



# RADIOKOMUNIKAČNÍ TECHNIKA A ANTÉNY

## SOFTWAREVĚ DEFINOVANÉ RÁDIO – ZÁKLADNÍ STRUKTURA, BLOKY VYSÍLAČE A PŘIJÍMAČE

Tomáš Zálabský

University of Pardubice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics  
Czech Republic

Blok 3/5

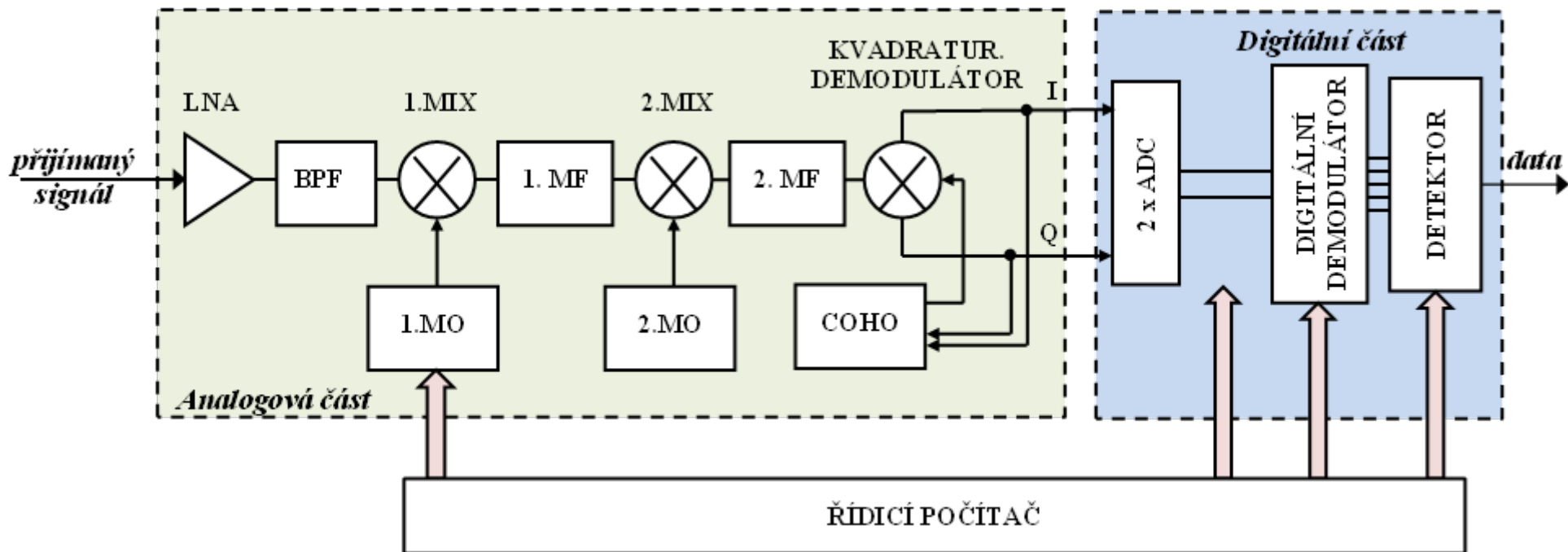
CZVRT

# OBSAH BLOKU III

- Softwarově definované rádio – úvod
- SDR přijímač – digitalizace až na úrovni komplexní obálky
- SDR přijímač – digitalizace na úrovni kvadraturního demodulátoru
- SDR přijímač – digitalizace na 1. nebo 2. mf
- SDR přijímač – digitalizace na vf
- SDR vysílač
- Praktická část

# SDR (SOFTWARE DEFINED RADIO) - PŘIJÍMAČ

- SDR = plně digitalizovaný přijímač/vysílač – s výjimkou vstupních obvodů u přijímače (nízkošumový zesilovač s AVC a výstupních obvodů u vysílače (výkonový zesilovač, filtr).
- Pod pojem SDR přijímač se zahrnují různé stupně digitalizace:
- Téměř analogové řešení (digitalizace až na úrovni komplexní obálky)

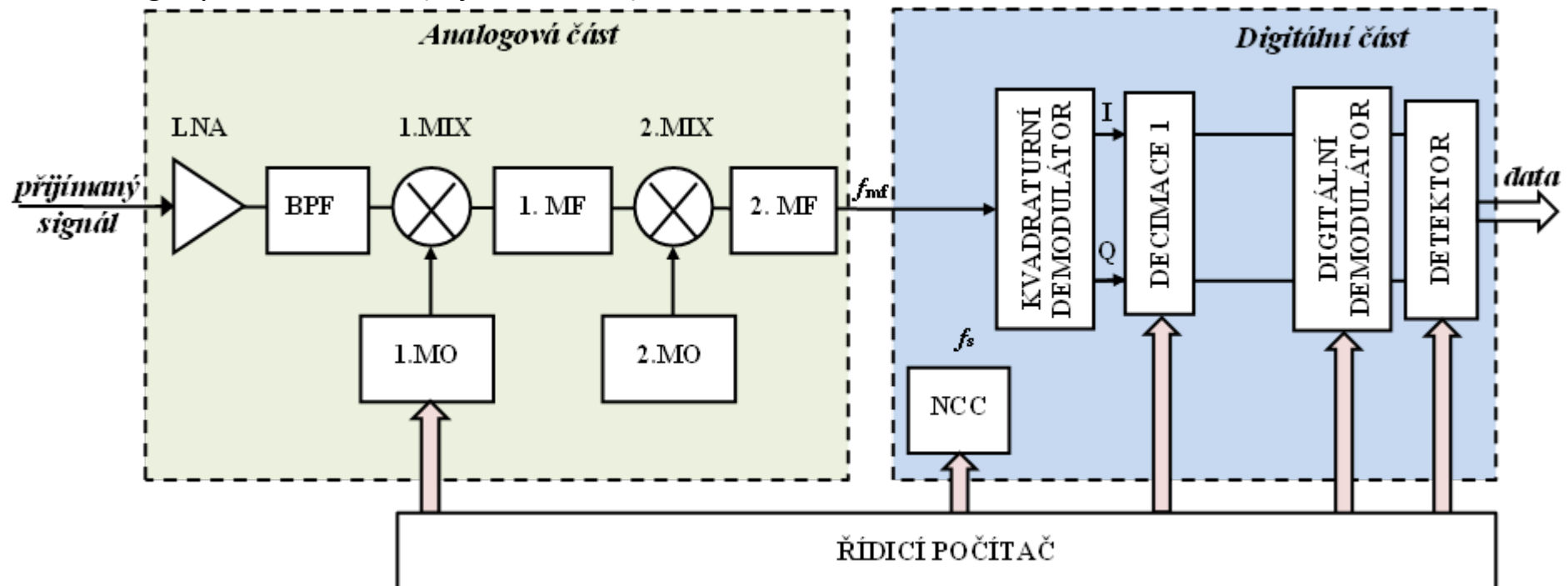


# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE AŽ NA ÚROVNI KOMPLEXNÍ OBÁLKY)

- Je určen pro příjem ve specifickém kmitočtovém pásmu (BPF) a má vymezenou šířku pásma kanálu (filtry 1. a 2. mf)
- SW ovládání funkcí:
  - přeladování přijímače uvnitř pásma BPF
  - plně lze ovládat:
    - filtraci komplexní obálky (Nf filtr)
    - digitální demodulaci a detekci
- Levné, komerční řešení
- Výhody:
  - použití nenáročných digitálních obvodů (např. zvukové karty z PC)
- Nevýhody:
  - Nutnost použití analogových mf obvodů (zejména filtry)
  - Analogový kvadrurní demodulátor  $\Rightarrow$  nepřesné fázové a amplitudové vyvážení kan. I a Q
  - Analogový COHO  $\Rightarrow$  komplikované analogové obvody fázově-frekvenční synchronizace

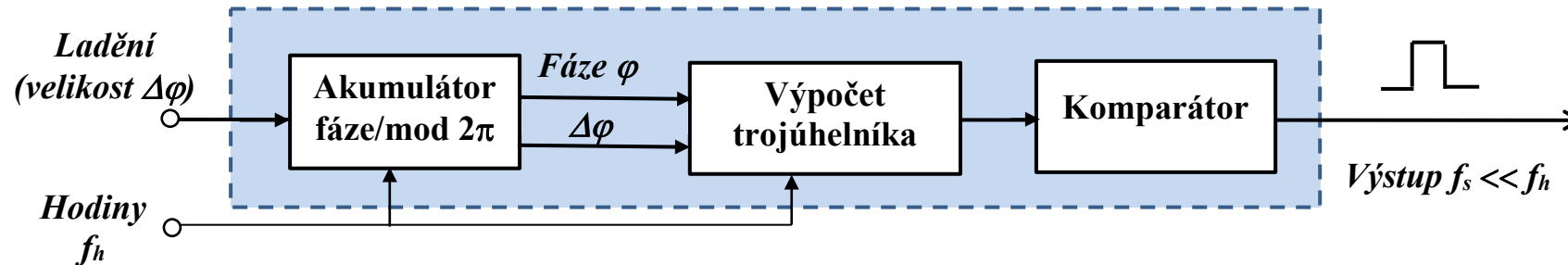
# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

- Účel a možnosti ovládání stejné, jako u varianty 1) + ovládání NCC
- Výhody:
  - Přesné fázové a amplitudové vyvážení kanálů I a Q
  - Jednoduchá synchronizace i záchyt COHO
- Nevýhody:
  - Vyšší vzorkovací kmitočet  $\Rightarrow$  náročnější ADC i procesory, nutnost decimace
  - Nutnost použití analogových mf obvodů (zejména filtrů)



# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

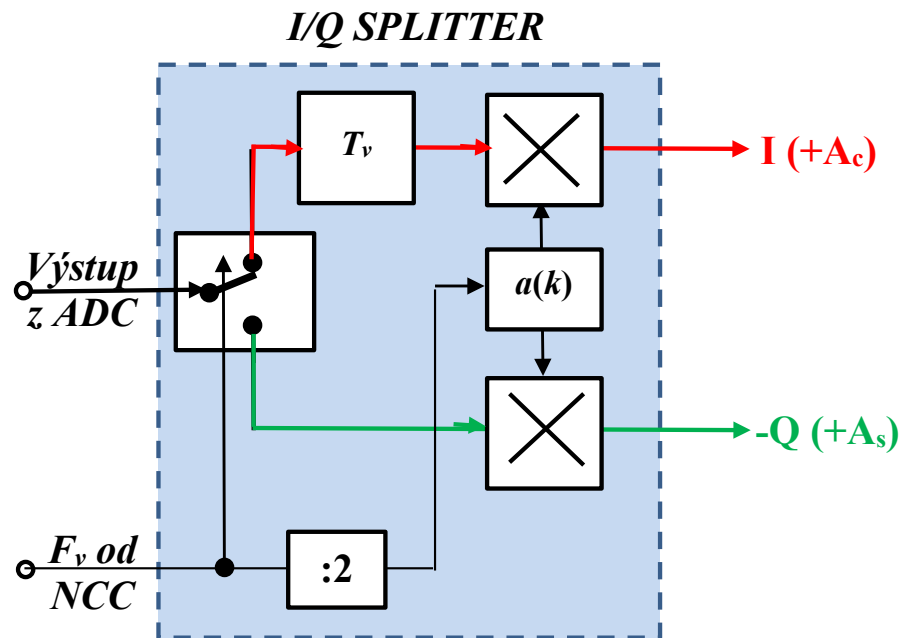
- **NCC (Numerically Controled Clock):**



- Akumulátor fáze: při každém hodinovém impulzu přičte k fázi  $\varphi$  inkrement  $\Delta\varphi$ . Po dosažení fáze  $2\pi$  začne znovu.
- Výpočet trojúhelníka: při  $\varphi \in (0, \pi>$  přičítá inkrement  $\Delta\varphi$ , při  $\varphi \in (\pi, 2\pi>$  odečítá  $\Delta\varphi$ .
- Komparátor: klopí při průchodu vstupního signálu nastavenými hladinami

# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

- **Digitální kvadrurní demodulátor:**
  - může být řešen buď jako I/Q SPLITTER:



- Vzorkovací frekvence  $f_v = (4/K) \cdot f_{mf}$  (tj. 4 vzorky v  $K$  periodách  $f_{mf}$ , kde  $K < 2f_{mf}/B$  je liché číslo)
- $K$  určuje míru podvzorkování (decimace) signálu
- $a(k) = (-1)^k = \{1, -1, 1, -1, \dots\}$

- Výhoda: jednoduchost (násobení 1 nebo -1)

# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

- **Vysvětlení:** 1) Vzorkovací frekvence  $f_v = (4/K) \cdot f_0$ , kde  $f_0 = (f_2 + f_1)/2$  kde  $K < (f_2 + f_1)/(f_2 - f_1)$  je kladné liché číslo, které vždy odpovídá požadavkům podvzorkování pásmového signálu:

$$\frac{2f_2}{M+1} \leq f_s \leq \frac{2f_1}{M}, M \geq 0 \text{ je celé číslo}$$

Důkaz:  $\frac{2f_2}{M+1} \leq 2 \frac{(f_2 + f_1)}{K} \leq \frac{2f_1}{M}$  pro každé  $K < (f_2 + f_1)/(f_2 - f_1)$  stačí volit:  $M = (K-1)/2$

- 2) Vzorkovací frekvence výstupního signálu  $f_{vv} = f_v/2 \geq B \Rightarrow$  vyhovuje podmínce vzorkování komplexní obálky

- 3) Vyjádříme funkce  $\cos(\omega_0 t_k)$  a  $\sin(\omega_0 t_k)$  v okamžicích vzorkování:  $t_k = k/f_s = kK/(4f_{mf})$

$$\cos(2\pi f_0 t_k) = \cos(\pi/2 \cdot k \cdot K) = 1, 0, -1, 0, 1, 0, -1, \dots$$

$$\sin(2\pi f_0 t_k) = \sin(\pi/2 \cdot k \cdot K) = 0, 1, 0, -1, 0, 1, 0, \dots$$

- 4) Vstup obvodu (výstup z ADC):  $A_c(t_k) \cdot \cos(\omega_{mf} t_k) + A_s(t_k) \cdot \sin(\omega_{mf} t_k)$ :

$$+A_c(t_{2k}); A_s(t_{2k+1}); -A_c(t_{2k+2}); -A_s(t_{2k+3}); +A_c(t_{2k+4}); A_s(t_{2k+5}); \dots$$

- 5) Výstupy:

$$I: +A_c(t_{2k}) = \text{Re}\{V(t_{2k})\}$$

$$Q: +A_s(t_{2k+1}) = -\text{Im}\{V(t_{2k+1})\}$$

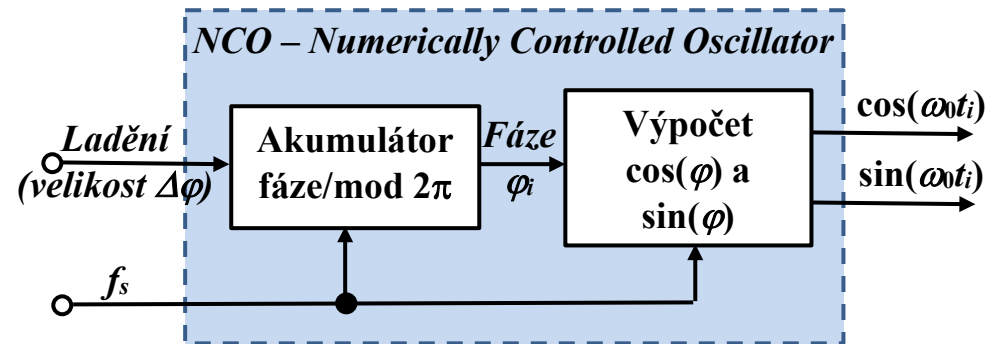
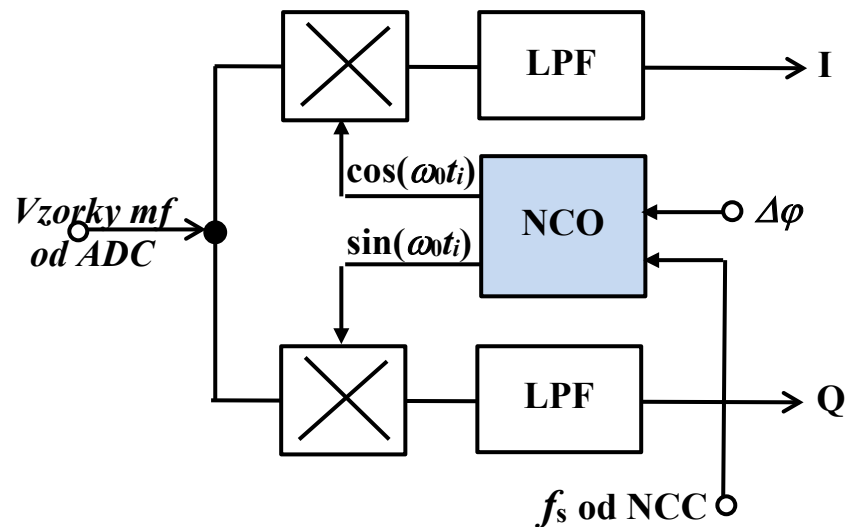
} Složky komplexní obálky se vzorkovacím kmitočtem  $f_s/2$   
ale nejsou vzorkovány ve stejném okamžiku!



# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

## Digitální kvadrurní demodulátor:

- může být řešen buď jako Q-DDC (Quadrature Digital Down Convertor):



Vzorkovací kmitočet na výstupu (I/Q):  $f_{sout} = f_s = Nf_{mf}/M$

- Vzorkovací frekvence  $f_s = Nf_{mf}/M$ ;  
 $M, N = 1, 2, \dots$ ;
- $\omega_0 = 2\pi f_{mf}$ ;
- $M$  určuje míru podvzorkování (decimace) signálu při vzorkování;
- LPF odstraňuje nežádoucí složky spektra signálu za násobičkami:  $f_{mf} + m \cdot f_s$  s výjimkou  $m = -M$ ;

### Výpočet cos a sin:

pro novou fázi  $\varphi$  nalezne v tabulce (Look-Up Table, LUT) hodnoty funkcí  $\cos(\varphi)$  a  $\sin(\varphi)$ . Tabulky nejsou lineární ale hierarchické a sin a cos se počítá pomocí součtových vzorců, např.:

$$\sin(\varphi + \Delta\varphi) = \sin(\varphi) \cdot \cos(\Delta\varphi) + \sin(\Delta\varphi) \cdot \cos(\varphi).$$

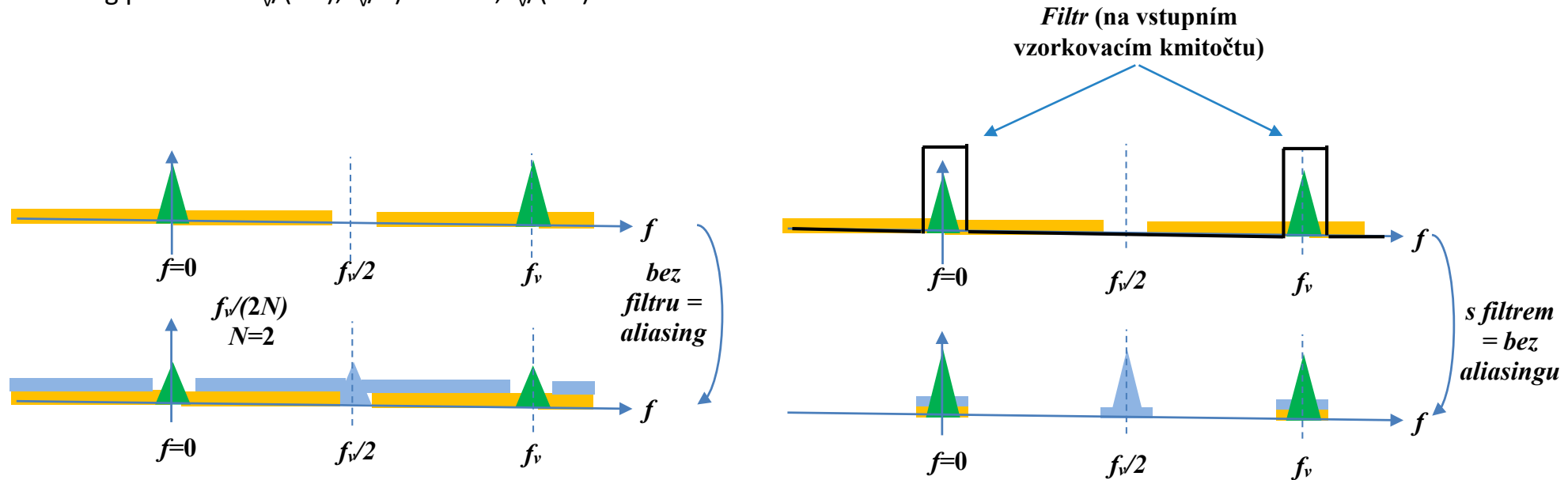
# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

- Porovnání metod kvadraturní demodulace:

| vlastnost           | Q-DDC         | I/Q demodulátor |
|---------------------|---------------|-----------------|
| složitost           | vysoká        | nízká           |
| skupinové zpoždění  | velké         | malé            |
| vzorkovací kmitočet | $f_{mf}/M$    | $2f_{mf}/M$     |
| S/N                 | dobré         | horší           |
| vyváženost I/Q      | závisí na NCO | dobrá           |

# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

- **Decimace 1 v základním pásmu (snížení vzorkovací frekvence z  $f_v$  na  $f_v / N$ ):**
  - Při decimaci 1:N se ze skupiny N po sobě následujících vzorků vypustí N-1 vzorků. Nastane:
    - Snížení výkonu signálu N krát
    - Aliasing pásma  $\langle f_v/(2N); f_v/2 \rangle$  do  $\langle 0; f_v/(2N) \rangle$

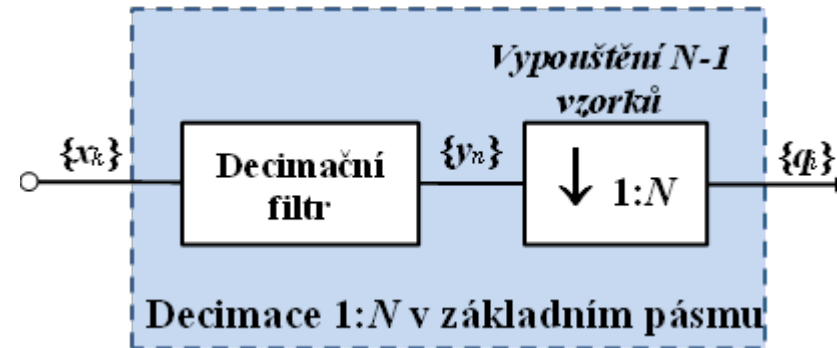


- filtr musí být ještě na vysokém (vstupním) vzorkovacím kmitočtu

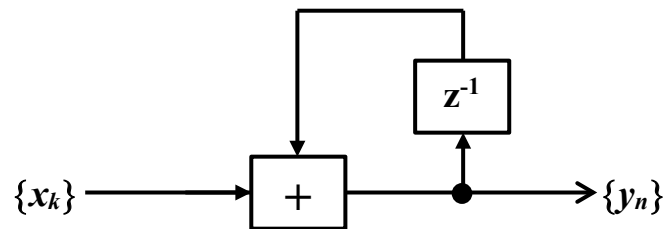
# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

## ■ Úkolem decimačního filtru je:

- *shromáždit energii  $K (\leq N)$  po sobě následujících vzorků, aby se poměr  $S/N$  zlepšil. (Ideálně se tak poměr signál/šum zlepší  $K$  krát.)*
- *potlačit rušivé signály vně požadovaného pásma.*

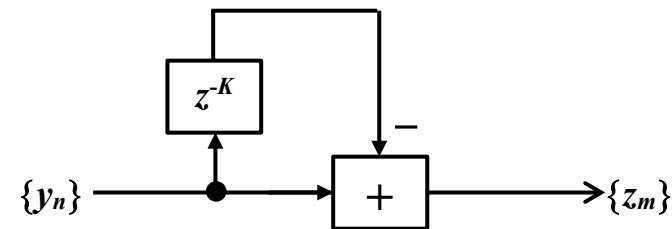


- Možné zapojení decimačního filtru (dolní propusti) - tzv. CIC filtr (Cascaded Integrator and Comb).
- Jeho prvky jsou:



**Základní integrační stupeň:**  $y_n = x_n + y_{n-1}$

$$H(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}}$$

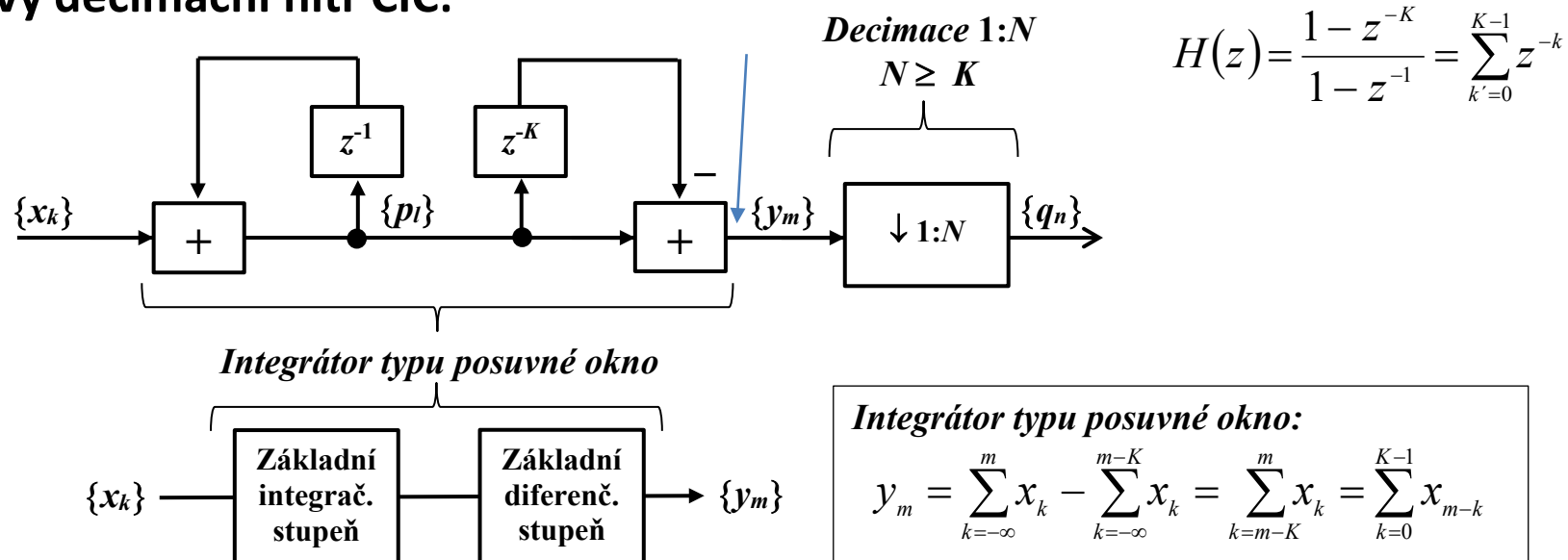


**Základní diferenční stupeň (comb):**  $z_m = y_n - y_{n-K}$

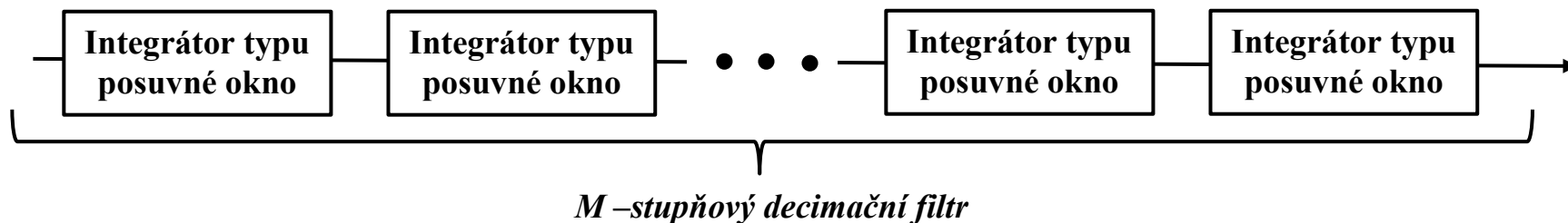
$$H(z) = 1 - z^{-K}$$

# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

- **Jednostupňový decimační filtr CIC:**

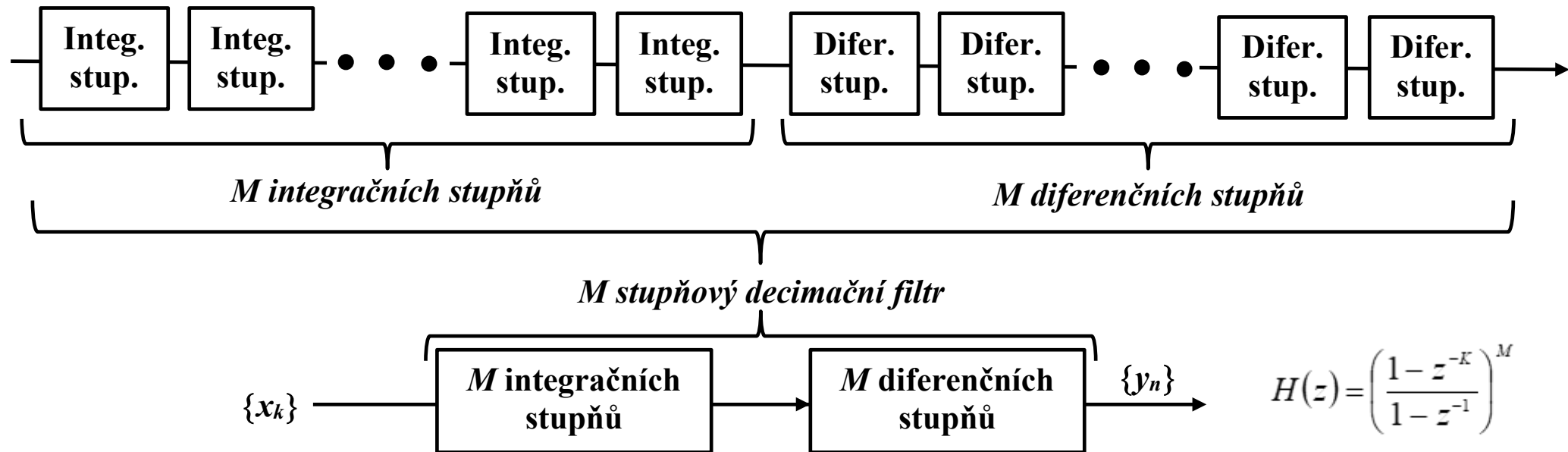


- Výhodou integrátoru typu posuvné okno je to, že se zde pouze sčítá a odečítá (ale nenásobí ani nedělí), takže je to rychlá operace, kterou lze dělat i na vysokých kmitočtech. Jeho nevýhodou je, že odezvou tohoto filtru na jednotkový impulz je obdélník  $\Rightarrow |H(\omega)|$  má tvar funkce  $\sin(Kx)/\sin(x)$  s vysokými postranními laloky. Proto se používá více těchto filtrů za sebou



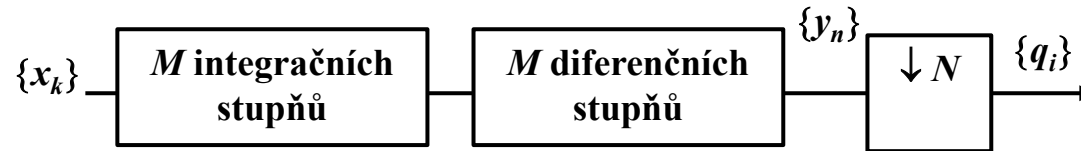
# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

- Každý integrátor typu posuvné okno se skládá z jednoho integračního a jednoho diferenčního stupně což jsou lineární, časově invariantní soustavy, které jsou komutativní. Stejný výsledek (přenosovou funkci M-stupňového integrátoru) tedy dostaneme, když všechny integrační stupně M-stupňového integrátoru seřadíme na začátek a všechny diferenční stupně na konec integrátoru:

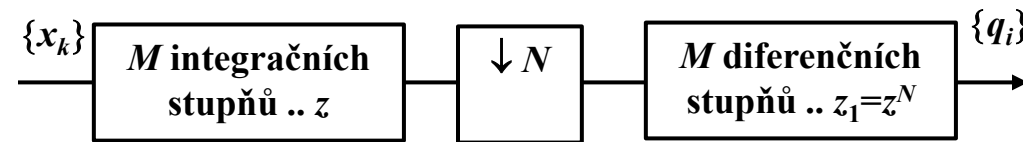


# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

- Celý decimátor má pak strukturu:



- Což je ekvivalentní:

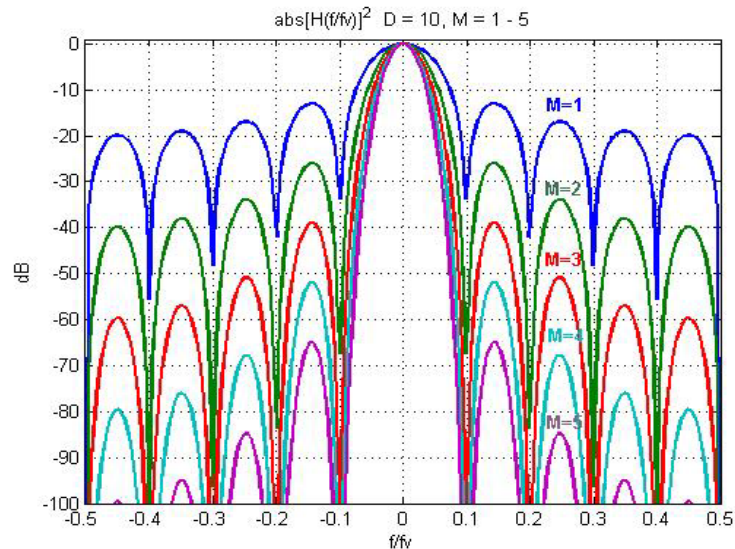


$$H(z) = \left( \frac{1 - z^{-BN}}{1 - z^{-1}} \right)^M$$

- Výhodou tady je, že diferenční stupně už mohou pracovat na N x nižší vzorkovací frekvenci.

# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA ÚROVNI KVADRATURNÍHO DEMODULÁTORU )

- Přenosové funkce  $M$ - stupňových decimačních filtrů ( $f_v$  příp  $f_{vin}$  je vzorkovací frekvence před decimací):



$$|H(z)| = \left| \frac{1 - z^{-D}}{1 - z^{-1}} \right|^M = \left| \sum_{k=0}^{D-1} z^{-k} \right|^M = \left| \frac{\sin\left(\pi D \frac{f}{f_{vin}}\right)}{\sin\left(\pi \frac{f}{f_{vin}}\right)} \right|^M$$

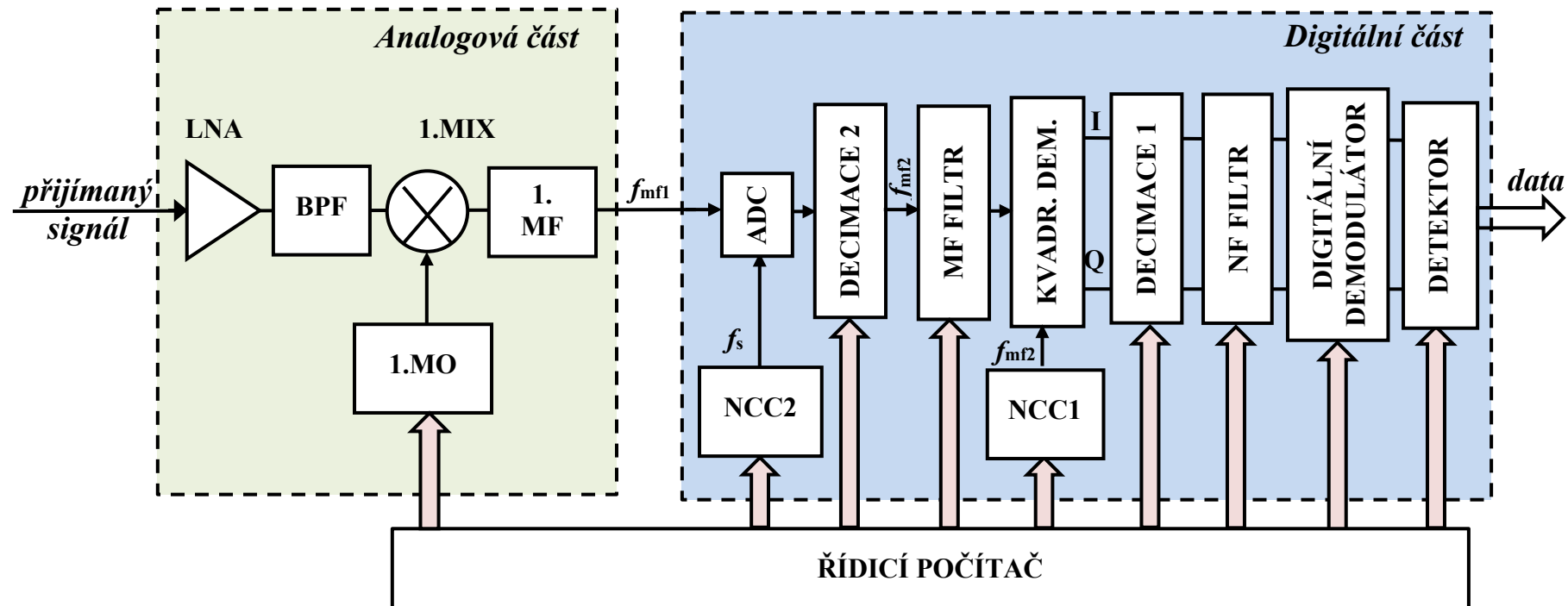
- Nedostatky CIC filtru:

- Vysoké postranní laloky – řeší se zvýšení počtu stupňů  $M$
- Nekonstantní přenos v propustném pásmu – řeší se zařazením korekčního filtru za decimátor (na nízkém vzorkovacím kmitočtu po decimaci)



# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA 1. NEBO 2. MF )

- Digitalizace na 1. nebo 2. mf



# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA 1. NEBO 2. MF )

- Vzorovací kmitočet  $f_s$  musí splňovat podmínky pro vzorkování pásm. signálu:

$$\frac{2f_2}{M+1} \leq f_s \leq \frac{2f_1}{M}$$

kde:  $f_1$  a  $f_2$  jsou krajní kmitočty 1.mf a  $0 \leq M \leq [f_2/B]$

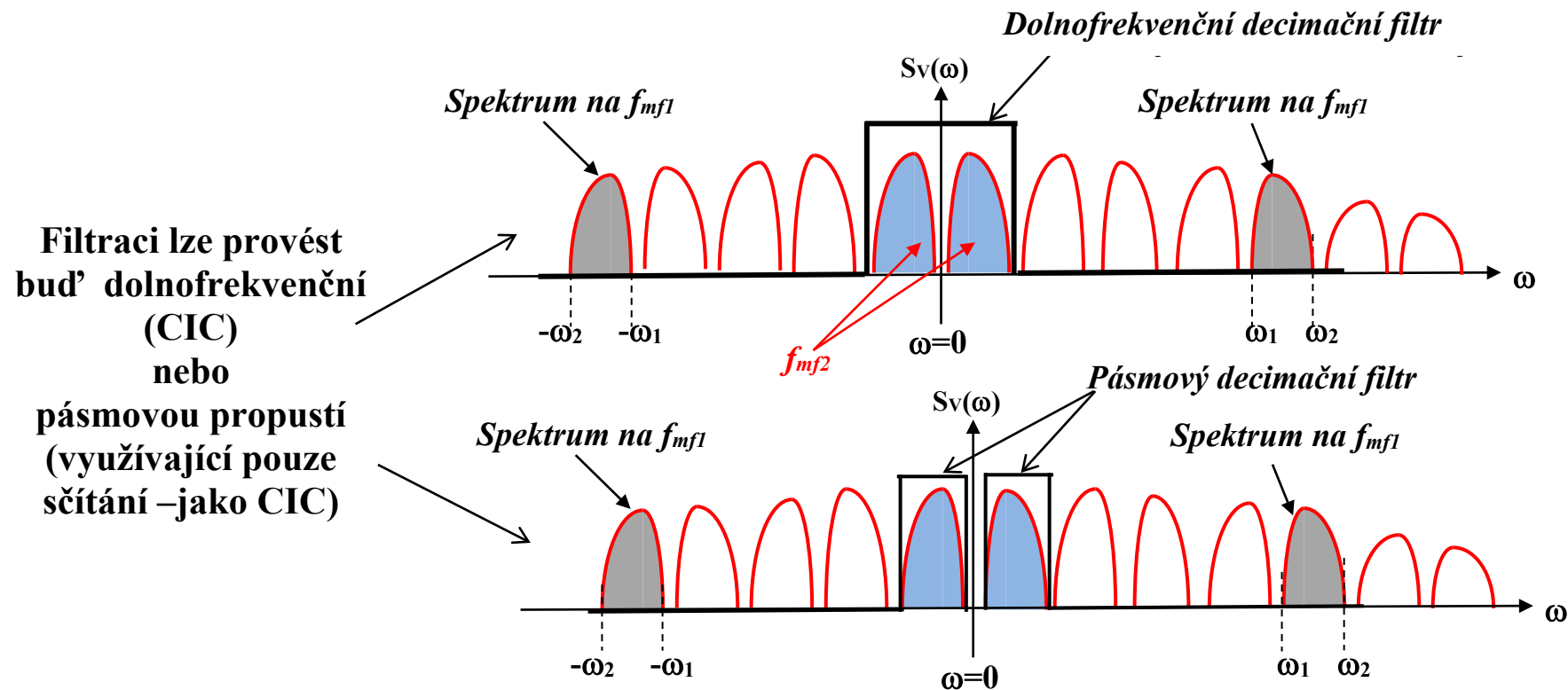
- Po navzorkování vznikne signál na (obecně) nové nosné:

$$f_{mf2} = \left| f_{mf1} - \left[ \frac{M}{2} \right] f_s \right|$$

- $M = 0$  ... standardní vzorkování podle Nyquistova (Shannonova)  $\Rightarrow f_{mf2} = f_{mf1}$
- $f_{mf2} = 0$  .... směšování na nulovou mf  $\equiv$  na komplexní obálku (viz předchozí případ)
- $M \neq 0, f_{mf2} \neq 0$  ... signál na nové, nižší mf, který je vzorkovaný standardně, tj.  $f_s > 2 \cdot f_{mf2}$ .

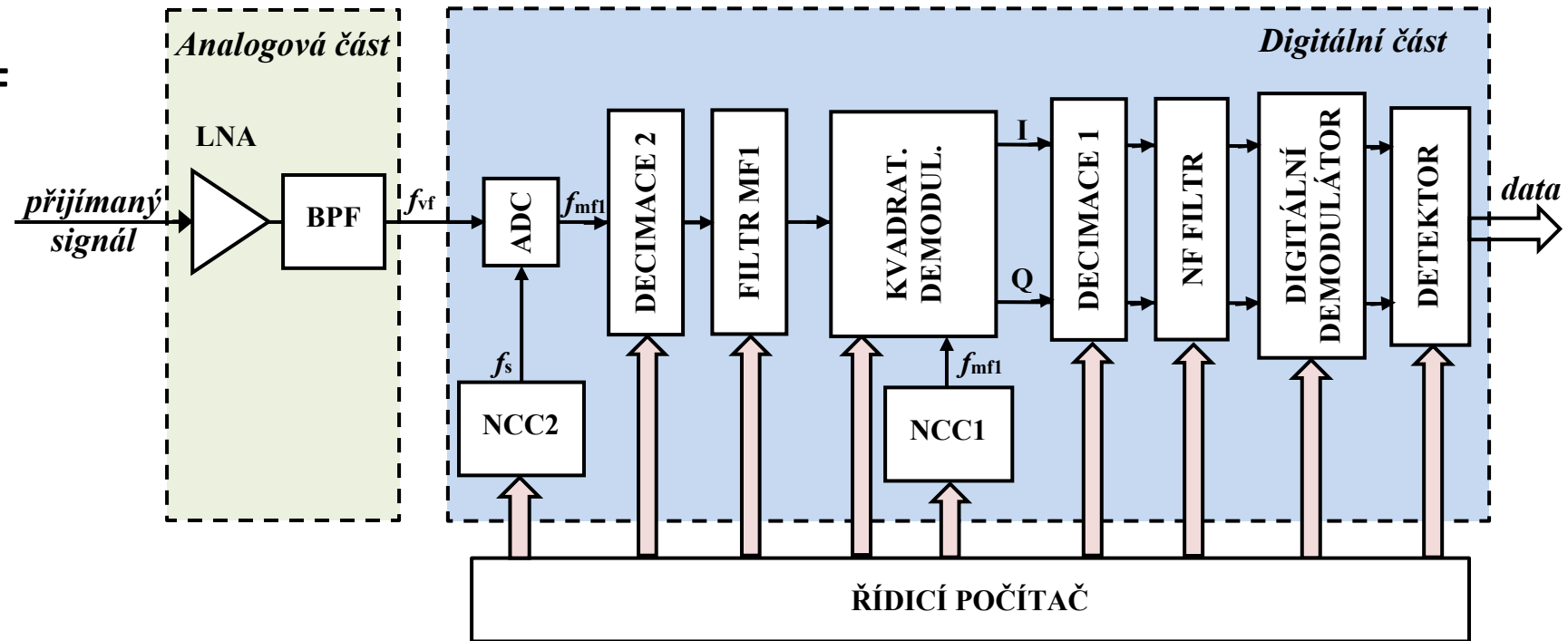
# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA 1. NEBO 2. MF )

- V případě podvzorkování dojde k decimaci počtu vzorků automaticky, ale spektrum vzorkovaného signálu obsahuje řadu podpásem (mezifrekvenčních kmitočtů) přičemž uvedený kmitočet  $f_{mf2}$  je z nich nejnižší (totéž při Decimaci 2)



# SDR – PŘIJÍMAČ (DIGITALIZACE NA VF)

## ■ Digitalizace na VF



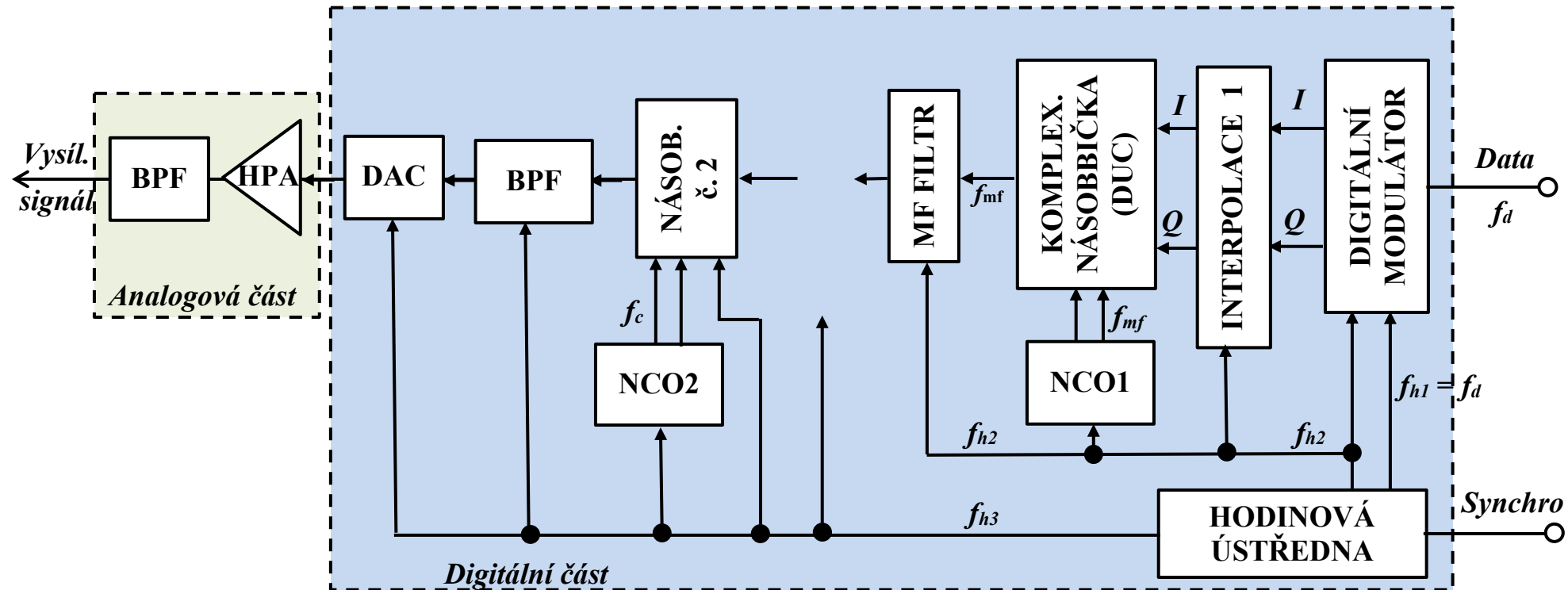
- V zásadě stejná konfigurace, jako při digitalizaci na mf, jen vyšší kmitočet  $f_s$ . Většinou s jednou kmitočtovou konverzí (jenom jedna mf). Analogová část obvykle není součástí SDR.

## ■ Vlastnosti:

- Plně ovladatelný a konfigurovatelný přijímač včetně vstupního pásma (dnes asi do 5 GHz)
- Vysoké nároky na ADC a výpočetní kapacitu (rychlost) digitálních obvodů
- Řeší se obvykle s pomocí FPGA, programovat lze pomocí MATLAB, SIMULINK, LabView, ale i dalších specializovaných programových prostředí.

# SDR – VYSÍLAČ

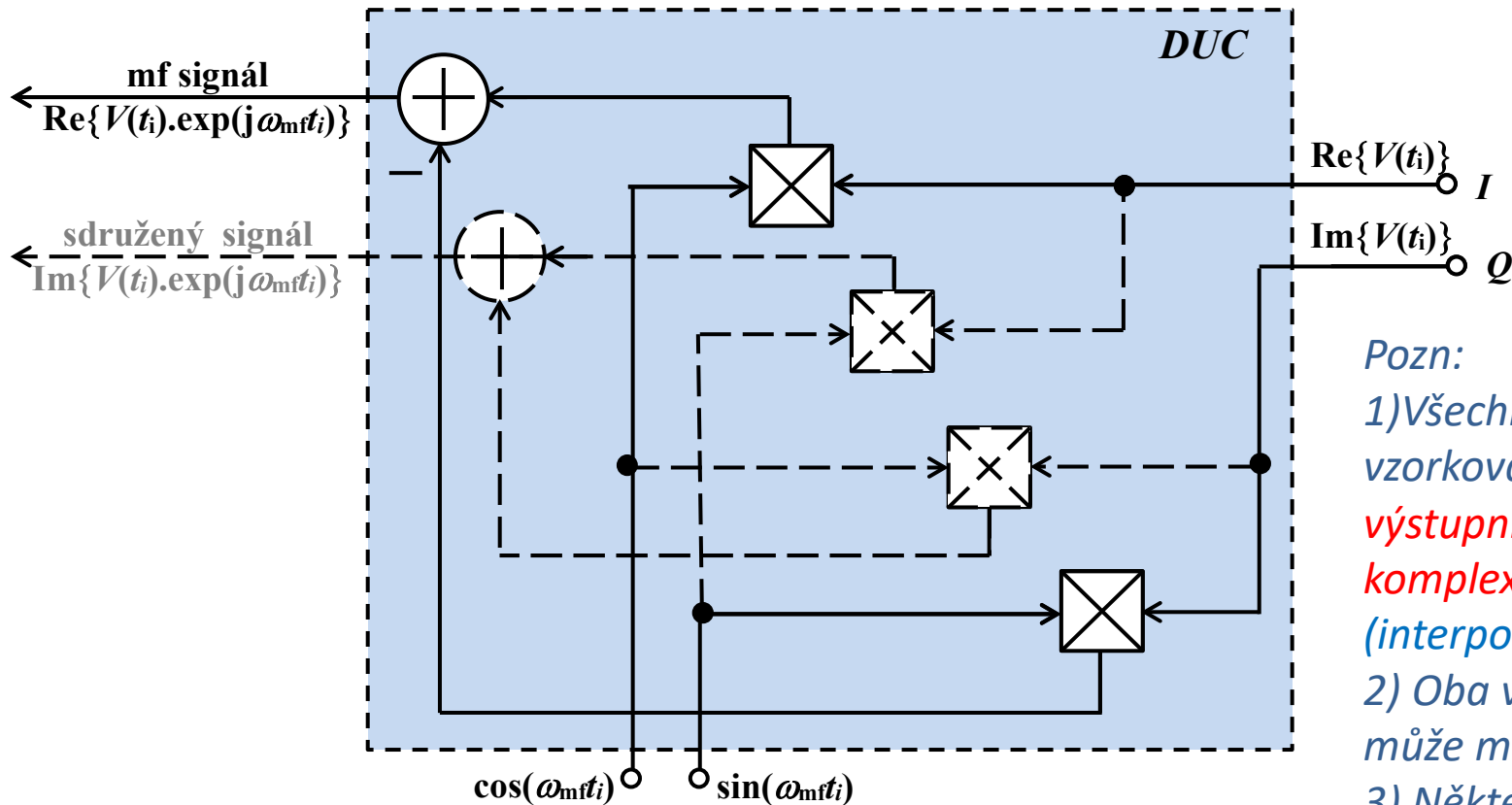
- Vysílače SDR nejsou již tak komercializovanou záležitostí -> uplatňují se zejména profesionální (a dražší) řešení s digitalizací celého vysílače kromě výkonového zesilovače (HPA) a výstupního filtru (BPF):



- U jednodušších systémů se mf část vysílače vypouští a signál se pomocí DUC konvertuje přímo na vf.

# SDR – VYSÍLAČ

- Komplexní násobička (DUC – Digital Up Converter):

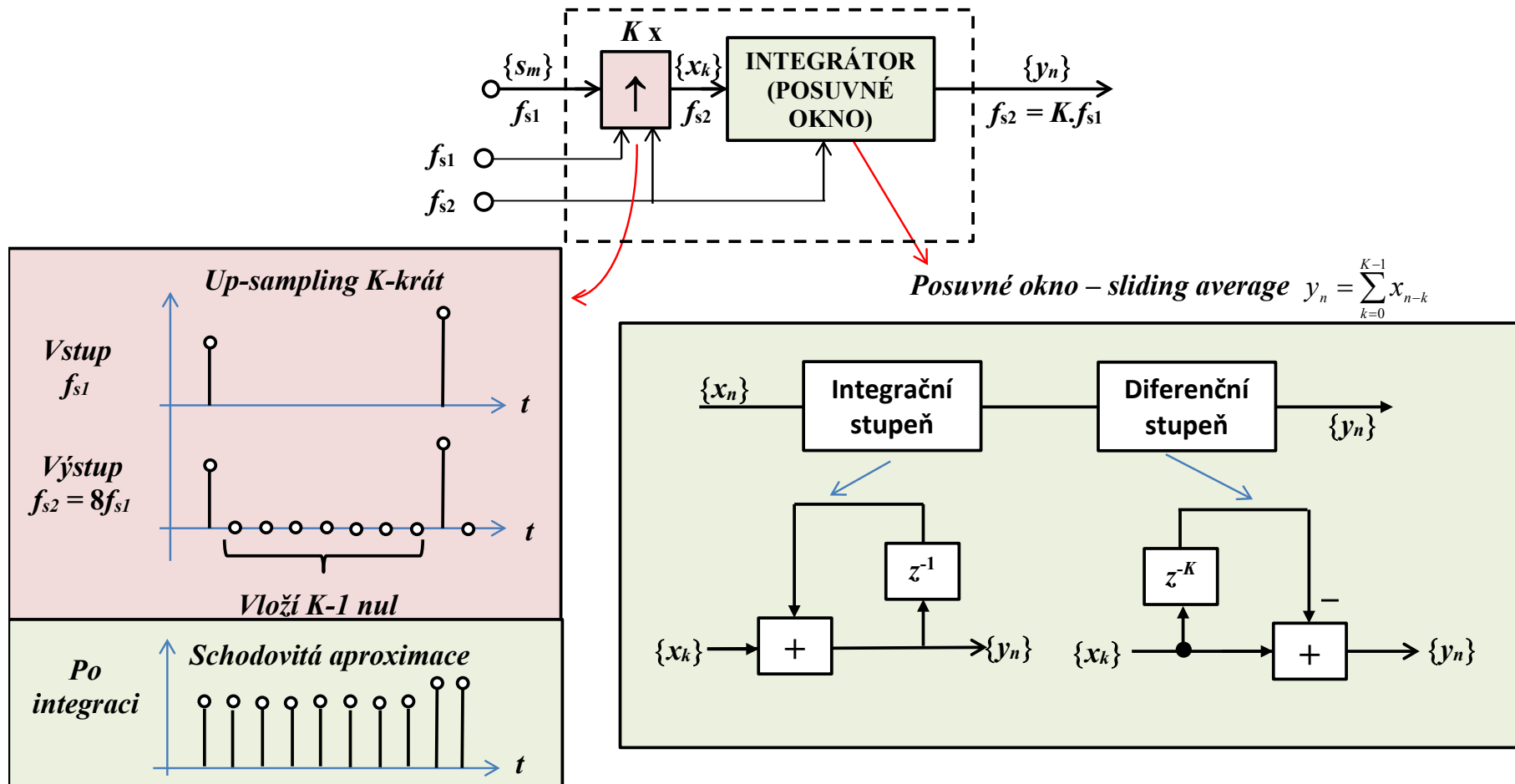


Pozn:

- 1) Všechny vstupy a výstupy mají shodný vzorkovací kmitočet tj. odpovídající výstupnímu kmitočtu  $\Rightarrow$  vzorkovací kmitočet komplexní obálky se musí předtím zvýšit (interpolace)
- 2) Oba vstupy mají stejný počet bitů, výstup může mít také stejný nebo až 2x větší
- 3) Některé DUC neposkytují sdružený signál

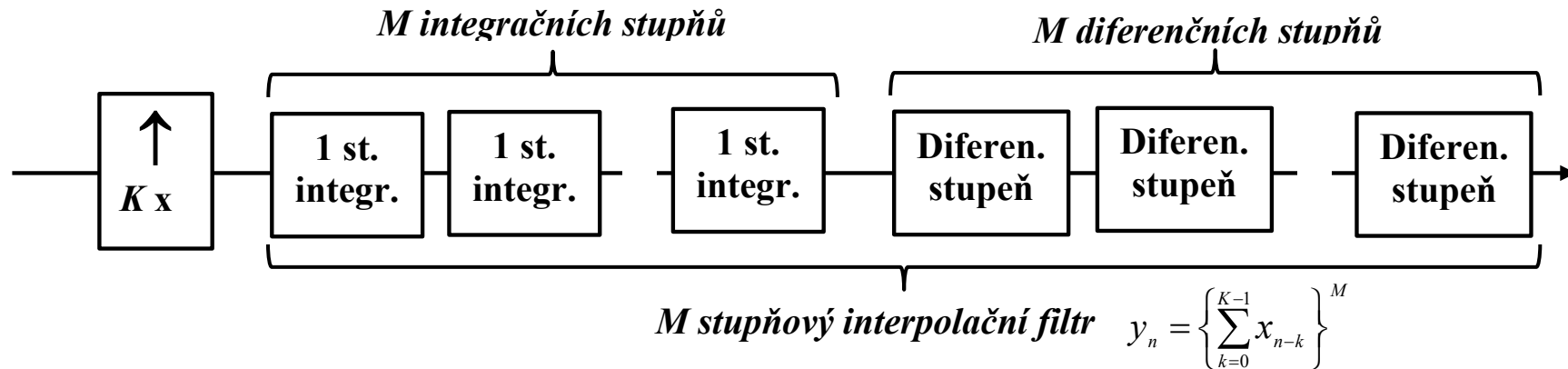
# SDR – VYSÍLAČ

- **INTERPOLACE 1: Celočíselný (jednokanálový) interpolátor v základním pásmu před DUC nebo DAC:**
- Interpolace (vede ke zvýšení vzorkovacího kmitočtu)

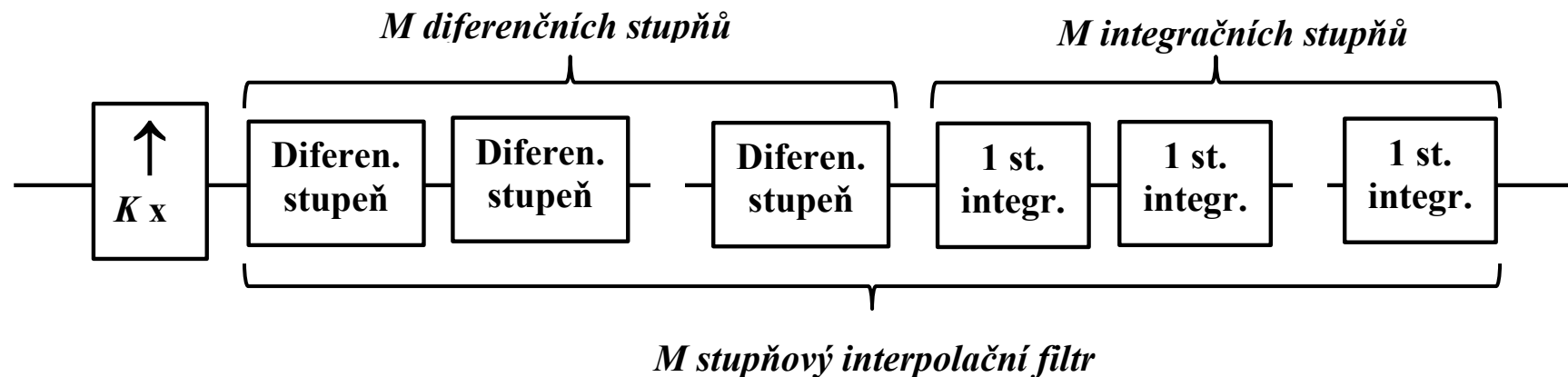


# SDR – VYSÍLAČ

- Pro lepší potlačení postranních pásem se opět používá vícestupňový filtr CIC.
- M-stupňový interpolátor:



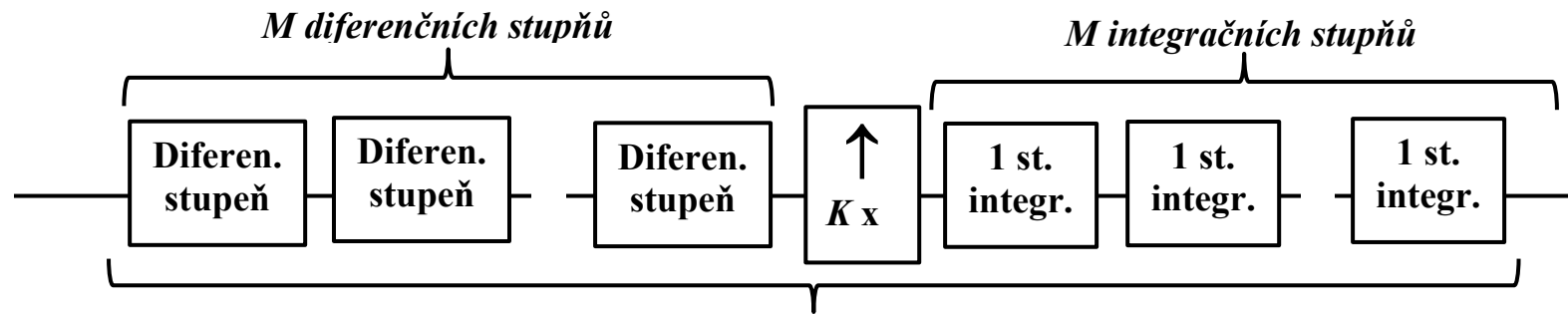
- Pořadí integrátorů a diferenčních stupňů lze zaměnit:





# SDR – VYSÍLAČ

- Pořadí diferenčních stupňů a obvodu doplňování nul ( $K_x$ ) lze zaměnit:



*Interpolátor s M stupňovým filtrem. (Výhody tohoto řešení: na vysokém výstupním kmitočtu pracují jen integrátory.)*

- Za Násobičkou č.2 je zapotřebí ještě před DAC provést pásmovou filtraci (BPF) na vysokém vzorkovacím kmitočtu za účelem potlačení dolního kombinačního kmitočtu  $f_c - f_{mf}$  a dalších parazitních kmitočtů. (Dolní kombinační kmitočet sice lze potlačit pomocí tzv. modulátoru s jedním postranním pásmem, ale k tomu by byla zapotřebí komplexní násobička a sdružený signál.)*

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR NIUSRP 2954

- Základní kroky pro práci s NI USRP 2954 a GNU Radio
- Připojení a konfigurace NI USRP 2954:
  - Připojení zařízení:
    - Připojte NI USRP 2954 k počítači pomocí vhodného rozhraní (např. Ethernet)
- Nastavení IP adresy:
  - Ujistěte se, že počítač a USRP jsou ve stejné síti. Můžete použít příkaz `ifconfig` pro kontrolu IP adresy.
- Ověření připojení:
  - Ověřte, že USRP je správně připojeno
  - `uhd_usrp_probe`

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR NIUSRP 2954

- Vytvoření základního toku v GNU Radio Companion (GRC)
- Spuštění GNU Radio Companion:
  - Spusťte GNU Radio Companion příkazem: `gnuradio-companion`
- Vytvoření nového projektu:
  - Vytvořte nový projekt a přidejte následující bloky:
    - UHD: USRP Source: Tento blok bude přijímat data z USRP.
    - QT GUI Sink: Tento blok zobrazí přijatá data
- Konfigurace bloků:
  - UHD: USRP Source:
    - Nastavte IP adresu USRP.
    - Nastavte střední frekvenci (Center Frequency), šířku pásma (Bandwidth) a vzorkovací frekvenci (Sample Rate).
  - QT GUI Sink:
    - Nastavte typ zobrazení (např. časová oblast, frekvenční oblast)
- Propojení bloků:
  - Propojte výstup z bloku UHD: USRP Source s vstupem do bloku QT GUI Sink.
- Spuštění toku:
  - Uložte a spusťte tok. Měli byste vidět živá data z USRP.

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR NIUSRP 2954

- Pokročilé nastavení a měření
- Přidání dalších bloků:
  - Můžete přidat další bloky pro zpracování signálu, jako jsou filtry, modulátory, demodulátory atd.
- Měření a analýza:
  - Použijte různé bloky pro analýzu signálu, jako jsou FFT, spektrální analyzátory a další.
- Ukládání dat:
  - Přidejte bloky pro ukládání přijatých dat do souborů pro další analýzu

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR MODULACE ASK

- **Laboratorní úloha: Ověření vlastností ASK modulace pomocí softwarově definovaného rádia NI USRP 2954**
- Cílem této laboratorní úlohy je ověřit vlastnosti amplitudově klíčované modulace (Amplitude Shift Keying, ASK) pomocí softwarově definovaného rádia (SDR) NI USRP 2954 a softwaru GNU Radio.
- **Potřebné vybavení**
  - NI USRP 2954
  - Počítač s nainstalovaným GNU Radio a UHD (USRP Hardware Driver)
  - Antény (pro vysílání a příjem signálu)
  - Koaxiální kabely a konektory

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR MODULACE ASK

- **Laboratorní úloha: Ověření vlastností ASK modulace pomocí softwarově definovaného rádia NI USRP 2954**
- **Postup**
- Pustíte GNU Radio Companion
- Vytvořte nový projekt a přidejte následující bloky:
  - UHD: USRP Source: Pro příjem signálu.
  - UHD: USRP Sink: Pro vysílání signálu.
  - Signal Source: Generátor signálu pro ASK modulaci.
  - Multiply: Pro modulaci signálu.
  - QT GUI Sink: Pro zobrazení přijatého signálu.

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR MODULACE ASK

- **Laboratorní úloha: Ověření vlastností ASK modulace pomocí softwarově definovaného rádia NI USRP 2954**
- **Konfigurace bloků:**
- **UHD: USRP Source a UHD: USRP Sink:**
  - Nastavte IP adresu USRP.
  - Nastavte střední frekvenci (Center Frequency), šířku pásma (Bandwidth) a vzorkovací frekvenci (Sample Rate).
- **Signal Source:**
  - Nastavte typ signálu na sinusový a frekvenci na požadovanou hodnotu pro ASK modulaci.
- **Multiply:**
  - Propojte výstup signálu z Signal Source s jedním vstupem Multiply a druhý vstup propojte s UHD: USRP Sink.
- **Propojení bloků:**
  - Propojte výstup z Multiply s vstupem do UHD: USRP Sink.
  - Propojte výstup z UHD: USRP Source s vstupem do QT GUI Sink.

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR MODULACE ASK

- **Laboratorní úloha: Ověření vlastností ASK modulace pomocí softwarově definovaného rádia NI USRP 2954**
- **Spuštění toku:**
  - Uložte a spusťte tok. Měli byste vidět modulovaný ASK signál na výstupu.
- **Analýza signálu:**
  - Pomocí **QT GUI Sink** analyzujte přijatý signál. Můžete sledovat amplitudu a frekvenci signálu a ověřit, že odpovídá vlastnostem ASK modulace.
- **Vyhodnocení výsledků**
  - Porovnejte naměřené hodnoty s teoretickými předpoklady pro ASK modulaci.
  - Diskutujte možné zdroje chyb a odchylek, jako jsou nepřesnosti měření, vliv okolního rušení nebo tolerance součástek.



# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR MODULACE ASK

- **Laboratorní úloha: Ověření vlastností 16 QAM modulace pomocí softwarově definovaného rádia NI USRP 2954**
- Cílem této laboratorní úlohy je ověřit vlastnosti 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) modulace pomocí softwarově definovaného rádia (SDR) NI USRP 2954 a softwaru GNU Radio.
- **Potřebné vybavení**
  - NI USRP 2954
  - Počítač s nainstalovaným GNU Radio a UHD (USRP Hardware Driver)
  - Antény (pro vysílání a příjem signálu)
  - Koaxiální kabely a konektory

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR MODULACE ASK

- **Laboratorní úloha: Ověření vlastností 16 QAM modulace pomocí softwarově definovaného rádia NI USRP 2954**
- **Postup**
- Pustíte GNU Radio Companion
- Vytvořte nový projekt a přidejte následující bloky:
  - UHD: USRP Source: Pro příjem signálu.
  - UHD: USRP Sink: Pro vysílání signálu.
  - Signal Source: Generátor signálu pro 16 QAM modulaci.
  - QAM Mod: Blok pro modulaci signálu na 16 QAM.
  - QAM Demod: Blok pro demodulaci signálu z 16 QAM.
  - QT GUI Sink: Pro zobrazení přijatého signálu.

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR MODULACE ASK

- **Laboratorní úloha: Ověření vlastností 16 QAM modulace pomocí softwarově definovaného rádia NI USRP 2954**
- **Konfigurace bloků:**
- **UHD: USRP Source a UHD: USRP Sink:**
  - Nastavte IP adresu USRP.
  - Nastavte střední frekvenci (Center Frequency), šířku pásma (Bandwidth) a vzorkovací frekvenci (Sample Rate).
- **Signal Source:**
  - Nastavte typ signálu na sinusový a frekvenci na požadovanou hodnotu pro 16 QAM modulaci.
- **QAM Mod:**
  - Nastavte modulaci na 16 QAM.
- **QAM Demod:**
  - Nastavte demodulaci na 16 QAM.
- **Propojení bloků:**
  - Propojte výstup z Signal Source s vstupem do QAM Mod.
  - Propojte výstup z QAM Mod s vstupem do UHD: USRP Sink.
  - Propojte výstup z UHD: USRP Source s vstupem do QAM Demod.
  - Propojte výstup z QAM Demod s vstupem do QT GUI Sink.

# PRAKTICKÁ ČÁST – PRÁCE SE SDR MODULACE ASK

- **Laboratorní úloha: Ověření vlastností 16 QAM modulace pomocí softwarově definovaného rádia NI USRP 2954**
- **Spuštění toku:**
  - Uložte a spusťte tok. Měli byste vidět modulovaný 16 QAM signál na výstupu.
- **Analýza signálu:**
  - Pomocí QT GUI Sink analyzujte přijatý signál. Můžete sledovat amplitudu, fázi a konstelaci signálu a ověřit, že odpovídá vlastnostem 16 QAM modulace.
- **Vyhodnocení výsledků**
  - Porovnejte naměřené hodnoty s teoretickými předpoklady pro 16 QAM modulaci.
  - Diskutujte možné zdroje chyb a odchylek, jako jsou nepřesnosti měření, vliv okolního rušení nebo tolerance součástek.

# ZDROJE

- [1] Žalud, V., Dobeš, J. Moderní radiotechnika. Praha, 2006. ISBN 80-7300-132-2.
- [2] Pokorný, Miroslav. Základy techniky radiové komunikace. Ostrava: Ostravská univerzita, 2006. ISBN 80-7368-155-2.
- [3] Skalický, Petr. Číslicové systémy v radiotechnice. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02854-2.

Vytvořeno v rámci projektu: **DANTE**, reg. č. NPO\_UPCE\_MSMT-16591/2022

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY-SA 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

