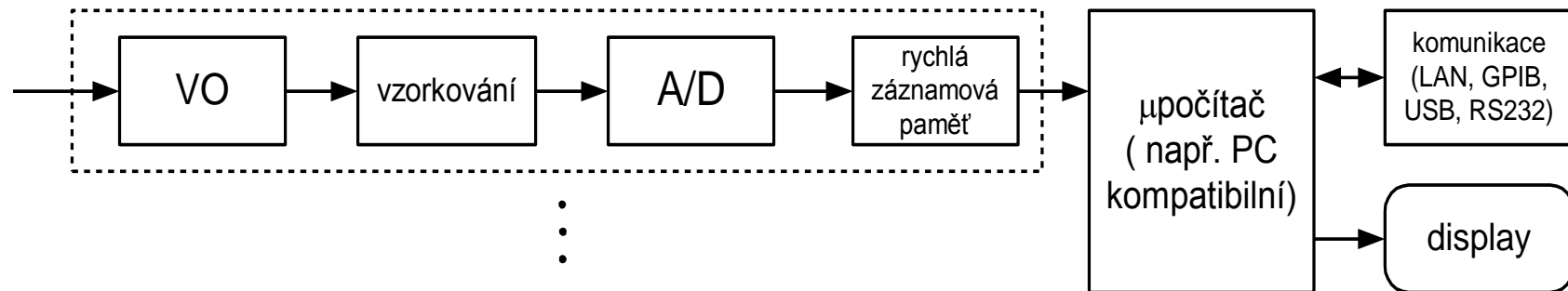


Číslicový osciloskop

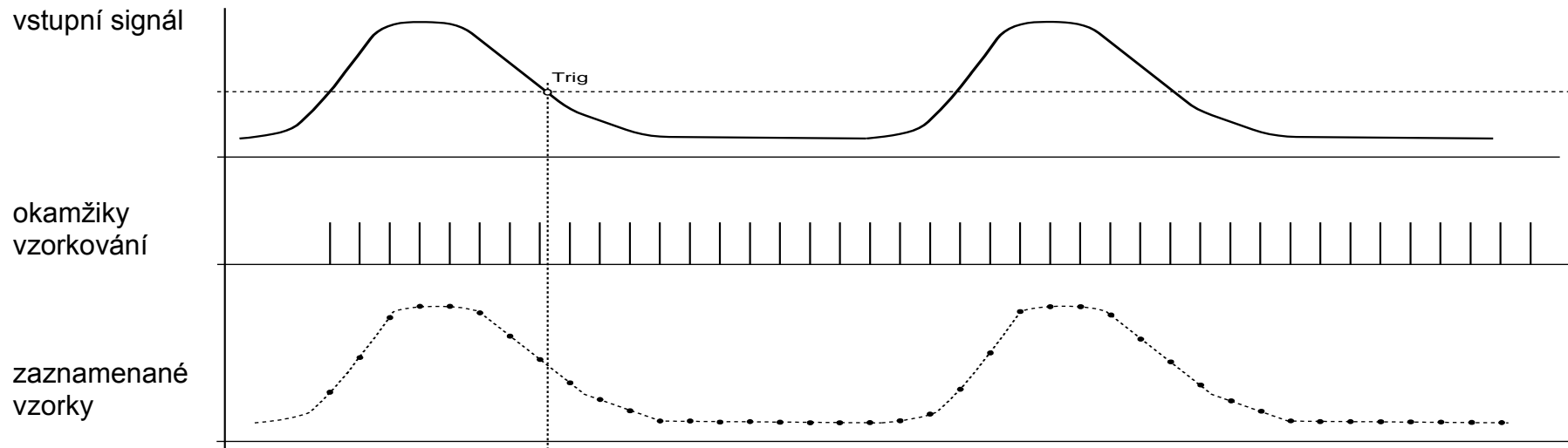
- Číslicový osciloskop (DSO) – blokové schéma, princip funkce
 - Vzorkování a rekonstrukce signálu
 - Aliasing, možnost nesprávné rekonstrukce signálu
 - Režimy sběru a zobrazení dat
 - Možnosti spouštění
 - Důležité parametry číslicového osciloskopu
-
- Přínos a princip funkce pasivní napěťové sondy
 - Měření parametrů signálu

Blokové schéma číslicového osciloskopu (Digital Storage Osc.)



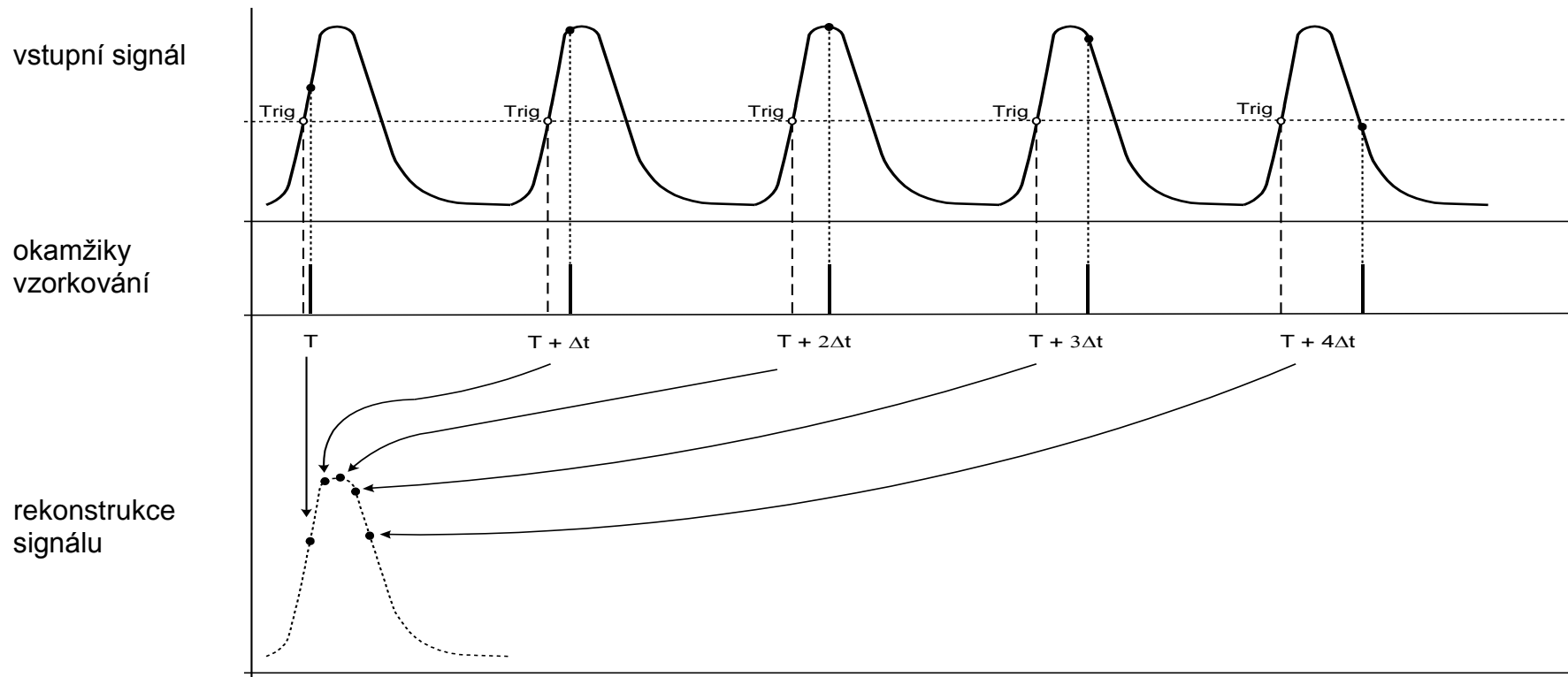
- vstupní obvody reprezentují širokopásmový napěťový zesilovač/dělič
- vzorkovací obvod (track&hold) sleduje (track) vstupní napětí a v definovaný okamžik přepne do režimu hold (drží konstantní hodnotu) – diskretizace v čase
- A/D převodník převádí analogovou hodnotu na číslo – kvantování (8 – 12 bitů)
- jednotlivé vzorky jsou ukládány do záznamové paměti
- vzorkování v reálném čase X stroboskopické
- nejsou zobrazovány pouze jednotlivé body, mezilehlé hodnoty jsou interpolovány
- správnost rekonstrukce je zaručena pouze při splnění Nyquistova kritéria (vzorkovací frekvence musí být minimálně dvojnásobkem nejvyšší frekvenční složky měřeného signálu – zde není vždy zaručeno)
- při nesprávném nastavení osciloskopu hrozí aliasing → chybná rekonstrukce průběhu → chybné zobrazení na obrazovce

Vzorkování v reálném čase (RTS)



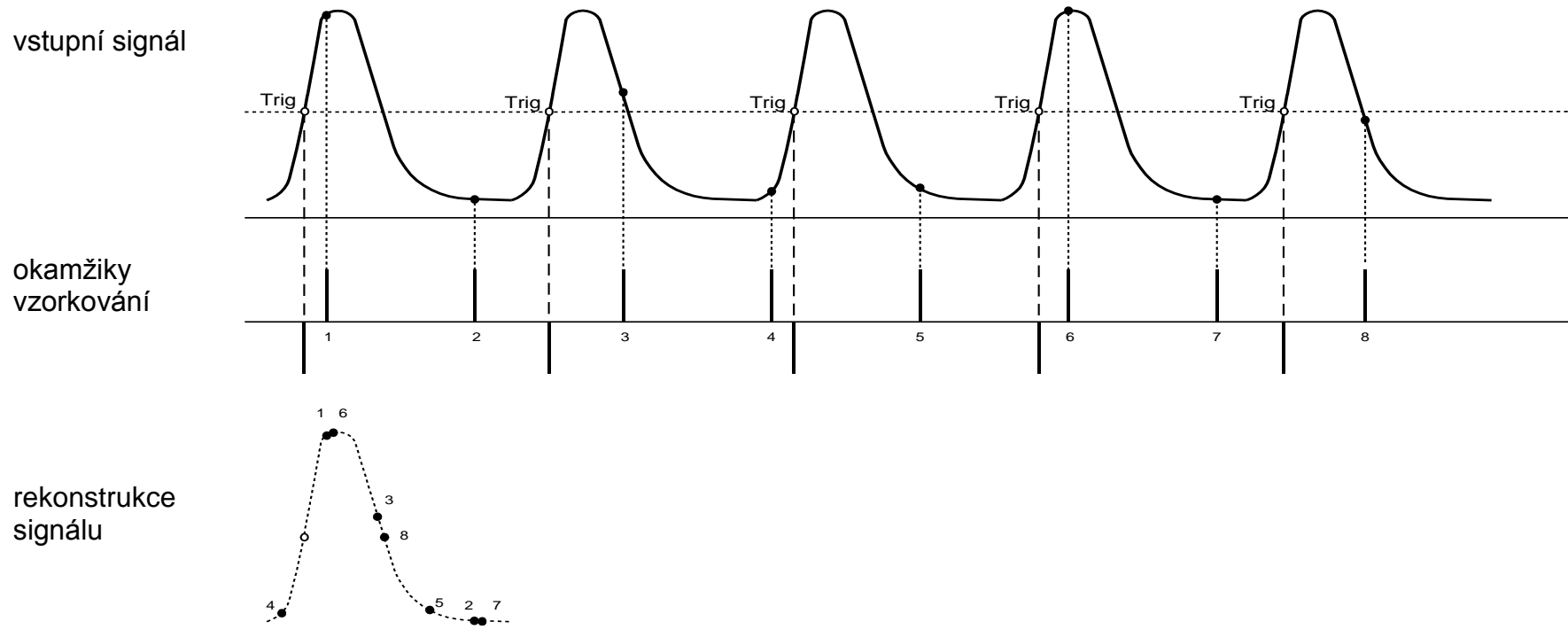
- vhodné pro záznam jednorázových dějů
 - záznam je spuštěn v okamžiku, kdy je ve vstupním signálu identifikována spouštěcí podmínka – Trigger
 - pro správnou rekonstrukci musí být splněno Nyquistovo kritérium
 - možnost pretriggeringu – záznam probíhá neustále a detekce spouštěcí podmínky jej po přednastavené době ukončí
-
- dnes běžně vzorkovací frekvence řádu GS/s u DSO střední třídy (cca 150 000 Kč)

Vzorkování v ekvivalentním čase – varianta sekvenční (SETS)



- vhodné pouze pro záznam periodických dějů
- ekvivalentní vzorkovací frekvence $f_{es} = 1/\Delta t$
- jednotlivé vzorky jsou odebírány v definovaných a postupně se prodlužujících intervalech po detekci spouštěcí podmínky
- pretriggering není možný bez zpožďovací jednotky ve vertikálním kanálu
- implementační výhodou je jednoduché generování přesných časových intervalů Δt

Vzorkování v ekvivalentním čase – varianta náhodná (RETS)



- vhodné pouze pro záznam periodických dějů
- jednotlivé vzorky jsou odebírány náhodně vůči měřenému signálu a tedy i okamžiku, v němž je splněna spouštěcí podmínka
- pretriggering je možný bez zpoždovací jednotky ve vertikálním kanálu
- během jedné periody měřeného signálu může být odebráno více vzorků
- implementační nevýhodou je obtížné měření časového intervalu mezi odebráním vzorku a okamžikem výskytu spouštěcí podmínky

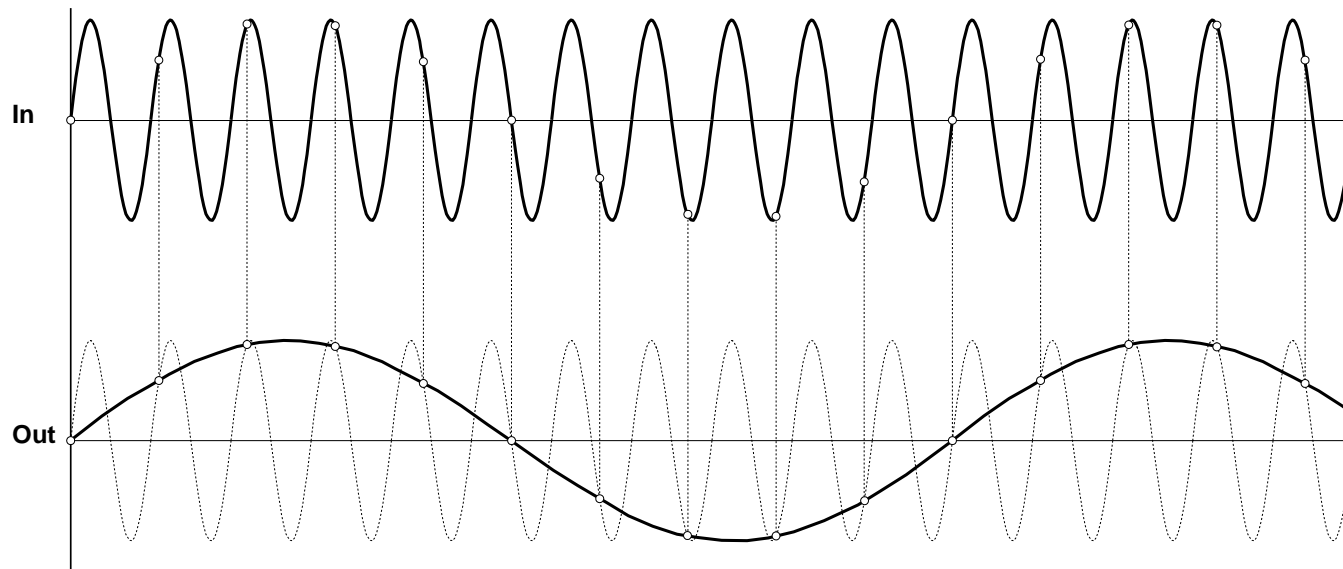
Aliasing → nesprávná rekonstrukce signálu

U všech digitálních osciloskopů existuje jednoduchá souvislost mezi velikostí záznamové paměti, časovou délkou záznamu a vzorkovací frekvencí:

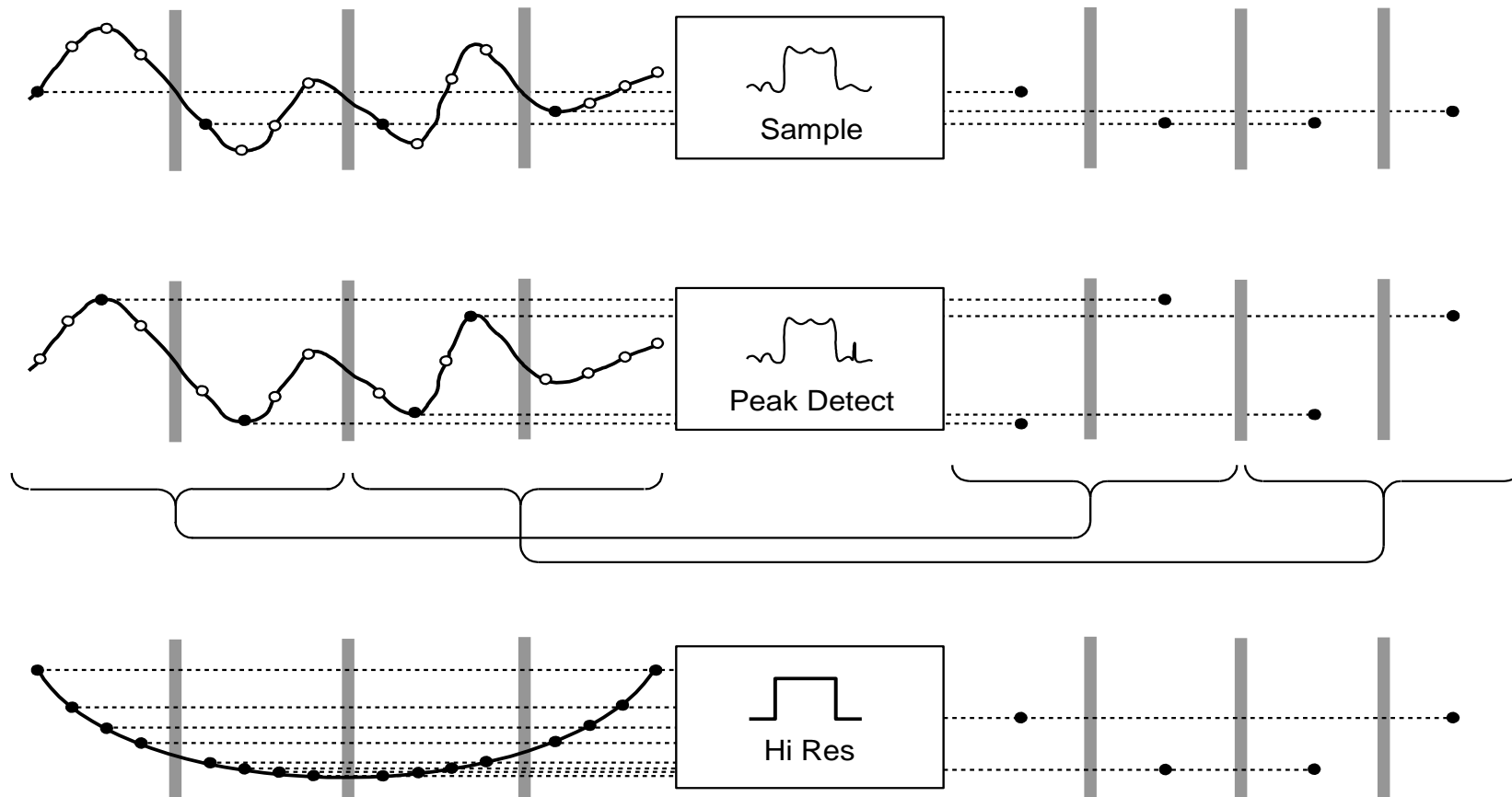
$$f_s = N_{\text{mem}} / T_{\text{rec}} \quad \text{kde: } \begin{array}{ll} f_s & \text{je max. vzorkovací frekvence} \\ N_{\text{mem}} & \text{je počet vzorků, které se vejdu do paměti} \\ T_{\text{rec}} & \text{je délka zaznamenaného časového intervalu} \end{array}$$

Je-li tedy rychlost časové základny 1 ms/dílek (a tedy zobrazený časový interval 10 ms při 10 dílcích), velikost paměti 1000 vzorků, pak maximální vzorkovací frekvence, kterou může osciloskop použít, je $1000 / 0.01 = \mathbf{100 \text{ kS/s}}$.

Není-li splněno Nyquistovo kritérium, nelze signál správně rekonstruovat, a výsledek může vypadat takto:



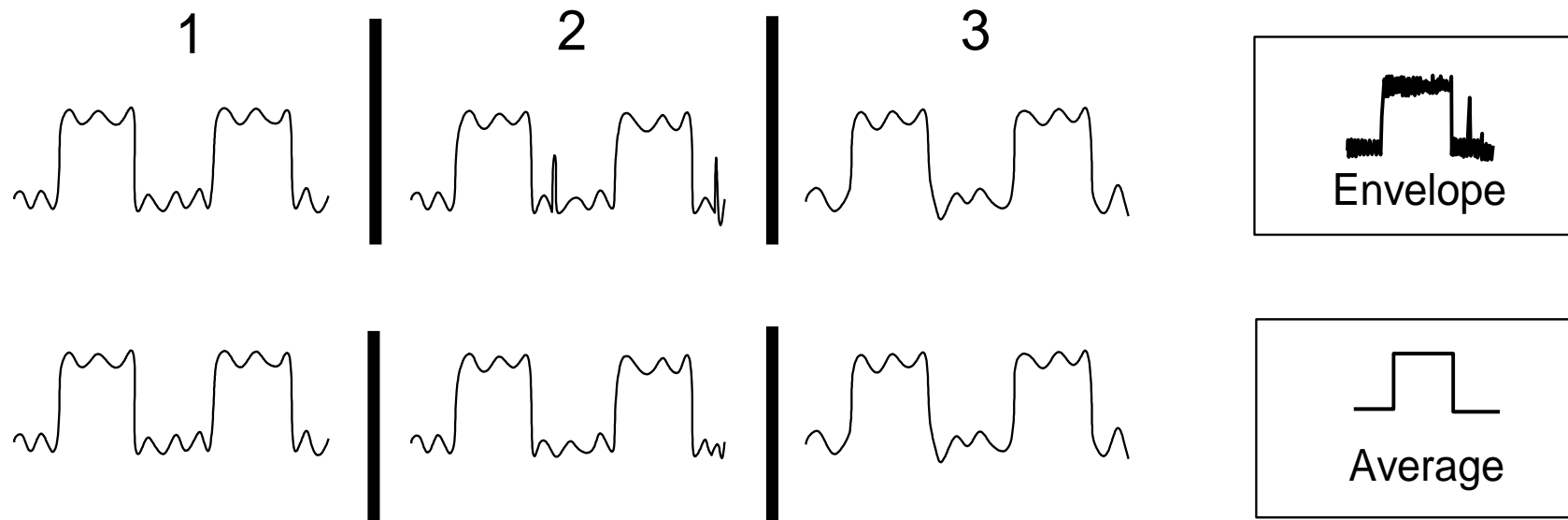
Režimy sběru a zobrazení dat



Při poměru počtu odebraných vzorků ku počtu využitých vzorků = N:

- Sample mód – do paměti je uložen a pro zobrazení využit každý N-tý vzorek
- Peak Detect mód – do paměti jsou uložena minima a maxima ze 2N vzorků
- High Resolution mód – do paměti je uložen průměr z N vzorků

Režimy sběru a zobrazení dat



- Envelope mód - výsledné zobrazení je složeno z více záznamů vytvořených v režimu Peak Detect tak, že jsou opět zobrazeny maximální a minimální hodnoty z jednotlivých záznamů. Výsledkem je pak zobrazená obálka všech záznamů.
- Average mód – výsledné zobrazení je složeno z více záznamů vytvořených v režimu Sample tak, že hodnota každého vzorku je vypočtena jako průměr hodnot odpovídajících vzorků jednotlivých záznamů.

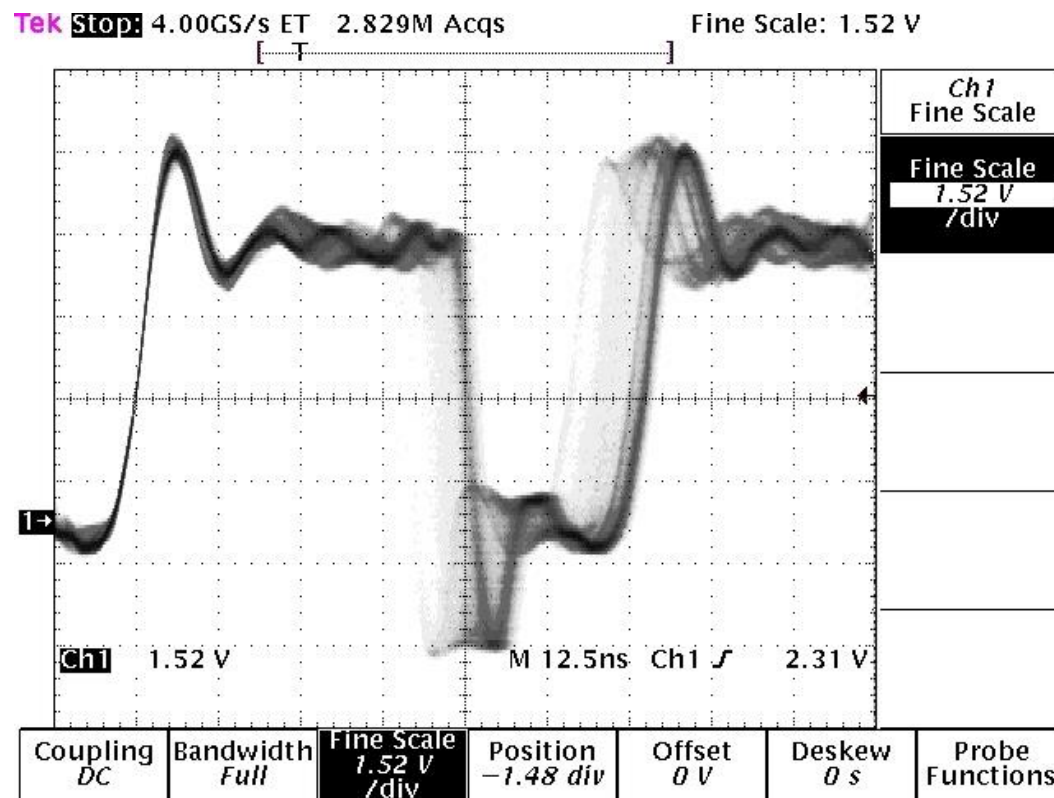
Časté je také paměťové zobrazení (waveform persistence), které spočívá v prosté funkci OR definovaného až nekonečného (infinite) počtu měřených průběhů.

Další možnosti zobrazení dat

Všechny předchozí režimy využívají pouze černobílé zobrazení – bod tedy svítí nebo nesvítí.

Jas stopy analogového osciloskopu poskytuje dodatečnou informaci o rychlosti změny signálu a o četnosti jeho průchodu daným místem obrazovky – čím je častější, tím je místo jasnější.

Podobný efekt je dosažen na obrazovce DSO využitím stupňů šedi (četnost vyjádřena jasem) nebo barevné škály – emulace analogového zobrazení – *analog persistence*.



Možnosti spouštění

- Jednokanálové spouštění
 - průchod signálu přednastavenou úrovní (*edge*)
 - šířka pulsu (*pulse width*)
 - rychlost hrany (*slew rate*)
 - timeout
 - výskyt pulsu s amplitudou mezi log. úrovněmi (*runt pulse*)
- Vícekanálové spouštění
 - nedodržení předstihu/přesahu (*setup/hold violation*)
 - výskyt předdefinované kombinace (*pattern*)
 - výskyt stavu (*state*, jeden ze vstupů využit jako hodinový signál)
- Komunikační spouštění
 - výskyt adresy
 - porušení kanálového kódování
 - průběh signálu mimo masku

Některé osciloskopy nabízejí i kombinace předchozích typů spouštění nebo výskyt předdefinované sekvence spouštěcích podmínek. Spuštění lze také zpozdít o předdefinovaný časový interval.

Funkce hold-off často nabízí potlačení dalšího spuštění nejen po předdefinovanou dobu, ale lze potlačit i předdefinovaný počet spouštěcích událostí.

Důležité parametry pro výběr digitálního osciloskopu

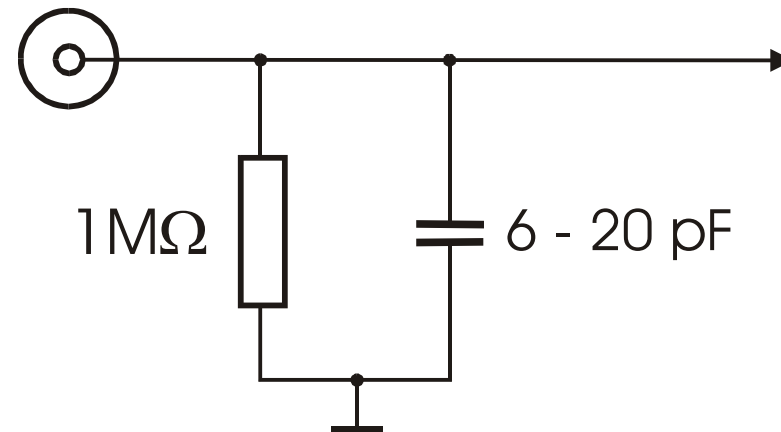
- Vertikální kanál (-y)
 - totéž jako u analogového osciloskopu +
 - maximální **reálná** a ekvivalentní vzorkovací frekvence
- Horizontální kanál
 - totéž jako u analogového osciloskopu +
 - velikost záznamové paměti na kanál
- Spouštění
 - totéž jako u analogového osciloskopu +
 - všechny výše uvedené jednokanálové typy spuštění +
 - další typy spouštění dle aplikačního využití
- Možnosti zobrazení (peak detect, average, envelope ...)
- Frekvence měření – mrtvá doba (viz následující přednáška)
- Možnosti měření parametrů signálu, měření s kursory
- Možnosti dalšího zpracování (FFT, měření s maskou, jitter ...)
- Možnosti komunikace, vzdáleného ovládání a sběru dat

Pasivní napěťová sonda

Náhradní zapojení vstupu osciloskopu:

Vstupní impedance: $Z = \frac{R}{1 + j\omega RC}$

Pro $f = 10 \text{ MHz}$ \approx $Z = 0,6 + j.796 \text{ } \Omega$

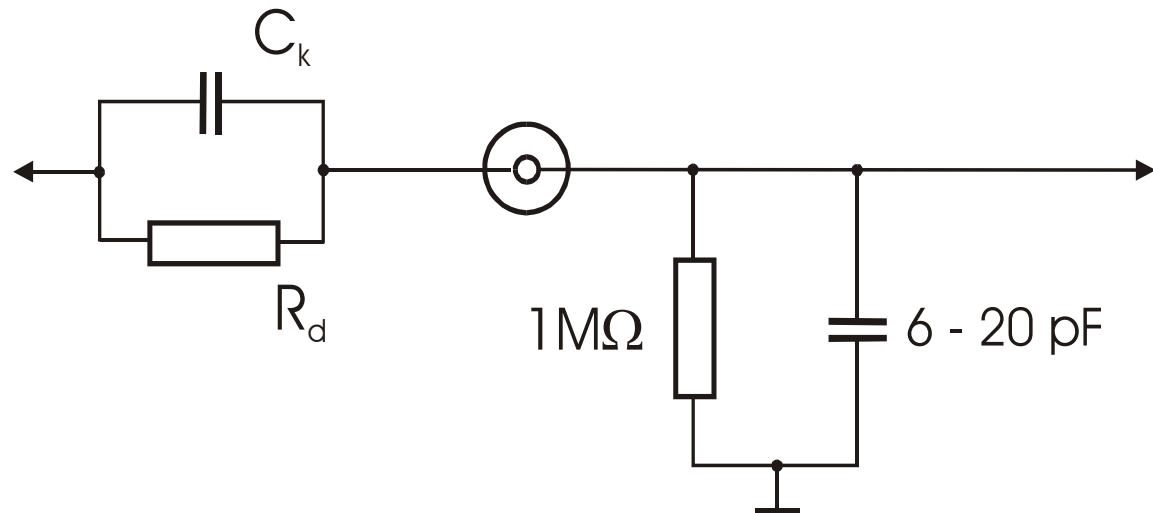


Vstup osciloskopu často nepříjemně zatěžuje měřený objekt, ovlivňuje tak jeho chování a tím i zobrazený průběh signálu. Částečným řešením je využití napěťové vstupní sondy. Její přenos je při vhodných hodnotách prvků C_k a R_d reálný a nezávislý na frekvenci vstupního signálu.

Podmínkou reálného přenosu je:

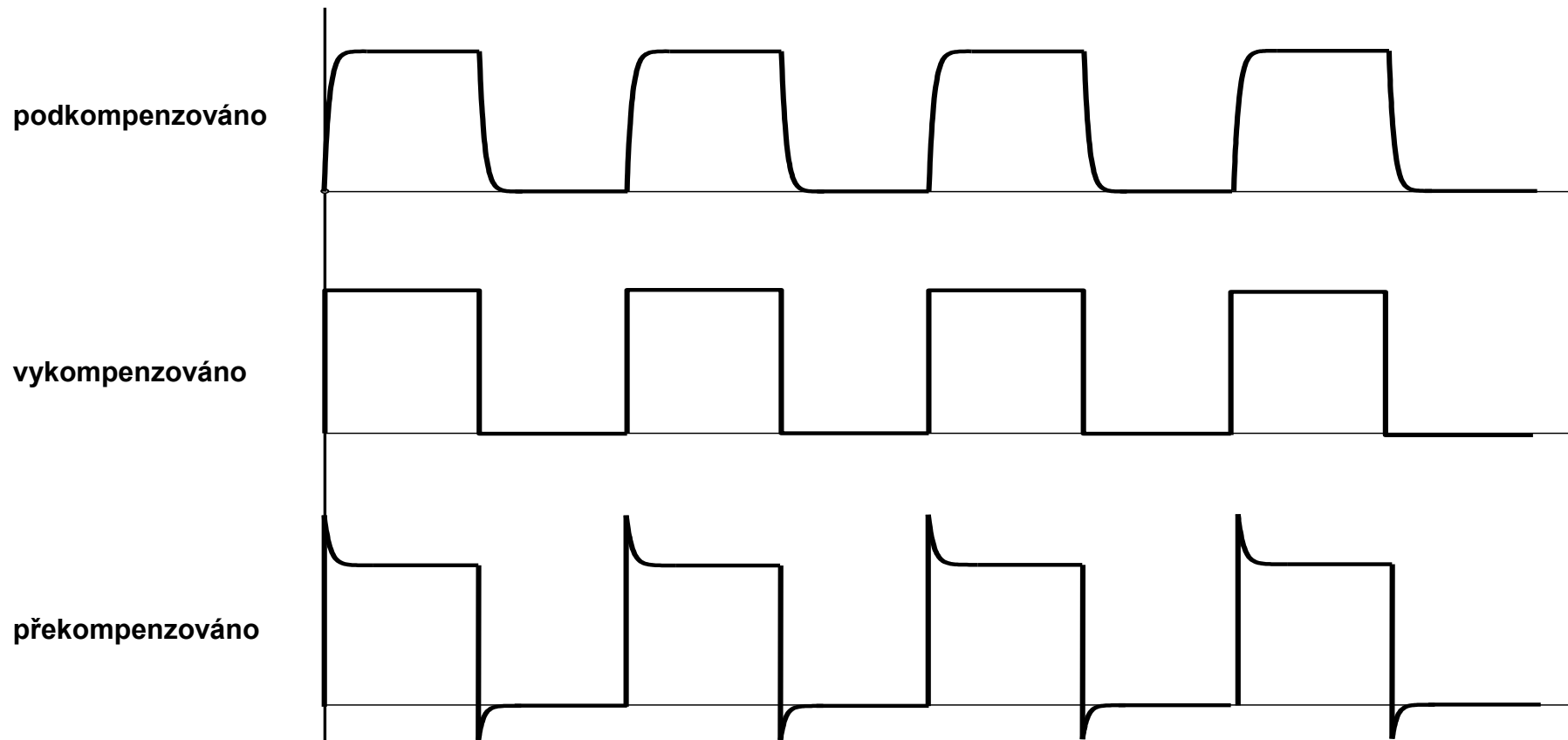
$$R_d \cdot C_k = R \cdot C$$

Přenos je pak $R / (R + R_d)$.



Kompenzace napětové sondy

Slouží k přesnému nastavení reálného přenosu sondy. Obvykle se využívá obdélníkový signál s rychlými hranami, jehož generátor je vestavěn přímo v osciloskopu. Kompenzace se provádí nastavovacím prvkem (obvykle) v té části sondy, která se připojuje k osciloskopu. Nastavuje se na co nejlepší pravoúhlý signál bez překmitů.



Měření parametrů signálu

- měření podle rastru
- měření s kursory
- automatické měření parametrů signálu:
 - perioda, frekvence, střída, šířka pulsu
 - zpoždění, fázový posuv, délka hrany
 - amplituda, napětí špička-špička, střední hodnota napětí, efektivní hodnota napětí
 - maximum, minimum, velikost překmitu, H a L hodnota (pro číslicový signál)

Oblast dat využitou pro výpočet měřeného parametru lze často vymezit s využitím kurzorů.

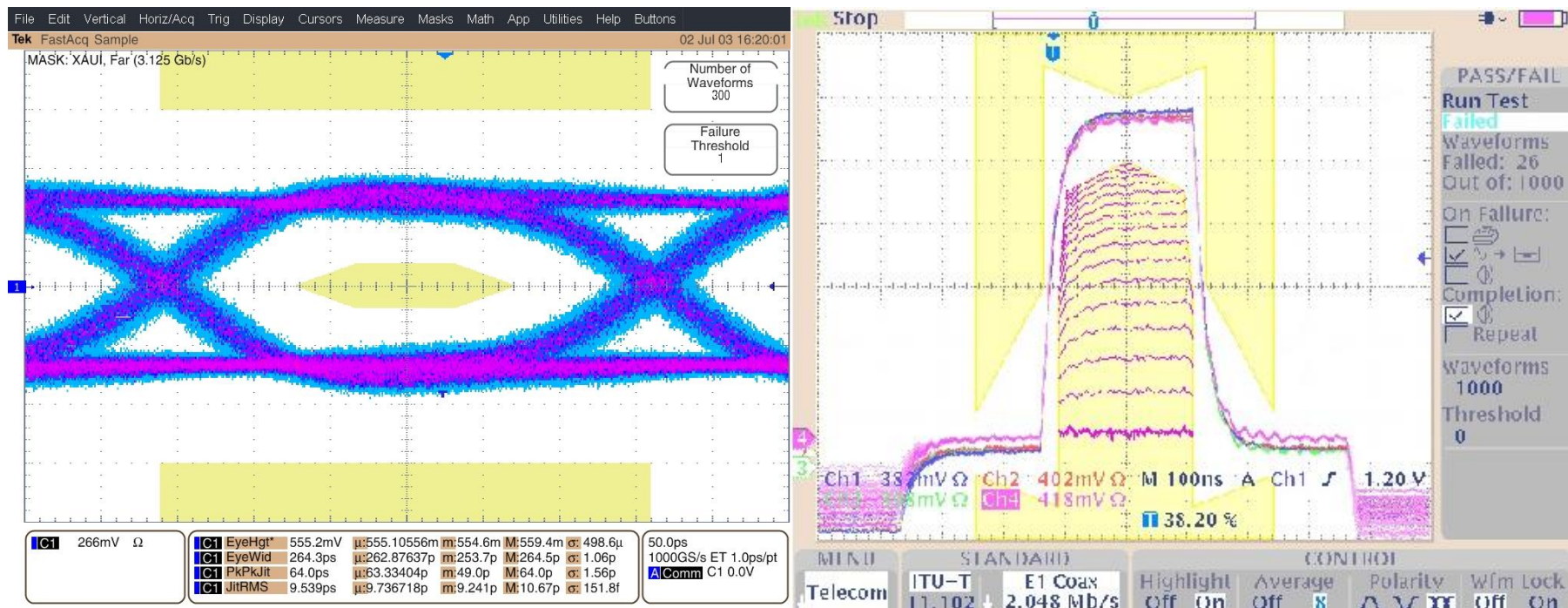
Vždy je třeba znát (**alespoň tušit** ☺), jak osciloskop daný parametr počítá, aby bylo možné vyloučit nesmyslné výsledky, vyplývající z nevhodného nastavení osciloskopu (především parametry vertikálního a horizontálního kanálu).

Moderní osciloskopy na zcela nevhodné nastavení často upozorní.

Měření s maskou

Měření s maskou se obvykle využívá pro ověření správné funkce sériových komunikačních kanálů (především vysokorychlostních). Při měření je zobrazen tzv. diagram oka, kdy je osciloskop spouštěn hodinovým signálem, který definuje okamžiky platnosti sériových dat. Hodinový signál je buď externí nebo si ho osciloskop sám obnovuje z přijímaného datového toku. **Maska obvykle definuje oblast, do níž signál nesmí vstoupit.**

Měření s maskou patří mezi základní měření v oblasti vysokorychlostních počítačových sítí (i optických – s použitím optoelektrického převodníku) a v telekomunikační technice. Součástí mnoha komunikačních standardů jsou i příslušné masky, použité při měření. Moderní osciloskopy s příslušným software mají již tyto masky předdefinovány.



Měření jitteru

Jitter (časová nejistota) se projevuje jako časová variace okamžiků přechodu signálu mezi logickými úrovněmi. Existují i další definice jitteru, metody měření se pak liší.

Jitter (časová nejistota) signálu je způsoben mnoha různými příčinami:

- kvalita napájení
- přeslechy a odrazy
- teplotní a mechanické vlivy

Měření:

- kursory
- automatické
 - zobrazení histogramu
 - statistické vyhodnocení jitteru
 - FFT hodnot jitteru
- přesná měření s vyloučením vlivu jitteru spouštění osciloskopu vyžadují dlouhou záznamovou paměť

