

Stavba MSA - Modulárního Spektrálního Analyzátoru

Publikované: 10.08.2017, Kategorie: Merače a testery

www.svetelektro.com

Ve svém HAMshacku sice spektrální analyzátor mám, ale bez tracking generátoru, který znatelně chybí. Rozhodl jsem se tedy pro stavbu MSA.

Na letošním mikrovlnném setkání ve Třech Studních mě nejvíce zaujala přednáška Tomáše OK1DXD, který prezentoval stavbu modulárního spektrálního analyzátoru - MSA. [Projekt Scottyho Prowlse](#) jsem potkal v minulosti již několikrát, vždy jsem ho ale přecházel s nezájmem. Nikdy mi nedošlo, že by mohl mít tak skvělé parametry.

MSA, kromě spekt. analyzátoru s tracking generátorem nabízí i SNA/VNA, Component tester, hned několik generátorů, analyzátor vedení a antén.

Navíc je okolo projektu poměrně rozsáhlá a živá komunita na [Yahoo groups](#), kde se jakýkoliv záludný dotaz rychle rozebere.

Spektrální analyzátor měří velikost/amplitudu vstupního signálu vzhledem ke kmitočtu v celém frekvenčním rozsahu přístroje. Primárním použitím je měření síly/složení spektra známých a neznámých signálů.

Zobrazovat radiové spektrum lze dvěma základními způsoby:

1. Digitálně navzorkovat analogový signál, tak jako to dělá digitální osciloskop a pak se na daném vzorku udělá rychlá [Fourierova analýza FFT](#).
2. Klasickým analogovým selektivním přijímačem proběhnout dané spektrum a změřit intenzity na jednotlivých bodech/kmitočtech spektra. Z nich se pak vykreslí příslušná křivka.

„Fourierova řada matematicky ukazuje sčítání sinusovek, spektrální analyzátor ty sinusovky hledá a zobrazuje...“

MSA je tedy druhý případ, jak jsem již zmínil v úvodu. Jedná se o modulární koncept, kdy každý jednotlivý prvek (VCO,Xtal filtr, Logaritmičtý detektor, atd.) je ve vlastní pocínované krabičce, ke které vede signálový semirigid zakončený SMA konektorem + kontrolní a napájecí vodiče.

MSA lze postavit ve třech variantách:

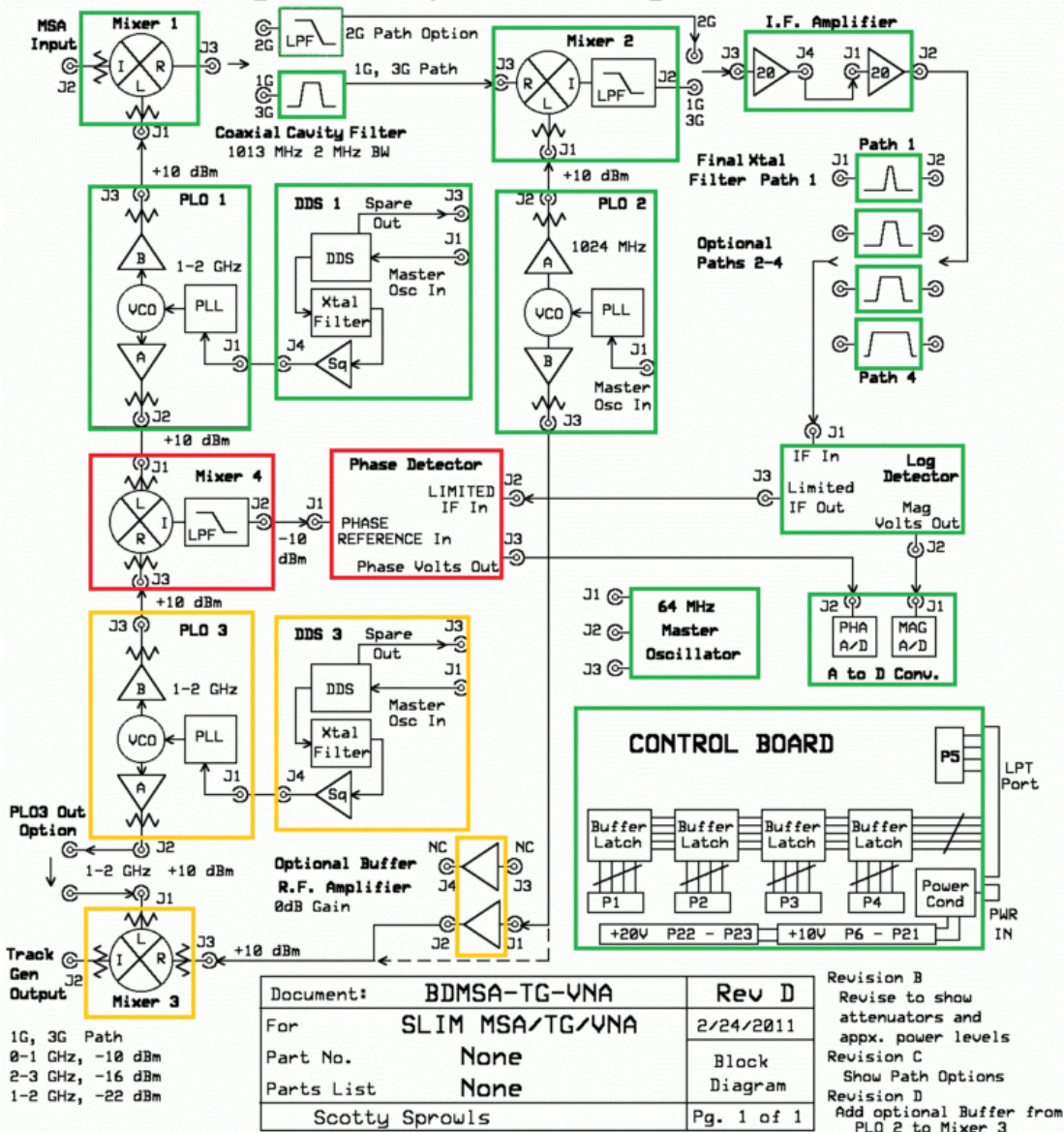
- Pouze spektrální analyzátor
- Spektrální analyzátor + Tracking generátor
- Spektrální analyzátor + Tracking generátor + Vektorový analyzátor VNA

Tracking generátor (sledovací generátor) - je vysokofrekvenční generátor, který běží synchronně-sleduje kmitočet, který zrovna měří spektrální analyzátor. Takže vždy na daném kmitočtu můžeme změřit přenosovou charakteristiku připojeného obvodu.

Já jsem se rozhodl pro stavbu úplnou, cenový rozdíl není velký a nárůst možností použití je enormní.

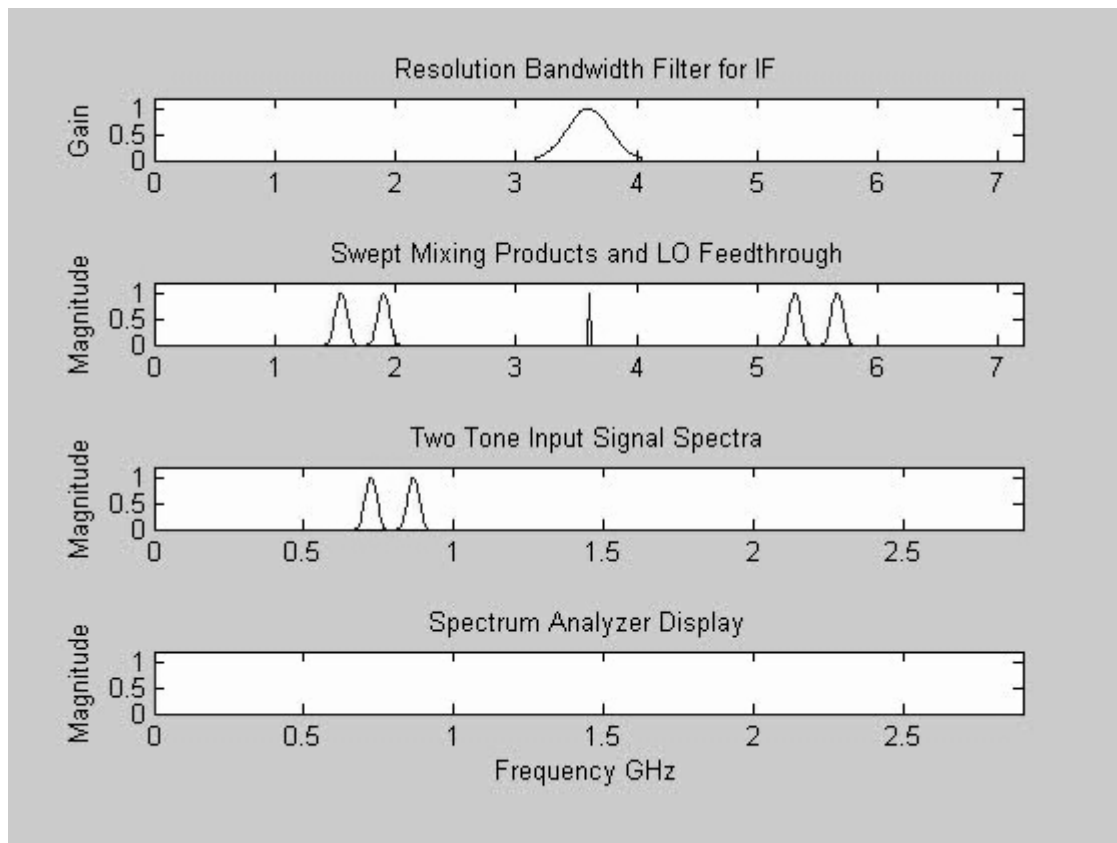
- **Zeleně** - jsou bloky potřebné pro základní spektrální analyzátor
- **Žlutě** - jsou bloky potřebné pro Tracking generátor
- **Červeně** - jsou bloky potřebné pro měření fáze a vektorový analyzátor VNA

Block Diagram of MSA, with Tracking Generator and VNA



MSA má dvojí směšování, 1. mezifrekvence je na 1013,3MHz. To znamená, že *PLD1* oscilátor musí dodávat do *Mixer1* takový kmitočet, který po odečtení (na součtový zrcadlový kmitočet není filtr naladěn) s měřeným kmitočtem dá výsledných 1013,3MHz, kde je právě naladěna čtyř-dutinová Band-pass propust 1. mezifrekvence (Pass: -3,8dB/1013,3MHz, Notch: -88dB/1034MHz). Výsledný signál se dále mísí v *Mixer2*, do kterého přichází již pevný kmitočet 1024MHz. Výsledným produktem je 2. MF kmitočet, tentokrát 10,7MHz. To je kmitočet hojně rozšířený v komerčních zařízeních a není problém sehnat vhodné a kvalitní filtry v tomto rozsahu. Signál z výstupu *Mixer2* je zesílen v *IF* amplifii, který má zesílení 40dB, dále projde příslušným filtrem až do Logaritického detektoru (ten je osazen obvodem AD8306), jehož výstupní stejnosměrné napětí odpovídá intenzitě přijímaného vf signálu.

To je tedy cesta měření magnitudy/amplitudy signálu na kmitočtovém intervalu rovnu šířce finálního X-tal filtru.



Měření fáze - VNA, tedy vektorový analyzátor měří nejen amplitudu/magnitudu příslušného signálu, ale samozřejmě i jeho fázi. Pouhá hodnota fázového posunutí je poněkud neuchopitelná, pokud ji nesrovnáváme s jiným signálem o stejné frekvenci. Proto všechny VNA mají sledovací (tracking) generátor použity jako referenční signál.

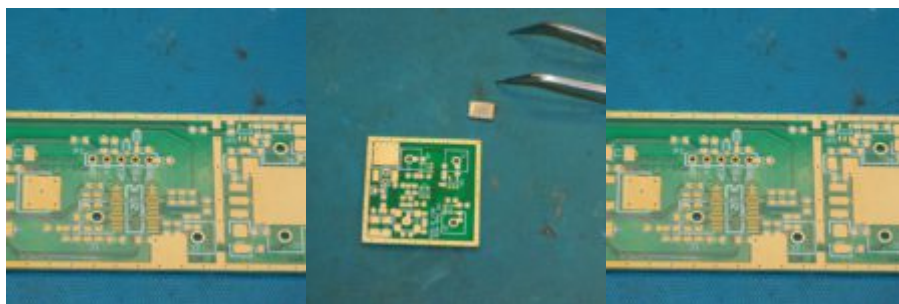
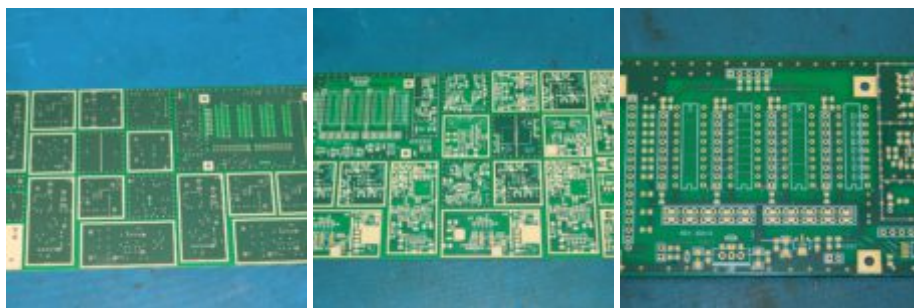
- Komerční VNA používají svůj výstup z tracking generátoru jako referenční signál.
- MSA / VNA využívá mezifrekvenci (10,7MHz) jako svou referenční hodnotu.

Účelem každého VNA je získání přenosových parametrů daného obvodu. Signál změní svou amplitudu a fázi při průchodu kterýmkoliv obvodem, analýzou těchto změn a provedením některých matematických operací lze vypočítat vlastnosti připojeného zařízení. Tím může být aktivní nebo pasivní součást, kus koaxiálního kabelu, reflexní most nebo dokonce anténa. V mnoha případech může být zařízení kombinací několika těchto položek (zařízení s konektory, s testovacím vedením, umístěním v testovacím lůžku).

VNA pracuje ve dvou režimech:

- Režim přenosu (transmise)
 - MSA / VNA může mít několik různých funkcí. Nepotřebujeme ani žádnou složitou matematiku, prostě jsou porovnávány čtyři veličiny. Výstupní signál DUT (který se skládá z amplitudy a fáze) je porovnáván se vstupním signálem. Toto se nazývá přechodové srovnání. Všechny VNA jsou „přechodové komparátory“, i když častěji užíváme termín „měření přenosové charakteristiky“. Výsledné srovnání je vyjádřeno jako poměr výstup k vstupu tedy, jako S-parametr **S21**.
- Režim reflexe
 - Měří se obdobně jako režim transmise (přenosu). SW MSA poté překonvertuje parametr S21 na **S12**.

K dispozici jsou všechny potřebné podklady včetně [MSA_gerber](#) dat pro výrobu plošných spojů, které jsem si nechal vyrobit v Prago Boardu.



PCB jsou vyrobeny v jejich „Pool servisu“. Jedna sada vyjde na cca 2021,-kč. Kvalita desek je rovněž skvělá, ke standardu patří elektronická kontrola a chemické zlacení.

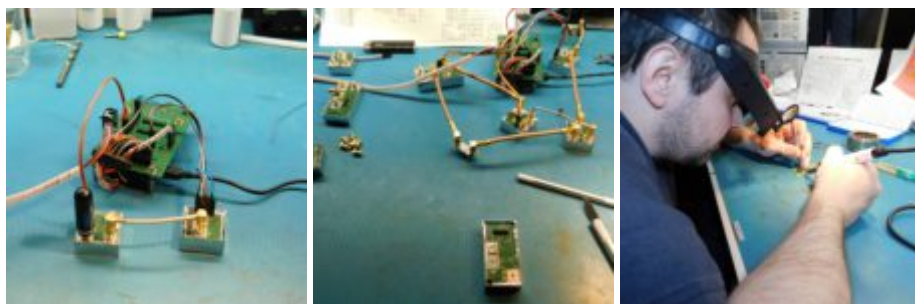
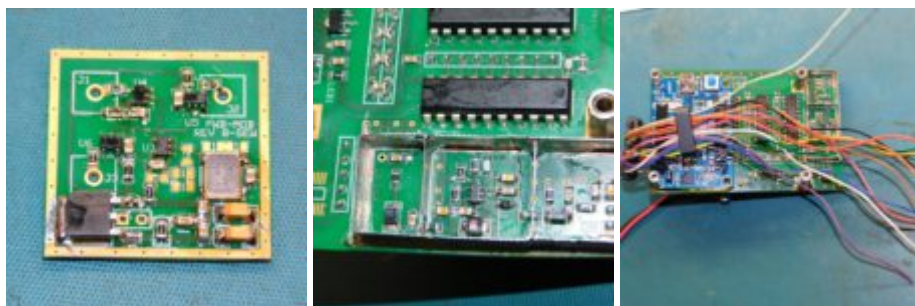
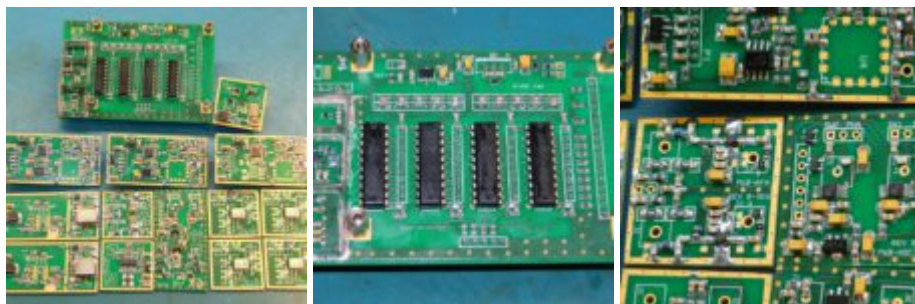
Součástky je potřeba shánět na více místech, v mém případě tyto:

- Farnell - Většina pasivních
- Mouser - DDS, fázové závěsy, logaritmický detektor
- Mini Circuits - Směšovače, širokopásmové zesilovače, VCO
- GES - PC konektory na datové vodiče
- Ebay - semirigid RG-402, SMA konektory
-



Dokumentace, která je dostupná na <http://scottyspectrumanalyzer.us/> , je dobře zpracovaná a není problém podle ní všechny moduly osadit. Na jednotlivých stránkách ke konkrétním modulům jsou vždy i poslední známé úpravy, které mají pozitivní vliv na funkčnost a parametry.

V dostupném návodu je dobře rozepsán postup činností a jednotlivých „oživovacích“ kroků.

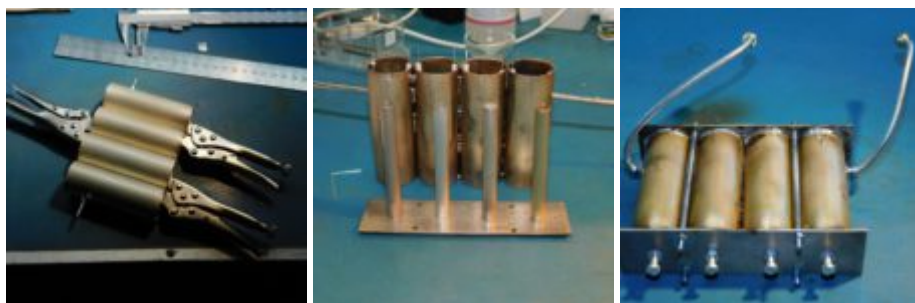




Dutinový filtr band-pass:

se skládá ze 4 dutin spojených podkritickou vazební smyčkou. Celkový průchozí útlum je **-3,8dB** (1013,3MHz) rejekce 20MHz vedle je **-88dB** (1034MHz).

Konstrukce filtru je jednoduchá, prostě je v plechovce zavřena $1/4\lambda$ anténa/rezonátor. Ta je pak buzena sondou, další sondou se energie přenáší do dalších sekcí filtru.



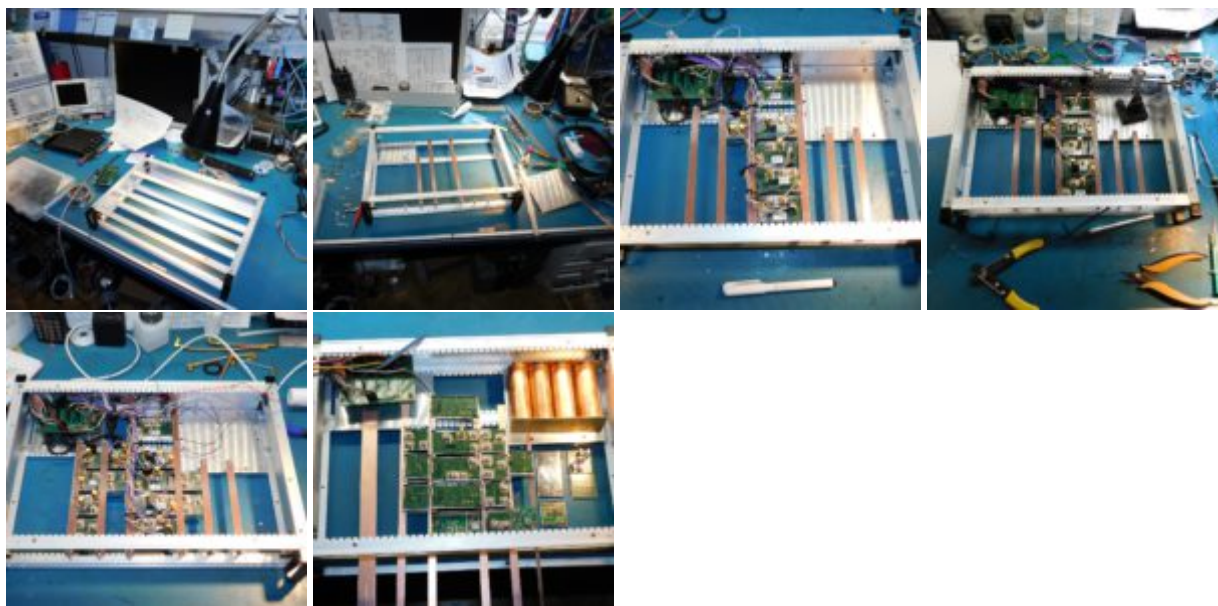
Stříbření:

Prováděno v roztoku AG1 od Elchemca (Thiomočovina, kyselina sírová, dusičnan stříbrný). Roztok je určen pro slitiny mědi, stačí vše jen důkladně očistit a odmastit. Po ponoření do lázně se do 15min vyloučí cca $7\mu\text{m}$ vrstvička stříbra.

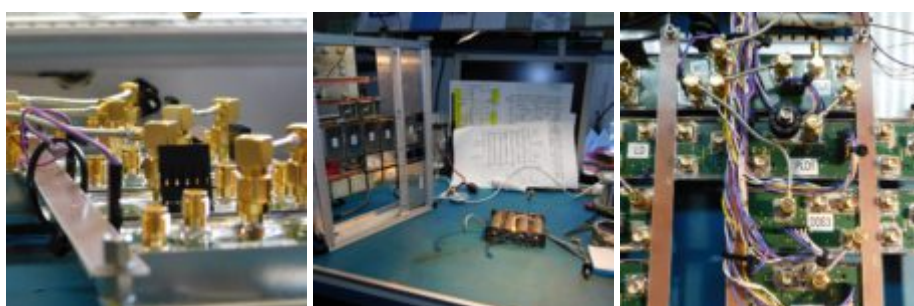


Celková montáž:

Celá konstrukce MSA je umístěna do hliníkové „Teslácké“ krabice, kterou jsem koupil na setkání v Holicích 2016 za 100,- Kč. Na šasi jsem použil 5mm pásky cuprexidu (Umatex).



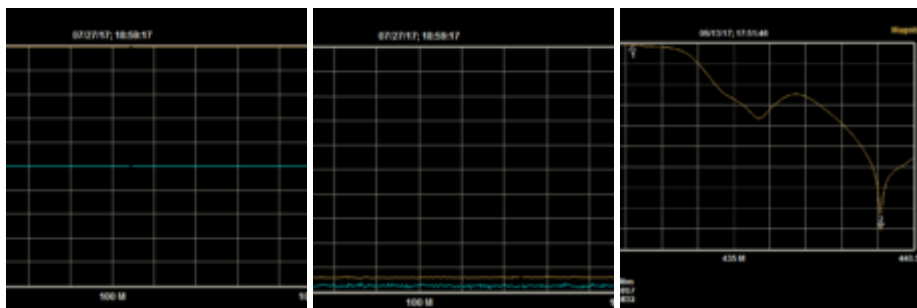
Datové signálové cesty pro řízení jednotlivých funkčních bloků jsou realizovány pomocí klasických 2,54mm headrů, stejně jako v PC. Vysokofrekvenční cesty pak pomocí semirigidů RG402/405 zakončených SMA konektory.



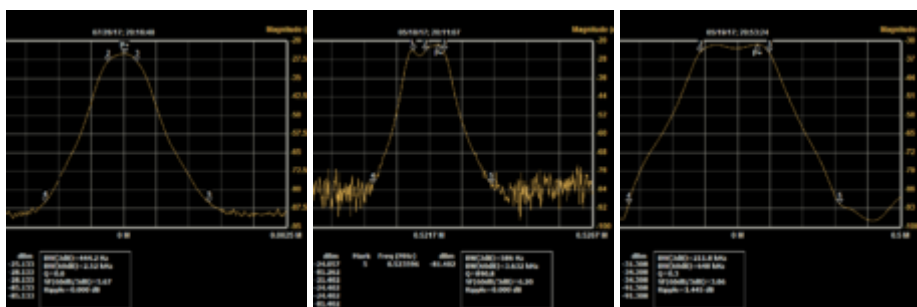
Na závěr několik obrázků celkové konstrukce.



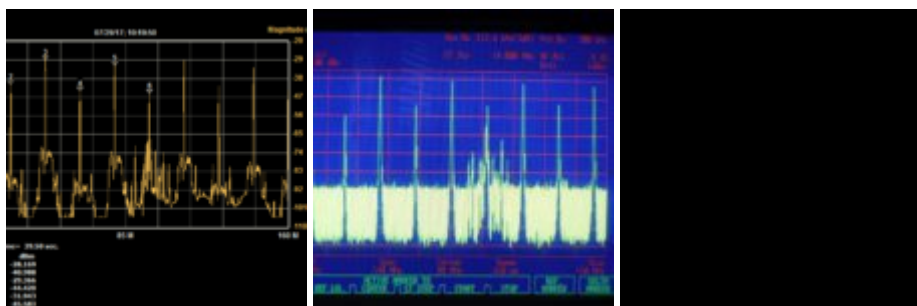
Ovládání spektrálního analyzátoru je řešeno pomocí PC a řídicí SW je napsán v liberty Basicu:)



Na screenech je vidět kalibrace - žlutá křivka **0dB** při propojení portů (Bypass), -94dB při jejich rozpojení. Dosažená dynamika ve VNA režimu je **94dB**! Na pravém snímku je signálová odezva RX části duplexeru.



Na prvních dvou obrázcích je filtr 5-ti krystalový 450Hz - kompenzovaný/nekompensovaný, na pravém obrázku je jednorezonátorový keramický filtr 210kHz.



Na těchto obrázcích je vidět spektrum TTL oscilátoru 16MHz:

- levý obrázek ukazuje měření na MSA
- prostřední na Rohde&Schwarz FSB
- pravý pak FFT analýzu na digitálním osciloskopu HMO1002

Zatím jsem zkonstruoval pouze 3 MF filtry, konkrétně tyto:

- 210kHz keramický
- 100kHz keramický zdvojený
- 450Hz 5-ti krystalový

Co nejdříve bych rád doplnil:

- elektronický přepínač MF filtrů
- elektronický přepínač režimu 1/2/3GHz

Parametry MSA/VNA:

- dvojí směšování, 1. 1013,3MHz, 2. 10,7MHz
- pracovní kmitočtový rozsah: 50kHz-1013MHz / 913-2126MHz / 2028-3039MHz
- kmitočtová stabilita: < 3Hz
- citlivost: <-108dB – závisí na šířce pásma
- dynamický rozsah: **105dB** (spektrální analyzátor)
- dynamický rozsah VNA: **94dB!!!**
- rozlišení měření amplitudy: 0,05dB
- rozlišení měření fáze: <0,1°
- šířka pásma: 210kHz/100kHz/455Hz – závisí na 2. MF filtru
- šumové číslo: <23dB
- fázový šum: <-91dBc/Hz, 10kHz od nosné
- maximální vstupní signál: +13dBm (bez HW poškození, neměřitelný)
- výstupní úroveň generátoru:
 - 50kHz – 1013MHz @ -12dBm, +/- 1dB
 - 916MHz – 2016MHz @ +7dBm, +/- 1dB (bypass)
 - 2028MHz – 3039MHz @ -14dBm, +/- 1dB

Stavba MSA mi zabrala cca 220hodin během dvou měsíců, cena součástek dosáhla 14.354,55Kč.

Na letošním [radioamatérském setkání v Holicích](#) budu projekt MSA prezentovat. Pokud Vás článek zaujal, můžete se přijít podívat v pátek 25.8.2017 (14-16hod) do klubovny č.7 na fyzickou podobu MSA.