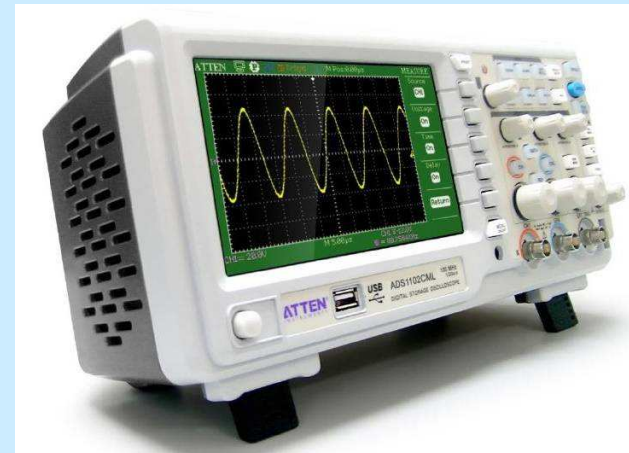
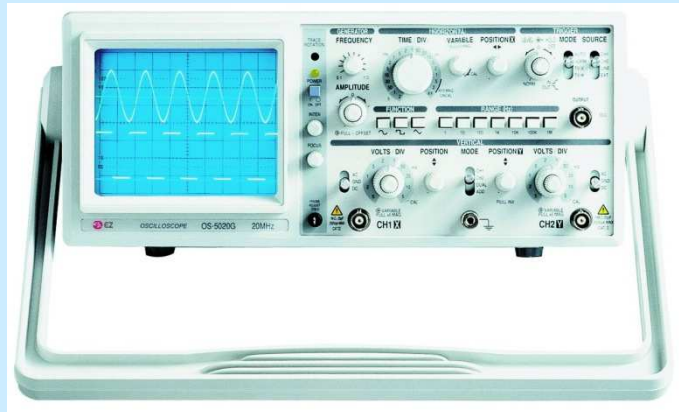


Analogové a digitální osciloskopy

Analogue and Digital Oscilloscope

Digital Storage Oscilloscope DSO

Mixed Storage Oscilloscope MSO



Norbert Wiener

narodil se 26. 11. 1894 v Columbiu (USA)
v 18 letech získal doktorát na Harwardu
přednášel matematiku na M.I.T.
formuloval základy kybernetiky
zemřel 18. 3. 1964 ve Stokholmu

kybernetika - cybernetics

Základní rozdělení osciloskopů

- podle **zpracování a zobrazení průběhu**

analogové - CRT, s kurzory

analogově / digitální - CRT, vzorkování

digitální - LCD

- podle **galvanické vazby** kanálů

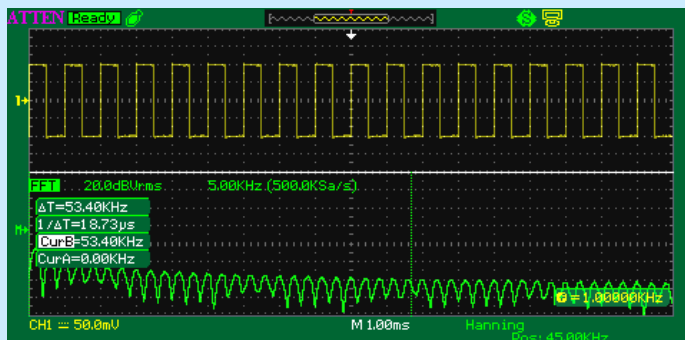
kanály vzájemně propojené, PEN

kanály galvanicky oddělené - měření na různých
potenciálech

- další rozdělení dle speciálních vlastností

Speciální informace (do PRAXE)

- digitální osciloskop není přesnější než analogový
- zobrazení osciloskopu je v časové oblasti $u(t) = f(t)$
- v paměti (vnitřní / vnější USB) se uchovává většinou Hard Copy obrazovky, ne záznam průběhu



1 Osciloskopy zobrazující průběh na stínítku obrazovky s **ELEKTROSTATICKÝM** vychylováním

Analogové osciloskopy

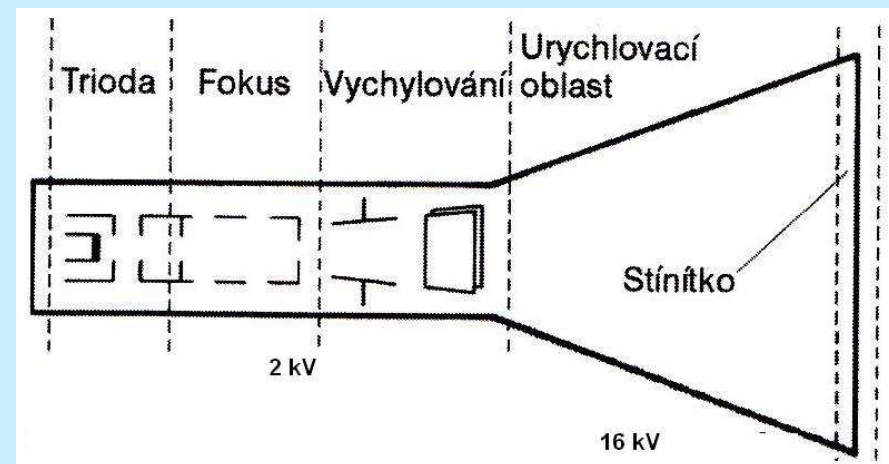
Analogové osciloskopy s kurzory

Analogové paměťové osciloskopy

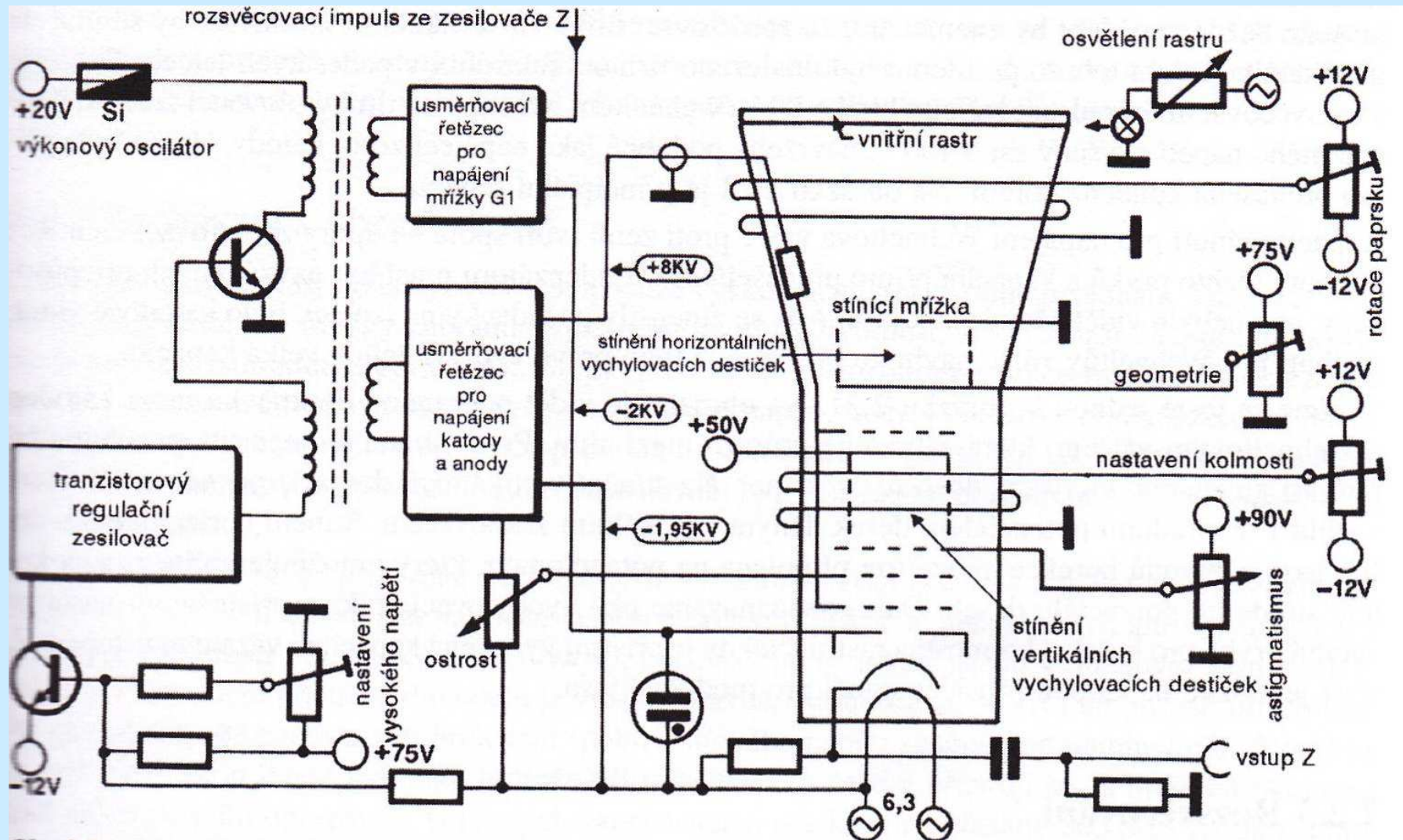
Analogově / digitální osciloskopy

1.1 Analogové osciloskopy – obrazovka CRT

- zobrazení průběhu je na stínítku obrazovky obrazovky s elektrostatickým vychylováním
- Wehnelův válec (část CRT, prochází jím paprsek, který je tvarován, zaostřen soustavou elektrod a dopadá na stínítko)
- stínítko je pokryto na vnitřní straně látkou luminofor, který po dopadu paprsku určitou dobu svítí (P31 – zeleně) a vytváří tak čitelnou stopu
- používají se jedno systémové obrazovky



Velmi zjednodušené blokové schéma zapojení VN zdroje CTR analogového osciloskopu



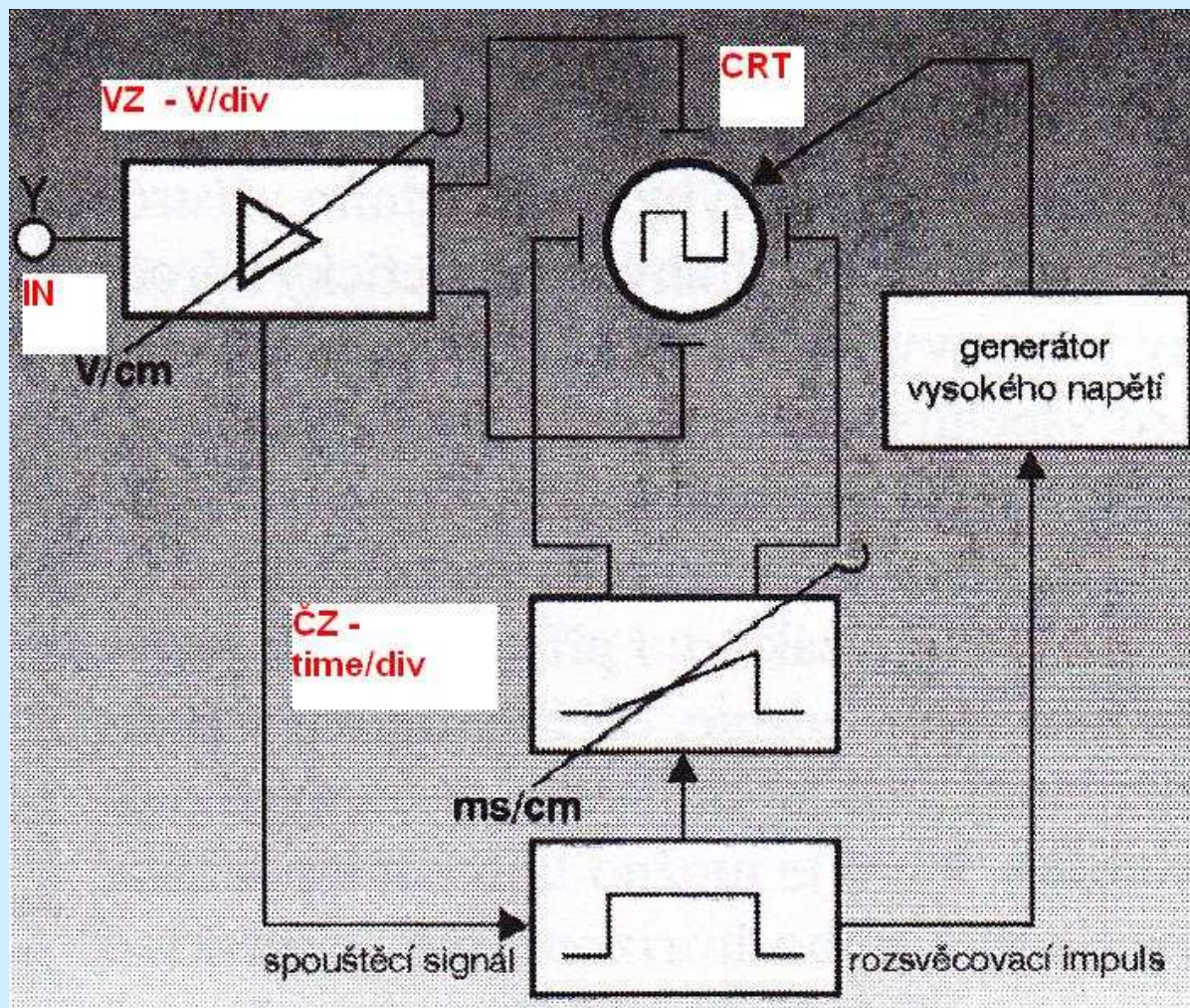
1.2 Paměťové CRT obrazovky – základní princip

- použití u analogových paměťových CRT osciloskopů
např. Tektronix 466 DM 44, řada Tektronix 7000 apod.
- princip paměťové obrazovky = sekundární emise elektronů
- dopadne-li elektron určitou rychlostí na vybraný materiál vyvolá emisi sekundárních elektronů, které jsou uvolňovány z vybraného materiálu

Paměťové CRT obrazovky rozdělení

- ***transmisní paměťové obrazovka*** (uložení do paměti a převod elektronového paprsku je odděleno, doba zapamatování je malá)
- ***transferová paměťová obrazovka*** (zapojeny jsou dvě obrazovky z sebou, lze volit vyšší psací rychlost a delší dobu pozorování)
- ***obrazovka typu Scan Converter*** (velmi vysoká psací rychlost, jako paměť je použita vrstva Si- SiO₂, která se přečte druhým obrazovkovým systémem z druhé strany pomocí televizního rastru)
- ***speciální paměťová obrazovka*** (mikrokanálová obrazovka, pracuje s elektronově-optickým zvětšením, ...)

analogový osciloskop – zjednodušené blokové schéma



1.3 Základní charakteristiky CRT osciloskopu

- *počet kanálů*

max. počet současně zobrazených průběhů
většinou 2 kanály, speciální případy 4 kanály

- ***kmitočtový rozsah osciloskopu*** (horní mezní kmitočet f_h)

dnešní osciloskopy zobrazují signály od DC

f_h = maximální kmitočet harmonického průběhu
zobrazeného na stínítku obrazovka / LCD,
u kterého je amplituda nižší o - 3dB, než je
amplituda signálu připojeného ke vstupu

např. šířka pásma osciloskopu je $B = 100\text{MHz}$, měříme
sinusový průběh s amplitudou 1V a kmitočtem 100MHz
zobrazení signálu 100MHz na stínítku osciloskopu:
amplituda 0,707V (-3dB / 100MHz), pokles o -3dB

- **doba náběhu** vertikálního kanálu t_{no}
pozorování a zobrazení spíše impulzních průběhů než
průběhů harmonických
ideální osciloskop má nulovou dobu náběhu t_{no}

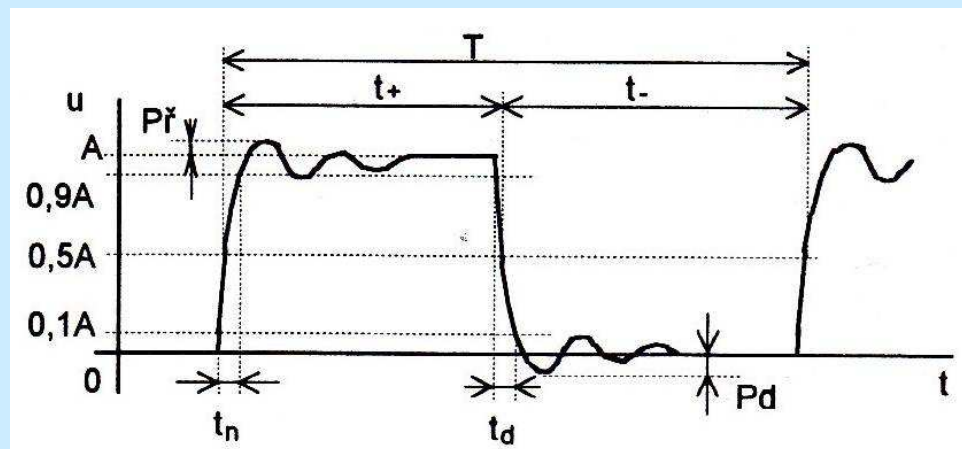
čas nutný k nárůstu amplitudy z $0,1U_{max}$ na $0,9U_{max}$
je označován jako doba **náběhu vertikálního
zesilovače** osciloskopu, je funkcí kmitočtového
rozsahu osciloskopu f_h

$$t_{no} = \frac{0.35}{f_h}$$

příklad:

60 MHz osciloskop

$$t_{no} = 0,35 / 60 \times 10^6 =$$
$$= 5,83 \text{ ns}$$



označíme-li dobu náběhu vstupního impulzního signálu t_{ns} ,
je osciloskopem zobrazený signál s dobou náběhu t_{nz}

$$t_{nz} \approx \sqrt{t_{no}^2 + t_{ns}^2}$$

v ideálním případě požadujeme $t_{ns} = t_{nz}$
k optimálnímu zobrazení impulzních průběhů je nutno
použít osciloskop splňující podmínku

$$t_{no} \leq t_{ns}/5$$

v našem případě

$$t_{no} = 5,83 \text{ ns}$$

$$\text{potom } t_{ns} = 5 \times 5,83 = 29,15 \text{ ns}$$

můžeme tedy zobrazit optimálně - bez zkreslení
impulzní průběhy s náběžnou hranou $t_{ns} = 29,15 \text{ ns}$

- **napět'ové rozsahy**

určují rozsah vychylovacího činitele vertikálního kanálu
(1 mV / div až 5 V / dílek)

- **vstupní impedance**

NF měření je standardně např. ($1\text{M}\Omega$ / 10 pF)

VF měření nad 200MHz je vstupní impedance 50Ω
(paralelní kapacitu lze zanedbat)

- **časové základny**

časová základna **hlavní A**

časová základna **zpožděná B** (vybere z části průběhu část a tu zobrazí na celé horizontální ose)

přesnost časové základny 3% až 5%

Vybrané technické parametry CRT osciloskopu

Vertikální vychylování

Pracovní režim	kanál CH1 / CH2 / ADD / DUAL / CHOP / ALT
Invert	CH2
X-Y režim	CH1 - Y / CH2 -X
Kmitočtový rozsah	DC - 100MHz (-3dB)
Náběžná hrana	<3,5 ns
Vychylovací činitel	11 kalibrovaných kroků
Citlivost	2mV - 5V/dílek: (1-2-5)
Zesílení	5x: 1mV/dílek
Vstupní impedance	1M Ω / 25pF
Vstupní vazba	AC / GND / DC
Vstupní napětí	max. 250V (DC + špička AC)

Vybrané technické parametry CRT osciloskopu

Horizontální vychylování

Časová základna A

Přesnost	3% v sekvenci 1-2-5
Přepínání	20 kalibrovaných kroků
Rozsah časové základny	0,2s/dílek - 0,1 us/dílek

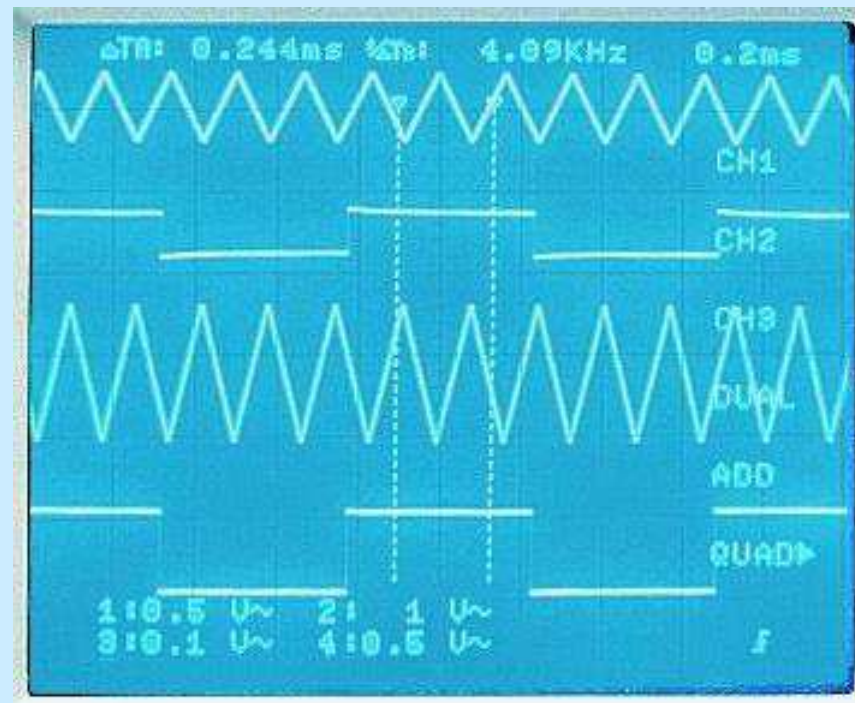
Časová základna B

Přesnost	3% v sekvenci 1-2-5
Přepínání	7 kalibrovaných kroků
Rozsah časové základny	0,1us/dílek - 10 us/dílek

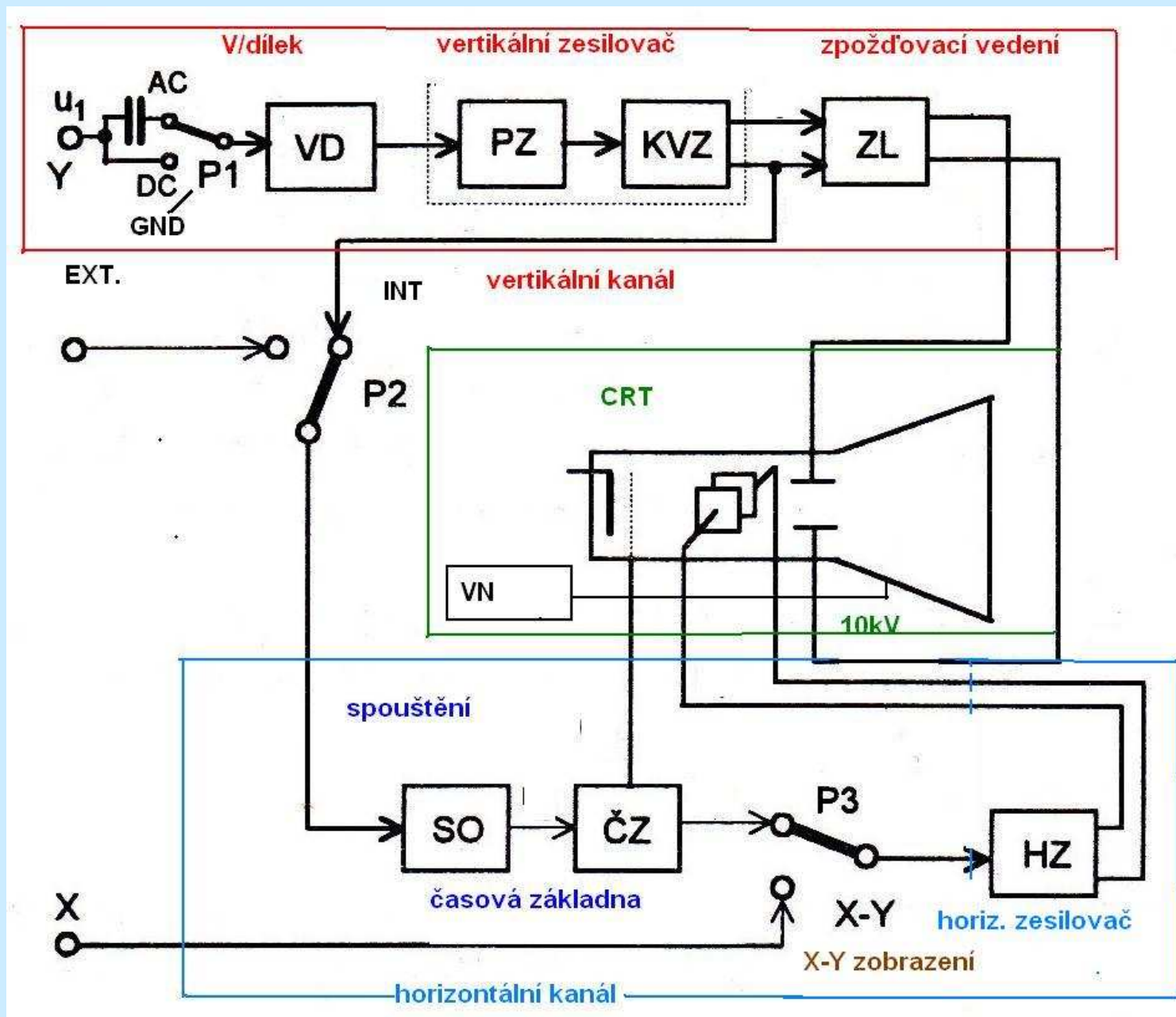
Zobrazení průběhů

Čas. základna A	A
Čas. základna A/B	A int B
Čas. základna B	B Trig D
X - Y měření	X - Y

zobrazení průběhů na stínítce analogového osciloskopu OS 5100RA



základní blokové schéma CRT



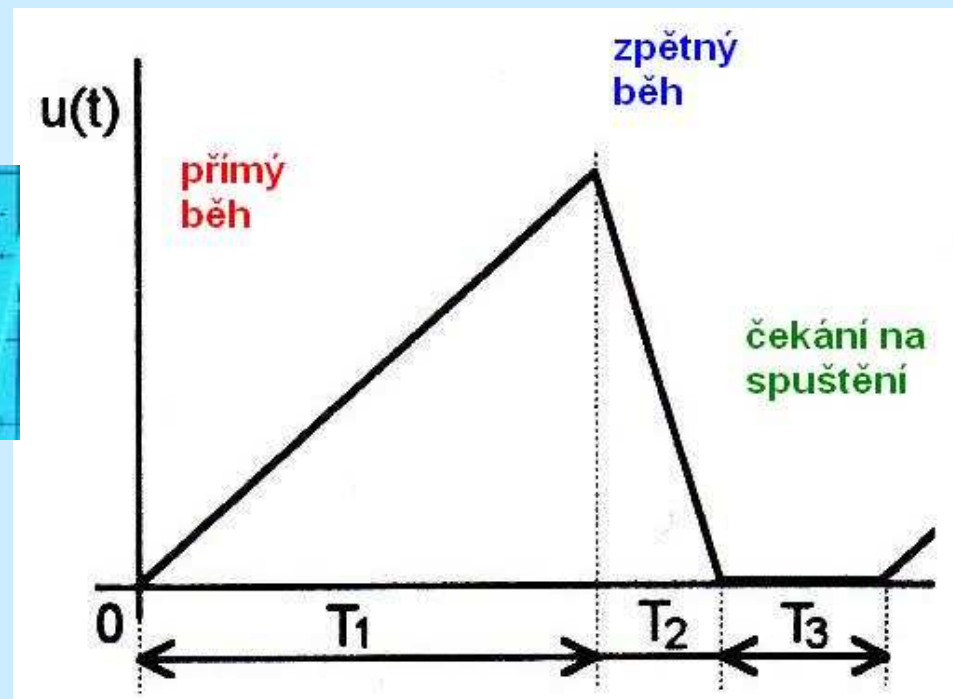
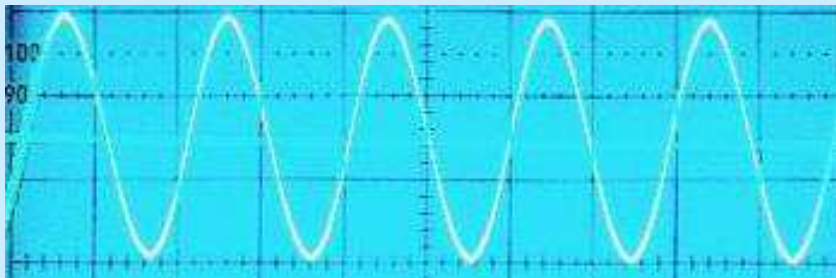
1.4 Horizontální část osciloskopu

- časová základna
- spouštěcí obvody časové základny
- horizontální zesilovač



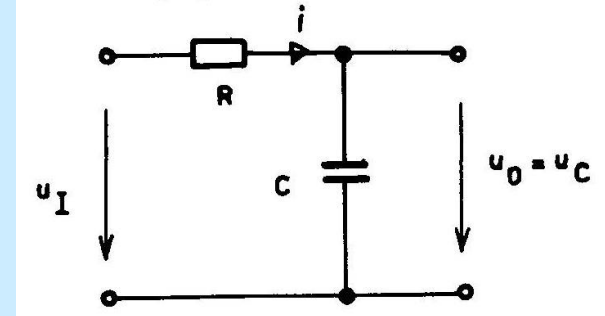
1.5 Časová základna

- generátor **pilovitého průběhu** (elektronický integrátor), umožňuje pohyb bodu od levé části k pravé části na stínítku obrazovky
- pohyb musí mít konstantní rychlost
- T_1 přímý běh paprsku - zobrazení na stínítku
- T_2 zpětný běh paprsku - nezobrazení na stínítku
- T_3 čekání na spouštěcí impuls (**Hold Off**)



Pasivní integrační článek

- u_1 libovolný průběh mimo DC
- u_2 odebíráme z kondenzátoru C
- kondenzátor se nabíjí přes odpor R
- výstupní napětí je integrací napětí vstupního



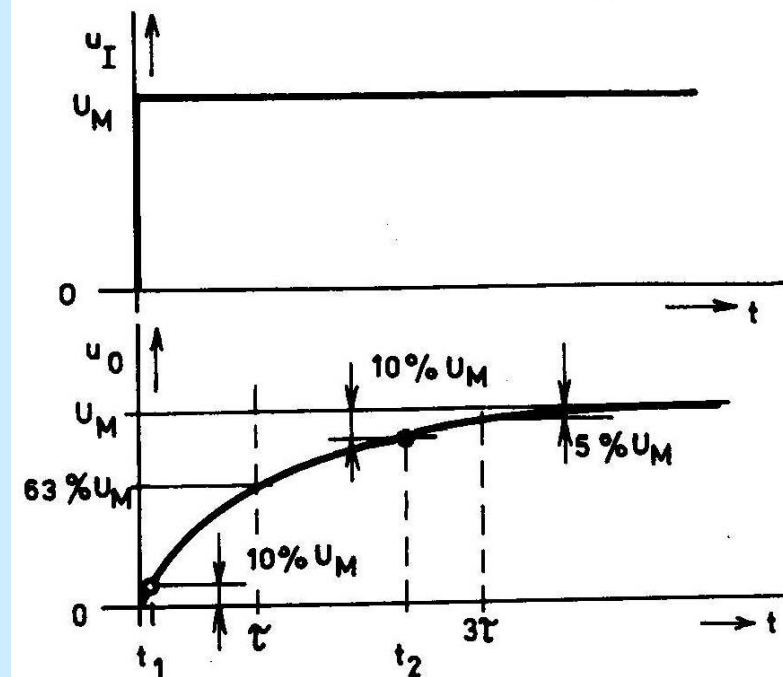
$$u_2 = \frac{1}{\tau} \int u_1 dt$$

$RC = \tau$ integrační konstanta

- pro správnou integraci **$R \gg 1/\omega C$** (Ω), aby byla doba nabíjení kondenzátoru co největší
- přenos je dán vztahem)

$$U_2 / U_1 = 1 / (1 + j\omega\tau)$$

$$u_o(t) = U_M (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$



Elektronický integrátor

- zapojení s operačním zesilovačem
- pro ideální OZ platí

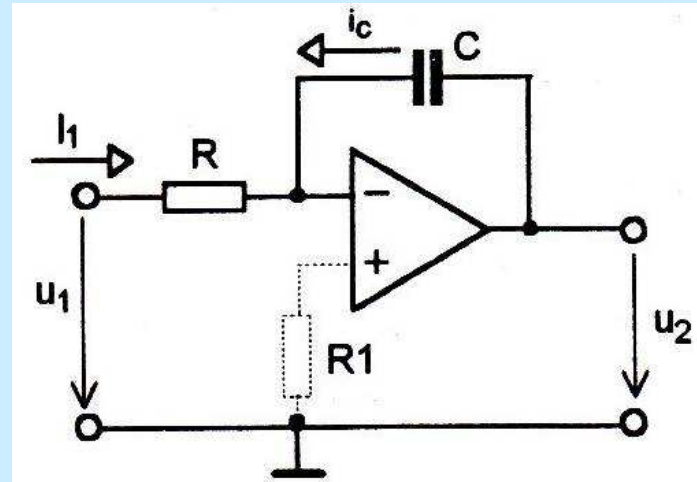
$$i_1 = u_1 / R = -i_C$$

tedy

$$u_2(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_C(\tau) d\tau = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_1(\tau) d\tau$$

je nutno uvažovat reálný OZ

- vstupní napěťovou nesymetrii U_{DO}
 - vstupní klidový proud I_{IN}
 - aplikací odporu $R_1 = R$, velký I_{IN} nahradíme rozdílovým proudem $(I_{IN} - I_{IP}) \ll I_{IN}$
- potom chyba integrace vlivem vstupních nesymetrií OZ je dána pouze jejich driftem



aplikace elektronických integrátorů v MT

- režim integrace
- režim paměťový (u_1 je odpojeno, $u_2 = \text{konstantní}$)
- režim nastavení počáteční podmínky (paralelně k C je připojen odpor, $u_2 = 0$)
- u integrátoru se používají elektronické spínače

přímý běh ČZ

je uskutečněn po příchodu
spouštěcího signálu

spouštění INT

spouštěcí signál je odvozen od
signálu připojeného ke kanálu
osciloskopu

spouštění EXT

externí, např. od kmitočtu sítě
nebo externí připojení spouštění do
vstupu EXT



volba spouštění

LEVEL napěťová úroveň spouštění (amplituda)

Hold Off nastavení spouštění ve vodorovné ose
(čas)

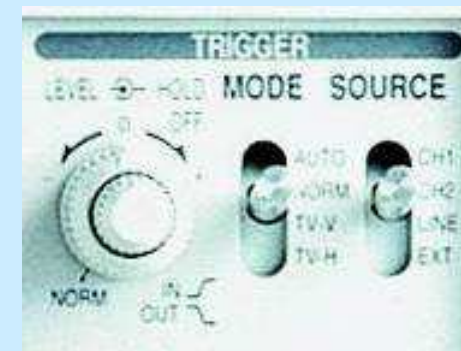
podmínka Hrana, Impulz, Video, sběrnice

zdroj spouštění

CH1, CH2, EXT, AC, DC HF REJECT,
LF REJECT

průběhy Run, Single,
Auto, Normal, TV-V, TV-H

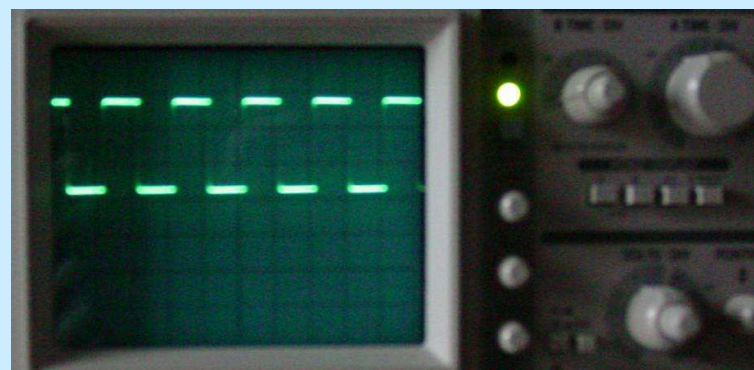
časová lupa ZOOM základna B



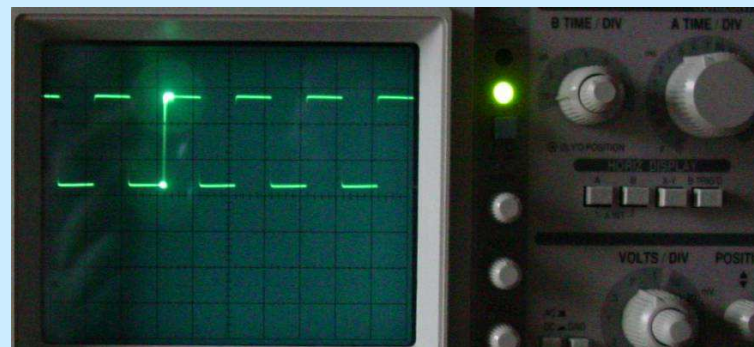
Zpožděná časová základna „B“

- umožňuje detailnější zkoumání zobrazeného průběhu

časová základna *hlavní A*



časová základna *hlavní A*
současně volba výběru
(oblast zkoumání)
na zobrazením průběhu



časová základna *zpožděná B*



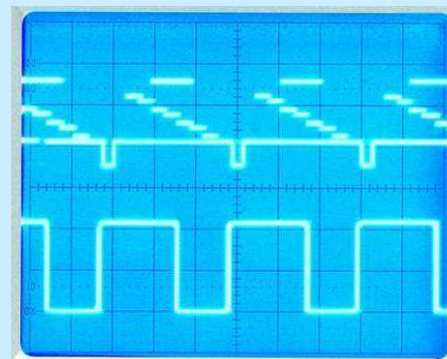
zobrazení více průběhů na stínítku osciloskopu

- ***dvou systémový osciloskop*** (obrazovka obsahuje dva samostatné systémy , generuje dva elektronové paprsky)

- ***dvou / čtyř kanálový osciloskop*** (jedno systémová obrazovka + elektronický přepínač)

přepínač připojuje ke vstupu střídavě vstupní kanály (časový multiplex)

časová základna je společná pro všechny průběhy
odlišné je nastavení vertikálního zesilovače

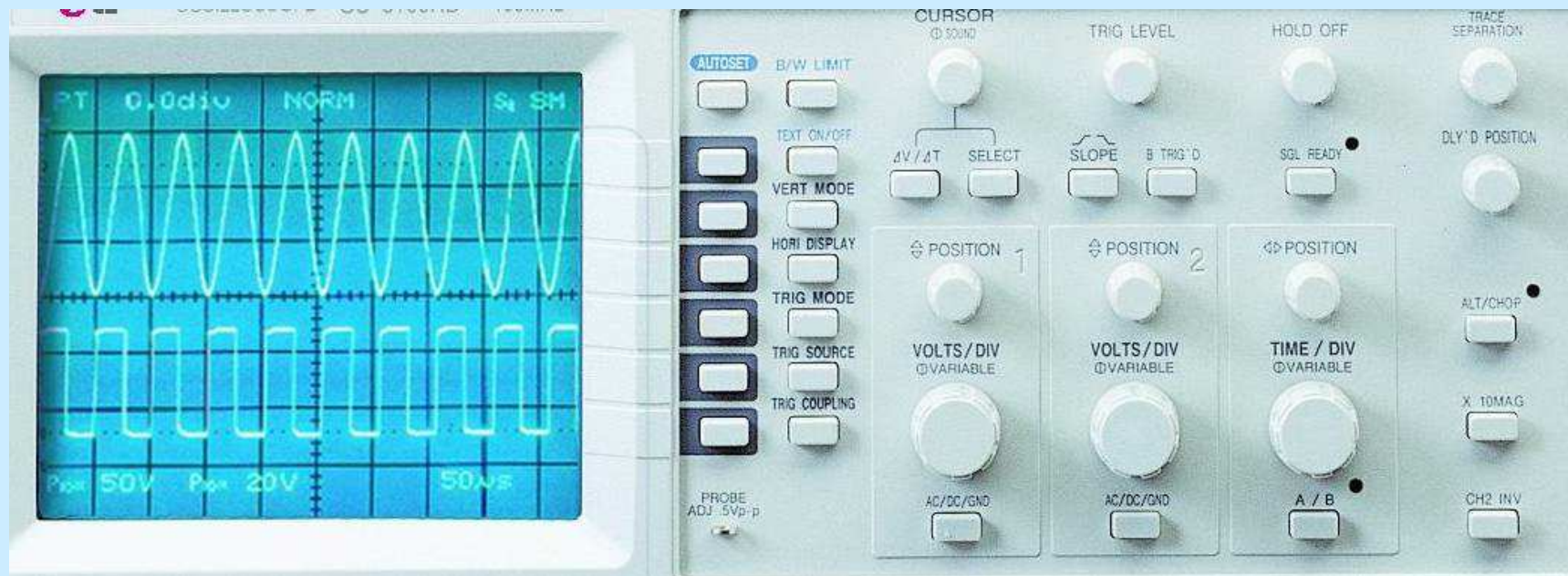


přepínání mezi kanály současné zobrazení více
průběhů na stínítku obrazovky

- **střídavý režim ALT** (přepínání časovou základnou)
jeden celý cyklus ČZ zobrazuje kanál CH1
druhý celý cyklus ČZ zobrazuje kanál CH2
při pomalé časové základně lze pozorovat střídání
používá se při ČZ od 1 ms/ dílek a vyšší
- **přepínání kmitočtem CHOP** (500kHz – 1MHz)
dochází k přepínání mezi kanály a jsou zobrazeny
vždy části úseku průběhu CH1 a CH2
používá se u zobrazení NF periodických signálů
ČZ pomalejší než 1 ms / dílek

2 Analogové osciloskopy s kurzory

- zobrazení průběhu na stínítku klasické obrazovky
- vybrané matematické funkce (kurzory, vnitřní čítač...)



3 Analogové paměťové osciloskopy

- k zobrazení používají paměťovou obrazovku (sekundární emise elektronů)
- krátká doba uložení průběhu v paměťovém režimu
- citlivost na propalování paměťové vrstvy
- vysoká cena speciální obrazovky
- již se nevyrábějí – v současné době DSO

4 Analogově / digitální osciloskopy

- zobrazují průběhy na stínítku **standardní obrazovky**

- umožňují přepínání mezi režimem **přímého analogového zobrazení** a režimem **zobrazení digitálního**

- výhody

reálné analogové zobrazení (nedochází ke ztrátě informace při pomalém vzorkování)

omezené matematické výpočty

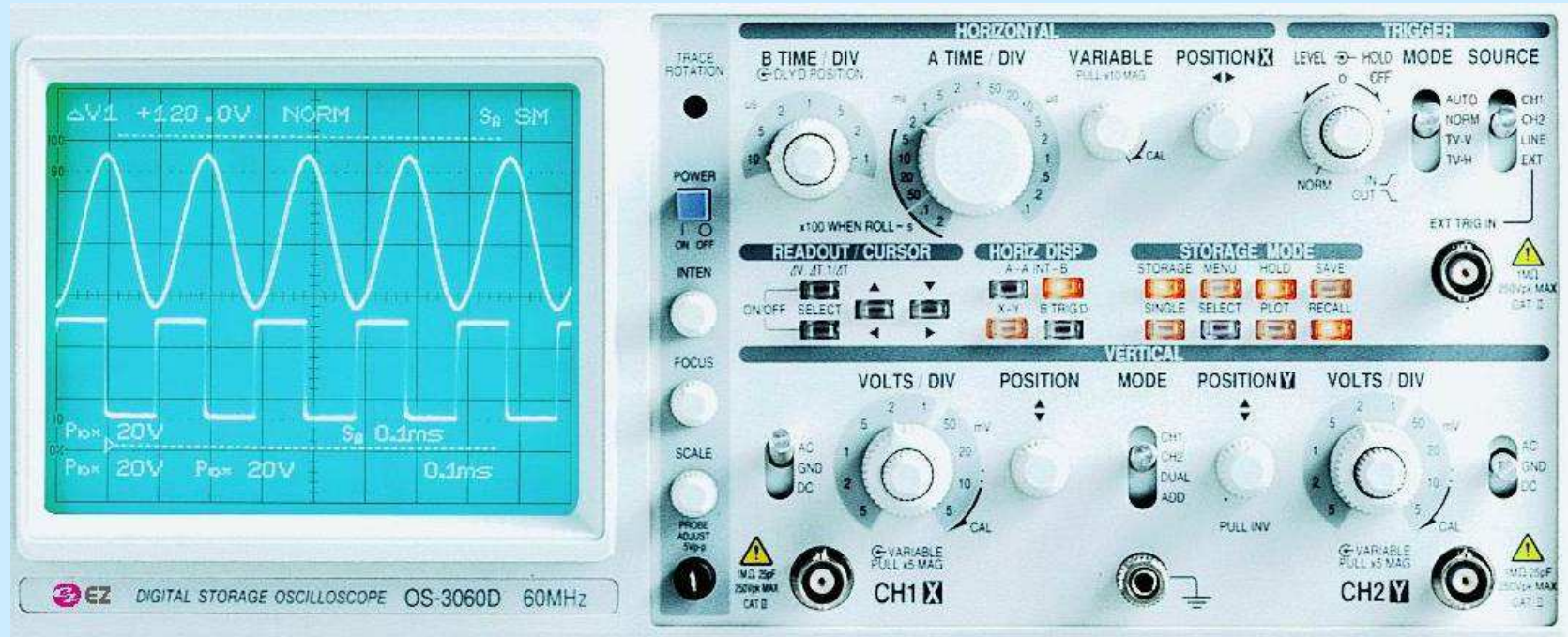
možnost omezeného ukládání do paměti

- nevýhody

vysoká cena (ne paměťové) obrazovky

velké rozměry

Analogově / digitální osciloskop



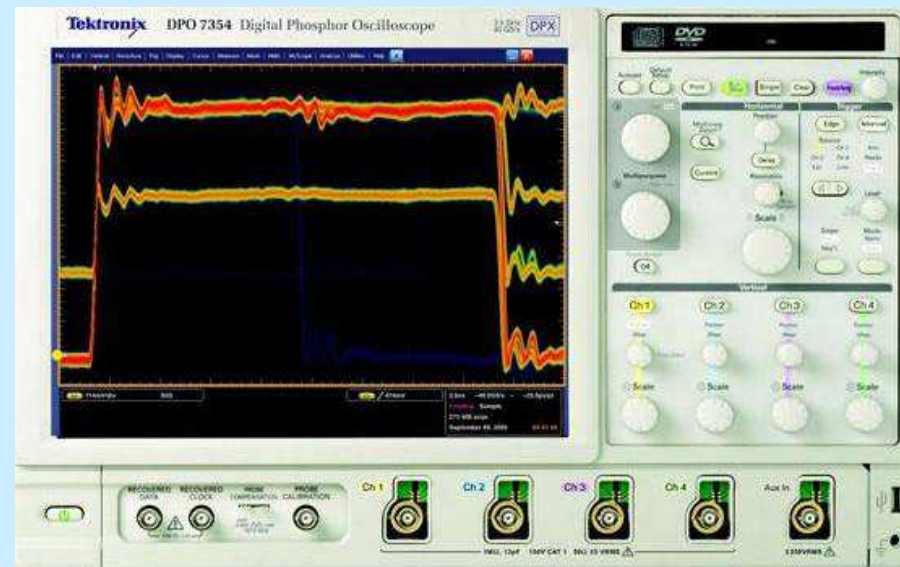
5 Digitální oscilokopy

DSO Digital Storage Oscilloscope

DPO Digital Phosphor Oscilloscope 3D zobrazení

MEGA ZOOM III. Insta Vu DSO + speciální zobrazení

MSO Mixed Digital Oscilloscope DSO + LA



5.1 Charakteristické vlastnosti DSO

- **šířka** kmitočtového pásma (DC až několik GHz)
- **počet kanálů analogových** (dva / čtyři)
- **rychlost vzorkování** (1 - několik GS / s) sample „S“
- **vertikální rozlišení** (8 - 9 bit)
- **hloubka paměti** (čím větší, tím lepší)
- další speciální vlastnosti

- výhody DSO

zachycení jednorázových dějů Single

sledování před spouštěním Pre Trigger pokročilé

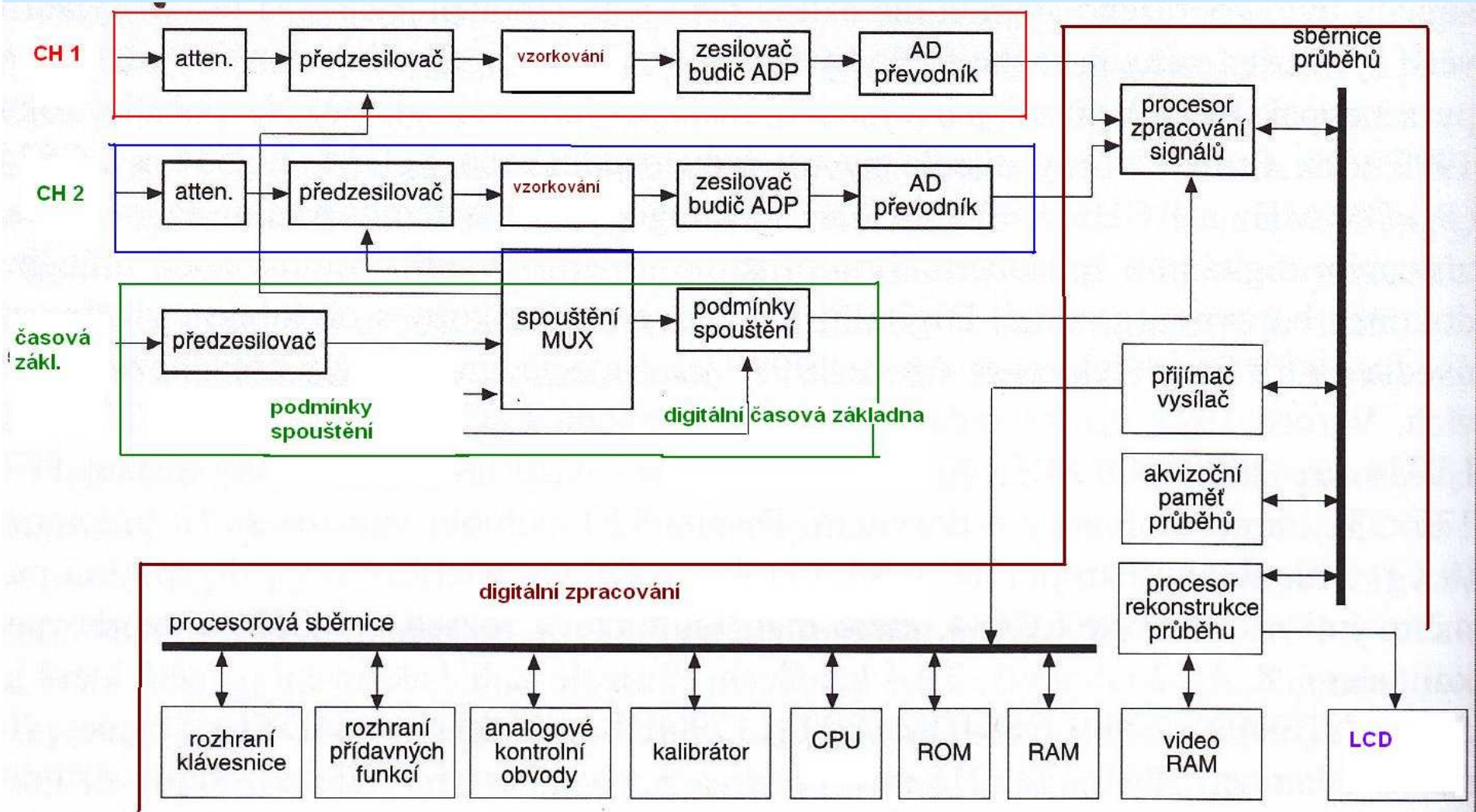
matematické funkce

číslicové zpracování signálu (FFT, histogram...)

archivace, oboustranná komunikace s PC

...

základní blokové schéma DSO



5.2 Převod A/D – D/A u DSO

- DSO používá velké množství vzorků, aby nedocházelo při převodu A/D a při zpětném převodu v D/A převodníku ke ***ztrátě informace***

- používá se

mžikový převodník (Flash Converter)

CCD převodník (Charge Coupled Device)

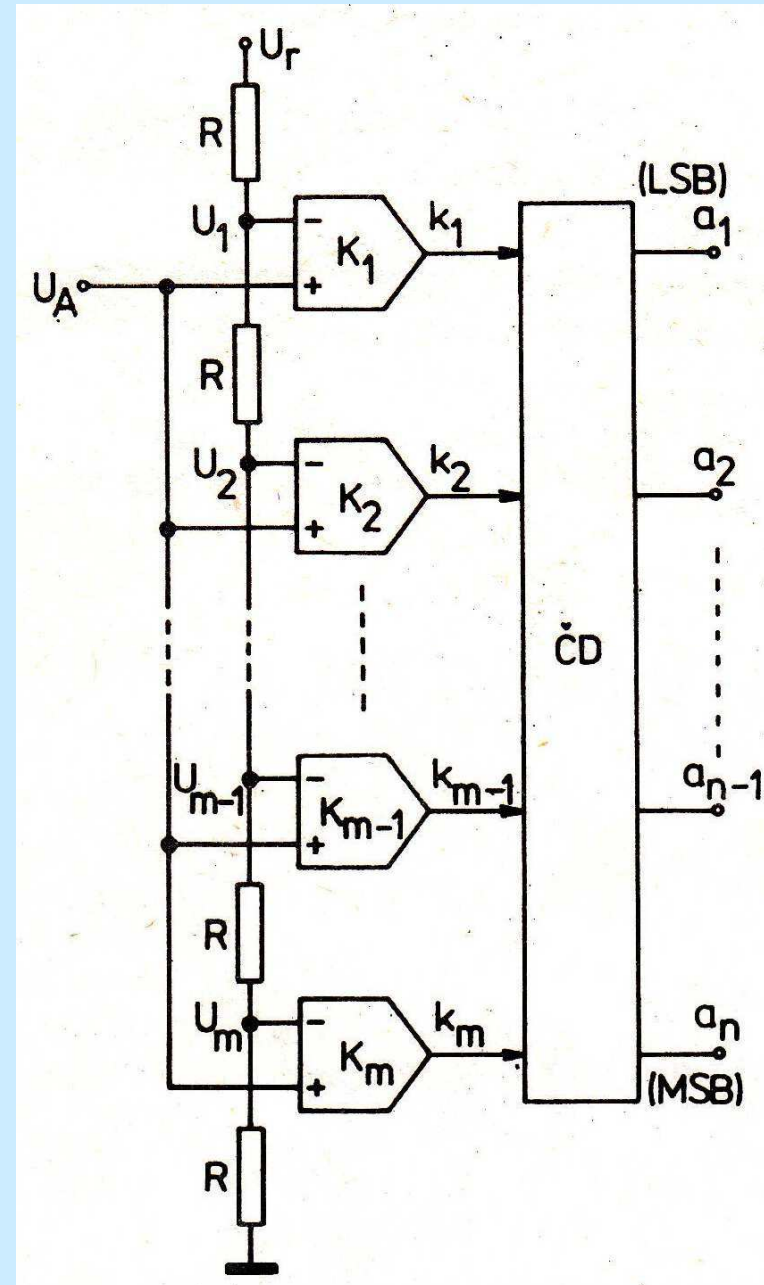
5.2.1 Mžikový A/D převodník

- provádí **rychlé vzorkování a rychlý zápis** do kódovacích obvodů - až 3 GS / s
- použitím **více mžikových konvertorů** se dosahuje vyšší rychlost vzorkování až 10 GS / s
- pro 8 bit rozlišení je nutno
 $2^8 - 1 = 255$ komparačních úrovní
- při rozlišení 9 bit je nutno 511 komparátorů (je to mnoho a proto se 9 bit dosahuje softwarově)
- provedení **bipolární** (velká rychlost, malý šum, ...)
- **rozlišovací schopnost** 0,4% u 8 bit A/D převodníku určuje nejvyšší možnou přesnost, ta platí při uplatnění 255 úrovní (plné vybuzení, umožňuje pozorovat signál **s nejvyšší amplitudou**)
- průměrováním (AVG) lze zvýšit rozlišení na 12 bit

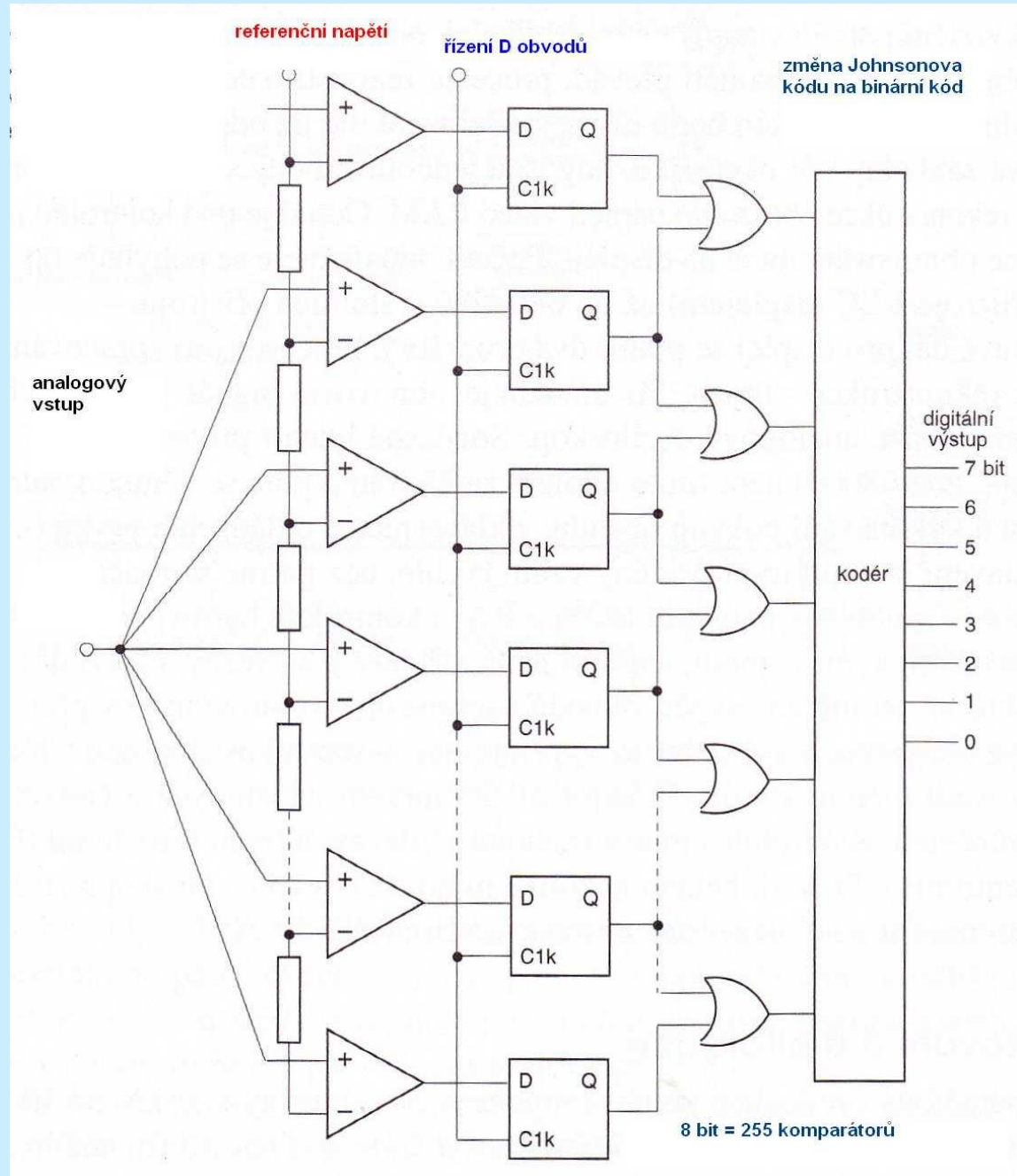
blokové schéma mžikového konvertoru - přímý paralelní A/D převodník

- přímá komparace vstupního napětí U_A s referencí U_R
- výstup je v Johnsonově kódu
- číslicový kodér ČD převádí kód na dvojkový

U_A/U_R	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	(MSB) a_1	a_2	a_3 (LSB)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2/8	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
3/8	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
4/8	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
5/8	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1
6/8	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0
7/8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

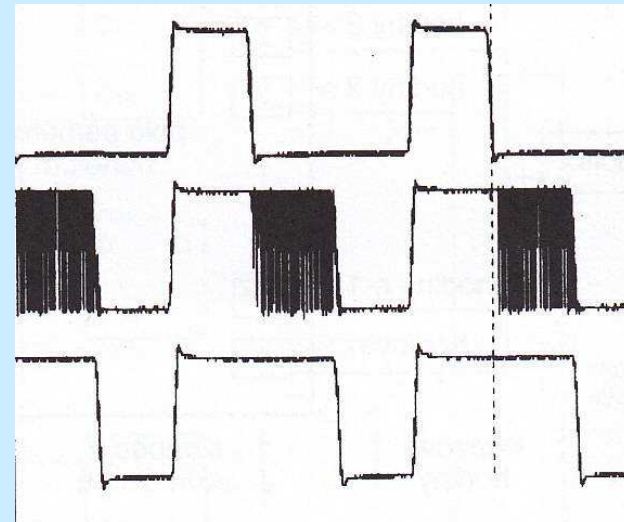


blokové schéma mžikového konvertoru s D klopnými obvody a kodérem



5.2.2 CCD A/D převodník

- **lacinější** než paralelní převodník
- technologie CMOS nebo NMOS
- rychlý zápis a pomalá digitalizace **FISO** (Fast In–Slow Out)
- převodník zaplní postupně řádky a potom sloupce
- vzorky jsou **čteny pomalu**
- jsou **technologicky méně náročné** (nízký prac. kmitočet)
- vykazují **vyšší šum** (2 - 3x)
- nižší odstup mezi kanály
- špatnou diferenciální nelinearitu (průběh je zubatý)
- omezená paměť 1 - 15 kb (15 000 bodů)
- malá propustnost systému (malá obnova obrazu)



struktura CCD převodníku

- pole 22 sloupců, 99 řádků, 99 vzorkovačů

- vzorkování kmitočtem 20,2 MHz

- výsledná rychlost vzorkování

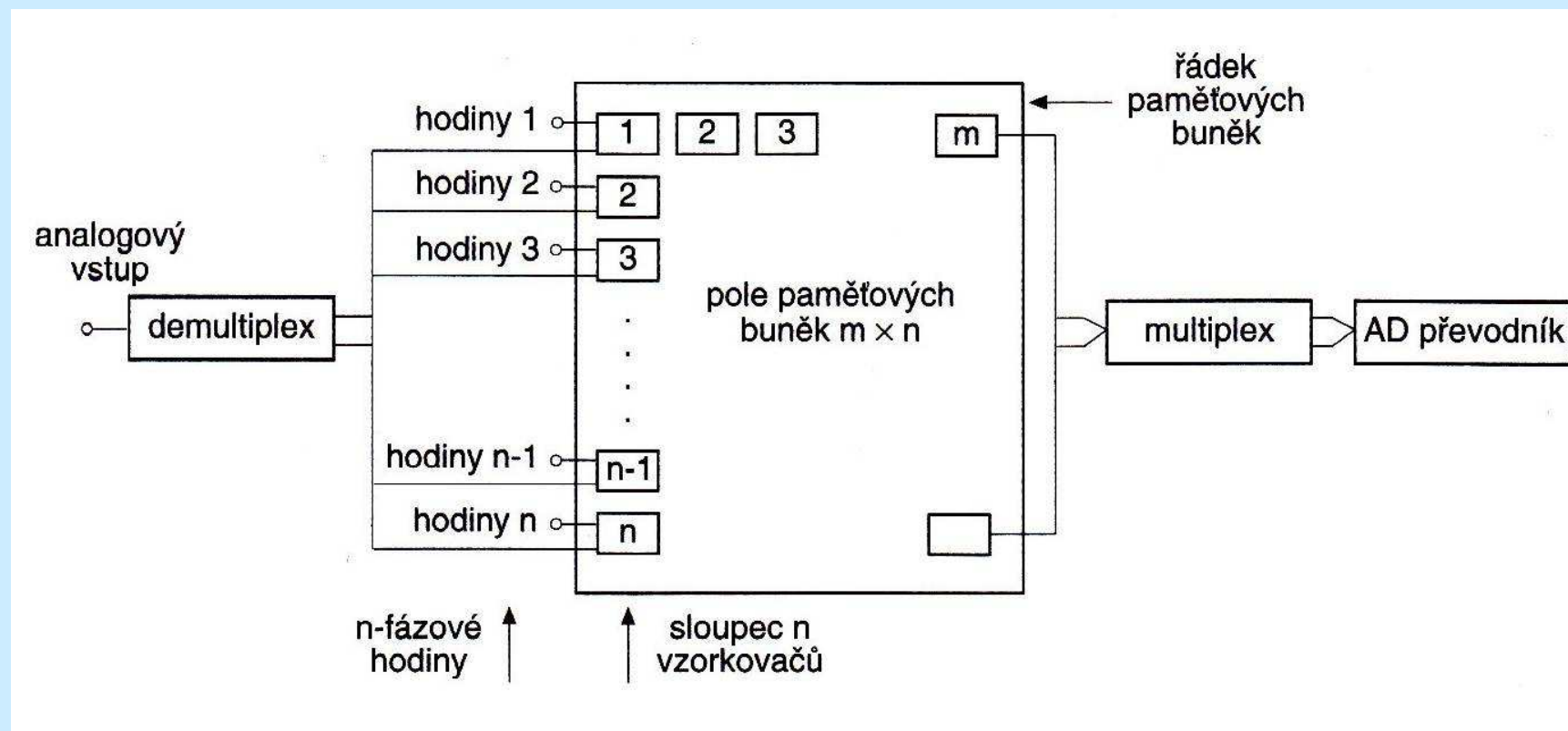
$$f_v = 20,20 \times 10^6 \times 99 = 2\text{GS/s}$$

- pole má $99 \times 22 = 2178$ bodů

- paměťové body představují od sebe izolované kapacity

- u CCD zobrazovačů (ZT - kamery) dochází k posunu náboje z místa na místo, v tomto případě převodníku je zvolena odlišná technologie vyčítání

zjednodušené schéma CCD převodníku



5.3 Vzorkování signálu u DSO

- vzorkování v *reálném čase*

(**Real Time Sampling Rate**)

prokládané

neprokládané

neperiodické signály, *jednorázové průběhy*

- vzorkování v *ekvivalentním čase*

(**Ekivalent Sampling Rate**)

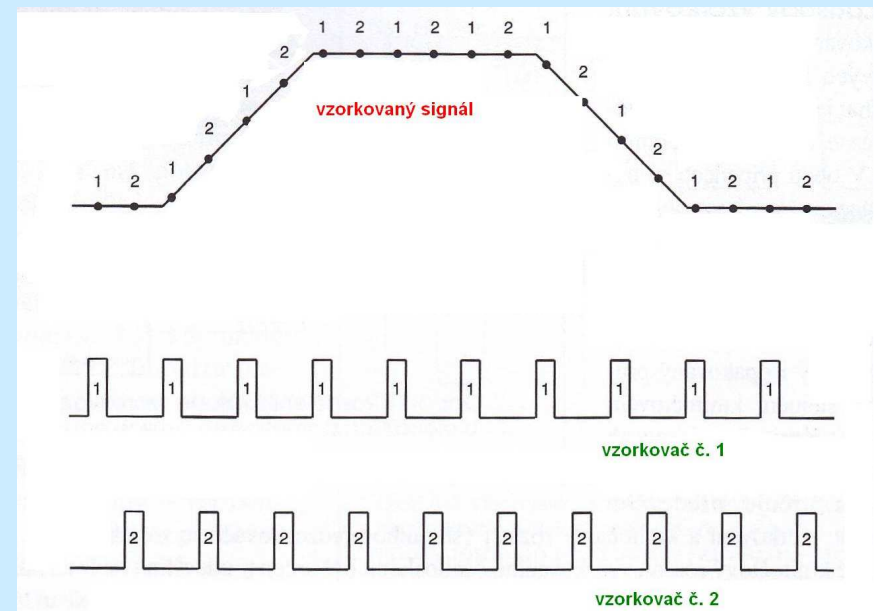
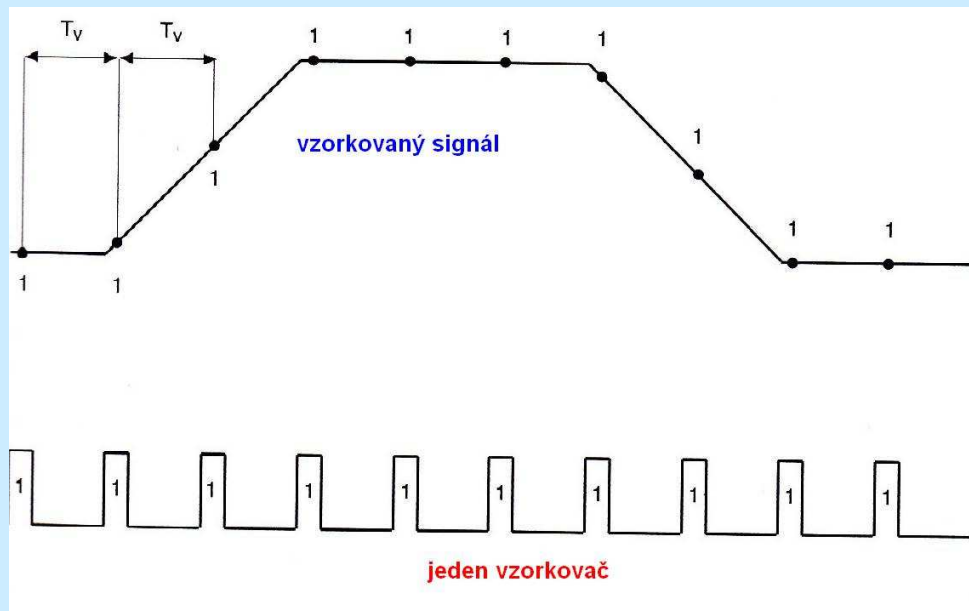
náhodné

postupné

opakovaný signál s *více stejnými periodami*

5.3.1 Vzorkování v reálném čase

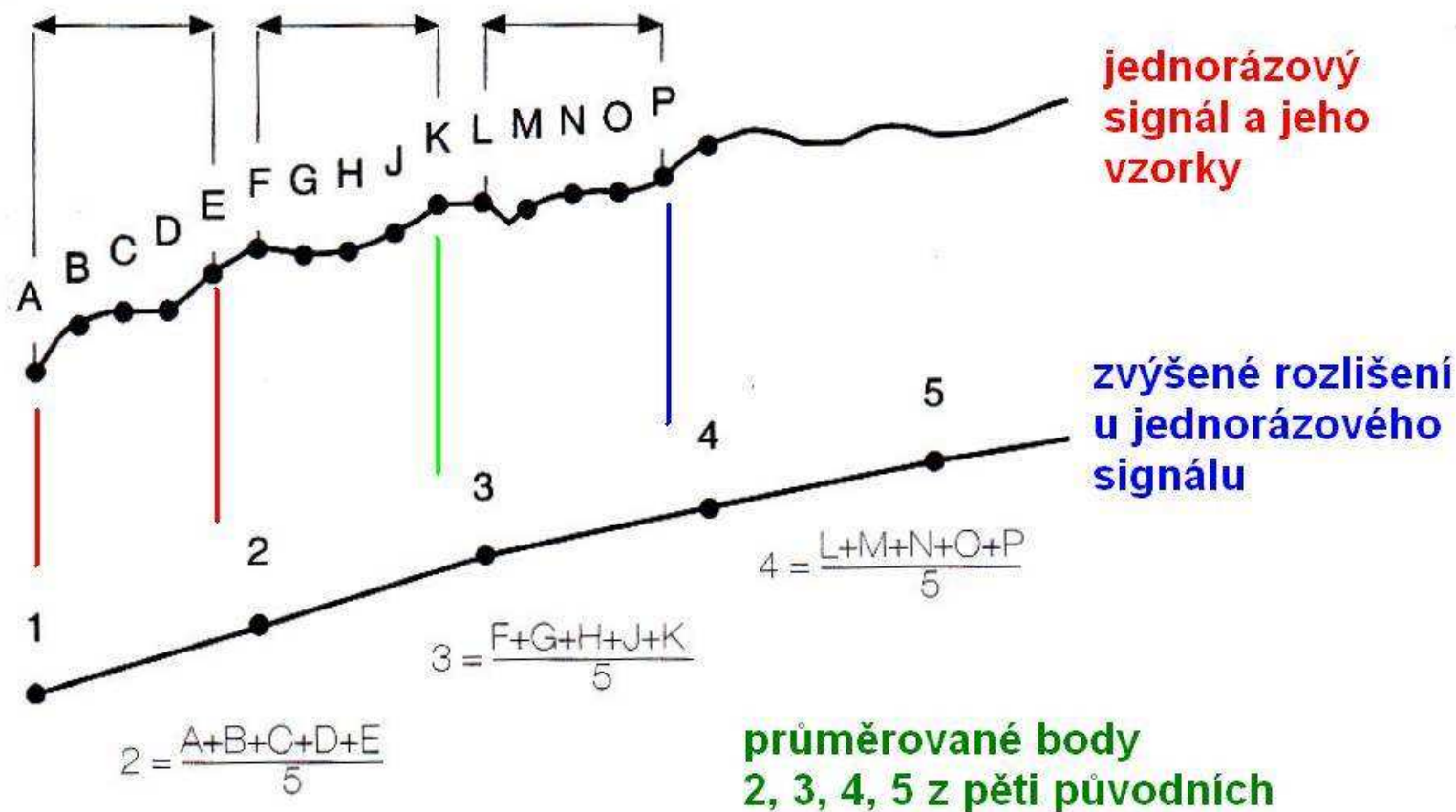
- všechny vzorky jsou odebrány v **jedné periodě**, v jednom cyklu průběhu
- vzorkovací kmitočet $f_v = 1 / T_v$
- časový poměr mezi vzorky je konstantní 1:1
- **větší hustota vzorků** se získá prokládaným vzorkováním (**interleaved sampling**)



- reálný kmitočtový rozsah DSO u reálného vzorkování je označen B_r
- u **jednorázového průběhu** nelze provádět určité operace (Averaging, Envelope, Peak Detect apod.) a dochází většinou se snížení kmitočtového rozsahu osciloskopu
- k lepšímu zviditelnění průběhu se používá režim **velkého rozlišení**
probíhá výpočet průměrných hodnot z m bodů ve stejném čase
výsledný signál se skládá bodů , kterých je $1/m$ méně bodů
menší počet bodů znamená menší kmitočtový rozsah osciloskopu

vzorkování jednorázového průběhu v reálném čase a jeho zobrazení velkým rozlišením

interval průměrování 5 bodů



5.3.2 Vzorkování v ekvivalentním čase

- ***postupné*** sekvenční vzorkování
- ***náhodné*** jedno bodové vzorkování
více bodové vzorkování

obecně platí pro vzorkování v ekvivalentním čase

- vstupní signál je opakovaný, periodický
- vzorky se získávají postupně během mnoha period
- postup odběru vzorků

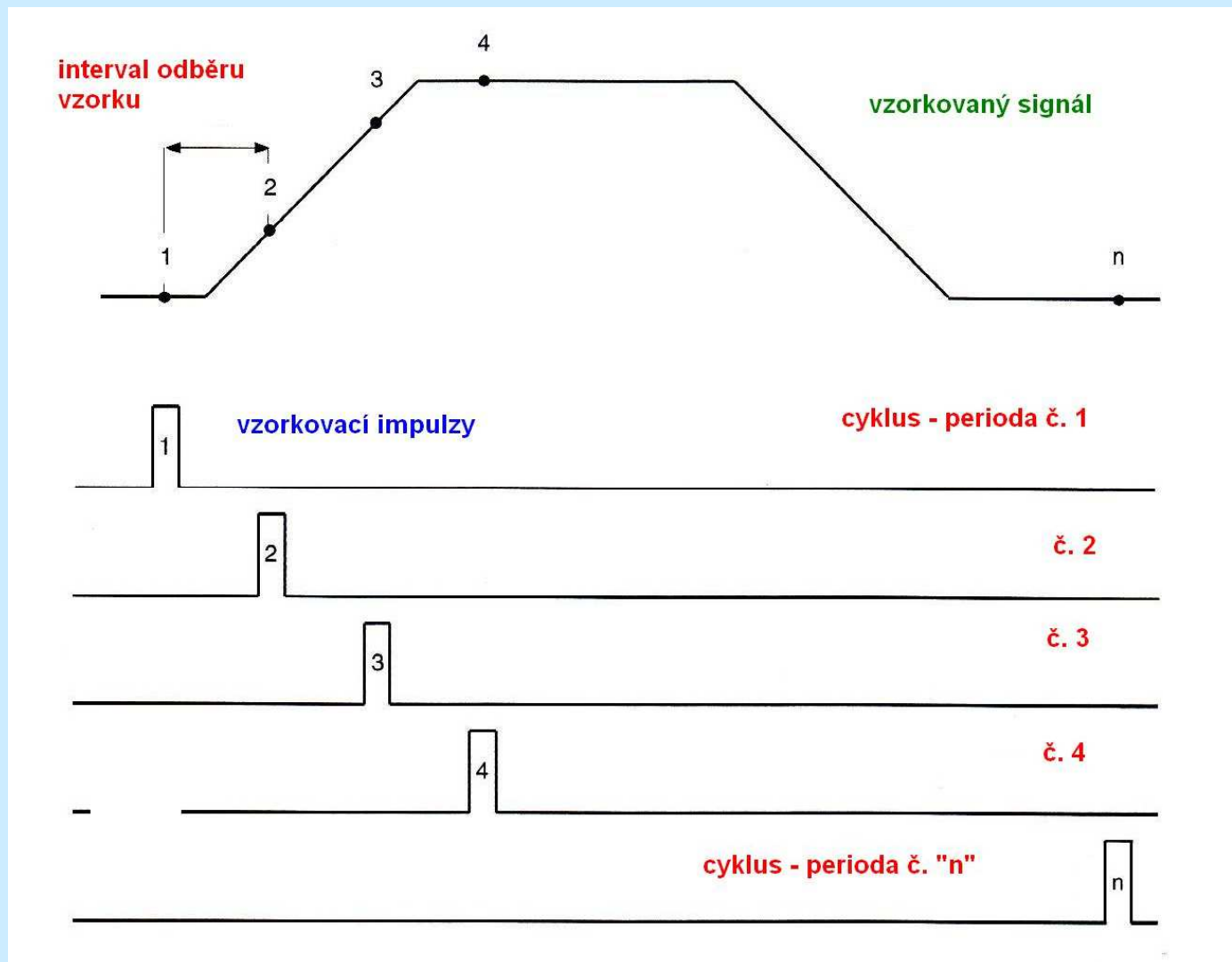
první cyklus – perioda první vzorek

druhý cyklus - perioda druhý vzorek ...

5.3.2.1 Postupné - sekvenční vzorkování

- čas odběru vzorku probíhá v ***konstantním intervalu*** t_z
- vzorkování je provedeno ***až po spuštění*** osciloskopu
- ***nelze získat*** tvar signálu před spuštěním
- nejkvalitnější vzorkování
- nejvyšší analogový kmitočtový rozsah osciloskopu B_A
- nejpomalejší vzorkování

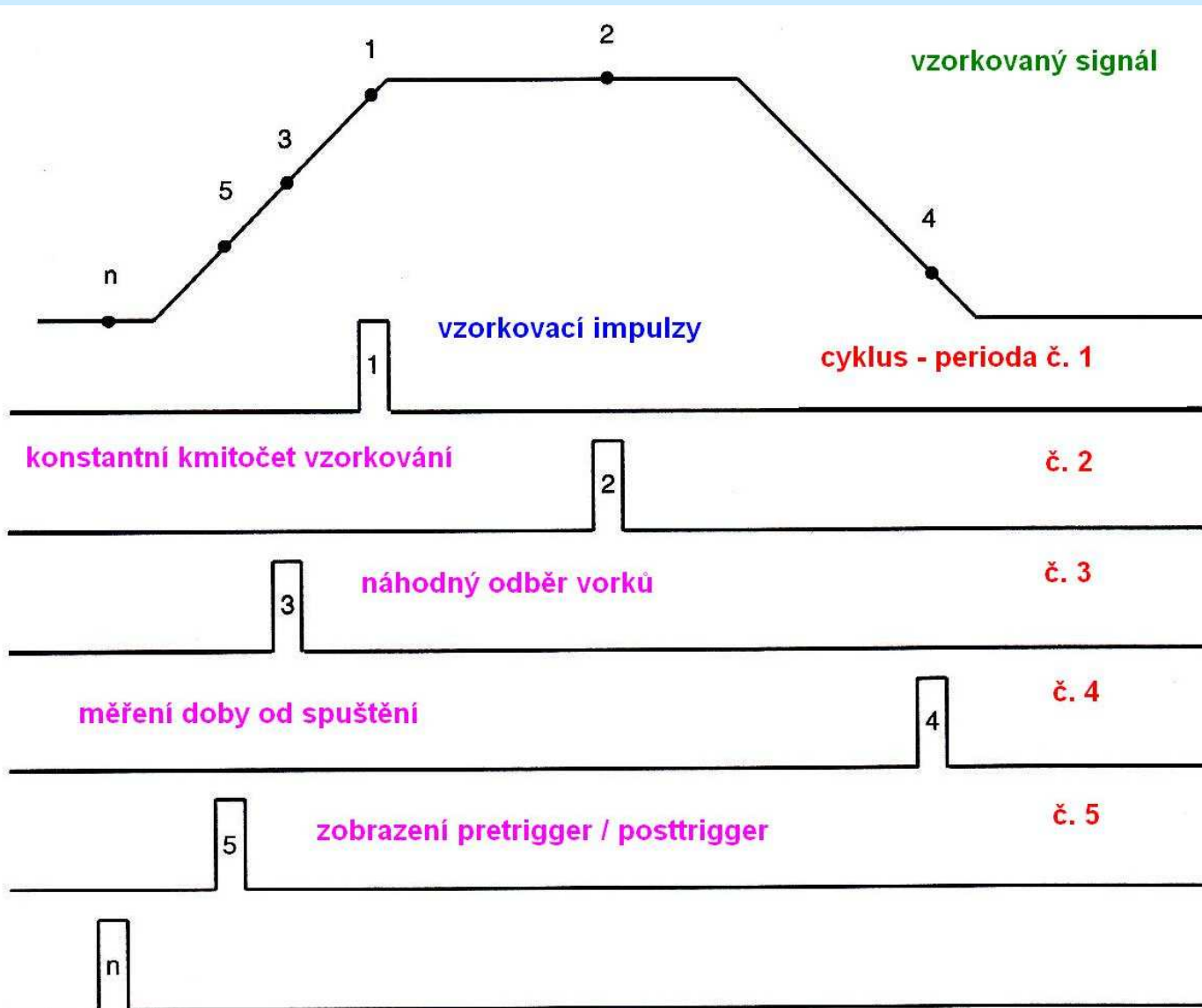
postupné - sekvenční vzorkování v ekvivalentním čase



5.3.2.2 Náhodné vzorkování jednobodové

- v každém cyklu se odebere **jeden vzorek**
- signál je **vzorkován konstantním kmitočtem** (Digitizing Rate), nezávisle na kmitočtu signálu
- vzorky jsou **uloženy do paměti v náhodném pořadí**
- správné zobrazení vzorků zaručuje **měření času mezi spuštěním a odběrem vzorku**
- náhodné uspořádání vzorků vzhledem k okamžiku spuštění umožňuje zobrazit časový úsek před (**pretrigger**) a po spuštění (**posttrigger**), protože signál je vzorkován na obou stranách okamžiku spuštění

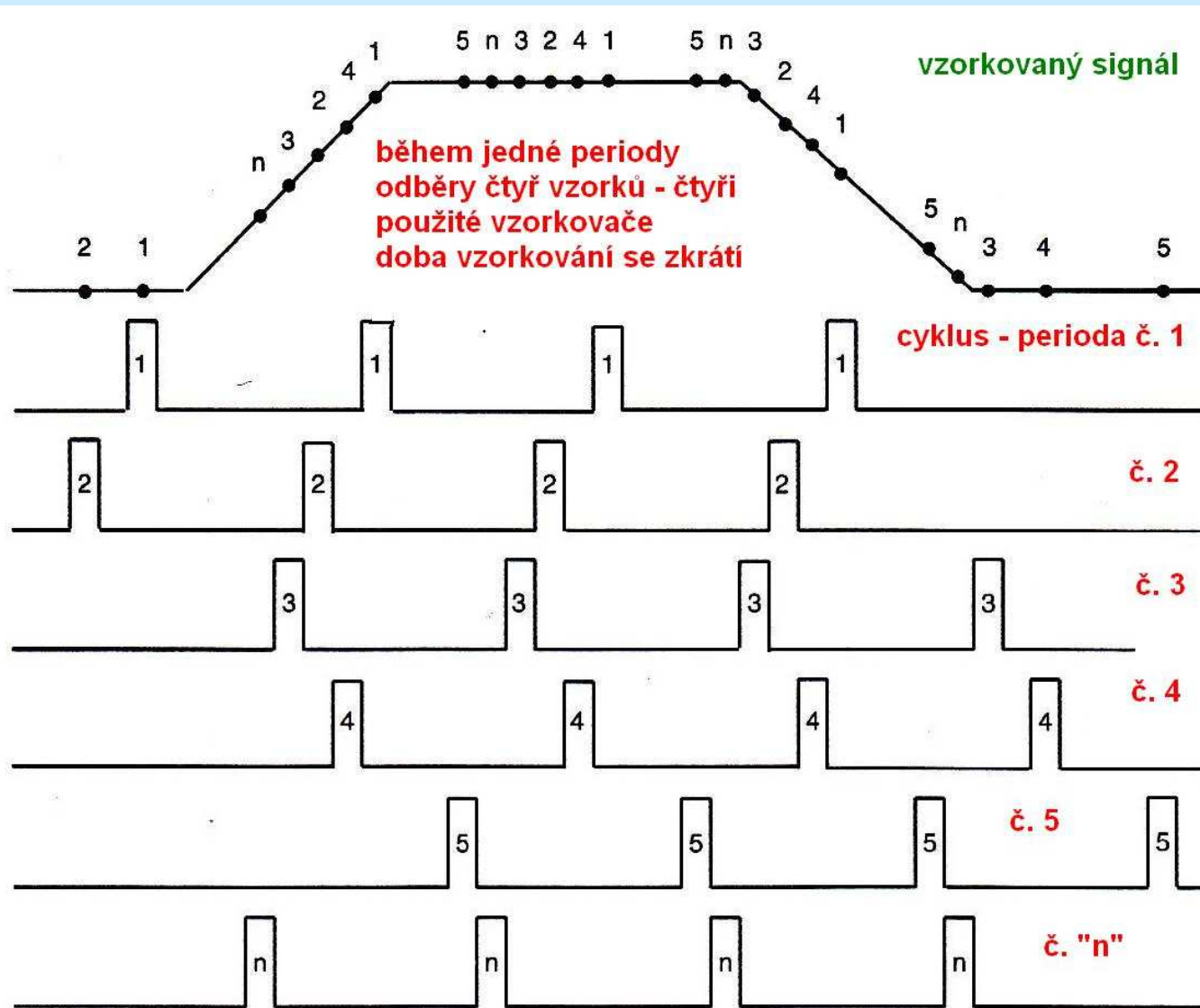
náhodné jednobodové vzorkování v ekvivalentním čase



5.3.2.3 Náhodné vzorkování vícebodové

- během jednoho cyklu se odebere **více vzorků** (v našem případě 4 vzorky) a změří se čas odběru každého vzorku od spuštění
- k získání potřebného množství bodů je potřeba **menší počet cyklů – period**
- lze použít i u signálů s méně cykly - periodami
- **doba odběru** je oproti jednobodovému vzorkování kratší (1/4 oproti jednobodovému vzorkování)
- náhodné uspořádání vzorků vzhledem k okamžiku spuštění umožňuje zobrazit časový úsek před (**pretrigger**) a po spuštění (**posttrigger**), protože signál je vzorkován na obou stranách okamžiku spuštění

náhodné vzorkování vícebodové



5. 4. Kmitočtový rozsah DSO

- kmitočtový rozsah (**B**) DSO osciloskopu
v *reálním čase* B_r určuje nejvyšší možný kmitočet signálu, který může být dostatečně vzorkován při jednom spuštění - **Single** (jednorázový průběh)
- Nyquistovo kritérium vzorkování $f_v \equiv 2 f_s$
kde f_v je vzorkovací kmitočet osciloskopu
 f_s „spektrum“ kmitočtu signálu
(podmínka vzorkování, kmitočtové spektrum, informace)
- osciloskop s vzorkovacím kmitočtem představuje dolnofrekvenční propust s mezním kmitočtem $f = f_v$
- u vyšších kmitočtů dochází ke ztrátě VF složek, popř. je rekonstruovaný (A/D, D/A) signál nepravdivý

5.4.1 Analogový osciloskop - kmitočtový rozsah B_a

- analogový osciloskop představuje dolnofrekvenční propust s mezním kmitočtem B_A (-3 dB)
- signál (sinus, obdélník, trojúhelník, ...) s kmitočtem vyšším než B_A bude zobrazen jako sinusový (-3 dB)

Digitální osciloskop DSO

- výsledek zobrazení závisí na počtu vzorků
na interpolaci
- praktický **optimální počet vzorků je 10**

$$n_{\min.} = f_{v \max.} / B_r$$

kde $n_{\min.}$ je min. počet vzorků

$f_{v \max.}$ max. rychlost vzorkování

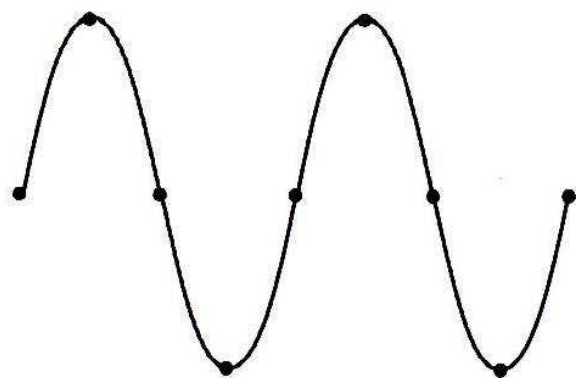
B_r kmitočtový rozsah osciloskopu
v reálném čase

5.4.2 Základní vztah mezi B_a a B_r u DSO

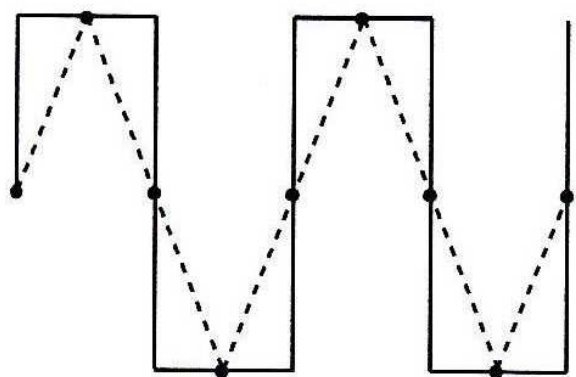
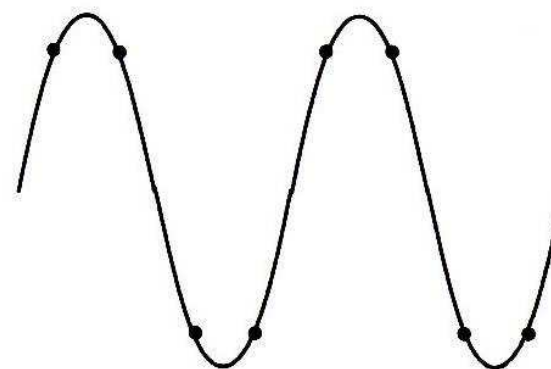
- analogový kmitočtový rozsah digitálního osciloskopu B_a je určen vstupními obvody digitálního osciloskopu (obvody analogové části DSO, před A/D převodem)
- k omezení B_a nedochází vlivem malého počtu vzorků, protože u EKV vzorkování lze dosáhnout velkého množství vzorků
- reálný kmitočtový rozsah DSO B_r nemůže být nikdy větší než B_a , i kdyby byla rychlost vzorkování „nekonečná“
- **cílem je dosáhnout $B_a = B_r$ (REAL vzorkování)**
$$B_r = f_{v \max.} / n_{\min.}$$

je-li $f_{v \max.} = 1 \text{ GS/s}$, $n_{\min.} = 1000$, potom
„teoreticky“ $B_r = 100 \text{ MHz}$
- je nutno diskutovat také hloubku paměti, ČZ apod.

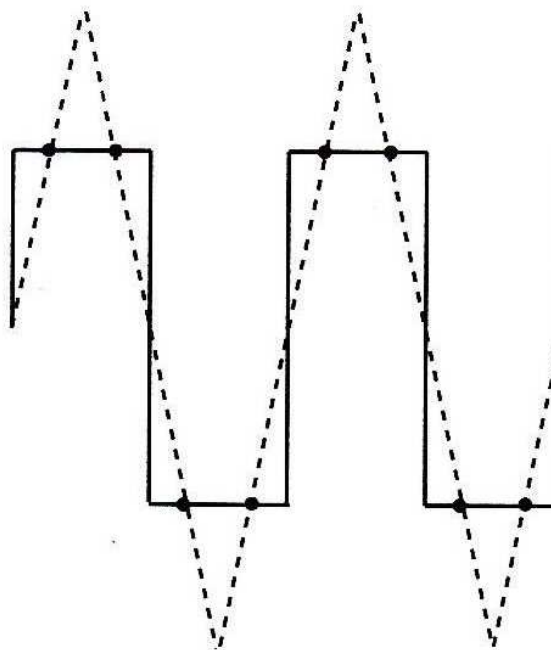
rekonstrukce signálu z malého počtu vzorků



vzorkováno kmitočtem $4f$



lze rekonstruovat různé průběhy
malý počet vzorků i při $4f$ (Nyquist $2f$)



5.5 Hloubka akviziční paměti

- reálný kmitočtový rozsah B_r DSO je od určitého nastavení ČZ (time / div) závislý na tomto nastavení
- s nižší rychlostí časové základny klesá počet vzorků v nastaveném časovém intervalu (time / div)
- tím klesá také B_r
- akviziční paměť umožňuje uchovat, dle kapacity pouze určitý počet vzorků
- maximální **reálný kmitočet vzorkování**

$$f_{v \text{ max. přípustná.}} = \frac{\text{hloubka paměti}}{\frac{\text{čas}}{\text{dílek}} \times 10 \text{ dílků}}$$

5.5.1 Reálná rychlost vzorkování / hloubka akviziční paměti

- budeme vycházet ze vztahů

$$B_r = f_{v \max.} / n_{\min}$$

$$f_{v \max. \text{ přípustná.}} = \frac{\text{hloubka paměti}}{\frac{\text{čas}}{\text{dílek}} \times 10 \text{ dílků}}$$

- potom je zřejmé, že:

s **prodloužením časového měřítka** (time/div) se **snižuje rychlost vzorkování** a také šířka pásma digitálního osciloskopu

zobrazení vykazuje stupňovitý obraz a aliasing

- cílem je zvětšit akviziční paměť (hloubka paměti)

5.5.2 Akviziční paměť

- zvětšení akviziční paměti, zvyšuje vzorkovací kmitočet f_v osciloskopu
- zvýšení f_v znamená také zvětšení B_r
- zvětšení akviziční paměti obecně zlepší parametry DSO

- velká akviziční paměť se zaplní za delší dobu
- zmenší se rychlost obnovy obrázku
- zmenší se reakce osciloskopu

- optimální je segmentování (nastavení) akviziční paměti

příklad – akviziční paměť

- akviziční paměť DSO $M = 16\text{Mb}$ / 1 kanál
- časová základna je nastavena na 1 ms / dílek
- rychlost vzorkování

$$f_v = M / (10 \times \text{ČZ}) = 16 \times 10^6 / (10 \times 1 \times 10^{-3}) = \\ = 1,6 \times 10^9 = 1,6 \text{ GS/s}$$

- při měření 4 kanály je akviziční paměť $M = 4 \text{ Mb}$
- časová základna je nastavena na 1 ms / dílek
- rychlost vzorkování

$$f_v = 400 \text{ MS/s}$$

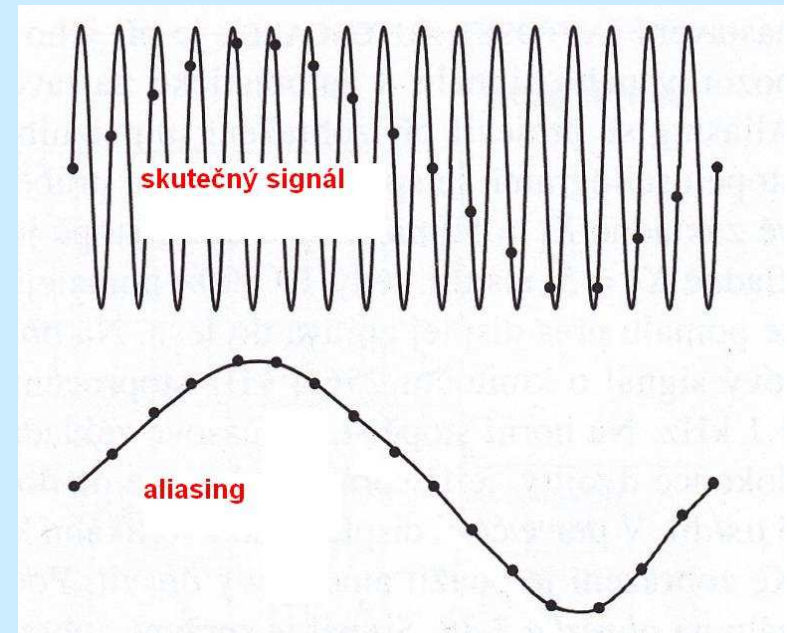
- je-li $M = 2\text{k}$ (LOW Cost DSO) je f_v velmi nízká

5. 6. Aliasing – zobrazení nesprávných obrazů signálů

- vzniká při velmi nízkém počtu bodů určených k rekonstrukci obrazu
- vyskytuje se, pokud

$$\text{Nyquistova frekvence } f_N = f_V / 2 \ll f_S$$

kde f_V je vzorkovací kmitočet osciloskopu
 f_S kmitočet signálu
také pokud $B_r \ll B_a$



aliasing v praktickém měření

- průběh se posouvá v horizontální části a nelze ho synchronizovat
- přepnutí ČZ na rychlejší běh
- Autoset osciloskopu
- použití zobrazení obálka – Envelope
- odstranění aliasingu lze za podmínky $B_r = B_a$

5.7 Volba sběru dat

- má vliv na konečné zobrazení průběhu na LCD

- volba u DSO

vzorkování (sampling) REAL / EKC

velké rozlišení (high resolution) REAL / EKV

detekce špiček (peak detect) REAL / EKV

obálka (envelope) EKV

průměrování (average) EKV

5.7.1 Detekce špiček / obálka

- do paměti jsou ukládány $f_{V \max}$ max. a min. hodnoty během jedné akvizice – sběru dat. U periodického průběhu při každé následující akvizici je obraz aktualizován.
- informace o signálu je zápisem max. a min. hodnot vzorků zmenšena na polovinu
- detekovat lze špičky, o délce vyšší než je vzdálenost dvou sousedních vzorkovacích impulzů při $f_{V \max}$
- **obálka** používá detekci špiček u průběhu periodického
- může zabránit aliasingu
- vzorkuje se $f_{V \max}$
- detekce špiček je obálka jedné akvizice

5.7.2 Průměrování

- zlepšení čitelnosti u periodických průběhů
- velké rozlišení u jednorázových průběhů

- odstraňuje ze signálu jevy s jeho odlišným kmitočtem
- vyžaduje periodický signál a stabilní spouštění a malou fázovou nestabilitu (jitter)

- průměrování může být
 - prosté (každá akvizice má stejnou váhu)
 - vážené (novější akvizice mají vyšší váhu)
- zlepšuje poměr S/N (při použití 4 se zmenší S/N na 0,5)

5.7.3 Interpolace

- může být

 - lineární

 - sinusová $\sin x / x$

- zobrazení

 - jednotlivými body je bez interpolace

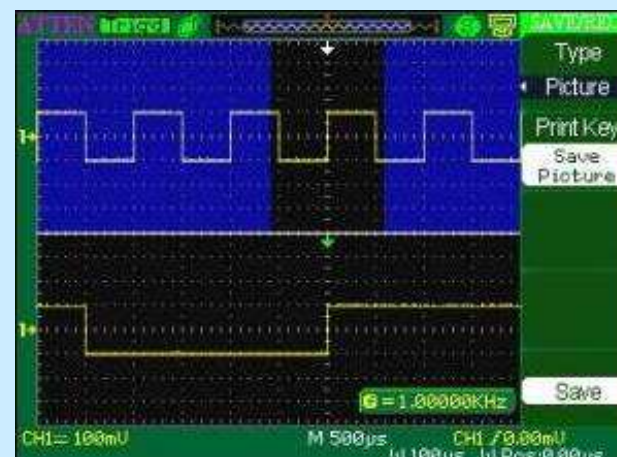
 - zobrazení spojnícemi mezi body je s interpolací

- k dispozici by mělo být nejméně 10 bodů

 - k rekonstrukci průběhu

5. 8. Časová základna

- vysoká přesnost 0,01% v porovnání s AO 3%
- displej je zaplňován jednotlivými body z RAM video paměti rastrovým způsobem
- široký rozsah ČZ
- pomalé průběhy ROLL mode (zapisovač)
- **ZOOM** (ČZ B u AO)
 - roztažení časové základny
 - dostatečný počet bodů
 - velká akviziční paměť
- **X-Y** zobrazení, standardně u většiny DSO

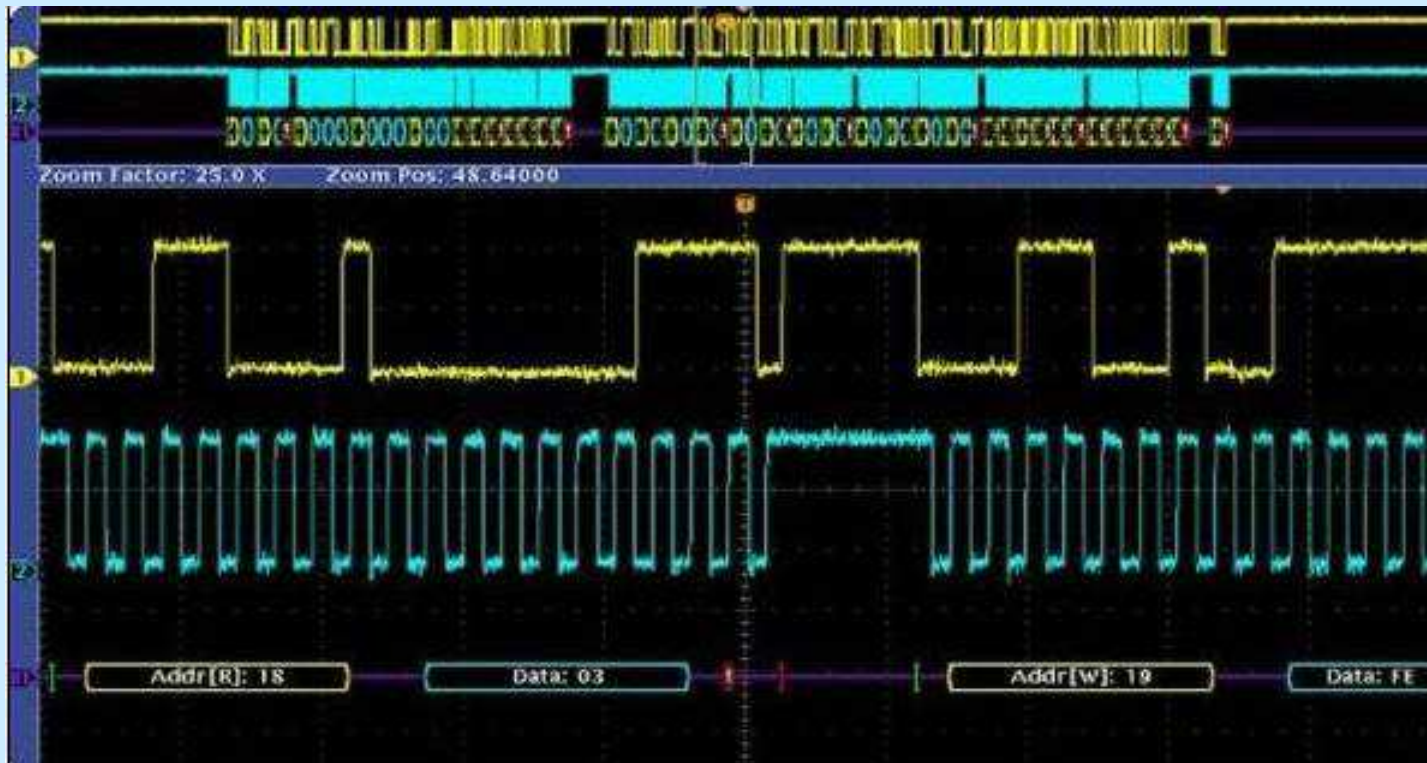


5. 9. Spouštění

- základní
- rozšířené – speciální

Spouštění	
Režim	Auto, Norm, Single
Volba	hrana, šířka impulzu, video, alternativní
Hrana	náběžná, sestupná náběžná + sestupná
Šířka impulzu	20ns až 10s pozitivní / negativní
Video	PAL, SECAM, NTSC
Alternativní	CH1, CH2 hrana, video, impulz
Vazba	AC, DC, HF REJ, LF REJ
Zdroj signálu	CH1, CH2, EXT, EXT/5, AC Line
Úroveň spouštění	manuální automatická

příklad pokročilého spouštění

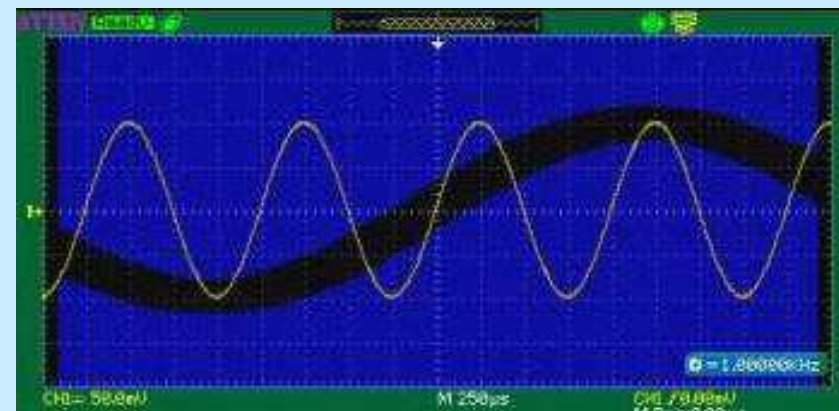


5.10 Matematické operace, kurzory, masky

- matematické operace (+, -, x, /, FFT)
měření vybraných hodnot

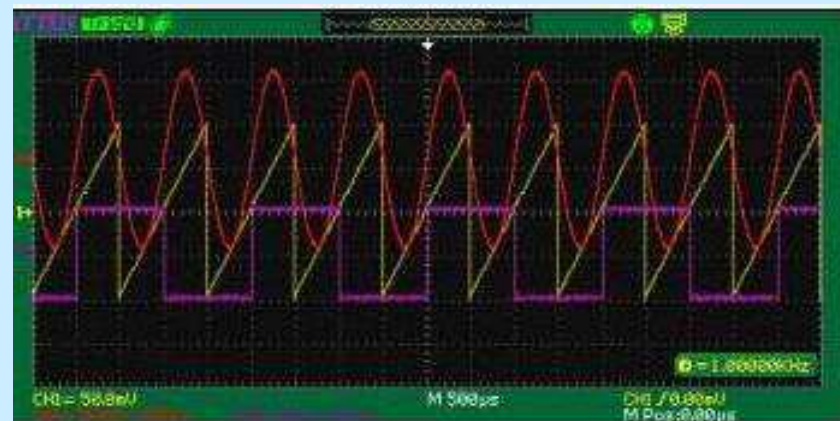
- kurzory X, Y, X-Y

- masky (prošel, neprošel
nastavenou maskou)



5.11 Uživatelská paměť osciloskopu k uchování dat

- uchování a zpětné vyvolání
nastavení osciloskopu
vnitřní paměť osciloskopu



5.12 Komunikace s okolím

- komunikace s okolím (PC, vzdálené stanice)

RS 232

USB

GPIB (IEEE488.2)

ET

- externí paměť

počítač on line

USB disk

SD karta

Konec, děkuji za pozornost