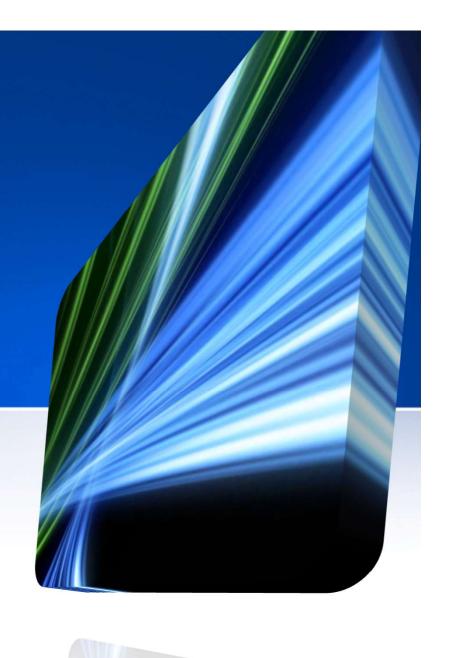


Doc. Dr. Ing. Pavel Kovář



## Obsah

- Přijímač letecké VKV radiostanice
  - zadání
  - technické řešení
- Více frekvenční precizní GNSS softwarový přijímač
  - zadání
  - technické řešení
- Spektroskop pro výzkum Slunce v radiofrekvenčním pásmu
  - zadání
  - technické řešení

### - zadání

Navrhněte architekturu přijímače letecké palubní radiostanice, který má splňovat následující technické zadání:

Kmitočtový rozsah 118 – 137 MHz s možností rozšířit do 156 MHz

Modulace AM s nepotlačenou nosnou

Kanálový rozestup 8,33 kHz

Propustné pásmo přijímače +/- 2,778 kHz

Nepropustné pásmo 60 dB +/- 7,37 kHz

Dovolené zvlnění v propustném pásmu max. 6 dB

Notlačení sousedního kmitočtu > 60 dB

Potlačení (všech) nežádoucích příjmů > 60 dB

Pokut to bude možné, vyhnout se přeladitelným RF filtrům

Citlivost 10 µV pro SINAD 6 dB a AM modulaci 1 kHz 30%

Zisk přijímače musí být řízen tak, aby pro rozmezí vstupních signálů 10  $\mu V$  až 100 mV se měnila úroveň výstupního signálu max. o 6 dB

#### Analýza zadání

- Nezáleží na fázové charakteristice přijímače, dovolené velké zvlnění v propustném pásmu
- Přijímač je extrémně úzkopásmový, zřejmě na potlačení sousedního kanálu bude mít vliv fázový šum lokálního oscilátoru
- Nutno zabezpečit kvalitním kmitočtovým normálem, aby chyba kmitočtu lokálního oscilátoru nepřesáhla rozumnou mez
- Jedná se zařízení spadající do kategorie speciální technika. Cena zařízení může být vyšší.
   Lze použít krystalové filtry
- Extrémní požadavky na potlačení nežádoucích příjmů, nutno řešit postranní příjmy způsobené intermodulací na směšovači. Nutno řešit úrovňový plán přijímače tak, aby na se dosáhlo požadované citlivosti a aby úroveň signálu na směšovači byla co nejmenší
- Přijímač musí být vybaven obvody AGC

#### Požadavky na selektivity filtru

- Stabilita kmitočtu normálu 1 ppm
- Maximální chyba kmitočtu lokálního oscilátoru bude cca. +/- 200 Hz\*, o tuto hodnotu je třeba zvětšit propustné pásmo filtru a zmenšit nepropustné pásmo filtru
- Požadavky na filtr
  - Propustné pásmo min. f +/- 2,978 kHz v celém teplotním rozsahu
  - Nepropustné pásmo max. f +/- 7,17 kHz v celém teplotním rozsahu
  - Šumová šířka pásma přijímače bude cca. 6 kHz

\*Pro kmitočet lokálního oscilátoru 200 MHz a celkovou chybu kmitočtu kmitočtového normálu 1 ppm.

### Stanovení požadavků na fázový šum lokálního oscilátoru

 Na šumové šířce pásma 6 kHz a na kmitočtovém offsetu min. 7,37 kHz musí být výkon fázového šumu podstatně menší, než je výkon nosné – 60 dB

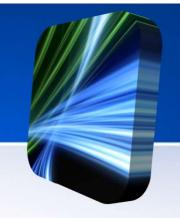
$$\frac{C}{N_{SSB}} = S_c(f_{offset}).\frac{1}{B_n}$$

$$S_c(f_{offset}) = B_n \frac{C}{N_{SSB}}$$

Po dosazení

$$S_c(7,37 \text{ kHz}) \ll 10.\log 6000 + 60dB - S_c(7,37 \text{ kHz}) \ll 98 \text{ dBc} - \text{Hz}$$

 SSB fázový šum lokálního oscilátoru na offsetu +/- 7,37 kHz musí být podstatně menší (aspoň o 6 dB) než 98 dBc - Hz



#### Maximální šumové číslo přijímače

$$NF_{max} = \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{RX \ input}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{min,RX \ output}} = \frac{\frac{U^2}{R.k.T.B_n}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{min,output}}$$

Po demodulaci je požadováno  $\left(\frac{S}{N}\right)_{min,demod} = 6 \text{ dB}$ 

AM synchronní demodulátor platí

$$\frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{demod\ output}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{demod\ output}} = 2\frac{m^2P_{nf}}{1 - m^2P_{nf}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{min,RX\ output} = \left(\frac{S}{N}\right)_{demod\ output} \frac{1}{2\frac{m^2\frac{1}{2}}{1 - m^2\frac{1}{2}}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2\frac{0.3^2}{\frac{0.3^2}{2}}} = 42.4 \sim 16\ dB$$

$$NF_{max} = \frac{(10^{-5})^2}{\frac{50.1,38.10^{-23}.6000}}{42.4} = 1898 \sim 32\ dB$$

Fakticky bude třeba dosáhnout šumového čísla nejméně o 10 dB nižší tedy -22 dB. I tak je potřebné šumové číslo hodně vysoké a umožňuje přijímač realizovat s pasivními vstupními obvody.

#### Návrh koncepce přijímače

- Přijímač s dvojím směšováním
- První mezifrekvence 80 MHz
- Lokální oscilátor pracuje o mezifrekvenční kmitočet výš
- Vzhledem k vysokému možnému šumovému číslu lze vstupní odvody realizovat pasivně bez zesilovače, aby byla úroveň signálu na prvním směšovači co nejmenší, a tedy aby byly co nejmenší intermodulační příjmy

### Vstupní část přijímače

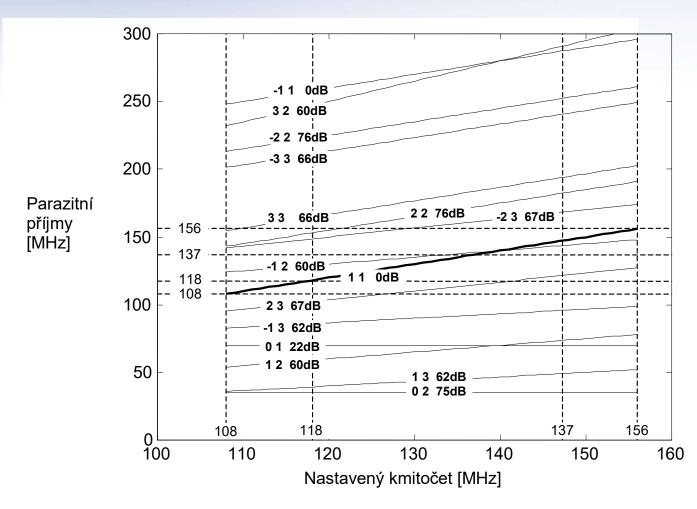


			Contain Con		C-l l					
			System Cas	cade Parame	ter Calculator					
									Click here to	
Click here for the online version									check for Updates	
Input Power:	0d	Bm								
					Output Values					
Component Name	Gain (dB)	NF (dB)	IP2 (dBm)	IP3 (dBm)	Pwr (dBm)	Gain (dB)	NF (dB)	IP2 (dBm)	IP3 (dBm)	
RF filtr	-3	3	999	999	-3,00	-3,00	3,00	999,00	999,00	
Směšovač	-7	7	999	999	-10,00	-10,00	10,00	988,79	991,21	
1. IF Filtr	-3	2	999	999	10,00	10,00	12,00	996,56	998,75	
LNA	20	2	999	999	7,00	7,00	12,03	989,84	994,07	
Směšovač	-7	7	999	999	0,00	0,00	12,24	981,59	986,80	
2. Filtr	-2	2	999	999	-2,00	-2,00	12,39	978,70	984,63	
Zesilovač	60	10	999	999	58,00	58,00	15,00	998,91	999,00	
10	0	0	999	999	58,00	58,00	15,00	992,93	995,99	
9	0	0	999	999	58,00	58,00	15,00	989,43	994,23	
10	0	0	999	999	58,00	58,00	15,00	986,94	992,98	
11	0	0	999	999	58,00	58,00	15,00	985,00	992,01	
12	0	0	999	999	58,00	58,00	15,00	983,42	991,22	
13	0	0	999	999	58,00	58,00	15,00	982,09	990,55	
14	0	0	999	999	58,00	58,00	15,00	980,93	989,97	
15	0	0	999	999	58,00	58,00	15,00	979,91	989,46	
									<u>Home</u>	

**RF filtr** 

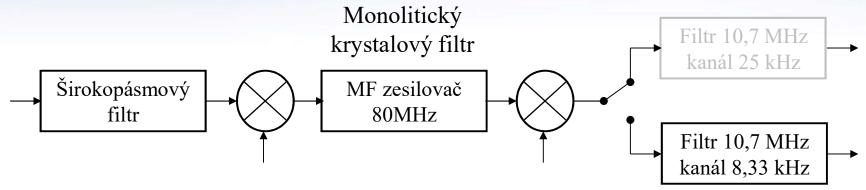


#### Intermodulace na směšovači



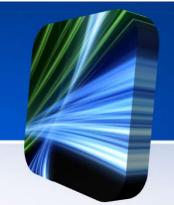
### Výsledné blokové zapojení navrhovaného přijímače

Diskrétní krystalový filtr



Letecká palubní radiostanice LUN3526

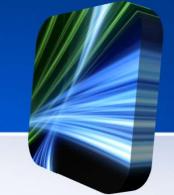




Zkonstruujte jakostní softwarová GNSS přijímač, který bude schopný zpracovávat kmitočty GPS L1, L2, L5, GLONASS L1, L2, Galileo E1, E5a, E5b, E6. Využitelná šířka pásma přijímače musí být nejméně 40 MHz. Je vyžadováno minimální fázové a amplitudové zkreslení. Spektrum výstupního signálu musí být prosto vnitřního rušení.

#### Poznámka:

Softwarový přijímač znamená, že přijímač bude měřit vzorky signálu a ty bude pomocí vhodného interface posílat do počítače k dalšímu zpracování.

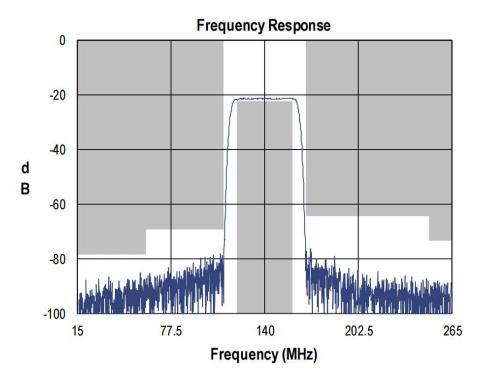


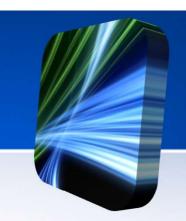
#### Analýza zadání

- Přijímač musí být osazen SAW filtry, protože ty jediné splňují podmínku nezkresleného přenosu
- Přijímač musí být konstruován jako superheterodynní s jedním směšováním
- Je třeba vybrat mezifrekvenční kmitočet a typ filtrů, způsob vzorkování a vzorkovací kmitočet

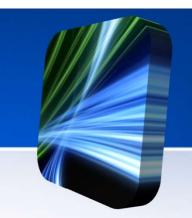
#### **SAW filtr 140 MHz**

Propustné pásmo 1dB +/- 20 MHz Nepropustné pásmo 40 dB +/-26 MHz





Kmitočet [MHz]	Označení	Propustné pás	smo	Nepropustné pásmo		
		F1 [MHz]	F2 [MHz]	F3 [MHz]	F4 [MHz]	
1575,42	L1, E1	1555,42	1595,42	1549,42	1601,42	
1227,6	L2	1207,6	1247,6	1201,6	1253,6	
1176,45	L5, E5a	1156,45	1186,45	1150,45	1202,45	
1207,14	E5b	1187,14	1227,14	1181,14	1233,14	
1278,75	E6	1258,75	1298,75	1252,75	1304,75	
1602	GLONASS L1	1582	1622	1576	1628	
1249	GLONASS L2	1229	1269	1263	1275	



#### IF vzorkování

Mezifrekvenční kmitočet 140 MHz

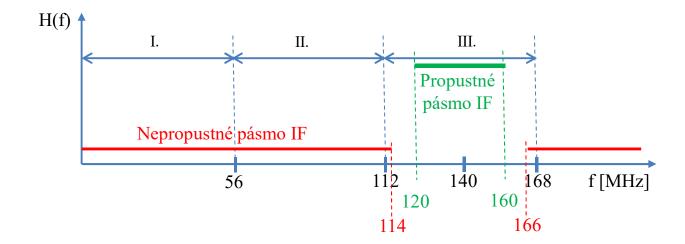
Vzorkování v III. zóně. Vzorkovací kmitočet 112 MHz

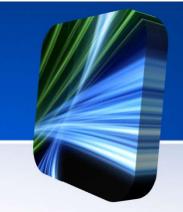
140 MHz/4\*5 = 112 MHz

Pásmo jednoznačnosti od 112 MHz do 168 MHz

Nepropustné pásmo MF filtru je 140 +/- 26MHz, tj. 114 MHz do 166 MHz

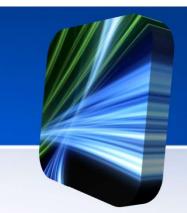
Oba zlomové kmitočty nepropustného pásma leží uvnitř zóny jednoznačnosti.





#### Rušení vzorkovacím kmitočtem a jeho harmonickými

- Vzorkovací kmitočet leží v nepropustném pásmu IF zesilovače 112 MHz < 140 –</li>
   26 MHz a 2x 112 MHz > 140 + 26 MHz
- Volba vzorkovacího kmitočtu, aby jeho harmonické nepadly do propustného pásma některého kmitočtu je velmi obtížné, až nemožné pro rozumně nízké vzorkovací kmitočty. V našem případě
  - 11 harmonická 1232 MHz spadá do pásma GPS L2
  - 14 harmonická 1568 MHz spadá do pásma GPS L1
- Řešením je použít AD převodník se sériovým výstupem a vestavěnou děličkou vzorkovacího kmitočtu. Kmitočet pro AD převodník se bude generovat 5x vyšší, tedy 560 MHz. Uvnitř AD převodníku se bude kmitočet dělit 5x. Komunikace s FPGA poběží sériově na 5x vyšším kmitočtu, tedy 560 MHz.
- Kmitočet 560 MHz ani jeho harmonické 1120 MHz a 1680 nepadnou do propustného pásma přijímače



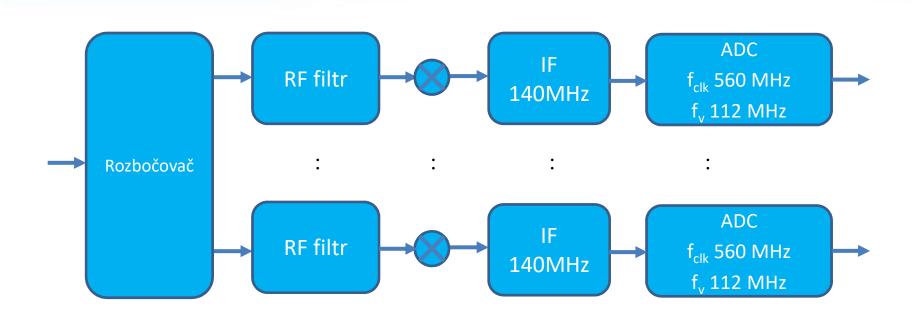
### Rušení signálem lokálních oscilátorů

Kmitočet	LO <sub>1</sub> [MHz] f - f <sub>IF</sub> LO <sub>2</sub> [MHz] f + f <sub>IF</sub>	Přechodové a propustné pásmo [MHz]							
[MHz]		1549,42 – 1601,42	1201,6 – 1253,6	1150,45 – 1202,45	1181,14 – 1233,14	1252,75 – 1304,75	1576 – 1628	1232 – 1275	
1575,42	1435,42 1715.42	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	
1227,6	1087,6 1367,6	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+ +	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+ +	
1176,45	1036,45 1316,45	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	++	++	+	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	
1207,14	1067,14 1347,14	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	
1278,75	1138,75 1418,45	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	
1602	1462 1742	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	+ +	
1249	1109 1386	++	+++	+++++++++++++++++++++++++++++++++++++++	++	++	++	++	

Přijímač musí být schopný pracovat na všech kmitočtech současně.
Kmitočet lokálního oscilátoru kteréhokoliv kanálu nesmí padnou Do propustného nebo přechodového pásma jednotlivých kanálů.

- + Kmitočet lokálního oscilátoru leží mimo propustné a přechodové pásmo
- x Kmitočet lokálního oscilátoru leží uvnitř propustného nebo přechodového pásma

Výsledné zapojení přijímače



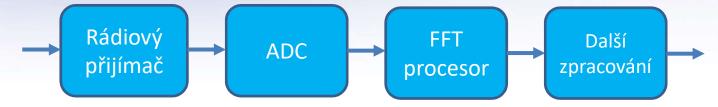
## Spektroskop pro výzkum Slunce – technické zadání

Spektroskop je zařízení, které měří spektrum rádiové emise Slunce.

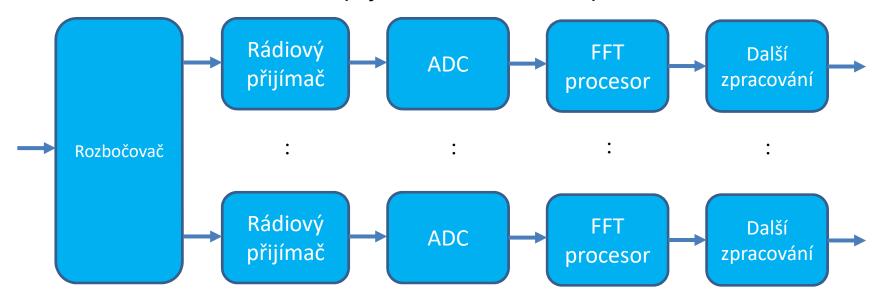
Zkonstruujte spektroskop, který bude kontinuálně měřit spektrum signálu vysílaného sluncem v kmitočtovém pásmu 1 až 2 GHz. Z hlediska astronomického pozorování je důležité měřit pouze amplitudové spektrum. Rozlišovací šířka pásma má být 4 MHz. Spektrum je třeba měřit kontinuálně ve všech kmitočtových binech, aby se dosáhlo vysoké citlivosti. Narušení některých spektrálních binů vnitřním nebo vnějším rušením se toleruje. Amplitudovou charakteristiku je možné kalibrovat pomocí šumového pozadí slunce.

## Spektroskop pro výzkum Slunce – řešení

Jednokanálové řešení se širokopásmovým přijímačem



Vícekanálové řešení se N přijímači o menší šířce pásma



## Spektroskop pro výzkum Slunce – řešení

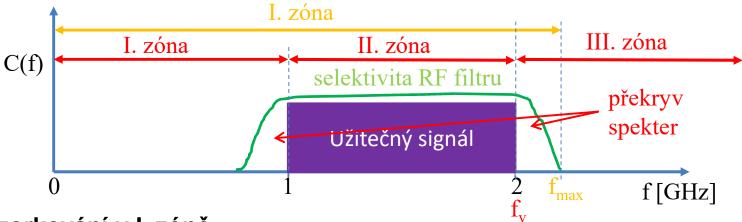
#### Analýza zadání

- Rozlišení spektroskopu je 4 MHz, kanál je dostatečně široký, takže se nemusí řešit reciproké směšování. Spektrální šum místního oscilátoru není třeba řešit, vyhoví prakticky jakýkoliv LO. Rovněž tak není třeba řešit jitter vzorkovacího kmitočtu ADC.
- Fázová charakteristika filtrů přijímače může být libovolná
- Amplitudová charakteristika přijímače se bude kalibrovat. Propustná charakteristika filtrů přijímače může být zvlněna. Jako rozumné zvlnění lze pokládat zvlnění nepřesahující 3 resp. 6 dB
- V přijímači se může vyskytovat zdroj rušení (spur, hvizd), nesmí ale příliš zahltit AD převodník.

## Jednokanálový přijímač s přímím zesílením







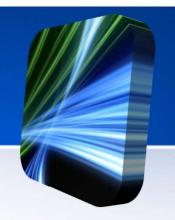
#### Vzorkování v I. zóně

- vzorkovací kmitočet ≥ 2 f<sub>max</sub> , cca. 5 GHz
- vzorkovací kmitočet je příliš vysoký na technologii roku 2016!

#### Vzorkování ve II. zóně

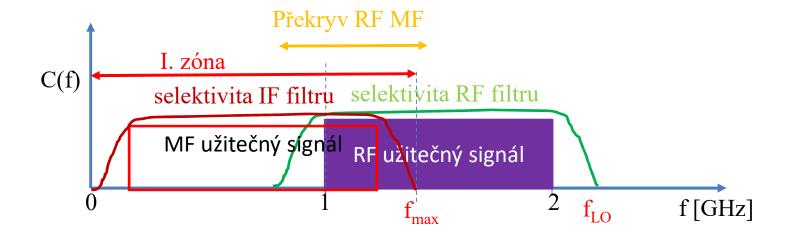
- Užitečný signál leží celý v II. zóně pro vzorkovací kmitočet 2 GHz
- RF filtr musí být širší, což nelze, aniž by došlo k překryvu spekter!

## Superheterodynní přijímač

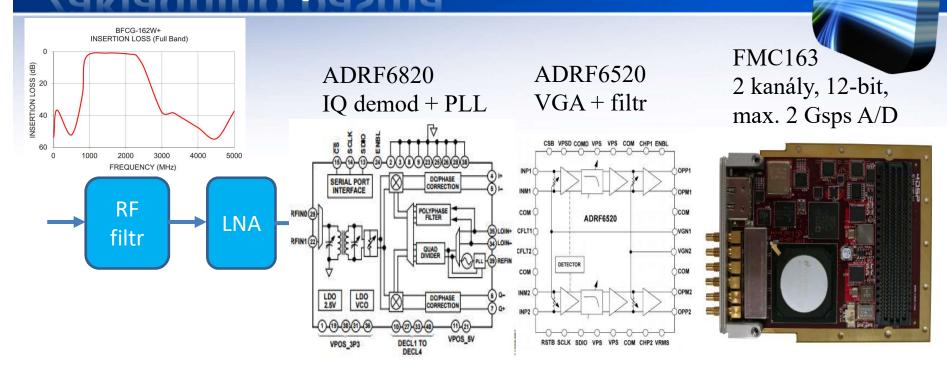


#### Jednokanálové řešení

- Problém s realizaci MF filtrů, velká relativní šířka pásma.
- Pracovní pásmo se překrývá s propustným pásmem MF filtrů nutno řešit velkou izolací mezi RF a IF bránou
- V případě, že by místní oscilátor, pracoval o mezifrekvenční kmitočet níž, pak by se jednalo o
  kmitočet menší než 1 GHz, který padne do propustného pásma mezifrekvenčního zesilovače,
  který spolehlivě zaruší! Místní oscilátor by musel pracovat na kmitočtu o mezifrekvenční kmitočet
  vyšším, než je střed pracovního pásma přijímače, aby nerušil.
- Mezifrekvenční signál by musel být vzorkován v první zóně. Vzorkovací kmitočet by byl kolem 3 GHz, což je ne technologie roku 2016 hodně.



## Přijímač s přímou konverzí do základního pásma



Filtry typu dolní proust 500 MHz s dB, 750 MHz min. 20 dB Místní oscilátor 1,5 GHz Vzorkovací kmitočet 1,5 GHz

Problematický kmitočet 1,5 GHz

Splňuje zadání!

# Přijímač s přímou konverzí do základního pásma

