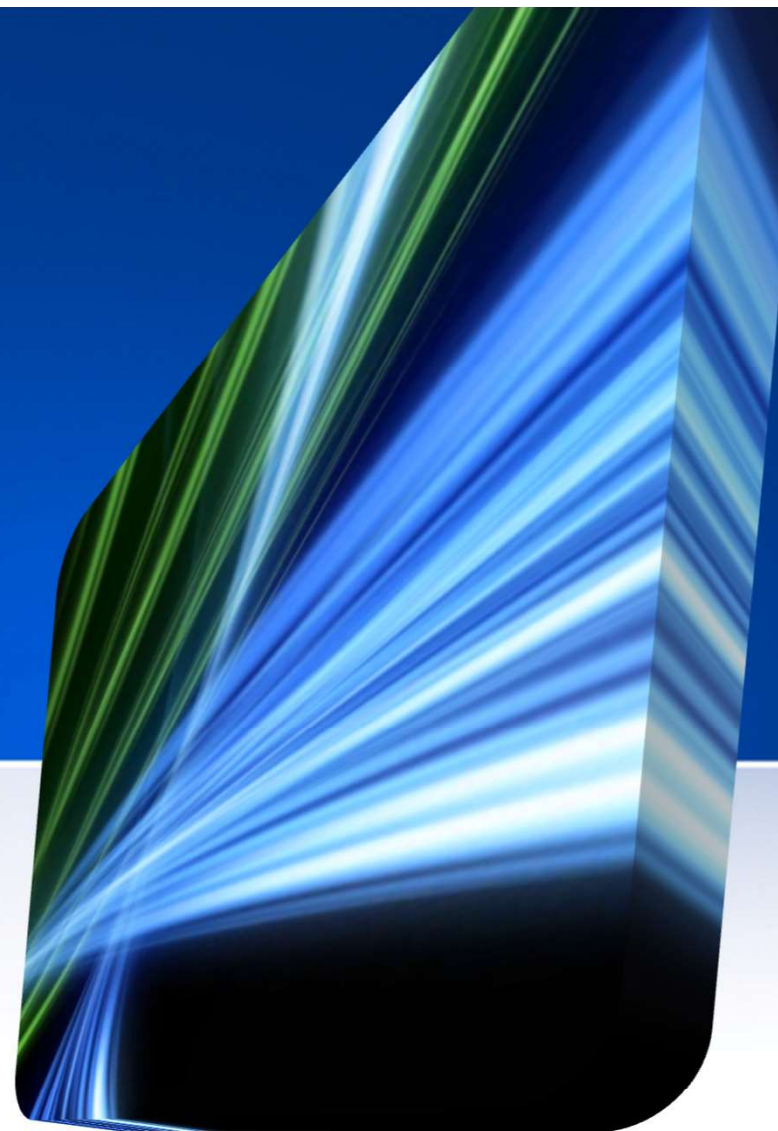


Bloky rádiových přijímačů a vysílačů

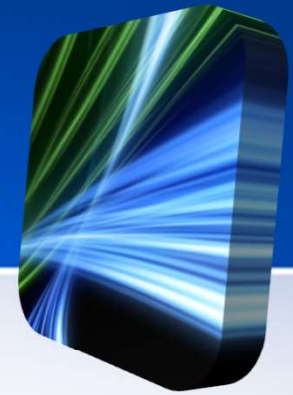
Doc. Dr. Ing. Pavel Kovář



Obsah

- Digitalizace signálu
- DUC, DDC
- AGC
- Squelch
- Selektivní volba
- AFC

Digitalizace signálu v přijímači



- RF sampling – digitalizace RF signálu
 - přijímač s přímým zesílením
- IF sampling – digitalizace IF signálu
 - superheterodyn s jedním nebo více směřováním
- BB sampling – digitalizace komplexní obálky (IQ)
 - Přijímač s přímou konverzí do základního pásma
 - Superheterodyn + IQ demodulátor
 - Přijímač s přímým zesílením + IQ demodulátor

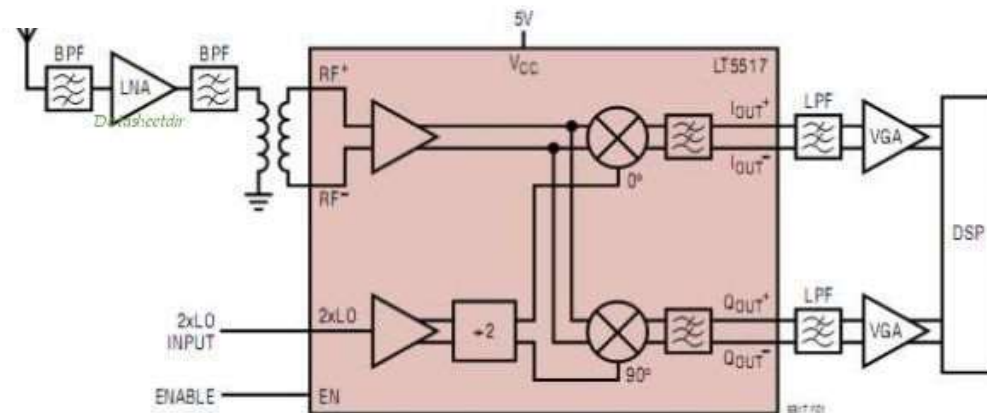
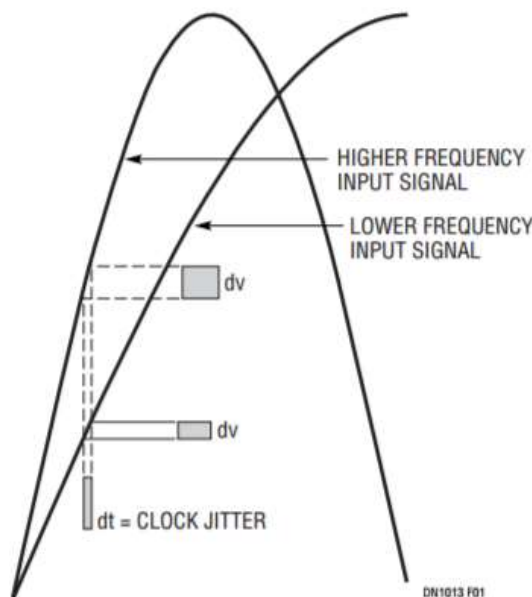
[illegible]

Figure 1. High Signal-Level I/Q Demodulator for 450MHz Infrastructure Receiver

Digitalizace signálu v přijímači



- Vliv jitteru vzorkovacího signálu na ADC převod



Teoretický limit SNR způsobený jitterem hodin

$$SNR(dBFS) = -20 \log(2\pi f_i \sigma)$$

f_i kmitočet

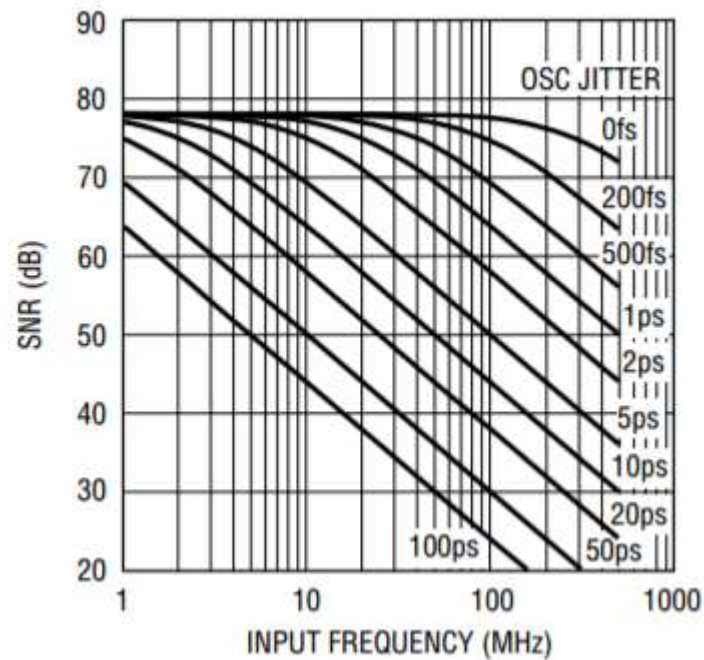
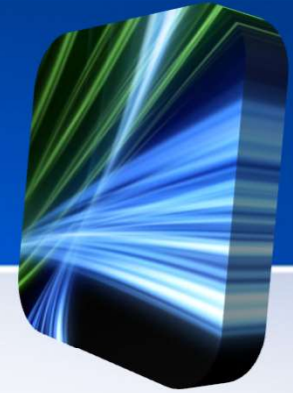
σ směrodatná odchylka jitteru [s]

Zhoršení SNR vlivem jitteru

$$SNR_{Degradation} = 10 \log(10^{-SNR_{adc}/10} + 10^{-SNR_{jitter}/10})$$

SNR_{adc} – odstup signálu od šumu ADC

Digitalizace signálu v přijímači



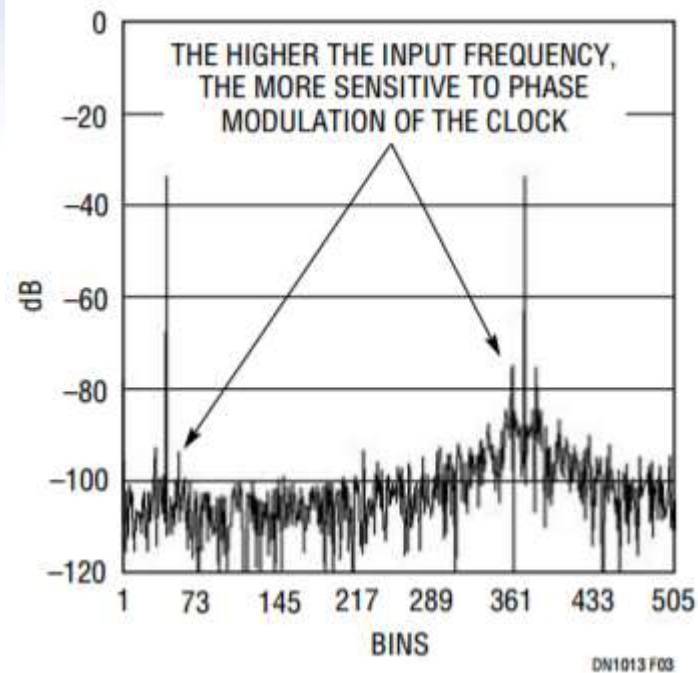
Vztah mezi fázovým šumem a jitterem

$$\sigma = \frac{1}{2\pi f_0} \sqrt{\int_f 2C_{SSB}(f)df}$$

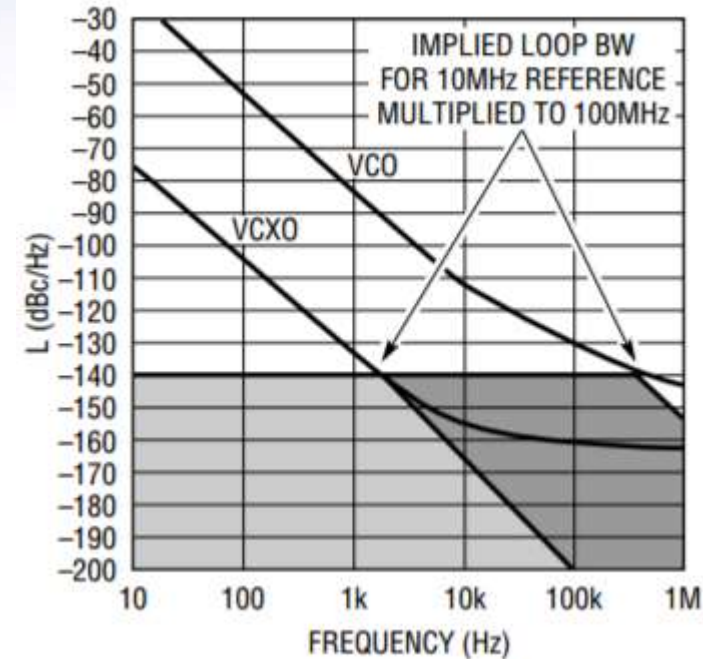
$C_{SSB}(f)$ fázový šum oscilátoru
 f_0 Vzorkovací kmitočet

Degradace SNR jako funkce kmitočtu

Digitalizace signálu v přijímači



Porovnání efekt fázového šumu
na různých kmitočtech



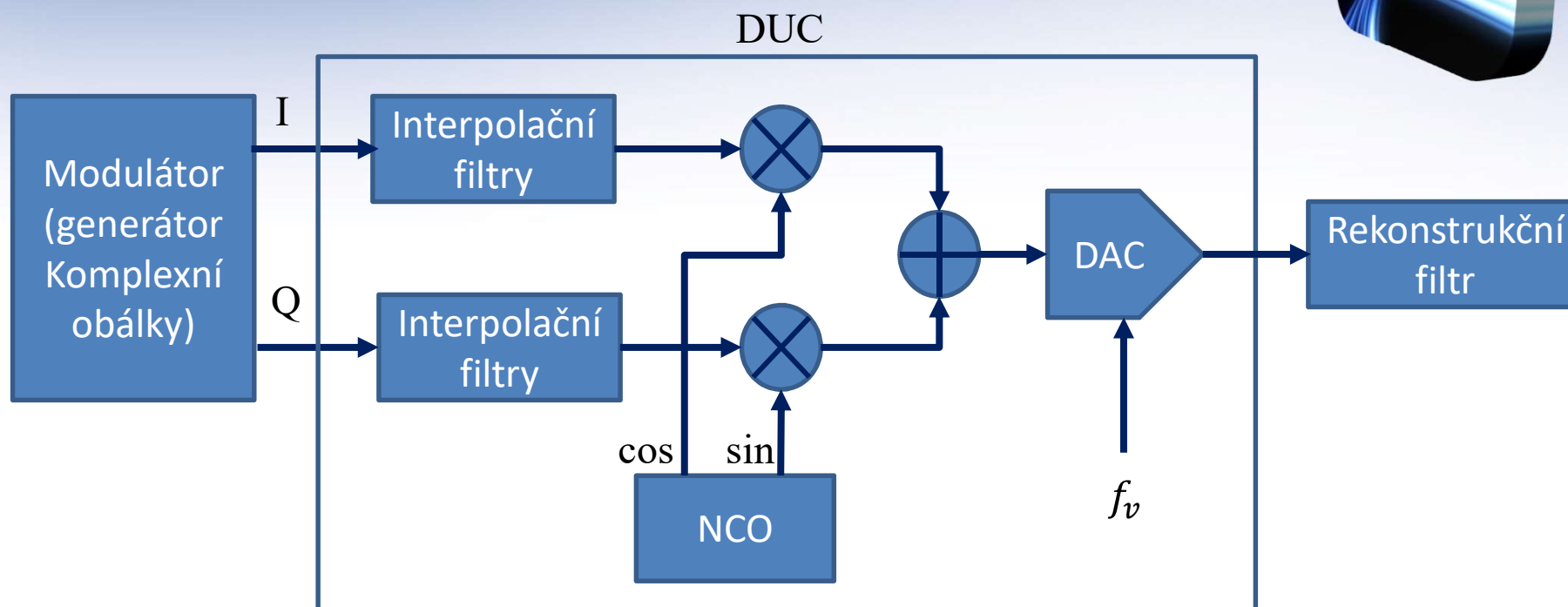
Porovnání fázového šumu VCO a VCXO

Číslicové mezifrekvenční stupně



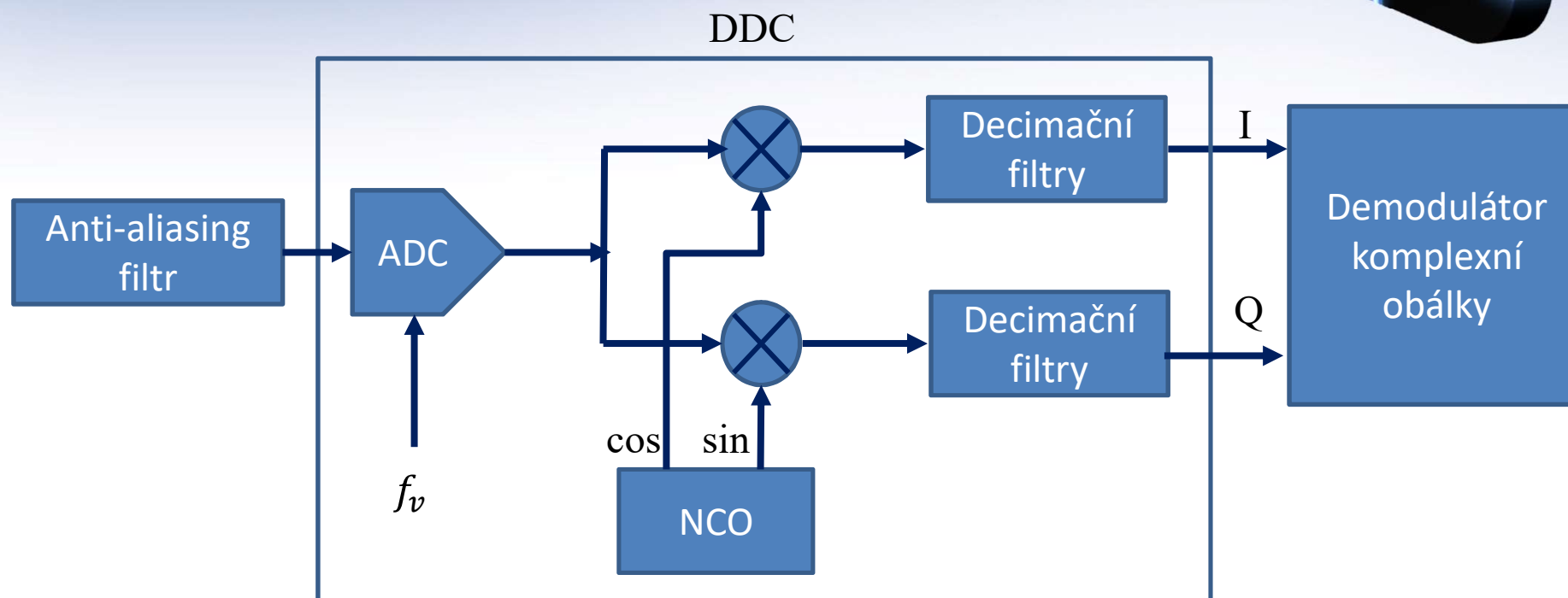
- DUC digital Up convertor
- DDS digital Down converter

DUC



Komplexní obálka se generuje na podstatně nižším kmitočtu než je vzorkovací kmitočet f_v . DAC DUC provádí interpolaci signálu na f_v a modulaci na nosný nebo mezifrekvenční kmitočet.

DDC

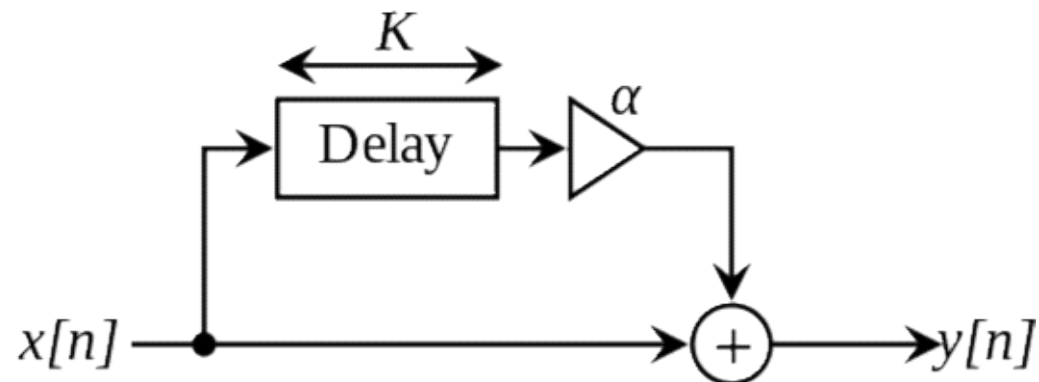


DDC provádí decimaci signálu. Vzorkovací kmitočet komplexní obálky je podstatně nižší než f_v .

Interpolační filtry



- Velká změna vzorkovacího kmitočtu lze dělat pomocí COMB filtrů



- CIC Cascaded integrator COMB – kaskádně řazení COMB filtry

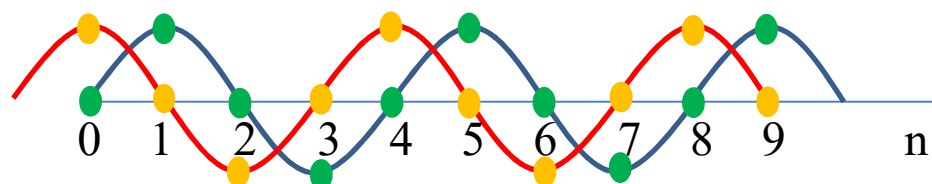


- Vhodná volba vzorkovacího kmitočtu může zjednodušit číslicová kvadrurní demodulátor

$$f_{NCO} = \frac{N}{4} f_v$$

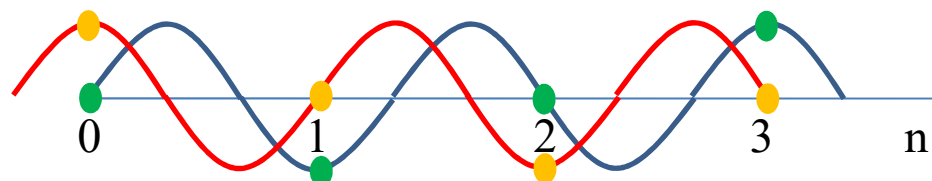
N = 1 $\cos\left(2\pi\frac{1}{4}n\right) = 1, 0, -1, 0, \dots$

$\sin\left(2\pi\frac{1}{4}n\right) = 0, 1, 0, -1, \dots$



N = 2 $\cos\left(2\pi\frac{3}{4}n\right) = 1, 0, -1, 0, \dots$

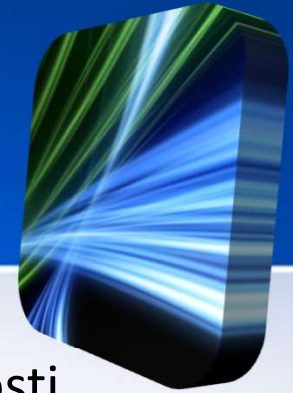
$\sin\left(2\pi\frac{3}{4}n\right) = 0, -1, 0, 1, \dots$



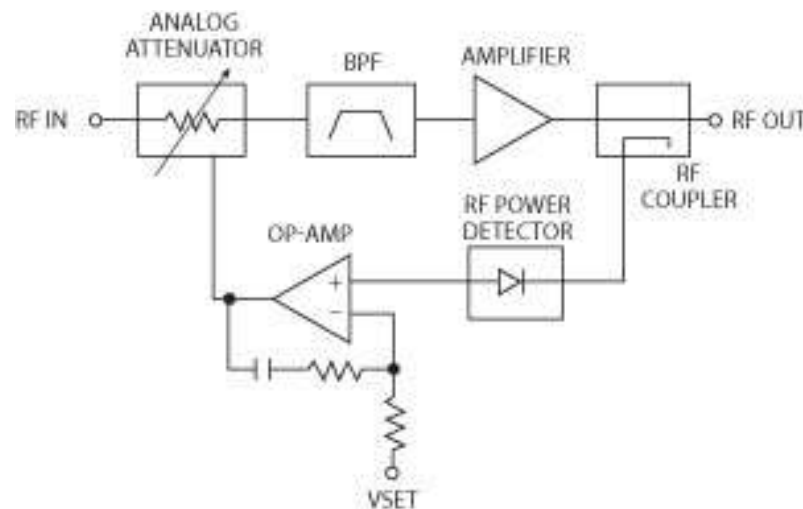
...

V modulátoru, resp. demodulátoru se v tomto případě násobí pouze 0, +1, -1, což zásadním způsobem zjednoduči hardware

Pomocné obvody přijímačů

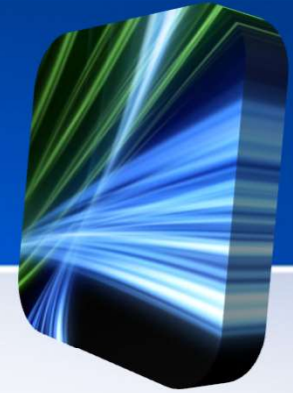


- AGC - Automatic gain control – automatické vyrovnání citlivosti přijímače
 - Pomocí zpětné vazby udržuje zesílení přijímače tak, aby na výstupu byla optimální úroveň signálu pro demulaci nebo analogově digitální převod



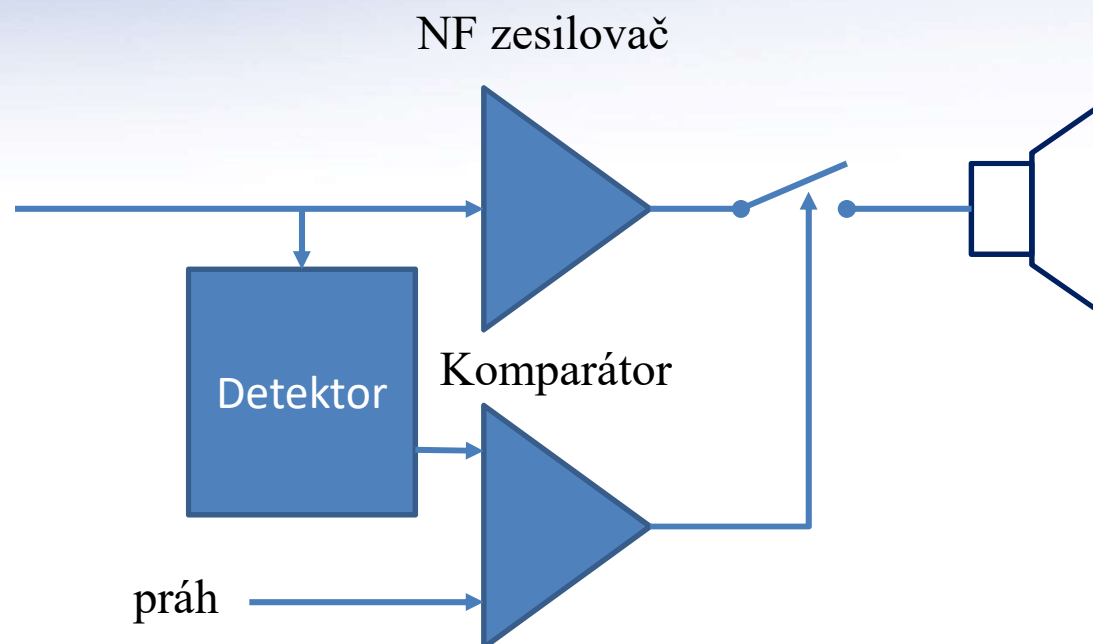
- Zisk přijímače se reguluje
 - Řízeným atenuátorem
 - VGA –variable gain amplifier – zesilovačem s řízeným ziskem
 - DVGA – digitálně řízený VGA

Pomocné obvody přijímačů



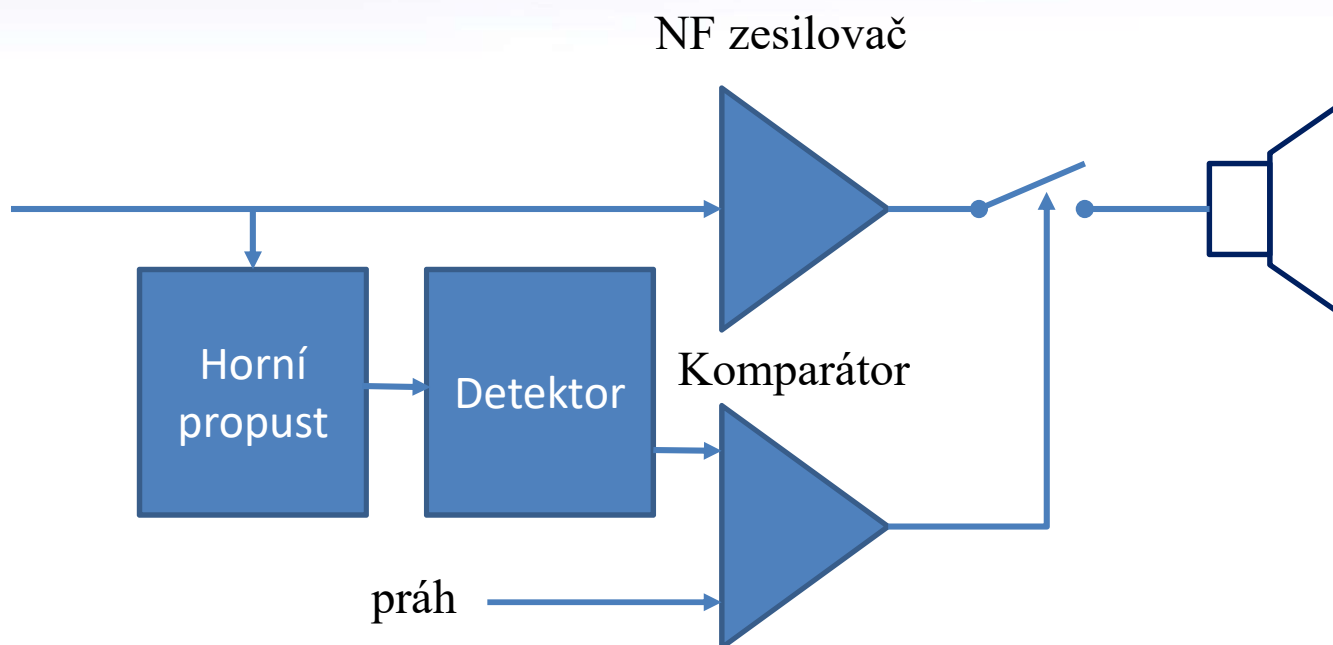
- Squelch – šumová brána
 - Slouží k blokování NF obvodů přijímače když není přítomný signál, aby reproduktor nešuměl
 - Úrovňový squelch
 - Otevírá NF obvody když úroveň signálu na výstupu přijímače překročí prahovou hodnotu
 - Šumový squelch
 - Otevírá NF obvodu když dojde k redukci šumu v nadakustickém pásmu
 - Tónově kódovaný squelch
 - Otevírá NF obvody když je detekován tón případně kombinace tónů pod akustickým pásmem

Úrovňový squelch



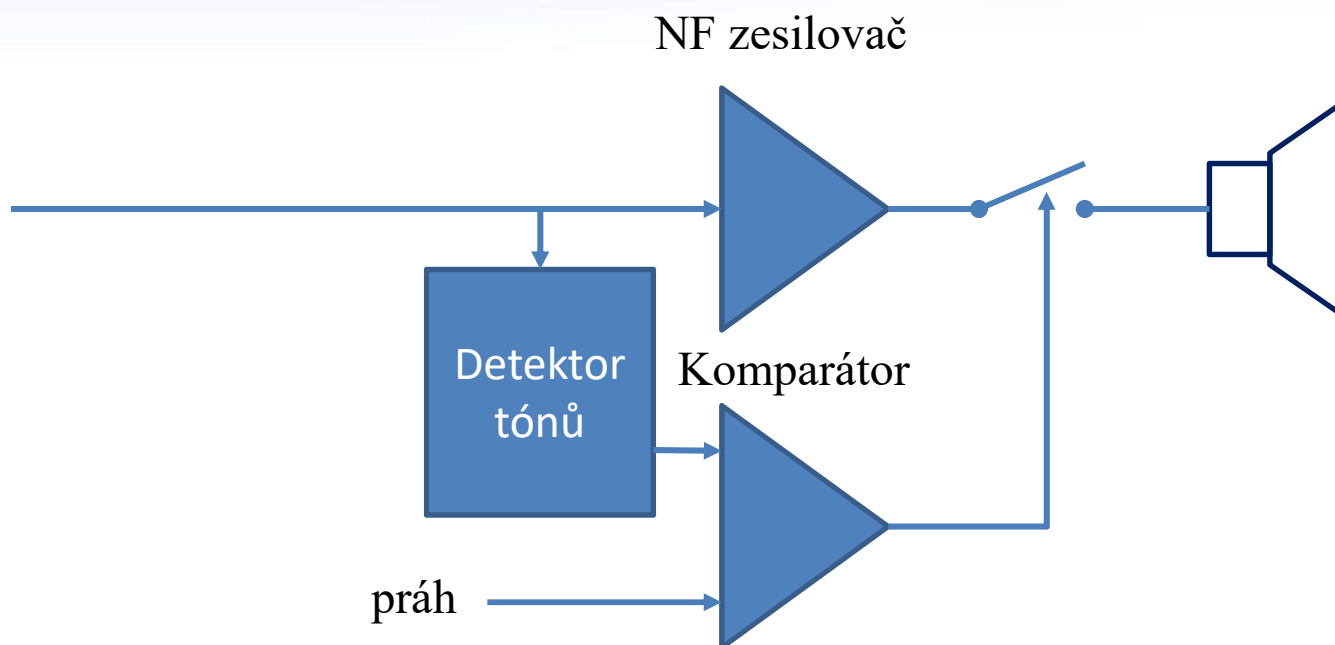
Zisk přijímače závisí na teplotě, kmitočtu atd.
To způsobuje problémy s funkcí úrovňového squelche.

Šumivý squelch



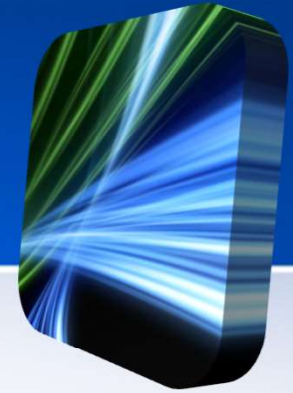
Squelch je citlivý na redukci šumu v nadakustickém pásmu.
Velice spolehlivý squelch, který nezávisí na zisku přijímače.

Šumivý squelch



Pro otevírání NF obvodů slouží speciální tóny vysílané vysílačem, které leží pod akustickým pásmem. V případě kombinace tónů lze použít jako selektivní volbu.

Selektivní volba

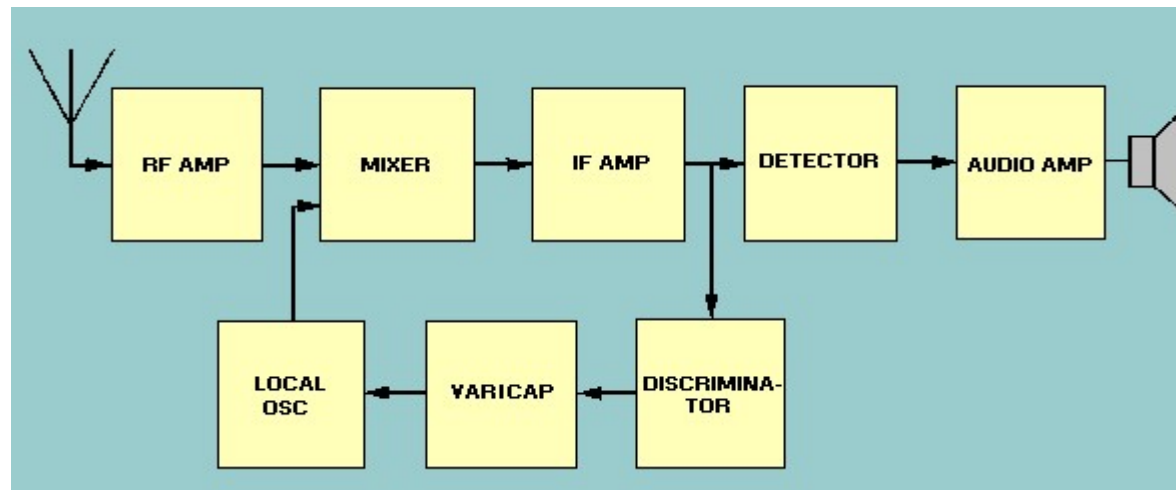


- Umožňuje výběrové volání uživatele v případě, že se používá sdílený kmitočet
- Pod tónová volba
- DTMF

AFC



- Automatic frequency control
 - Doladování kmitočtu přijímače pomocí zpětné vazby
 - Používá se u analogově laděných FM přijímačů



AFC u transceiverů pro IoT



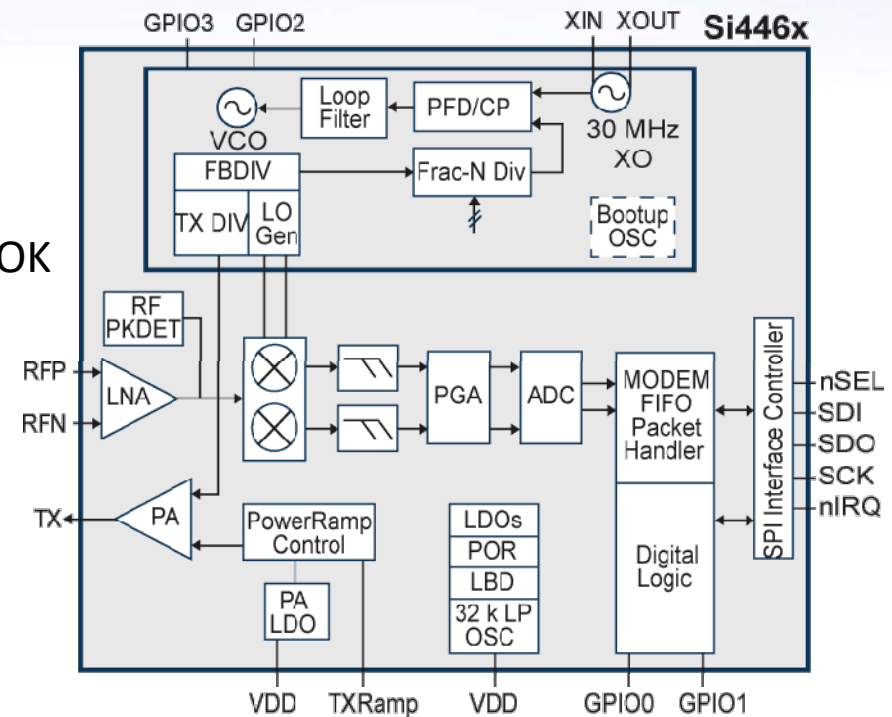
- Požadavek na nízkou spotřebu a cenu vede k používání levných málo stabilních krystalů
- Pro demodulaci jsou použity nekoherentní detektory, které vyžadují co nejužší MF zesilovač pro dosažení vysoké citlivosti
- Řeší se AFC. Pro příjem preambule se použije velká šířka pásma. Dorovná se chyba kmitočtu. Pro demodulaci datové zprávy se přepne na menší šířku pásma

Integrované transceivery



Si446x jeden a doporučených transceiverů pro Sigfos

- Kmitočtový rozsah 142–1050 MHz
- Vysílaný výkon až 20 dBm
- Přenosová rychlost 100 Bd–1 MBd
- Modulace FSK, GFSK, 4FSK, OOK
- Citlivost až -129 dBm
- Spotřeba 10 mA RX
85 mA TX 20 dBm
40 nA standby
- Podpora kmitočtového skákání (FH SS)
- Sub optimální demodulátor
- Packer handler, CRC, Scrambling, **FEC NE**



Citlivost, chyba kmitočtu, šířka pásma



- Modem používá sub optimální demodulátor, ne přizpůsobený filtr
- Citlivost modemu je závislá na šumové šířce pásma přijímače
- Šířka pásma přijímače musí být nastavena tak, aby jí mez většího zkreslení prošel modulovaná signál zatížený
 1. Chybou kmitočtového normálu vysílače
 2. Chybou kmitočtového normálu přijímače
 3. Dopplerovým posunem kmitočtů způsobeným vzájemným pohybem přijímače a vysílače

Příklad

Šířka pásma GFSK modulace je $v_B + 2\Delta f$

Pro GFSK 1,2 kBd a kmitočtový zdvih $\Delta f = 600$ Hz je šířka pásma modulovaného signálu 2,4 kHz

IoT: krystal 10 ppm kmitočtu 869 MHz způsobí chybu +/- 8,7 kHz, musí být šumová šířka pásma přijímače $2.8,7 + 2,4 = 19,8$ kHz

CubeSat: 1 ppm TCXO, Dopplerův kmitočet na 437 MHz pro LEO dráhu +/- 8 kHz, šumová šířka pásma přijímače musí být $2.0,4 + 2.8 + 2,4 = 19,2$ kHz

V obou případech je šumová šířka pásma přijímače podstatně větší, než by byla bez chyby kmitočtu, což podstatným způsobem snižuje citlivost přijímače!

Citlivost, chyba kmitočtu, šířka pásma



Řešení

Při synchronizaci se pomocí FLL kompenzuje kmitočtová chyba, pak se přepne na nižší šířku pásma

Nevýhoda: Je třeba prodloužit preambuli paketu

