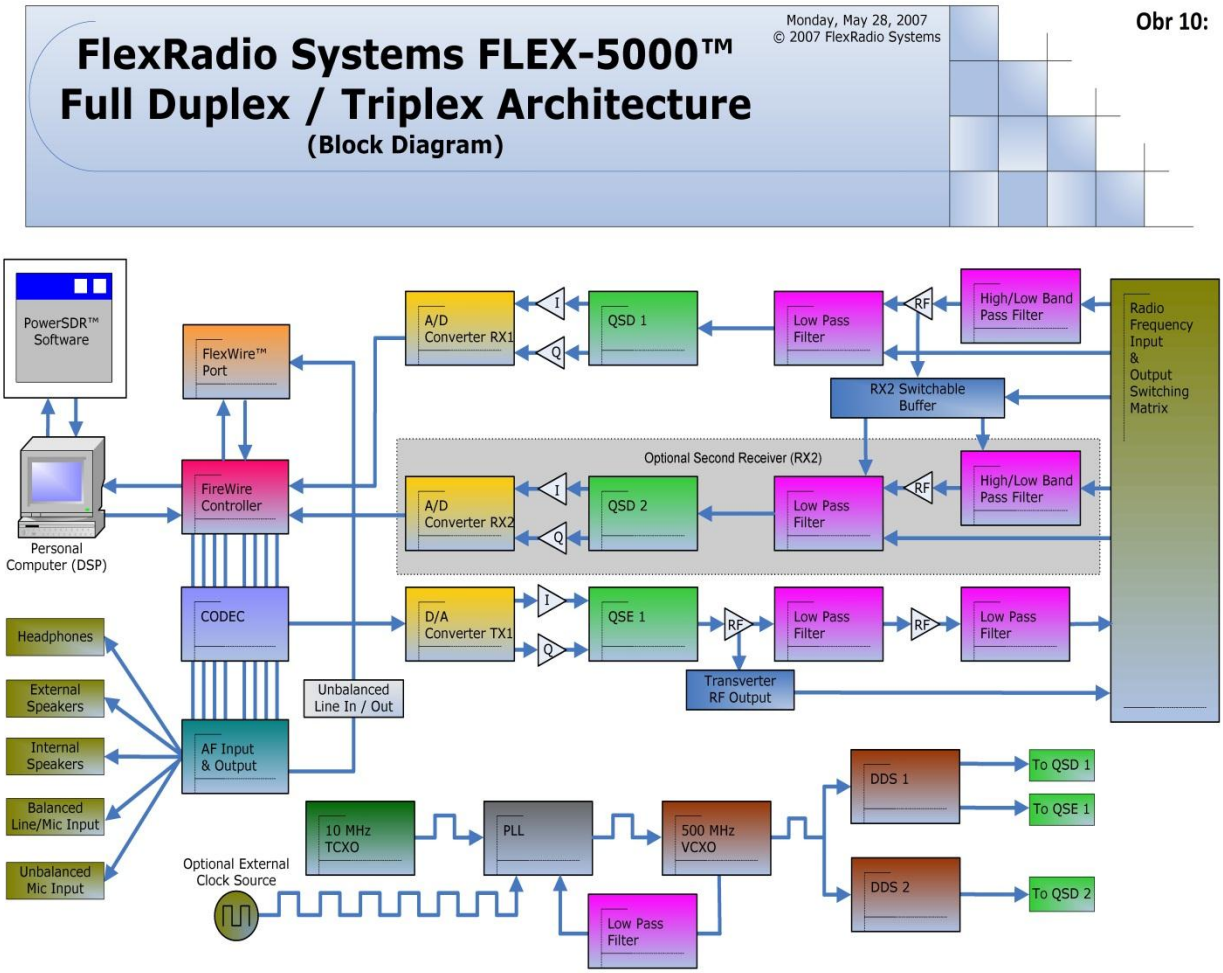
V této kapitole si ukážeme blokové schéma Flex 5000A. Rozpoznáme tam funkční bloky, které jsme již diskutovali. Jednotlivé aplikační otázky probereme v diskusi. Nejjednodušší model Flex-1500 i expediční Flex-3000 mají topologii obdobnou.

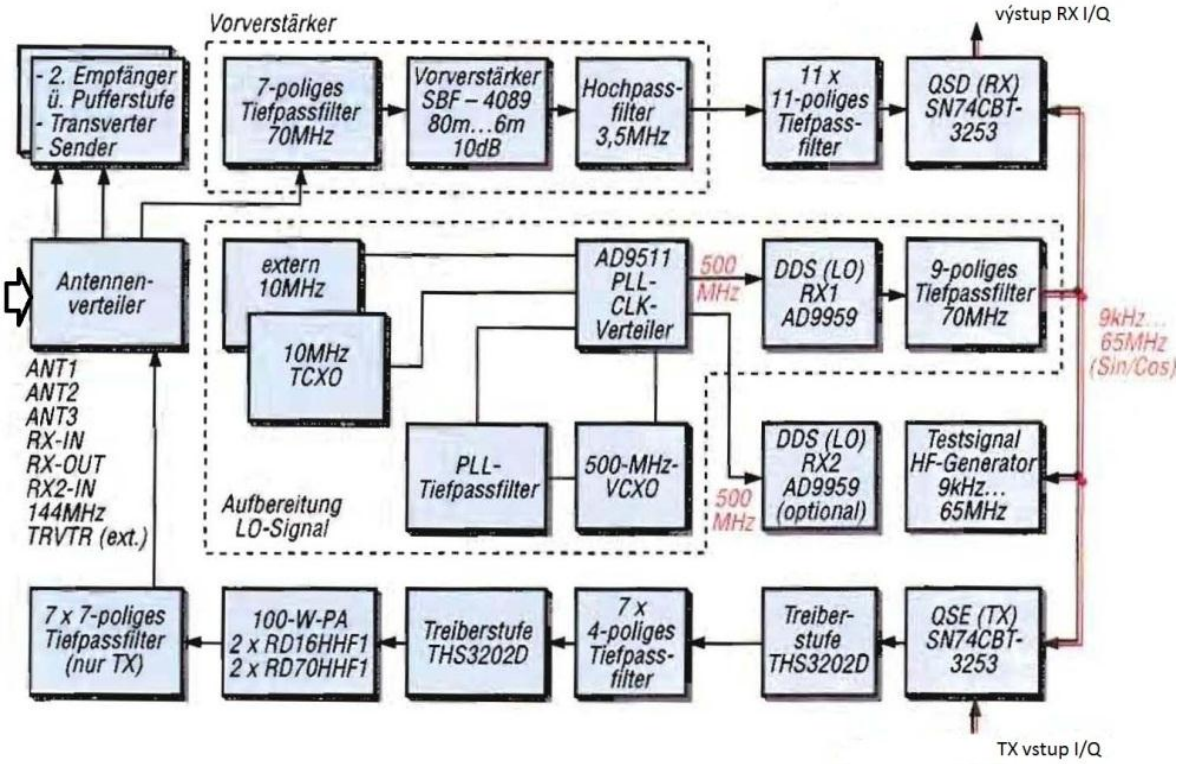
Testy Flex-1500, Flex-3000 a Flex-5000A byly uvedeny jak v QST, tak i RadCom a CQ [11], [12], [13].

Pokud popisujeme nebo zvládáme praxi s produkty FlexRadio, musíme se zabývat ovládáním rádia pomocí software a zajistit interface pro další potřebný software. Pro TRX FlexRadio instalujeme software PowerSDR . Pro konektivitu s okolními programy potřebujeme vybudovat zvukové zařízení Windows pomocí Virtual Audio Cable. Pro jejich připojení do aplikací a rovněž pro propojení řídících signálů potřebujeme virtuální kabely vybavené COM porty. Detaily software, který takovou věc zařídí, jsou uvedeny dále.

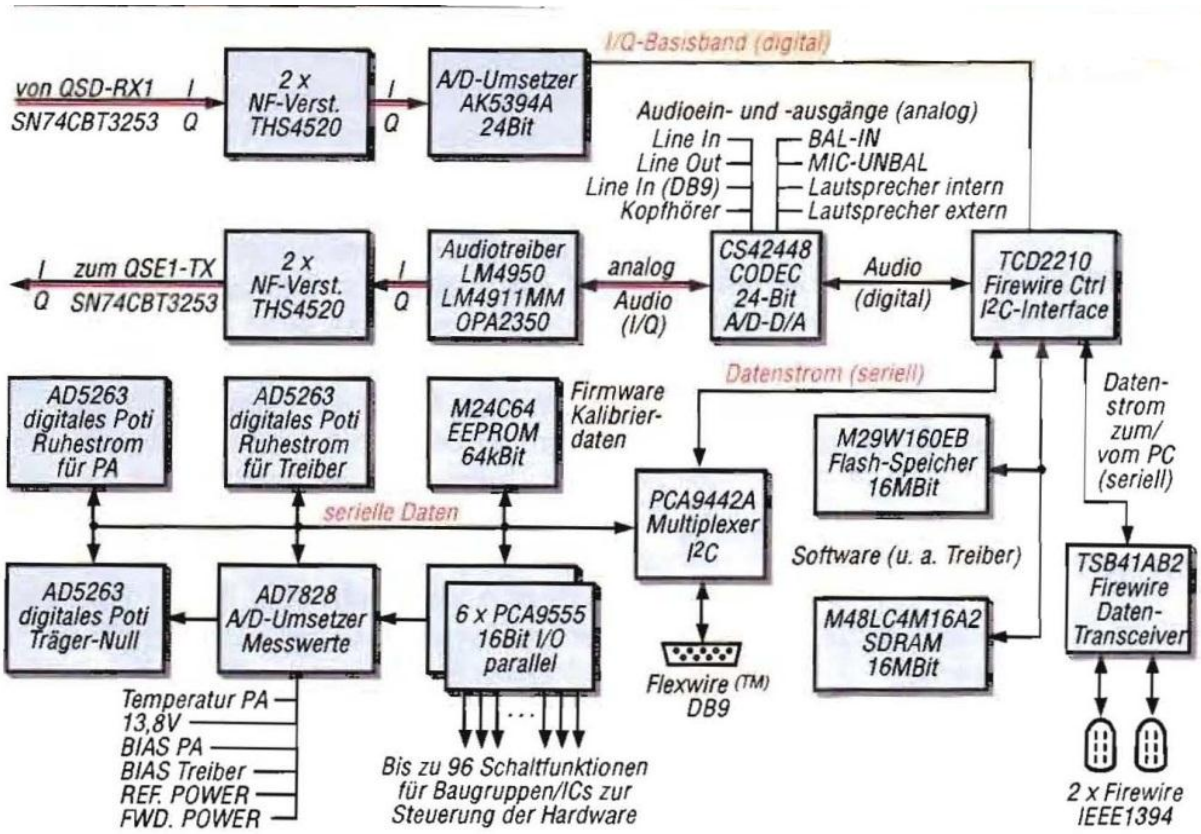
Nyní si objasníme strukturu TRX pomocí blokových schémat.

Obr 10:





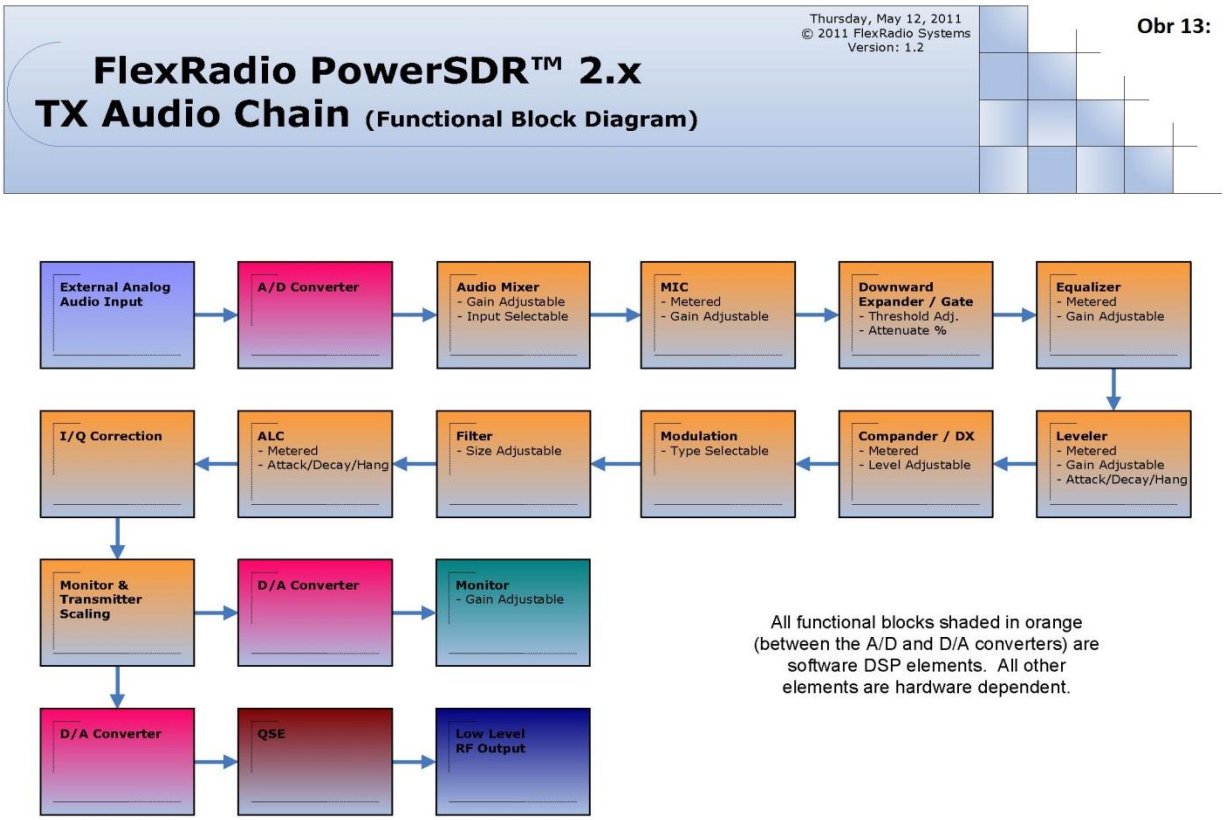
Obr 11: Analogová část RX a TX, VFO



Obr 12: Zpracování základního pásma RX/TX, řídící obvody, PC interface

Na detailnějším schématu z článku [14] evropského zástupce FlexRadio Klause DK7XL je patrné, že zde je použit princip SDR popsaný na str. 7, tj. A/D převod je proveden za kvadraturním detektorem typu Tayloe. Výběr spektrálního okna se provádí VFO stabilizovaným PLL a přelaďovaným pomocí digitální syntézy. Jako převodník je použit špičkový produkt Asahi-Kasei AK5394A [15]. Je to dvoukanálový (I/Q převod současně) velmi přesný převodník s délkou 24 bitů, dynamickým rozsahem 123 dB a vzorkovací frekvencí až do 213 kHz. Je to srdce přijímače a udává jeho základní vlastnosti, tj. MDS, šířku pásma v okně přijímače. Levá část obrázku popisuje front-end TRX zakončený I/Q signály, pravá část zpracování I/Q signálu a interface.

Na následujícím obrázku je detailní pohled na poměrně složitou modulační cestu signálu v software PowerSDR.



1.9 PC a SDR, kde je problém

Problém je jasný. Je tolik rádií, sestav PC, operačních systémů, jejich stavu údržby, aplikačních softwarů a jejich verzí, antivirů, současně běžících aplikací, připojených periferií …..že nikdo nedohledá možnost kombinací které mohou vyvolat problém. Přesto je mezi dobrými uživateli jakýsi standard, ke kterému se na odborných fórech hledá řešení. Tím je aktualizovaný operační systém a průměrná úroveň hardware odpovídající nové verzi operačního systému. Je rovněž vhodné aktualizovat provozní SW. Jistá úroveň zdrženlivosti je ale vhodná. Aktualizovat poté, co jsou zveřejněny na fóru [16] ohlasy na novou verzi. Rovněž je jisté, že i počítač má určité hranice a není prostě vhodné mít spuštěné na jednom PC množství aplikací spolu SDR obsluhou. Kde je ta míra, to si zde ukážeme [17]. Aplikace spojené s provozem rádia často komunikují i mimo počítač anebo během

práce volají jiné aplikace. Proto by měly být instalovány s právy správce a navíc by měly být spouštěny ze statutu správce.

Uživatel by měl:

i) Ujasnit si potřeby SDR z dokumentace výrobce rádia i software.
ii) Ujasnit si komunikační potřeby SDR a software.
iii) Nakonfigurovat interface pro potřebné pracovní a podpůrné programy.
iv) Mít aktuální počítač a operační systém kompatibilní s verzí pracovního SW.
v) Mít v počítači jen takové aplikace, které jako ham provozně potřebuje.
vi) Omezit spouštění aplikací po startu jen na ty které potřebuje.
vii) Dodržovat zásady omezení rušení z kabeláže, zdrojů i sítě.

2. Instalace SDR, konektivita s okolím

2.1 Fyzické připojení SDR k počítači

Jak jsme si již ukázali, počítač a jeho specifické programové vybavení tvoří podstatnou na nedílnou součást systému SDR. Při propojení SDR a PC musíme využít (bohužel) standardní počítačové porty, protokoly a související procedury operačního systému.

i) Připojení I/Q signálu k dvoukanálové zvukové kartě. Tento způsob používají jednoduché konstrukce zejména přijímačů. Datový tok musí být omezen na šířku pásma zvukové karty, obvykle 20 kHz. (vzorkovací frekvence 44100 Hz). Jsou sice profesionální karty se vzorkovací frekvencí až 192 kHz, tudy ale vývoj SDR nevede.

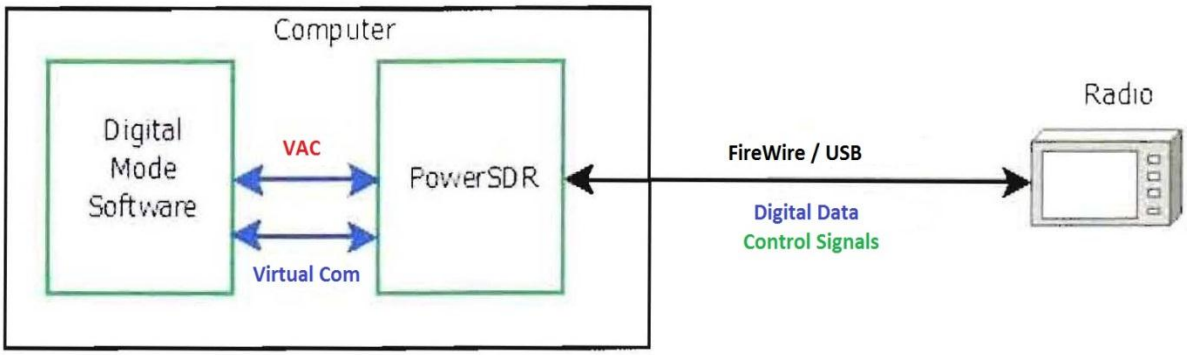
ii) Připojení USB. USB je rychlé sériové rozhraní, které je součástí každého počítače. Dnes se setkáváme s verzí USB 2.0 a 3.0. Rozhraní USB 2.0 může pracovat rychlostí až 480 Mb/s, tato rychlost je ale dána řadiči, který přiděluje „kvóty“ jednotlivým portům. Zkrátka řečeno, reálná rychlost nepřesáhne 240 Mb/s. Zdá se vám to třeba dost, to ale nestačí. Představme si SDR přijímač Excalibur WR-G31 [2], který vzorkuje šířku pásma takřka 50 MHz pomocí 16 bitového převodníku rychlostí 100Ms/s. Vzhledem k tomu, že takový datový tok USB 2.0 nepřenese, spektrum se omezí převzorkováním na šířku pásma maximálně 2 MHz podle volby uživatele. I tak je to na mezi možností tohoto rozhraní. Takovou techniku používá většina výrobců (Perseus, Excalibur, Flex-1500, QS1R a další. Velkým problémem rozhraní USB však není pouze rychlost, ale protokol, komunikace se systémem počítače. Nechci zabíhat do složitostí, ale je třeba vědět, že důsledkem je jev zvaný latence. Prostě občas rádio musí počkat, než jej a jeho datový tok počítač obslouží. Posluchač tento jev může vnímat jako výpadky (pops) nebo zkreslení signálu. To by se snad dalo snést, pokud ale tento jev vzniká na vysílací straně, je to vážný problém pro CW a digitální provozy. Není to vadou zařízení, ale vlastnostmi anebo nastavením přenosového protokolu v podmínkách daného počítače a jeho operačního systému, jakož i zatížením ostatními aplikacemi. Problém latence komplikuje i potřebnost současného přenosu řídících signálů jako je PTT, CW, atd.

iii) Připojení pomocí FireWire [40]. FireWire je rychlé sériové rozhraní dosahující minimální reálné rychlosti 400 Mb/s (standard 1394a). Rozhraní bylo vyvinuto pro

vysokorychlostní přenos dat pro datová úložiště a videosystémy a širokopásmové audiosystémy. Firewire dosahuje (oproti USB) rychlejšího a hlavně systémem nepřerušovaného datového toku, což je právě pro aplikace v SDR transceiveru klíčové. Pro FireWire je vyvinuto několik čipových řad a ne každá z nich je vhodná pro SDR. Je třeba si uvědomit, že komerční doménou rozhraní je přenos videa a střih. Na tento formát jsou zaměřeny čipové sady VIA. Ty pro aplikace SDR nejsou vhodné. Pro použití v SDR jsou bezproblémové čipové sady Texas Instruments. Je výhodnější, je-li FireWire port na samostatné PCI kartě nebo ExpressCard, spíše než na základní desce. Je třeba vždy věnovat pozornost pro jakou verzi operačního systému je karta určena. Toto problematikou se podrobně zabývá literatura [41]. FireWire rozhraní používají transceivery Flex-3000 a Flex-5000A.

iv) Připojení pomocí rozhraní Ethernet. Novinkou letošního roku je použití síťového rozhraní Ethernet 1 Gb. Tuto možnost využívá výrobková řada Flex- 6000. [18].

Rekapitulaci spojení SDR s okolím ukazuje následující obrázek. Právě o prostředcích umístěných v počítači budeme mluvit v následujících kapitolách.



Obr 14: Struktura propojení SDR rádia s pracovním a aplikačním software v počítači.

2.2 PowerSDR

PowerSDR (PSDR) je software, který zajišťuje chod SDR a přenos dat mezi hardware SDR a počítačem. Je to výhradní program pro výrobky FlexRadio, jeho mutace jsou užívány i jinými produkty. Tento software pracuje pod operačním systémem Microsoft Windows, od verze XP výše. Lze jej instalovat jak na 32, tak i 64 bitové systémy. PSDR je z velké části vyvinut na otevřené platformě komunitou radioamatérů a SDR nadšenců, proto je velmi uživatelsky příjemný a po krátkém zacvičení se práce s ním stává intuitivní rutinou. Jeho součástí je mohutný ovladač v systému Windows, který řídí obousměrný přenos toku dat mezi TRX a počítačem. Poslední výborná verze otevřené platformy byla 1.18.6. V závěru roku 2011 FlexRadio převzal ve vývoji produktu iniciativu a sjednotil instalaci driveru a produktu a doplnil nové uživatelské funkce. Od března 2012 je platná verze 2.3.5, kterou lze považovat za to nejlepší, co bylo jako PowerSDR publikováno. Od září 2012 je distribuována verze 2.4.4, která je sice identická, obsahuje ale zcela nový FireWire driver s nižší latencí. Produkt je popsán velmi podrobným manuálem.

Instalační program a manuály jsou na stránkách výrobce [18]. Software je použitelný pro Flex-1500, 3000 i 5000. Uživatelské manuály jsou individuální podle typu.

2.3 VAC

Proč VAC a co to vlastně je? To je třeba si říci hned a ujasnit si, v čem je jeho podstata a výhoda. Také je třeba říci, že ne všechny SDR této výhody používají. Tak jako každé jiné rádio, má i FLEX analogové vstupy a výstupy s regulovanou úrovní a vstup i výstup PTT, které lze bezpochyby použít a pomocí běžného interface spolu se zvukovou kartou našeho počítače pracovat s digitálními módy. Proč to ale dělat složitě? Vždyť v SDR, již z principu, máme výstupní i vstupní signál ve formě číselného toku „někde“ uvnitř. Jak je ale dostat do příslušných aplikací počítače? Jak z interního digitálního výstupu a vstupu vytvořit výstupní a vstupní kabel a jak ho počítač pozná? Flex a jeho datový tok je v PC reprezentován jako zařízení řízené firemním ovladačem. Počítač s OS Windows má pro správu zvuku proceduru zvukových zařízení. To znamená, že SDR musí PC poskytnout své zvukové vstupní a výstupní zařízení. To je ale poměrně obtížná otázka, protože datové toky SDR a PC (rate, jitter) mohou být rozdílné. O zajištění správné činnosti se stará klasický, nepřekonaný a nenapodobovaný program Eugenia Muzychenka – Virtual Audio Cable (VAC) [19]. Dnes je dostupný ve verzi 4.12. Tento malý program se po nakonfigurování zobrazí ve správci zvukových zařízení našeho PC jako Line 1 a Line 2, které přiřadíme jak v SDR Flex, tak i v aplikaci (např. HRD) signálovým cestám. VAC musí být vhodně jednou pro vždy nakonfigurován a vlastnosti zvukového zařízení také [20]. To se děje také jen jednou, je ale vhodné principu porozumět. Cílem je, aby se v signálové cestě provádělo co nejméně iracionálních transformací datových toků. Takové převody jsou sice možné, zabírají ale více výpočetní kapacity PC, a to je přece škoda. Většina radioamatérského SW pracuje s datovým tokem (emuluje) 8000 Hz. Proto je účelné nastavit kvalitu zvukového zařízení na tok 48 nebo 96 kHz (nikoliv kvalitu CD 44,1 kHz) [21]. Ve správci zvukových zařízení můžeme rovněž nastavit i základní úrovně signálu, které jsou dobře zvládnuté aplikačním SW nebo rádiem. Tento SW stojí 35 USD. Funkční trial verze je zdarma, pro seriózní práci je nevhodná (vkládá do informace duchy).

2.4 Virtuální porty

Když už jsme tedy dosáhli toho, že jsme se pomocí VAC zbavili vstupních a výstupních kabelů, musíme se ještě pokusit virtualizovat porty na ovládání rádia a pomocného software. (Kdo používá MicroHam, ví, že minimálně toto zařízení virtuální porty poskytuje.) Ale jak dál? My potřebujeme nejen „umělé“ porty v počítači, ale i virtuální kabely. Virtuální COM kabel udělá to samé, jako měděný, jen není vidět a neruší. Z hlediska počítačové komunikace se chová zcela identicky, dokonce jsme schopni určovat jeho přenosové parametry i osazení signálů na vývodech.

Pomocí virtuálních COM portů přenášíme zejména CAT protokol (Computer Aided Tranceiver), PTT, CW, WinKey, Rotátor, QRO atd.

Je nepochybné, že budeme muset počítač naučit, aby vytvořil další, nikoliv fyzické, ale virtuální porty pro naši potřebu. Tuto práci dělají speciální programy. Nejznámější freeware je co0com [22]. Moje zkušenosti s ním však pro PowerSDR v.1.16 nebyly dobré, program měl velkou latenci ve spojení s digitálními módy. (Na pozdější verze jsem jej netestoval.) Nejlepší výsledky jsem dosáhl s výrobky americké firmy Eltima [23] (Ty používá i MicroHam.) Zřejmě pracují na nižší vrstvě operačního sytému a jsou bez jakýchkoliv problémů na všech verzích Windows. Eltima VSPD (Virtual Serial Port Driver) vytvoří libovolný počet portů a kabelů

s požadovanými vlastnosti. Uživatelské prostředí programu je bezchybné. Eltima má i další báječný produkt a to je Serial Port Splitter [24]. Ten umí nejen kabely vytvořit, ale i udělat vidlici pro více aplikací.
Z USA pochází i konkurenční, o něco levnější software pro COM virtualizaci. Vyrábí jej firma Eterlogic pod názvem VSPE (Virtual Serial Port Emulator) [25]. Jeho 32 bitová verze je zdarma, 64 bitová je placená. Flex hamové (Flexers) s ní mají také dobré zkušenosti, já jsem jej dosud nevyzkoušel.
Konečně pro radioamatéry (výhradně) je v poslední době zdarma klon software Eltima s názvem VSP Manager, který má výborné reference. Jeho autorem a distributorem je K5FR [48].

3 SDR Flex – diskusní fóra a řešení problémů

Jak bylo uvedeno, FlexRadio vydává pro své produkty podrobné manuály. Dokonce registrovaný kupující ham obdrží (po registraci na požádání) úplný servisní manuál. Mnohem větší pomocí než je manuál je však výrobcem redigovaná znalostní báze Flex [16]. Zahrnuje ohlasy a správné řešení snad jakéhokoliv problému. Řeší nejen problémy, dává „Flexers“ jistou úroveň vzdělání a vědomostí tak, aby své rádio mohli dokonale využít. Na znalostní databázi jsou navázaná diskusní fóra, kde si Flexeři z celého světa vyměňují zkušenosti. Kromě toho zprostředkovává i zkušenosti, do kterých odborně a redakčně nezasahuje (Flexwiki a nověji Reflector) [26]. Od června 2012 výrobce vydává internetové noviny, ve kterých informuje o svých aktivitách, novinkách a připravovaných nových verzích software pro jejich zařízení. Umožňuje, aby zařízení bylo v mezích své technické základny trvale a bezproblémově aktualizováno a kvalita zařízení rostla trvale zrovna tak, jako znalosti uživatele.
Servis zařízení Flex je usnadněn tím, že zařízení má vlastní kalibrační a servisní proceduru. Ta je schopná vytvořit report o závadě a nad tímto dokumentem se radit s výrobcem o vhodném postupu opravy.
Neznám druhého výrobce radioamatérských zařízení, který by měl takový přístup k produktu a jeho uživatelům. Je to jistě i tím, že to dělají radioamatéři radioamatérům.

Obecně, mimo rámec FlexRadio, je třeba říci, že tak jako u každé technologické novinky, se příležitosti chopí nadšení zájemci a způsobí nejen další praktický rozvoj, ale i mohutnou výměnu zkušeností na Internetu. K SDR, spíše k jednotlivým platformám a řešením je množství diskusních fór, stačí zadat vhodný odkaz do vyhledávače. Často bývá těžké se v diskusi vyznat, pokud není vedena kvalifikovaným regulujícím odborníkem. I tak to je velká pomoc pro experimenty, hůře pro vážnou práci na pásmu.

4 SHRNUTÍ SDR

O parametrech můžeme dlouze diskutovat, a na onom pomyslném vrcholu parametrů blízko nebe nemusíme vůbec rozdíl mezi jednotlivými rádii poznat. Často se dobře poslouchá i s horším, co se týká IMD a BDR, přijímačem prostě proto, že má lineárnější filtry (skupinové zpoždění) a lépe fyziologicky zpracovanou audio část. Dynamické kvality však rozhodují v pile-up anebo v zarušeném prostředí (město). Co je ale nesporné, SDR řešení dává daleko menší možnost k intermodulacím, internímu šumu a tedy omezení dynamického rozsahu nežádoucím signálem a rovněž čistěji generuje vysílaný signál pro analogový nebo digitální provozní mód. Zpracování digitální formy signálu umožňuje použít optimální algoritmy filtrů, notch filtrů, automatických NF a omezovačů šumu bez narůstání hardware. Umožňuje pracovní prostředí, které se v klasice dělá jen obtížně a draho. To že digitálním rádiem je kvalita jednodušší ukazuje například srovnání hmotnosti „top“ modelů v dále uvedené srovnávací tabulce. V maticovém srovnání se úmyslně vyhýbám porovnávání parametrů.

Zde je základní tabulka pro a proti SDR a klasiky:

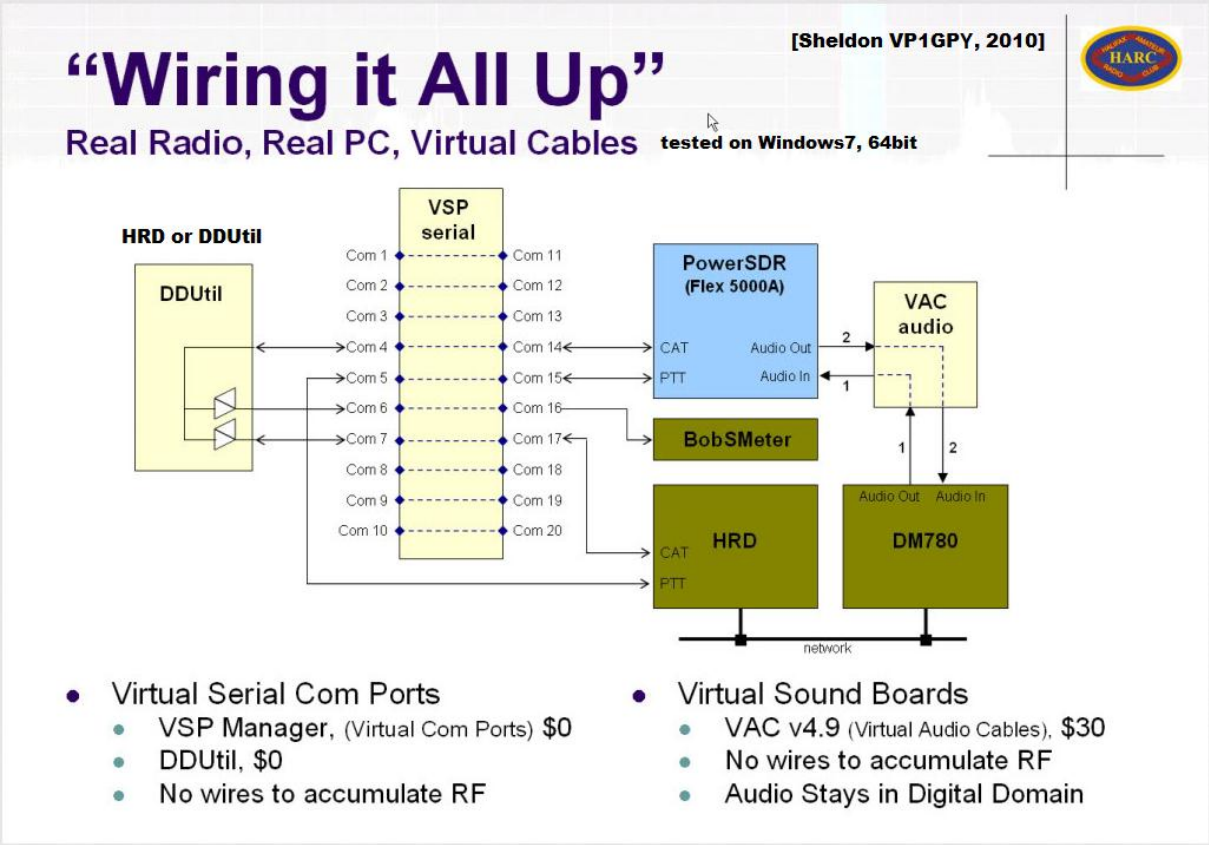
	SDR	**Klasický TRX**
+	▪ Jednodušší topologie a hardware ▪ Běžně dosahuje lepších parametrů ▪ Trvalá a snadná inovace ▪ Konektivita s okolními aplikacemi ▪ Stabilita parametrů a kalibrace ▪ Inovativní a účelný uživatelský interface ▪ Nové možnosti příjmu ▪ Panoramatický adaptér s intuitivním laděním ▪ Kvalita TX vf. signálu a audia pro RX i TX ▪ Okamžitá optická analýza spektra=přehled co se děje na pásmu a kde (přehled ve splitu) ▪ Bezkonkurenční filtry ▪ AGC nového typu ▪ Možnost více RX frekvencí v okně ▪ Dobrý poměr cena / výkon ▪ Rozsáhlé paměti frekvencí a provozních režimů	▪ Vše v jednom ▪ Pohledný „kus“ na stole ▪ Garantovaná kvalita základních provozních režimů ▪ Větší rozšíření mezi radioamatéry, možnost sdílení zkušeností ▪ Jednodušší ovládání (s otazníkem…)
-	▪ Vyšší nároky na uživatele ▪ Nutnost řešit vztah SDR a PC a jeho OS ▪ Náklady na PC ▪ Údržba PC ▪ Údržba software ▪ Pro konektivitu nutnost instalace dalšího SW	▪ Obtížná inovace ve zpracování signálové cesty, růst složitosti zařízení ▪ Horší odstupy TX ▪ Lepší parametry se dosahují s placenými doplňky (filtry, tcxo, audiorecorder,…) ▪ Omezená konektivita s PC ▪ Omezená konektivita s programovým vybavením PC ▪ Absence panoramatického adaptéru ▪ Složitost ovládání ▪ Vyšší cena za kvalitu

Stanovit jasný závěr není jednoduché. Kvalitní SDR řešení konvenční přístup předčí z pohledu většiny technických parametrů i uživatelského rozhraní. Práce s ním je ale jiná a vždy bude záležet na osobní preferenci.

Jedno je jisté: SDR technologie vytýčila budoucnost rozvoje přijímací techniky, a to i pro radioamatéry. Trvalo to téměř 25 let, než tento princip vyrostl a dostal se do podoby, kdy předčí klasickou koncepci vícenásobného směšování v superhetu a přitom má před sebou další možnosti růstu. Na závěr k tématu bych mohl citovat z úvodníku časopisu CQ (October 2008), kde šéfredaktor Rich W2VU píše: „SDR představuje takový posun úhlu pohledu na radioamatérská zařízení, že všechna tradiční rádia nyní zastarala. Nejsme dosud připraveni na takovou změnu pohledu. Je mezi námi mnoho, mnoho, radioamatérů, pro které ovládání pomocí počítačové myši nemůže nahradit pocit z mačkání tlačítek a otáčení knoflíku ladění. Ať je tomu ale jakkoliv, určitě cítíme, že tento vývojový skok otevírá nové obzory pro vývoj radioamatérské komunity“.

Cílem tohoto výkladu bylo k tématu „česky“ a snad i srozumitelně přispět.

Níže je pro doplnění výkladu detailnější příklad standardního propojení virtuálního ovládání a dat:



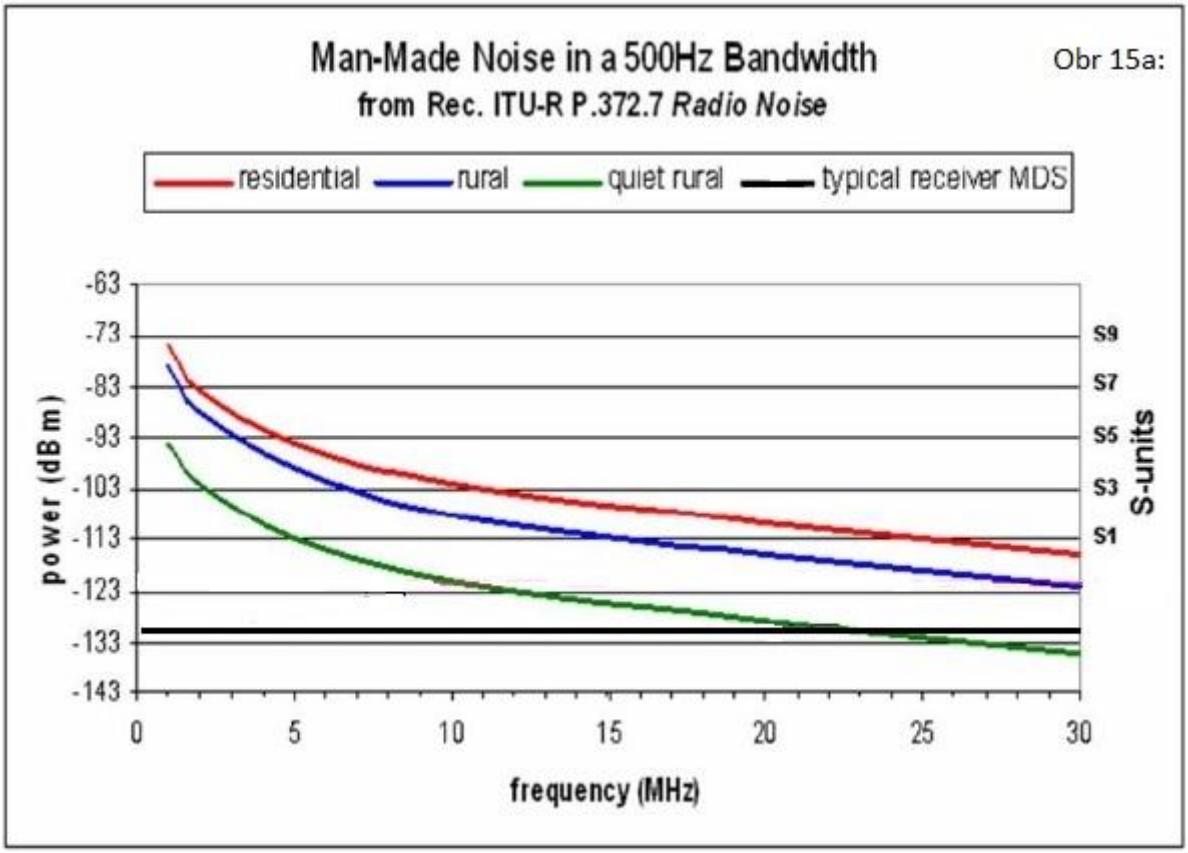
5 PARAMETRY TRX

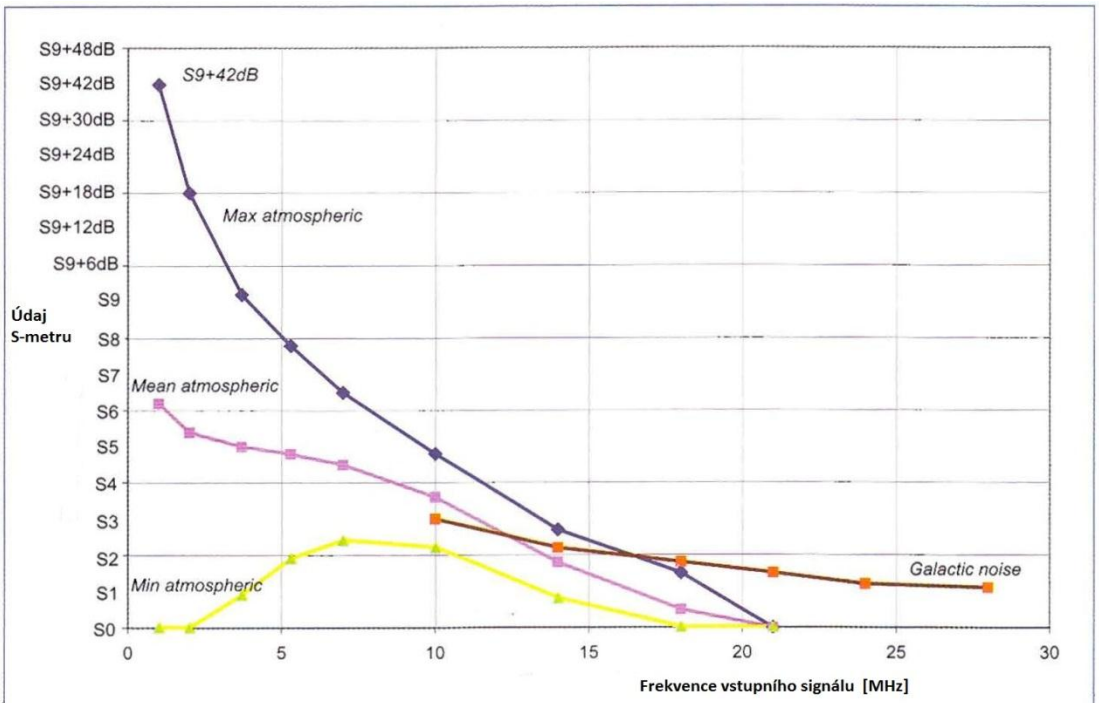
Na úvod této kapitoly chci upozornit na obsažnou přednášku k tématu „Parametry transceiverů a jak jim rozumět“, kterou Vláďa OK1DAK přednesl v Holicích 2011 [27]. Pro náš účel se zaměřme na hlavní parametry podle definice ARRL [28] a pokusíme se diskutovat účelnost jednotlivých parametrů z pohledu provozního. Také se dotkneme otázek, proč SDR mají některé parametry lepší.

V úvodu je třeba upozornit na fakt, že parametry přijímačů jsou závislé na šířce propustného pásma. Není snadné jej jednoznačně popsat, protože každý výrobce má jiný tvar propustné křivky včetně fázové charakteristiky. Aby to bylo složitější na parametry má vliv i nastavení propustné křivky nízkofrekvenčního řetězce. Tyto faktory vnášejí do jakkoliv exaktního hodnocení (laboratoře ARRL), dostatek subjektivních názorů. Kvalitu přijímače probereme podrobněji z hlediska citlivosti, dynamických parametrů a zmíníme vliv reciprokého směšování.

5. 1. Citlivost

Citlivost subjektivně vnímána jako pilíř kvality přijímače. Snad tomu mohlo být dříve, dnes to ale tak úplně neplatí. Postupem doby se se pohled na tento parametr mění rovněž jako i způsob jeho definice. Citlivost je definována jako schopnost přijímače přijmout slabé signály. Citlivost v tomto pojetí však nelze určit bez dalších podmínek. Citlivost RX omezuje vlastní šum a ten je závislý na šířce pásma. Větší šířka pásma nese větší šumový výkon. Citlivost přijímače do značné míry vnímáme subjektivně na pozadí šumu prostředí antény přijímače. Podívejme se na následující obrázky z [42], vytvořené na základě technického dokumentu ITU[43] a pěkného rozboru vf. šumu zveřejněném v odkazu [47].





Obr. 15b: Údaj S-metru přijímače s hodnotou přírodního šumu na vstupu

Z Obr 15a vidíme, že většině spektra HF pásem dominuje humánní šum nad minimálním detekovatelným signálem přijímače (MDS). Z Obr. 15b, je zřejmé, že i přírodní šum převyšuje hodnoty MDS dnešních přijímačů. Rovněž je zřejmé, že oba jevy působí současně a na vstupu se jejich výkony statisticky sčítají. (Zde jsou ve výhodě selektivní – pásmové antény). A tak spíše než citlivost, zde bude rozhodovat o kvalitách příjmu a přijímače jeho dynamická odolnost a reciproké směšování. Na dolních pásmech pomůže zlepšit příjem spíše atenuátor než předzesilovač. Subjektivně může posluchače ovlivnit i charakteristika a kvalita nf. části, pomocí které lze fyziologicky zlepšit poměr signál/šum při daném módu provozu.

Pro měření citlivosti a její jednotnou interpretaci byl stanoven standard MDS (Minimální Detekovatelný Signál, anebo Noise Floor = šumový práh). Měří se obvykle při šířce pásma BW= 500Hz. Bez udání šířky pásma nemá údaj o MDS vypovídací cenu. MDS je stanoven jako vstupní úroveň signálu, která produkuje výstup stejný, jako je vlastní šum přijímače. Citlivost je definovaná obvykle (na rozdíl od MDS) pro odstup (S+š)/š=10 dB při BW=500 Hz. Výhodou MDS je fakt, není ovlivněna funkcí AGC. MDS se ujal jako základní standard pro srovnání. Lze snadno přepočítávat a odvodit z něho i šumové číslo (NF), které se obvykle neudává.

Přepočet citlivosti na MDS: **Citlivost = MDS + 9,5 dB**, při zachování BW=500 Hz

Přepočet na šumové číslo: **NF [dB] = 174 + MDS - 10*log BW** **(5a)**

Obecné stanovení MDS: **MDS [dBm] = -174 + 10*log BW+ NF** **(5b)**

Poznámka na vysvětlenou:
Prahový výkon teplotního šumu pro 290°K a 1Hz = 10log kT = -174 dB, kde (k=1,38*10 $^{-23}$ J/K). Takovou prahovou citlivost (odstup 0dB) by měl přijímač s vlastním šumovým číslem NF= 0 dB.
Přijímač s BW=500 Hz a vlastním šumovým číslem NF=17 dB bude mít MDS = -174+27+17=-130 dB, což je obvyklá dobrá hodnota.
Citlivost pro BW=500 Hz a odstup=10dB pak bude -120,5 dBm což odpovídá 0,21 uV.

Trochou matematiky chceme ukázat, že parametr „citlivost“ má hodně tváří a mluvíme-li o ni, musíme vždy vědět, pro jaký odstup S/š (nebo S+š/š) a jakou šířku pásma je udávána. Ta jednoduchá matematika nám ale dává návod, jak si případné údaje přepočítat.

Dnešní RX mají parametr MDS = -120 až -130 dBm při vypnutém předzesilovači. Zapnutím předzesilovače se dosahuje o jeho zisk nižší hodnoty (např. -136 dBm) díky zesílení a snížení NF, ovšem za cenu obdobného snížení dynamického rozsahu a často přidání dalších nelinearit do cesty signálu.

MDS je parametr, který ukazuje na šumové vlastnosti přijímače. Jeho hodnoty jsou však dnes pod šumem pásma (S1 = -121dBm), a tak vystupují do popředí další parametry.

5.2 Dynamický rozsah

Obecná definice dynamického rozsahu je poměr nejsilnějšího a nejslabšího signálu, kdy ten slabší lze přijmout za přítomnosti silného. Udává se jako Blocking Dynamic Range (BDR), nově jako Blocking Gain Compression. BDR je rozdíl udaný v dB mezi MDS a takovým rušícím signálem mimo proustné pásmo, který způsobí 1 dB kompresi zesílení přijímače. Jedná se o pokles zesílení cizím vlivem. Je vidět, že naměřený údaj musí mít i informaci o frekvenčním odstupu užitečného a rušícího signálu (obvykle 20-5-2 kHz). Jaká je kritická úroveň blokujícího signálu přepočteme snadno:

$$\mathbf{R_{krit} = MDS + BDR} \qquad \mathbf{(6)}$$

Uvědomme si, že zapnutím předzesilovače se zesílením A se <u>zlepší citlivost</u> = sníží MDS o hodnotu A a <u>stejně se sníží i hodnota R_{krit}</u>. Při vložení vstupního útlumu je tomu naopak a můžeme pracovat s vyššími hodnotami rušivých signálů. BDR je parametr, který je velmi důležitý v kontestech i v příjmu DX stanic. Jeho velikost směrem menším offsetům od užitečného signálu (blízká rušení) klesá. Důvodů je více: příliš široké propustné pásmo zejména 1. mezifrekvence (up-konvertory jsou ve velké nevýhodě), silný fázový šum oscilátorů s DDS generuje postranní šum oscilátoru způsobující reciproké směšování, nelinearita neřízených stupňů, chování funkce AGC, kdy nezahrnuje celý řetězec zpracování signálu.

5.3 Intermodulační odolnost

Intermodulační dynamický rozsah (Intermodulation Distortion Dynamic Range) IMD DR ukazuje schopnost přijímače chovat se lineárně a negenerovat falešné signály v přítomnosti silného signálu blízko přijímaného kanálu. IMD DR je rozdíl mezi úrovní obvykle dvou rušících signálů, které způsobí přítomnost parazitních signálů na přijímané frekvenci na úrovni MDS. Měří se úroveň produktů 3. řádu (2F +/- f) a 2. řádu (F +/- f) při použití amplitudově stejných signálů se vzájemným frekvenčním odstupem. Jaká je kritická úroveň rušícího signálu přepočteme obdobně jako v přechozím odstavci:

$$\mathbf{R_{imd} = MDS + IMD\ DR} \qquad \mathbf{(7)}$$

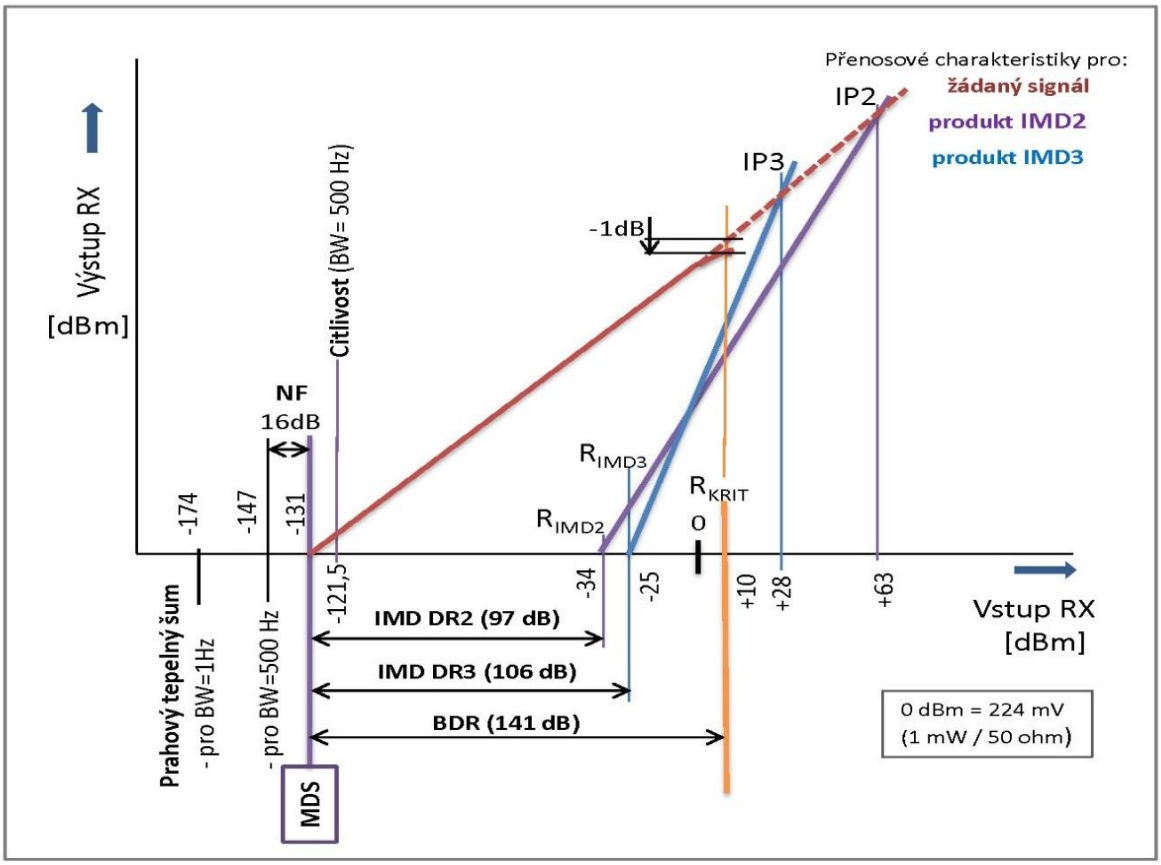
IMD DR se udává při odstupech 20-5-2 kHz. Opět jsou zde obdobné vlivy na naměřené parametry. Při malých frekvenčních odstupech (tj. pod 10 kHz) jsou parametry znehodnocovány zejména fázovým šumem oscilátorů s digitální syntézou, které způsobí reciproké směšování. S rostoucí napětím na vstupu RX hodnota IMD DR klesá. Laboratoře ARRL měří IMD DR pro MDS a S5 (-97 dBm).

Často se udává Intercept Point IP (průsečík) druhého a třetího řádu harmonických produktů. Tyto hodnoty jsou vypočítané (IP_2 a IP_3) jako průsečík přímek zesílení RX pro základní signál a signál druhého resp. třetího řádu. Intermodulační produkty totiž způsobují rychlejší nárůst výstupní úrovně než užitečný signál. Pro vztah IMD DR a IP platí:

$$\mathbf{IMD\ DR_3 = 2/3*(\ IP_3 - MDS)} \quad \text{anebo} \quad \mathbf{IP_3 = 1{,}5*IMD\ DR_3 + MDS} \qquad \mathbf{(8)}$$

$$\mathbf{IMD\ DR_2 = 1/2*(\ IP_2 - MDS)} \quad \text{anebo} \quad \mathbf{IP_2 = 2*\ IMD\ DR_2 + MDS} \qquad \mathbf{(9)}$$

Hodnoty těchto vypočtených bodů vycházejí z předpokladu, že charakteristika zesílení přijímače je v v průběhu dynamického rozsahu lineární. IP tedy vyjadřuje intermodulační odolnost celého přijímače bez vlivu AGC a případných nelinearit zesílení v přijímacím řetězci. Vyšší hodnota je lepší. S nižší hodnotou MDS jsou dynamické vlastnosti přijímače lepší. Zařazením vstupního předzesilovače možná kritická úroveň rušícího signálu $\mathbf{R_{imd}}$ poklesne, vložením vstupního útlumu vzroste. Problematika zařazení vstupního zesilovače v souvislostech intermodulační odolnosti je složitější o jeho vlastní šumové číslo a zájemce o detaily opět odkazuji na přednášku [27]. Samozřejmě, čím je bod IP položen výše, tím je intermodulační odolnost lepší. Lepších hodnot IP dosahují přijímače s nižší hodnotou MDS a větším dynamickým rozsahem. Intermodulační vlastnosti se u klasických přijímačů zhoršují zmenšením odstupu užitečného a rušícího signálu. Zhoršení způsobuje nejen pronikání signálů příliš širokými mf. filtry, ale i fázový šum VFO, který tím způsobuje rozšíření spektra VFO a tím reciproké směšování, které generuje další rušivé signály v blízkém okolí a zdánlivě i reálně zhoršuje MDS. Vzhledem k tomu, že šum oscilátoru roste s jeho s frekvencí a přeladitelností, je tento problém patrný hlavně u koncepce up-konvertoru. Touto nectností netrpí SDR koncepce. U SDR přijímačů jsou obvykle IMD DR parametry stejné při libovolném signálovém odstupu. Souvislosti mezi IMD DR a IP ukazuje následující Obr 16.



Obr 16: Souvislost parametrů RX graficky (Kenwood TS-590S)

Vidíme, že k určení a pochopení dynamických vlastností nám postačí hodnoty MDS, IP2, IP3 a BDR. Nemusíme brát ohledy na bod nasazení AGC a v případě IMD DR nemusíme zjišťovat, pro jakou úroveň vstupního signálu je platí. Poznamenávám, že intermodulační hodnoty záleží na odstupech rušící složky od užitečného signálu. (Na Obr 16. je to 20 kHz)

Obrázek mj. ukazuje, jak silný signál (rušení) vyššího řádu způsobí stejně silný výstup RX, jako užitečný signál. (produkt 3. řádu o úrovni -25 dBm způsobí rušení na úrovni MDS.) Dále je vidět, že přítomnost rušícího IMD produktu snižuje dynamický rozsah, snížení je tím větší, čím jsou signály silnější. Rovněž je vidět, že přístroje s vyšší hodnotou IP budou odolnější proti intermodulačnímu rušení. O kvalitě intermodulační odolnosti rozhoduje v jaké části RX a s jakou kvalitou je provedeno definitivní omezení šířky pásma přijímaného spektra. Intermodulační odolnost nabývá na důležitosti v QTH položených v územích s vysokým rušivým pozadím na pásmu. (Testy přijímačů seřazené podle intermodulační odolnosti poskytuje Sherwood [29]).

5. 4. Klasický přijímač v porovnání s SDR

Základní rozdíl mezi konvenčním rádiem a SDR je v přístupu k filtraci a zesílení signálu. Typické pro SDR je omezení počtu směšování a odstranění souvisejících nelineárních procesů. U přímé konverze je analogové směšování odstraněno vůbec. SDR mají obvykle lepší dynamické parametry, lépe řečeno dosahují jich levněji. Navíc jejich hodnoty nezávisí na offsetu rušivého signálu od přijímaného signálu. To je mimo jiné dáno tím, že během zpracování signálu nevznikají kombinační produkty a definice propustné šířky pásma je jen jedna a definitivní. Vzhledem k tomu, že nemusí mít vstupní předzesilovač a na vstupu jsou pasívní obvody, mohou mít horší MDS. Tuto nectnost kompenzují, zejména pro potřebu vyšších pásem, solidním vstupním zesilovačem s nízkým šumem. Jeho zařazení ale, tak jako i u jiných RX, obecně zhoršuje dynamické parametry.

Hodnota MDS u koncepce SDR je dána dynamickým rozsahem převodníku a případně decimací spektra podle vztahu uvedeného dříve (4) a (4a) a spektrální čistotou VFO.
Dynamický rozsah je dán bitovou délkou převodníku, a proto u rádií používajících decimaci spektra (např. Perseus) je v absolutní hodnotě nižší než MDS.
Intermodulační vlastnosti jsou typicky nezávislé anebo jen málo závislé na frekvenčním offsetu rušící složky.

SDR koncepce se blíží teoretickému ideálnímu přijímači, který prakticky obsahuje jen filtr a demodulátor (dekodér informace). Úlohou vstupního filtru přijímače je omezit spektrum co nejblíže k anténě pouze na hodnotu, která nese informaci vhodnou z pohledu A/D převodníku. Při prohlídce stávající nabídky zde však vnímáme problém. Řada SDR konstrukcí vstupní filtry nemá. (Filtr, o kterém mluvíme, se často nazývá roofing filtr a nelze nahradit antialiasing filtrem A/D převodníku, jenž plní zcela jinou funkci.) Přístroj pak ve spolupráci se sofistikovaným software sice pracuje, náchylnosti k přebuzení širokopásmového převodníku poruchami zejména v dolním konci HF pásma. Chyby digitalizace nenapravitelně deformují přijímaný signál.
U SDR přijímačů se provádí zpracování signálu až po digitalizaci, tedy zpracováním čísel v reálném času. Filtrace je provedena „v jednom místě“ a jen jednou. Tak dochází prakticky k ideálnímu vymezení přenosové charakteristiky. Číslicové filtry mají anebo mohou mít lineární fázovou charakteristiku a tím i konstantní skupinové zpoždění. To se v důsledku projevuje minimálním

zkreslením jak analogových, tak i digitálních signálů a dosahuje se lepšího rozlišování signálů při poslechu. Je vhodné rovněž poznamenat, že ani velmi úzké filtry „nezvoní“.

SDR přijímače mají kvalitnější audio výstup navíc s možností poslechu dvoukanálového I/Q přenosu, tedy nikoliv stereo, ale signály posunuté o 90°. To může usnadnit orientaci v tlačenici na pásmu anebo přelaďování a rovněž umožňuje snížit únavu sluch změnou poslechového prostoru.

Významný rozdíl je v použití AGC. V SDR se užívá digitální forma, která je zpracovávána uživatelským SW v časové oblasti filtrovaného datového toku převodníku. U FlexRadio se nazývá AGC-T. Princip tohoto AGC je rozdílný od konvenčního rádia [30]. Uživatelským nastavením lze snadno dosáhnout toho, že působí jen na silné signály a nezvyšuje šum pozadí. Rovněž nedýchá při silných signálech a CW jako důsledek méně strmého filtru a reciprokého směšování.

Potlačení zrcadlových signálů je u SDR konstantní v celém pásmu kmitočtů a je na úrovni lepší než -80 dB. Toto číslo zde není zásadní, neboť zrcadla mohou být sice ve spektru vidět, přijímané pásmo však neruší.

SDR přijímače mají S-metr kalibrovaný velmi přesně podle doporučení ITU. Může zobrazovat jak S-hodnoty tak i absolutní úroveň v dBm nezávisle na zapojení atenuátoru nebo předzesilovače.

V tomto místě je vhodné zmínit jeden z důležitých aspektů SDR rádií. Tím je panoramatický adaptér, který, na rozdíl od klasických rádií s obdobnou vymožeností, pracuje s plným dynamickým rozsahem, reálnou rychlostí a zobrazuje mimo jiné i zásahy dospektra signálu, které provádí operátor (filtrace, noise blanker, notch filter, pohled na split provoz…).

Koncepce superhetu má dnes dvě vývojové větve: up-konvertor a down-konvertor. Down-konvertor slaví po létech nadvlády druhé koncepce úspěšný návrat ke kvalitám špičkových elektronkových přijímačů pamětníků. Obě dvě koncepce dnes vynikají složitým a na konkrétním zvoleném pásmu závislým kmitočtovým plánem (nikdo si nepamatuje, kdy je jaká mezifrekvence…) a z toho vyplývají případné nectnosti. Množství oscilátorů zhoršuje celkovou spektrální charakteristiku RX a to se zpětně projevuje na hodnotách reciprokého směšování a spektrální čistotě TX. Složitý řetězec zesilovacích stupňů a mixerů násobí interní nelinearity a dosažení dobrých dynamických parametrů je složitější a nákladnější. Filtrace roofing filtry osazených krystaly je velmi náročná, má-li se dosáhnout žádoucí šířky pásma od prvního mezifrekvenčního stupně. To je možné realizovat prakticky jen u down- konvertorů. Někteří výrobci mohou osadit vstupy vysoce selektivními preselektory (Hilberling a jeho kopie u Yaesu – jednotky µTune) ty však mohou trochu pomoci jen na nižších pásmech vzhledem ke Q činiteli okolo 500. Cena je však vysoká. Složitost tvorby přesně definované kmitočtové charakteristiky přijímače vede u superhetu k deformaci fázové charakteristiky přijímače s dopadem na čitelnost signálu zejména vyšších rychlostí CW a digitálních signálů. V konečném důsledku některé prvky komfortu přijímače musí superhet udělat stejně digitalizací signálu s následným zpracováním v digitálním signálovém procesoru. (Je to snad SDR na dolní mezifrekvenci?).

Jak již bylo řečeno, SDR přijímače dosahují snadněji špičkových parametrů, domnívám se, že to je snad bráno jako samozřejmost, avšak klíčem k jejich prosazení v praxi je právě zahrnutí dalšího smyslu - očí operátora - do práce na pásmu. Vizuální práce se spektrem práci usnadňuje, zpřehledňuje a činí ji ještě efektivnější a zábavnější. Kdo to zkusil tak ví, že není cesty zpátky…

Domnívám se, že superhet je vývojově zralý a případné další vylepšování bude přebírat od SDR. SDR je naopak na počátku a odhaluje možnosti dosud nevídané (Flex-6000 [1]].

Na závěr této části je na Obr 17 uvedena srovnávací tabulka vybraných zařízení. Je sestavena zejména z dat zveřejněných testovací laboratoří ARRL, které byly uvedeny v QST. Některé údaje byly srovnávány s výsledky testů v časopisu Radcom a Sherwood Engineering. Některé údaje byly vypočteny.

Poznamenávám, že tabulka ukazuje údaj o minimálním detekovatelném signálu (MDS) bez zahrnutí předzesilovače či atenuátoru. Zesílení předzesilovače obvykle nepřevyšuje 12 dB, některé přístroje mají předzesilovače dva. Hodnota zesílení předzesilovače zvyšuje v absolutní hodnotě MDS. Ne vždy tak musí být u snížení šumového čísla, neboť celkové šumové číslo pak obsahuje i šum předzesilovače

Vstupní předzesilovač sice sníží MDS (šumový práh), stejně však sníží i mezní hodnoty zpracovatelného signálu. Zejména na nižších pásmech, kde šum pásma převyšuje MDS, je vhodnější posunout charakteristiku přijímače do vyšších hodnot zařazením atenuátoru, a zlepšit tak dále odolnost proti siným rušícím signálům.

Srovnávací tabulka transceiverů na HF pásmech

Výrobce	Model	f max	MDS	NF	BDR		IMD DR3		IMDDR2	IP3		IP2	VFO noise	Rec. Mix	Rec. Mix.	Image	TX IMD3	Hmotnost
		MHz	dBm 500 Hz	dB 500 Hz	dB 20 kHz	dB 2 kHz	dBm 20 kHz	dBm 2 kHz	dBm	dBm 20 kHz	dBm 2 kHz	dBm	dBc/Hz TX, 20 kHz	dBc 20 kHz	dBc 2 kHz	dB 1. mf rej.	AB tř.	kg
FlexRadio	Flex-5000A	65	-123	24	123	123	99	99	93	30	30	63	-126	-99	-99	90	-34	5,9
FlexRadio	Flex-3000	65	-120	27	112	112	99	95	95	28	22	69	-123	114	114	96	-31	5,4
FlexRadio	Flex-1500	60	-116	31	107	107	100	86	94	31	13	71	-128	-107	-107	100	-31	0,9
WinRadio	WR-G31DDC	49,975	-130	17	128	128	107	107	98	27		65	-145	-128	-128	90	pouze RX	0,5
SRL	QS1R rev.D	62	-111	36	125		107		84	50		56				110	pouze RX	0,4
Microtelecom	Perseus	30	-126	21	117	99	99	97	106	24	20	85	-147	-124	-106	97	pouze RX	0,4
Alinco	DX-77T	29,7	-130	17	111		94		92	17		53	-127			104	-30	3,8
Alinco	DX-SR8T	29,7	-132	15	100	83	94	70	97	9	-30	61		-86	-60	105	-28	4,1
Elecraft	K3 (full set)	30	-130	17	142	140	103	103	103	29	25	75	-138	-112	-86	88	-29	4,3
Elecraft	K2	28,8	-131	16	136		97		103	22		75	-127				-29	1,5
Icom	IC-7800	54	-126	21	137	97	108	86	109	38	22	91	-141			121	-30	25
Icom	IC-7700	60	-129	18	125	102	106	95	113	30	13	96	-135	-109	-78	104	-28	22,7
Icom	IC-7600	60	-131	16	122	113	106	88	97	28	1	63	-129	-105	-82		-31	10
Icom	IC-7200	60	-132	15	138	83	97	67	105	17	-31	78	-120	-103	-85	62	-32	5,5
Icom	IC-7000	60	-128	19	112	112	89	63	93	6	-27	57	-120			96	-33	2,3
Icom	IC-756PROIII	60	-131	16	121	101	103	77	102	25	-17	73	-140			121	-31	9,6
Icom	IC-746	60	-132	15	122		99		96	14		60	-137			120	-25	8,9
Icom	IC-706 Mk II	60	-135	12	114		86		95	4,2		55	-118			95	-26	2,5
Kenwood	TS-950SDX	29,7	-138	9	132		94			3			-132				-35	23,1
Kenwood	TS-870S	29,7	-129	18	127		97		96	16		63	-128			98	-32	11,3
Kenwood	TS-590S	54	-131	16	141	121	106	97	97	28	15	63	-135	-120	-91	91	-29	7,4
Kenwood	TS-480SAT	60	-133	14	123	98	98	75	99	26	-18	64	-135			122	-26	3,7
Kenwood	TS-2000	60	-129	18	126	103	94	69	94	19	-15	59	-131			89	-27	7,8
Ten-Tec	566 Orion II	29,71	-127	20	136	136	92	95	92	20	21	56	-122				-28	9,1
Ten-Tec	599AT Eagle	54	-126	21	136	126	98	98	96	21	21	65	-132	-115	-95	102	-28	3,4
Yaesu	FTdx-9000MP	60	-119	28	125	102	99	85	102	18	7	85	-127	-114	-92	116	-22	24
Yaesu	FTDX-5000D	60	-126	21	136	136	114	114	96	45	45	65	-131	-109	-104	101	-30	21
Yaesu	FTDX-3000	54	-126	21				106	63		33					70	-31	10
Yaesu	FT-2000D	54	-122	25	136	87	99	69	98	27	-19	73	-129	-103	-76	103	-31	15,5
Yaesu	FT-1000MP mk V	29,7	-125	22	122	106	98	72	97	20	-5	68	-136			91	-31	15
Yaesu	FT-950	54	-119	28	128	98	94	71	95	15	-13	71	-125	-86	-57	118	-35	9,8
Yaesu	FT-450D	54	-129	18	134	88	97	76	94	23	-15	59	-112	-98	-74	62	-30	3,6
Yaesu	FT-897	54	-133	14	109	89	89	65	100	1,3	-32	67	-128			90	-23	3,9
Yaesu	FT-857	54	-132	15	109	88	87	65	100	4,1	-31	67	-123			100	-25	2,1
Rohde &Schwarz	XK2100L	30	-130	17	147	102	106	98	99	29	17	67	-132	-99	-63	150	-36	15
Hilberling	PT-8000	54	-134	13			115		102	39		70	-162			>80	-41	28

- dynamické vlastnosti uvedeny na 14 MHz
- v tabulce pouze hlavní přijímač
- měřeno bez předzesilovače a atenuátoru

měřeno při odstupu 5 kHz

NF, IMD2 stanoveno vypočtem

Obr 17:

RUŠENÍ A ODRUŠOVÁNÍ

Použití SDR přinese optický pohled na pásmo. Oproti známému panoramatickému adaptoru máme však šířku pohledu mnohem širší a vidíme celý dynamický rozsah přijímače. To nám umožní lépe zasahovat proti jevům, které jsme sice dříve nevnímali, které ale omezovaly schopnost příjmu slabých signálů. Širokopásmové rušení totiž nemusíme slyšet, působí však na řízení zisku a snižuje citlivost přijímače. Použití SDR většinu z nás bude nutit udělat si v QTH „elektromagnetický pořádek“.

Na přijímač působí mnoho faktorů rušení [43]. V konečném důsledku však všechny nějakým, zřídkakdy přesně rozpoznaným, způsobem se do přijímače dostanou a ovlivní výslednou informaci. Pro náš výklad si rušení vymezme takto:

i) Vstupuje během přenosu do přenosového kanálu, tj. do cesty mezi vysílací a přijímací anténu.
ii) Vstupuje do přijímače v QTH

Oba fenomény zhoršují, popřípadě znemožňuji, rekonstrukci předávané informace.

První způsob příliš neovlivníme, snad mohou pomoci lepší dynamické parametry přijímače a redundantní digitální módy a CW. Přesto jsou mezi námi odvážné skupiny, které se do boje proti rostoucí hladině elektromagnetického šumu rozhodly bojovat. Jak ARRL, tak i RSGB, zřídily pracovní skupiny, které aktivně jednají na úrovni vlády, napadají nedodržování norem a podílí se na legislativní konstrukci tak, aby právo na přidělená a čistá pásma bylo dodržováno [31]. Jako hlavní zdroje rušení jsou zde v současnosti řešeny tyto fenomény: LAN po napájecí síti (80, 40m), počítačové zdroje (160-30m), televizní přijímače, měniče zářivek, měniče osvětlovacích panelů LED (40 m), vysoce výkonné LED (2m), ADSL (80, 40m), solární zdroje energie, větrné turbíny (160m).

U druhého typu zdrojů rušení si v mnohém pomůžeme sami, neboť můžeme ovlivnit, typ rušícího zařízení, jeho umístění i připojení k elektrické síti anebo dalšímu zařízení, rádio nevyjímaje.

Odrušování v naší praxi a v QTH je založeno na odstraňování dipólů a smyček ve smyslu vlnové délky. Takové dipóly a smyčky tvoříme propojováním elektrických zařízení v okolí rádia, svody, zeměmi a napáječi. Hvězdicovým zapojením zamezujeme smyčkám, twistovanými a hlavně krátkými spoji se bráníme dipólům. To musíme mít na paměti, pokud na kabely navlékáme ferritové kroužky. Použití feritů by ale měl být až poslední očistný krok.

Doporučuji následující zásady:

a) Dokonalé uzemnění je základ. Kvalitu uzemnění popisuje nejen ohmický odpor, ale i vlnová délka, tedy její relace k délce zemniče. Přístroje v na pracovišti musí být spojeny do jednoho bodu a odvedeny na vf. efektivní zem. Všechny přístroje musí mít stejný vf. potenciál a nebýt aktivní součástí zářiče. Je třeba o tomto jednoduchém postupu dobře přemýšlet, a provádět skutečně vf. krátká spojení do společného bodu. (Praxe navlečení feritu na jakýkoliv napájecí kabel je z tohoto pohledu zcela špatná. Omezí sice vyzařování po napájecí lince, izoluje ale od země. Proto musí být přístroj přizemněn zvláštním krátkým kabelem do společného bodu).
b) Zvláštní napájecí zdroj jak pro TRX, tak i pro pomocná zařízení.
c) Používat symetrické antény přizpůsobené na Z=50Ω, jejichž svod je desymetrizován Johnsonovým tunerem nebo symetrickým proudovým balunem co nejblíže u zářiče. To zajistí

minimalizaci plášťových proudů na svodech a omezí případné kompenzační proudy do země. Antény napájené jedním drátem (Windom), kdy aktivní druhý pól antény tvoří zem si dnes málokdo může dovolit, neboť nedokáže dovést nulový potenciál vf. země na pracoviště.

d) Monoband antény dávají výhodu v užší šumové šířce pásma. Podobný efekt při příjmu poskytne laděný pasívní preselektor anebo rezonanční anténní tuner

e) Používat jen lineární anebo dobré spínané napájecí zdroje. Spínané zdroje jsou fenomén doby, dobrých výrobků mnoho není. Astron (SS-25, SS-30), Daiwa SS-505, MFJ4245MV, jsou zdroje s nejčistším spektrem v testech. Je vhodné věnovat pozornost i hlučnosti ventilátoru. Rozsáhlý test zveřejňuje pravidelně QST [32], [33]. Nutností u spínaných zdrojů je dobře uzavřená kovová konstrukce (závit nakrátko) a symetrické a nesymetrické dolní propusti na vstupu a výstupu. Málokterý výrobce věnuje zdroji patřičnou pozornost. Je pravda, že filtr na vstup i výstup lze dodělat, je však nutné je dát do skříně zdroje. Já používám k úplné spokojenosti zdroje Astron SS-25. Spektrum rušivých produktů spínaných zdrojů však narůstá od 10MHz dolů, proto zdroj, který byl dobrý na KV pásmech, nemusí být dobrý na LF. Lineární stabilizovaný zdroj s přepěťovou pojistkou je jistota (pokud jeho regulátor nekmitá).

f) Odrušení mikrofonní cesty je řešením zkreslené modulace. Je až s podivem, že většina TRX nemá stínění mikrofonu připojeno na kostru. Přitom je to tak jednoduché a lze to provést na konektoru většiny mikrofonů. Naštěstí na mikrofony je tu Bob Heil a kdo poslechne jeho jednoduché rady [34], nemá problémy. V zásadě platí: mikrofon, jeho stínění a stínění kabelu má být propojené s kostrou TRX, symetrická vf. složka indukovaná do kabelu se odstraní navlečením feritového kroužku na kabel u konektoru.

g) Odrušení počítače na pracovišti má více aspektů. Odrušení PC jako takového a odrušení kabelových připojení. Rovněž vysílání nesmí rušit počítačový systém. Vyjmenuji několik poznatků bez pořadí důležitosti. Notebook a jeho zdroj se odrušuje hůře, a rušení se mění podle režimu nabíjení. Desktop by měl být v železné (Fe) skříni, dobře sešroubované jako závit nakrátko. Napájecí zdroj PC musí mít obal dobře a prokazatelně uzemněn na kostru PC. Ploché LCD monitory neruší a TX neruší je. Musí se však použít kvalitní stíněné videokabely. Skříň počítače se uzemní do společného vf. zemnícího bodu. Počítač je napájen co nejkratším kabelem přes dobrý síťový filtr, který potlačuje symetrickou i nesymetrickou složku rušení. Klávesnice a myš je dobrá bezdrátová na frekvenci 2,4 GHz. Pokud jsou v provedení USB, je na kabelu při výstupu z PC ferit. Ferity jsou navlečeny na všech propojovacích kabech z PC do zařízení, a to na obou koncích. Pokud to konstrukce feritu umožní, navlečou se 2 závity. Je vhodné, aby počítač nebyl těsně u rádia a antén, což obvyklá ergonomie umožní: například PC a monitory spíše vlevo, a rádiová zařízení vpravo. Přesto by kabelová spojení měla být co nejkratší.

Odrušovací ferity udělají hodně práce. V každém případě umožní vložení indukčnosti na kabel oddělit zdroj rušení, rozpojit vniklou smyčku, odstranit plášťové proudy, rozsekat dlouhý kabel na kusy menší v poměru k vlnové délce …atd. Výborná studie na toto téma od W1HIS je v [35], [36] a v Radcom [47].

Použití síťových filtrů a společné zemnění koster napájecích zdrojů a PC je nutné. Je třeba uvažovat, co chceme potlačit a podle toho orientovat vstupní a výstupní bránu filtru bez ohledu na označení výrobce. Síťové filtry mají obvykle „vstup“ označený tak aby se rušení nedostalo do přístroje. Pokud ale odstraňujeme možnou emisi rušení z PC nebo spínaného zdroje, musí to být přesně naopak. Dobrým starým filtrem Tesla je WK85202. Dnešní výrobce dobrých filtrů je Elektronické součástky CZ, a.s, např. model F100.012 [37].

Shrnutí: pozornost věnujeme uspořádání pracoviště s respektem k jednotnému zemnění, síťové filtraci, filtraci 13,8V, propojení zařízení včetně PC. Více čtení je v literatuře [38].

***

7. LITERATURA

Použitá literatura je uvedena v kontextových poznámkách.

[1] http://www.flex-radio.com/

[2] http://www.winradio.com/home/ms8118-brl.htm
http://www.winradio.com/home/g33ddc.htm
http://www.winradio.com/home/g31ddc.htm

[3] Přednáška SDR přijímače +skimmer. Petr Parýzek, Holice 2012. http://www.crk.cz/FILES/SDR.PDF

[4] Radcom March 2009: The All-Digital Transceiver.

[5] QEX Jul/Aug 2002, Sept/Oct 2002, Nov/Dec 2002, Mar/Apr. 2003: A Software Defined Radio for the Masses

[6] HF I/Q SDR Receiver DR2B – YU1LM/QRP
QST January 1993: High Performance, Single-Signal Direct Conversion Receivers

[7] QST April 1998: A High Performance, Single-Signal, Direct Conversion Receiver with DSP Filtering

[8] http://www.wb5rvz.com/sdr/ensemble_rx_ii/index.htm

[9] http://rfdesign.com/images/archive/303Tayloe58.pdf

[10] http://sdr.ipip.cz

[11] Product Review Flex-5000A. QST July 2008, CQ October 2008

[12] Product Review Flex-3000. RadCom August 2009, QST October 2009

[13] Product Review Flex-1500. QST December 2011

[14] Softwaredefinierter Transceiver für den Amateurfiunk: FLEX-5000A. Funkamateur 3/2008

[15] http://www.asahi-kasei.co.jp/akm/en/product/ak5394a/ak5394a_f03e.pdf

[16] Řízená fóra: http://kc.flex-radio.com/

[17] Doporučení Flex: http://kc.flex-radio.com/KnowledgebaseArticle50063.aspx

[18] http://www.flexradio.com/

[19] http://software.muzychenko.net/eng/vac.htm

[20] http://kc.flex-radio.com/KnowledgebaseArticle50230.aspx?Keywords=VAC

[21] http://kc.flex-radio.com/KnowledgebaseArticle50504.aspx

[22] http://com0com.sourceforge.net/

[23] http://www.eltima.com/products/vspdxp/

[24] http://www.eltima.com/products/serialsplitter/

[25] http://www.eterlogic.com/Products.VSPE.html

[26] http://flexradiowiki.com/frsradoiowiki/index.php?title=Main_Page a dále

http://mail.flex-radio.biz/mailman/listinfo/flexradio_flex-radio.biz

[27] http://www.crk.cz/FILES/PARAMETRY_TRANSCEIVERU_HOLICE2011.PDF

[28] QST Product Reviews – In Depth, In English. QST August 2004

[29] http://www.sherweng.com/table.html

[30] Noise Performance Characteristics of Direct Conversion Receivers. http://www.flex-radio.com/News.aspx?topic=whitepapers

[31] Pravidelná rubrika EMC v RADCOM, např. April, May 2012

[32] QST Compares: Switching Power Supplies, QST, January 2000

[33] Four 25A Switching Mode Power Supplies. QST, February 2012

[34] http://www.heilsound.com/amateur/tips/

[35] http://kc.flex-radio.com/KnowledgebaseArticle50471.aspx

[36] http://kc.flex-radio.com/KnowledgebaseArticle50351.aspx

[37] http://www.es-ostrava.cz/

[38] Grounding Systems in Ham Shack – Paradigms, Facts, and Fallacies. http://kc.flex-radio.com/KnowledgebaseArticle50426.aspx?Keywords=Grounding+System

[39] http://www.reuter-elektronik.de/Produkte/Digital-RX/RDR50/rdr50.html

[40] http://cs.wikipedia.org/wiki/FireWire

[41] http://kc.flexradio.com/KnowledgebaseArticle50179.aspx

[42] http://qs1r.wikispaces.com/Perseus+v.+QS1R

[43] Radio noise; Rec.ITU-R P.372.9, 372.10, http://www.itu.int/rec/R-REC-P.372-10-200910-I/en

[44] CQDL Special: SDR & D-Star Die neue Dimension der Übertragungstechniken. Juni 2008.

[45] http://www.ok2imh.com/view.php?cisloclanku=2008030002

[46] Analysis of received RF noise. Radcom, August 2012, str. 29-31

[47] EMC: A round-up of the latest topics. Radcom, August 2012, str. 68-69

[48] http://k5fr.com/ddutilwiki/index.php?title=VSP_Manager