

# Měřicí metody a přístroje v radiokomunikační technice

➔ *co měřit ?*

➔ *čím měřit ?*

➔ *jak měřit ?*

## SKALÁRNÍ

- ☆ výkon
- ☆ chybovost
- ★ jitter
- ★ fázový šum
- ★ frekvence

časová doména:

frekvenční doména:

## VEKTOROVÉ

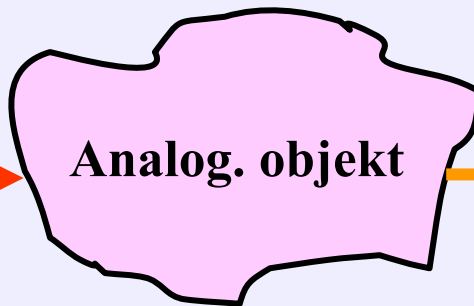
- ★ impedance



vektorové analyzátory

- ◆ tvar signálu
- ◆ osciloskopická měření
- ◆ spektrum
- ◆ spektrální analyzátory

**ZDROJ  
TESTOVACÍCH  
SIGNÁLU**



**Zkreslení  
signálu**

**ZDROJ  
TESTOVACÍCH  
SIGNÁLU**



**BER**

# Spektrální a signálové analyzátory

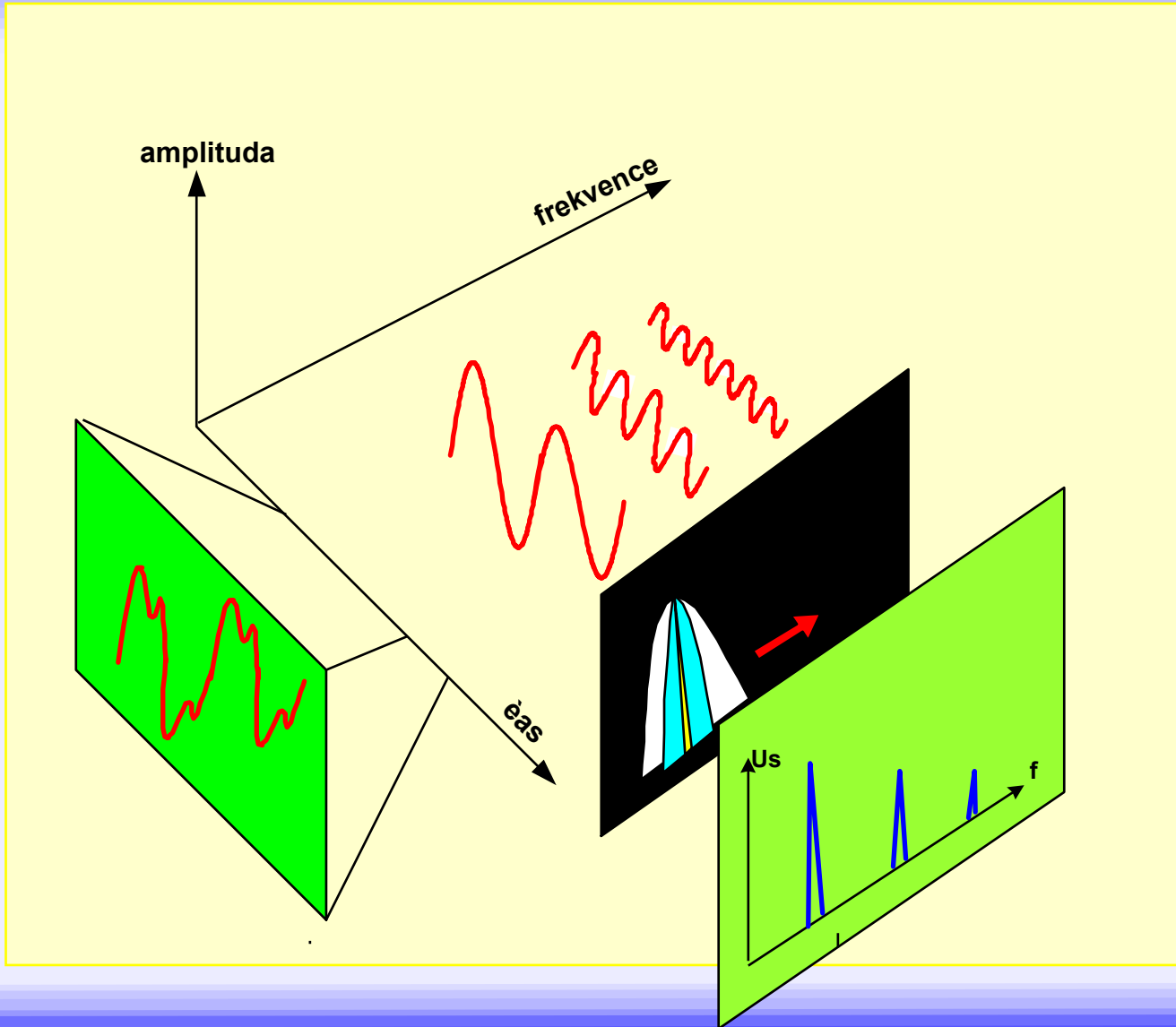
- ★ **frekvence**
- ★ **amplituda**
- ★ **výkonové parametry**
- ★ **šumové parametry**
- ★ **obsazenost spektra**

## Signálové analyzátory

- ★ **modulační parametry ortogonálních modulací**
- ★ **vektorový a konstelační diagram**

# Spektrální analyzátor

Vztah mezi časovou a frekvenční doménou



# Rozmítané analyzátořy

- ➔ frekvenční pásmo neomezené
- ➔ libovolná oblast frekvenčního rozmítání (SPAN)
- ➔ žádné omezení tvaru signálu
- ➔ velký dynamický rozsah
- ➔ výsledky lze početně korigovat



- ➔ rychlost rozmítání  $T_{SWP}$  je limitována šířkou rozliš.filtru
- ➔ na nf se vyžaduje úzký rozliš. filtr - dlouhá doba měření
- ➔ během dlouhé doby měření se může signál změnit
- ➔ (ZERO SPAN) jen pro modulované signály
- ➔ minimální doba rozmítání  $T_{SWP} = f_{SPAN} \cdot k / (BW_{REZ})^2$

# Rychlost rozmítání časové základny

- časová odezva rozlišovacího filtru
- šířka rozmítání (SPAN)

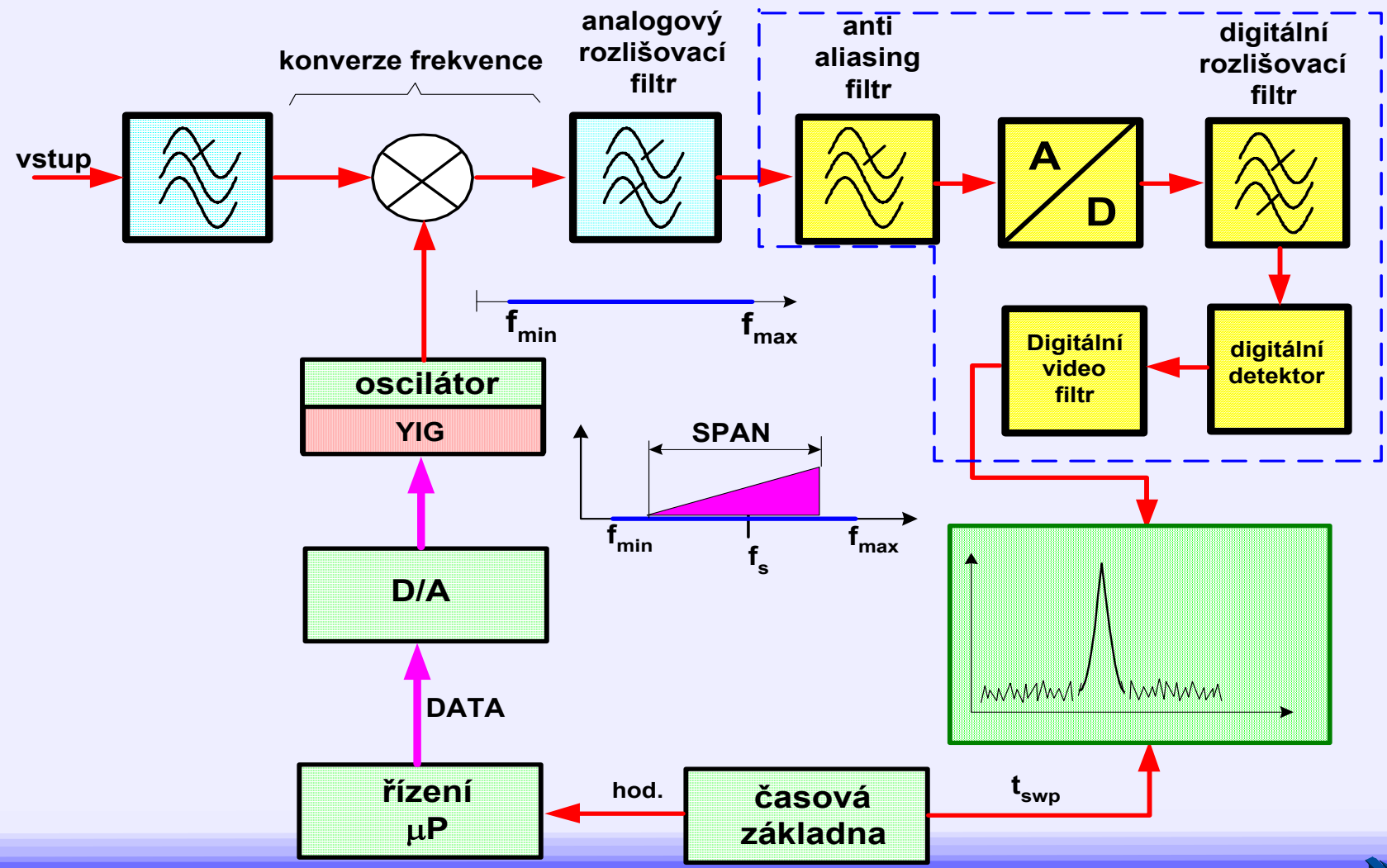
$$\text{sweep rate (max)} = BW_{res}^2 / k$$

**k** = konst. charakter frekvenční charakteristiky filtru, Gauss. = 2

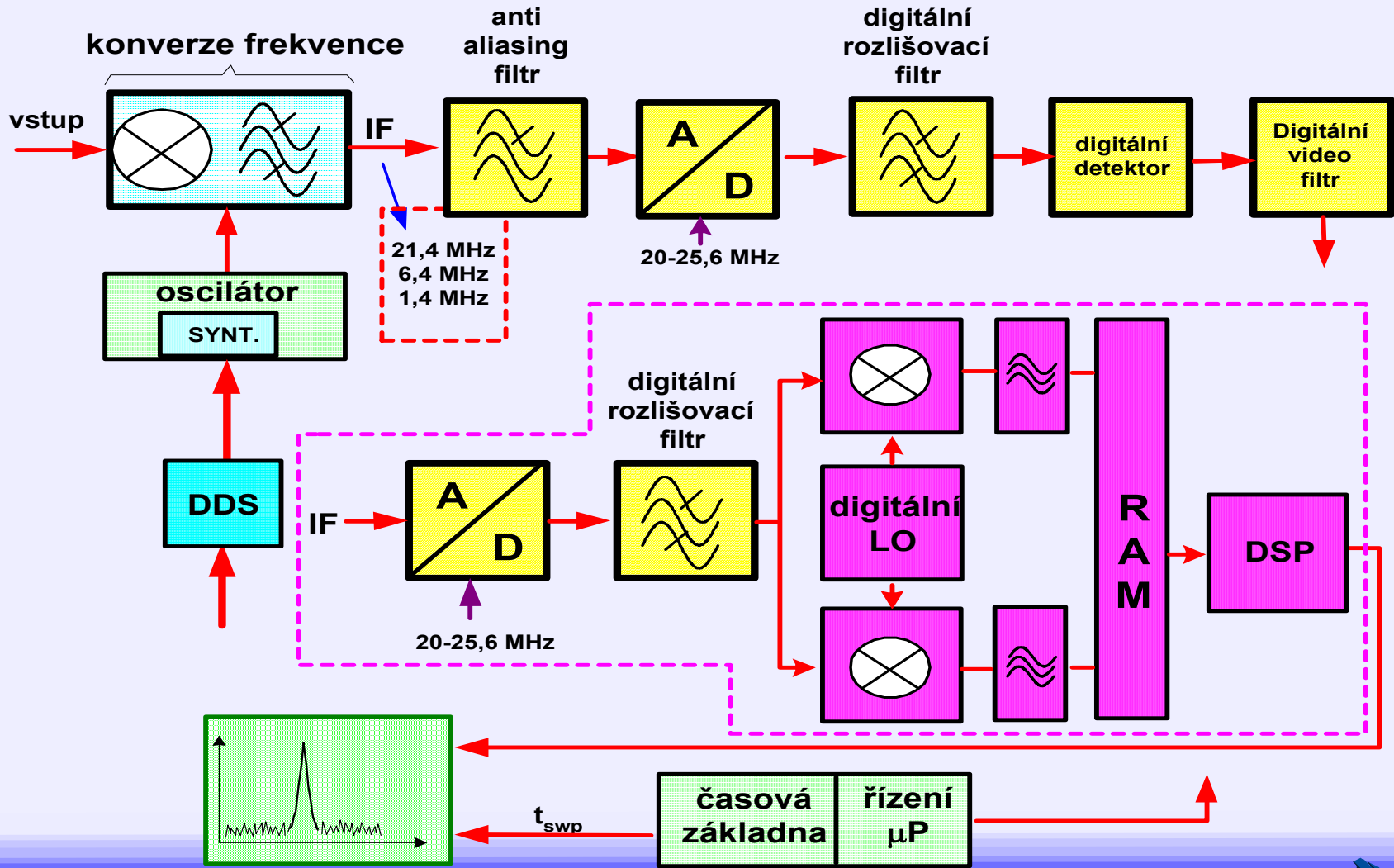
## Minimální doba rozmítání

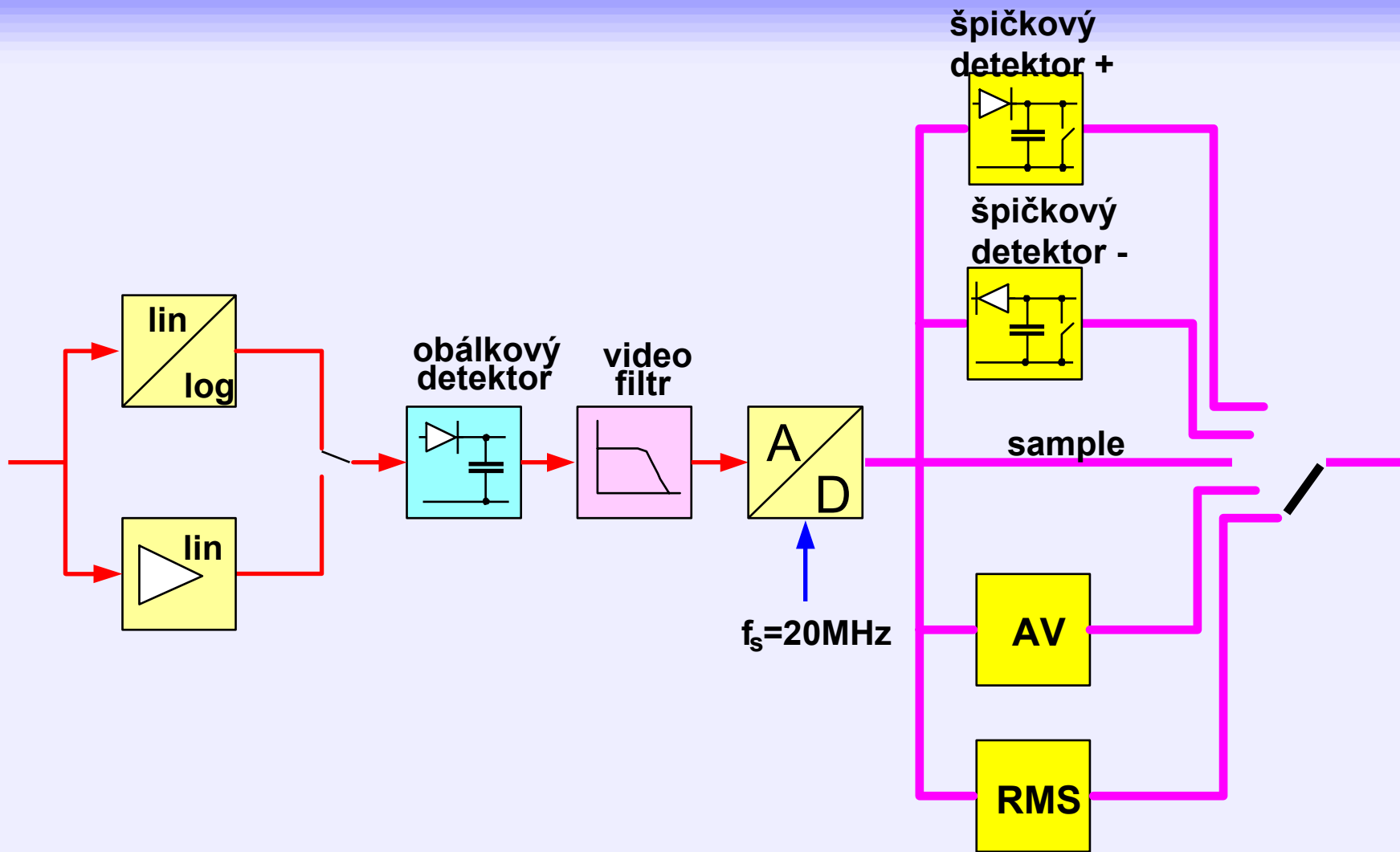
$$T_s = f_{span} k / BW_{res}^2$$

# SA s digitální filtrací a detekcí

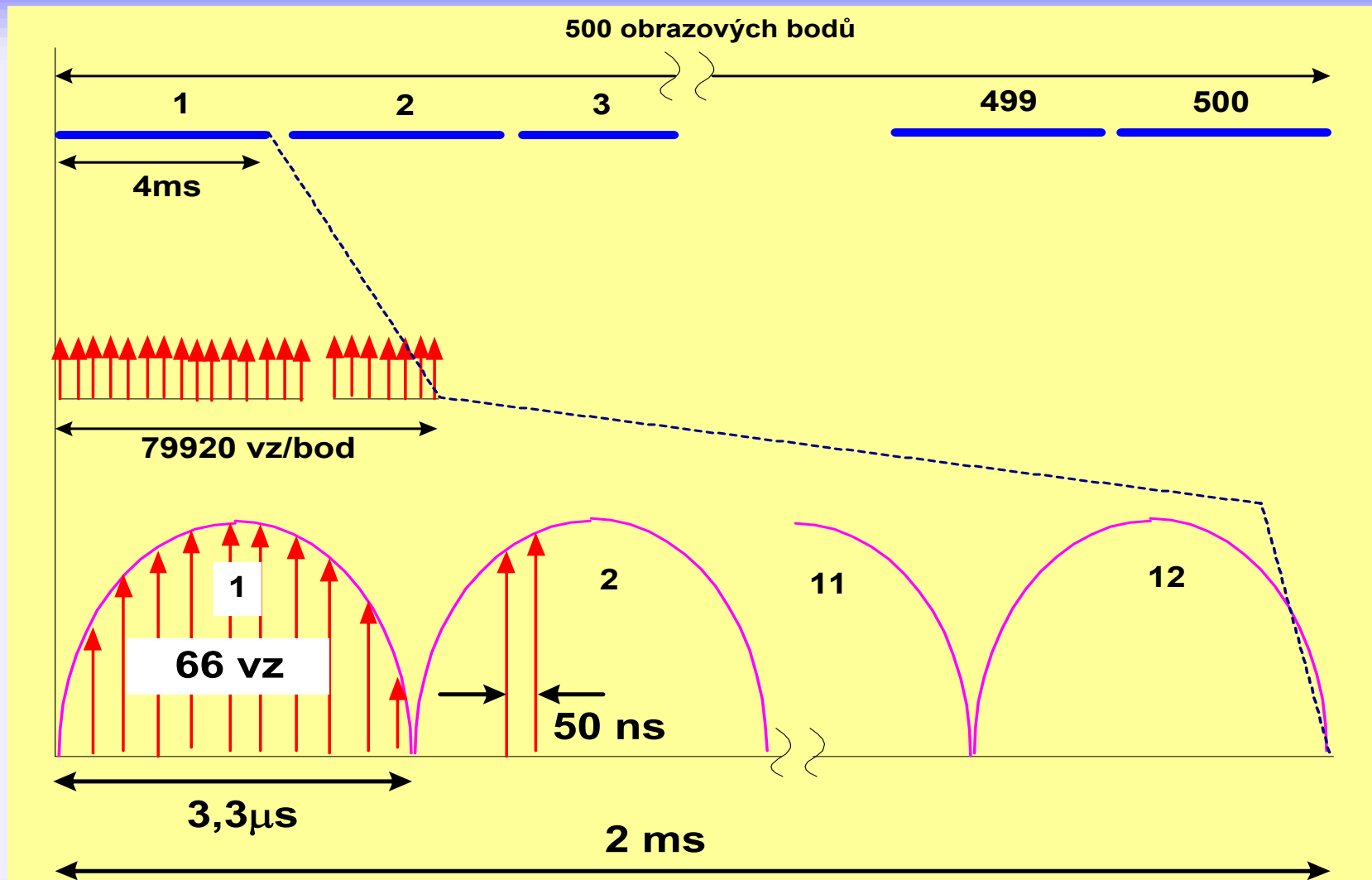








# Analyzátořy - zobrazení



# Sig. anal.-podmínky pro měření výkonu

- ➔ Analyzátor musí používat *vzorkovací detektor* (signál se podobá bílému šumu), jiný detektor by zkresloval výsledky
- ➔ Šířka pásma RBW filtru nemá být menší než 1% a větší než 4% šířky pásma kanálu. (1,2 až 3,6 šířky stopy obrazového bodu)
- ➔ Šířka pásma videofiltru 3-10 krát větší než šířka pásma RBW filtru (vede k chybám průměrování logaritmických hodnot za log. zesilovačem)
- ➔ Průměrování stopy (klidnější a stabilnější obraz) má stejný vliv jako zmenšení šířky pásma videofiltru

# Signálové analyzátoři-měření výkonu

$$P = \frac{B_s}{B_n} \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N P_i$$

**P = výkon v kanálu [W]**

**B<sub>s</sub> = šířka pásma kanálu [Hz]**

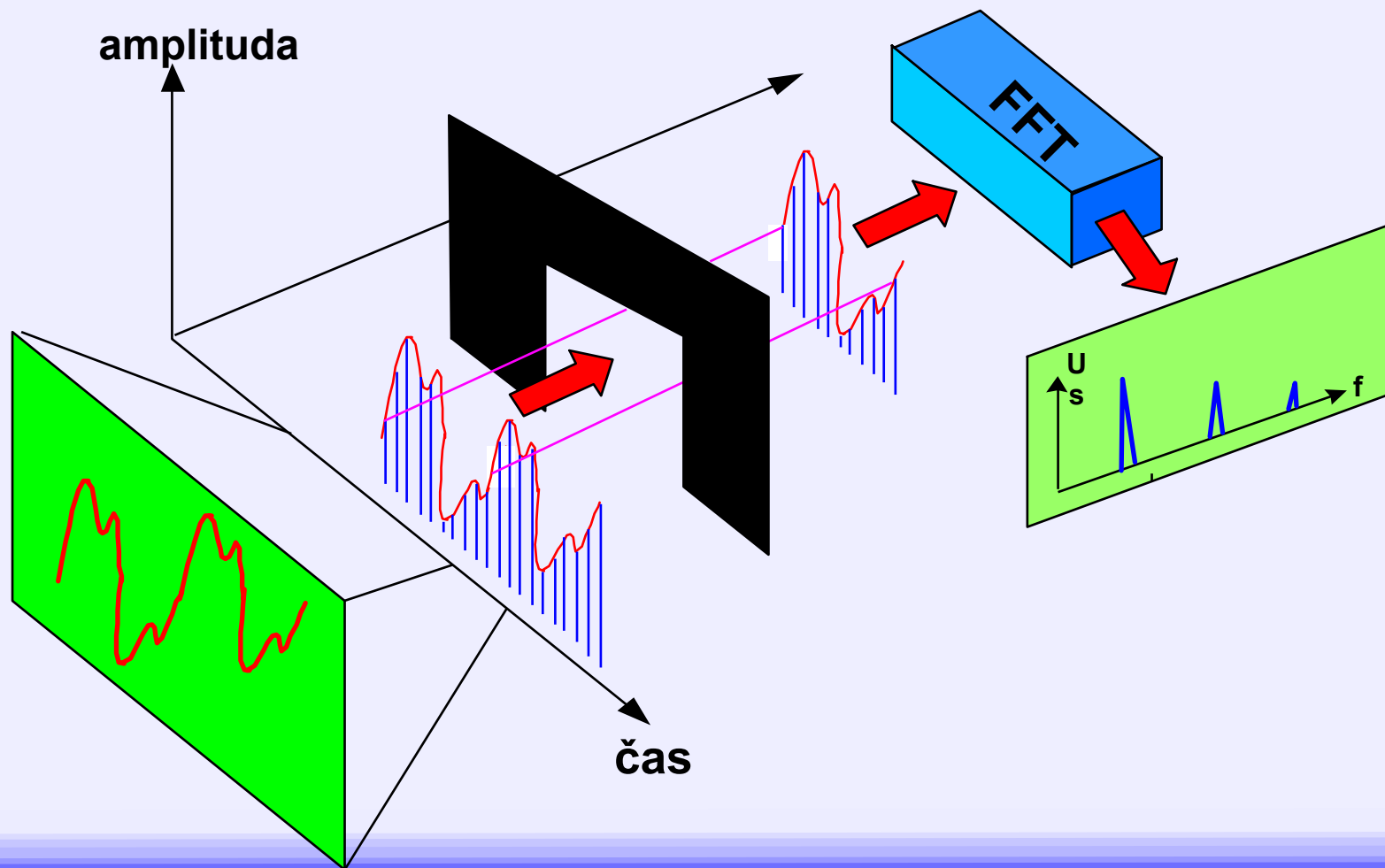
**B<sub>n</sub> = ekvivalentní šumová šířka pásma RBW filtru**

**P<sub>i</sub> = výkon reprezentovaný jedním bodem [W]**

**N = počet měřících bodů**

# FFT Spektrální analyzátor

## Vztah mezi časovou a frekvenční doménou



# FFT analyzátory

- ➔ frekvenční pásmo omezené
- ➔ dynamika limitována A/D převodníkem (14bit = 80dB)
- ➔ fixní rozmítání (SPAN) -10, 20,...,100kHz
- ➔ vzorkovaný sig. musí být celist. násobkem vzork.per.
- ➔ použité okno zkresluje amplitudu nebo frekvenci
- ➔ možnost chyb vlivem překrývání spekter (aliasing)



- ➔ vysoká rychlost-limitována jen časem záznamu a FFT
- ➔ při stejném  $BW_{REZ}$  jsou FFT analyzátory rychlejší
- ➔ měření časově proměnných signálů
- ➔ paralelní banka filtrů bez odezvy
- ➔ data vzorkovaného signálu lze využít i jinak
- ➔ vysoká informace o amplitudě a fázi signálu
- ➔ výsledky lze početně korigovat

# FFT- signálové analyzátořy

## ★ A/D převod - vzorkování - digitalizace

$$f_{\max} > f_s / 2$$

$f_{\max}$  = maximální frekvence obsažená ve spektru signálu

$f_s/2$  = Nyquistova frekvence

$$\Delta f = 1/T_o \quad f_s = 1/T \quad T_o = NT \quad \Delta f = f_s / N$$

$\Delta f$  = rozlišovací schopnost-vzdálenost čar ve spektru

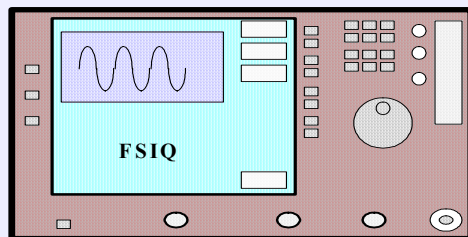
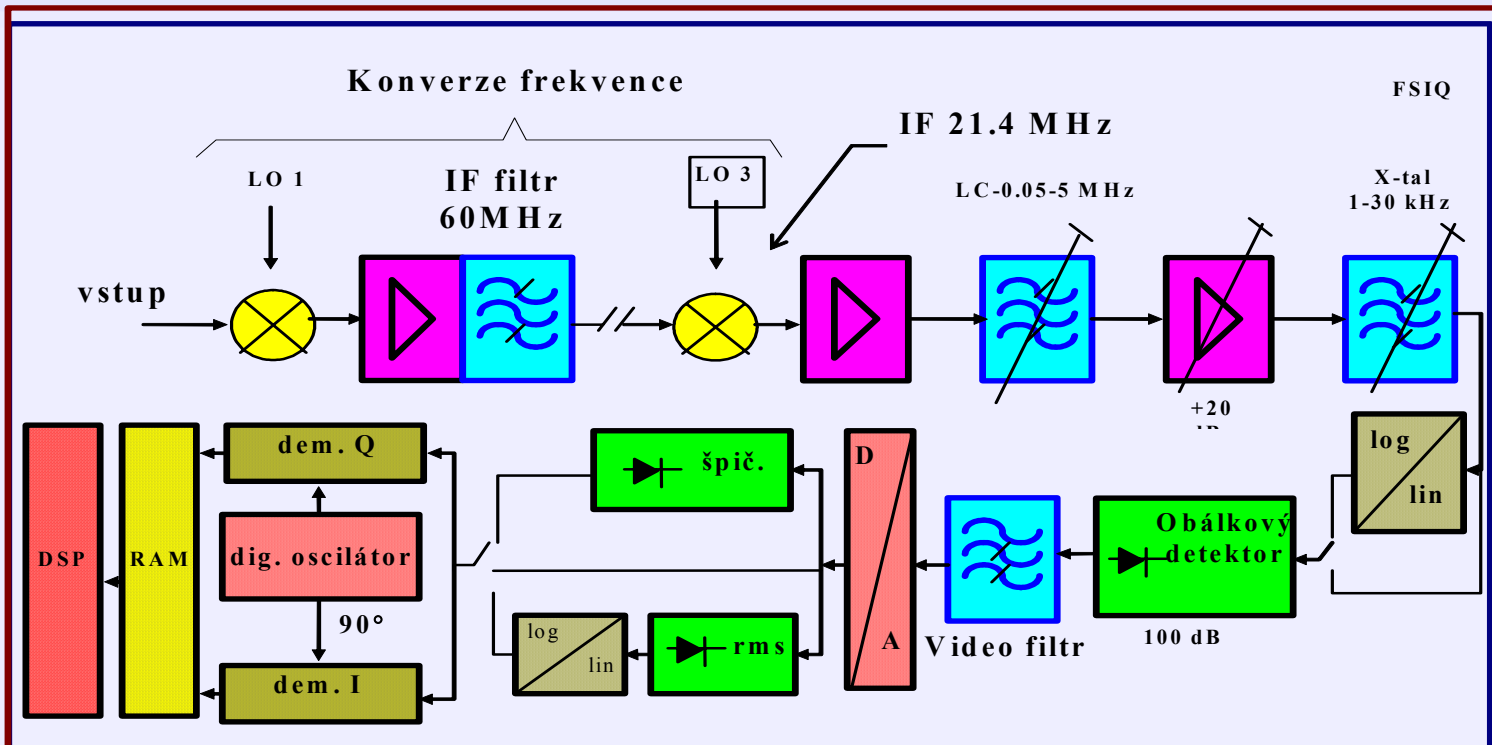
$f_s$  = vzorkovací frekvence

$T_o$  = perioda vzorkovaného signálu

$N$  = délka záznamu



# Analyzátor signálů - FSIQ



**Oblast: frekvenční, časová, vektorová**

**Frekvence: 20 Hz až 3.5 GHz (7, 26)GHz**

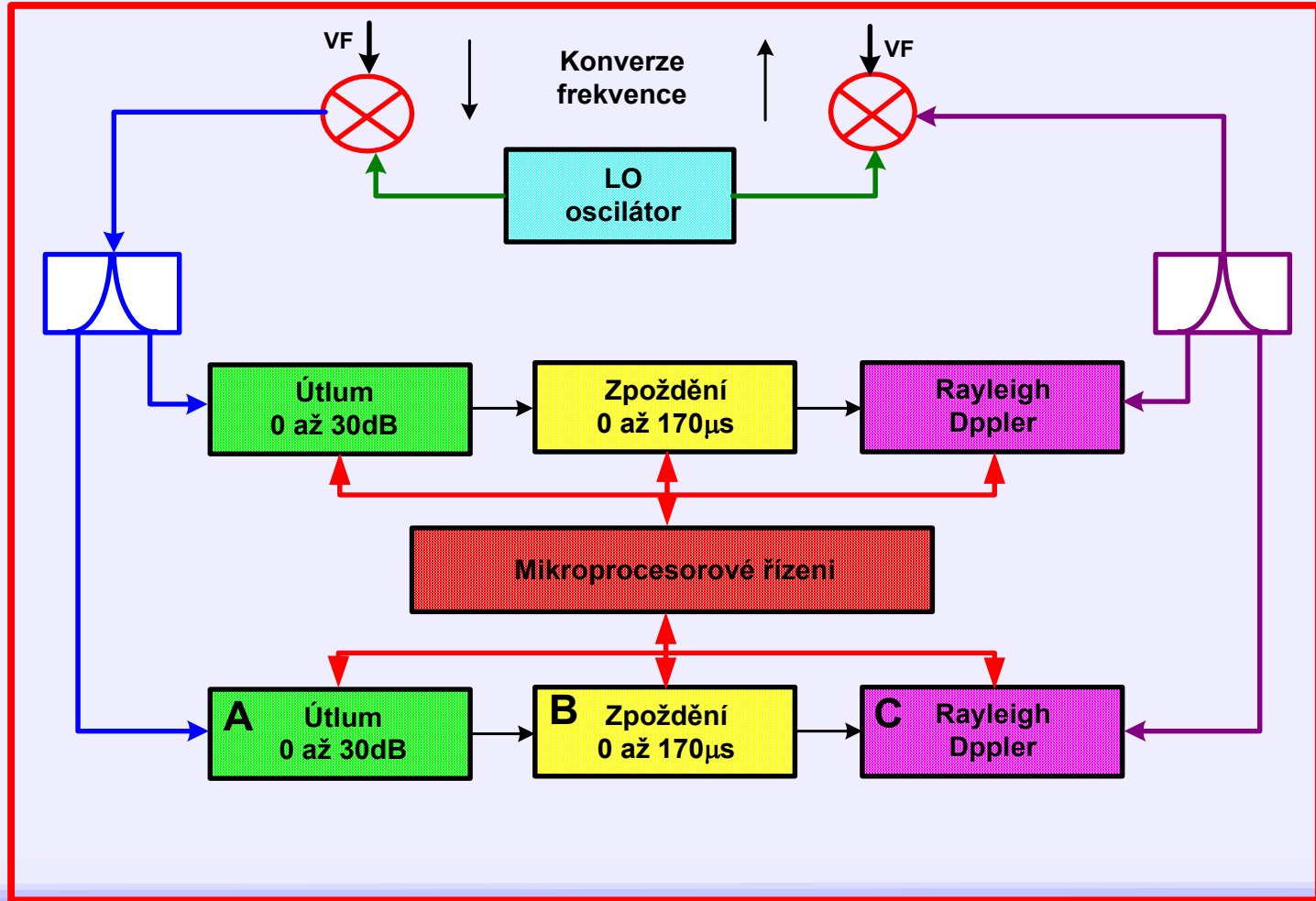
**Chyba měření: < 1dB (2.2 GHz)**

**Modulace: AM, FM, PM, digitální**

**Stand. : GSM, NADC, TETRA, PDC, PHS,  
W-CDMA, DECT, CDPD, PWT ....**

**RBW (-3dB) : 1Hz - 10 MHz**

# Vícecestné šíření-simulátor



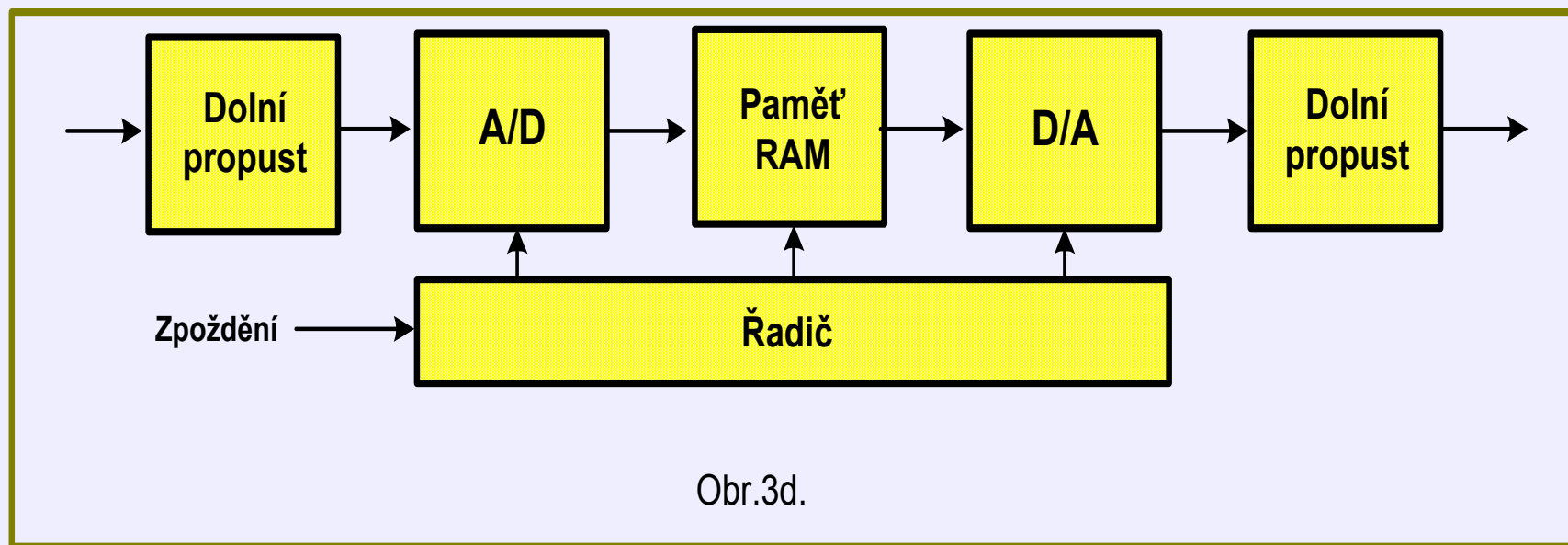
# Vícecestné šíření-simulace zpoždění

$\tau$  ...časové zpoždění

$$\tau = N \cdot T_{vz}$$

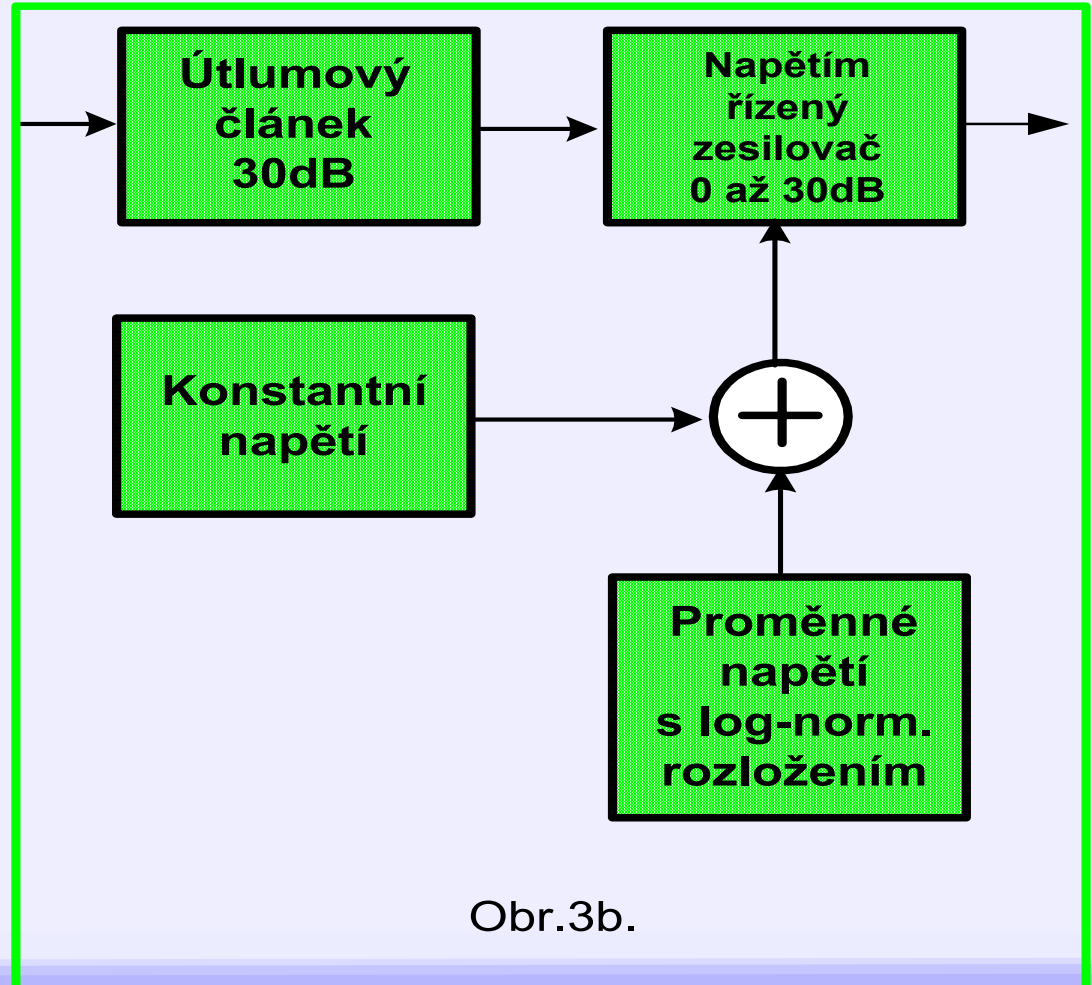
$N$ ...počet dočasně  
ulož.vzorků

$T_{vz}$ ..perioda vzork. signálu



# Vícecestné šíření-simulace útlumu

- ★ **útlum volného prostředí**
- ★ **pomalý únik**
- Shadowing**



Obr.3b.

# Vícecestné šíření-rychlý únik

$$p(R) = \frac{R}{\sigma^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}$$

