

Základné parametre digitálnych osciloskopov a ich význam

Redakce, 10. Říjen 2003 - 0:00

- [Dokumentace](#)

Při koupi osciloskopu a jeho používání může znalost významu jeho základních parametrů ušetřit peníze a čas. Podívejme se nyní na vybrané vlastnosti digitálních osciloskopů.

Za základné parametre digitálneho osciloskopu je možné považovať jeho nasledujúce vlastnosti:

1. Počet meracích kanálov
2. [Vstupná impedancia meracích kanálov](#)
3. [Frekvenčný rozsah vstupných zosilňovačov](#)
4. [Maximálna vzorkovacia frekvencia v reálnom čase](#)
5. [Maximálna vzorkovacia frekvencia pre opakované deje](#)
6. [Možnosti spúšťania zberu dát](#)
7. [Maximálna možná dĺžka záznamu](#)

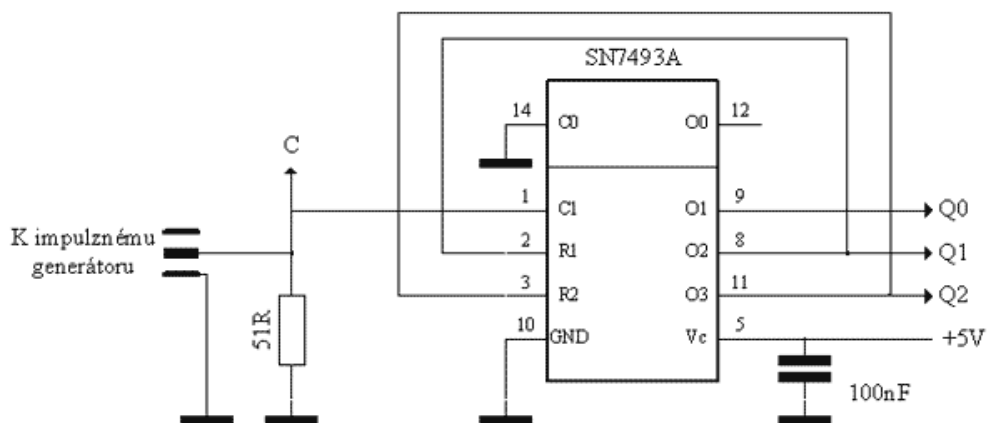
Iste existuje mnoho iných parametrov, ktoré môžu byť pri niektorých meraniach rozhodujúce, avšak uvedených sedem určuje použiteľnosť osciloskopu vo väčšine prípadov.

1. Počet meracích kanálov

Podľa skúseností sa 90% meraní osciloskopom vykonáva za účelom zistenia tvaru priebehu napätia, na čo stačí jeden kanál. Žiadne meranie pri ktorom potrebujeme zistiť časovú reláciu dvoch (alebo viacerých) signálov sa však nedá s osciloskopom, ktorý má iba jeden merací kanál vykonať, pričom práve merania tohto typu sú dôležité pri návrhu a diagnostike číslicových systémov. V zásade platí, že čím viac meracích kanálov, tým budú merania vzťahu viacerých signálov jednoduchšie. Platí však i to, že pomocou osciloskopu s dvomi kanálmi je možné namerať reláciu ľubovoľného počtu kanálov. Pri týchto meraniach však treba postupovať opatrne, pretože hrozí mylná interpretácia nameraných údajov. Ilustrujme meranie vzťahu niekoľkých signálov nasledujúcim príkladom:

1.1. Meranie vzťahu signálov asynchrónneho čítača.

Na obrázku 1 je zapojenie asynchrónneho čítača so skráteným cyklom na $M = 6$. Základnú funkčnosť takéhoto čítača je možné jednoducho overiť pomocou logického analyzátoru. Na obr.2 sú priebehy namerané analyzátorom ETC M611 v režime časovej analýzy s frekvenciou taktovania 100 MHz.

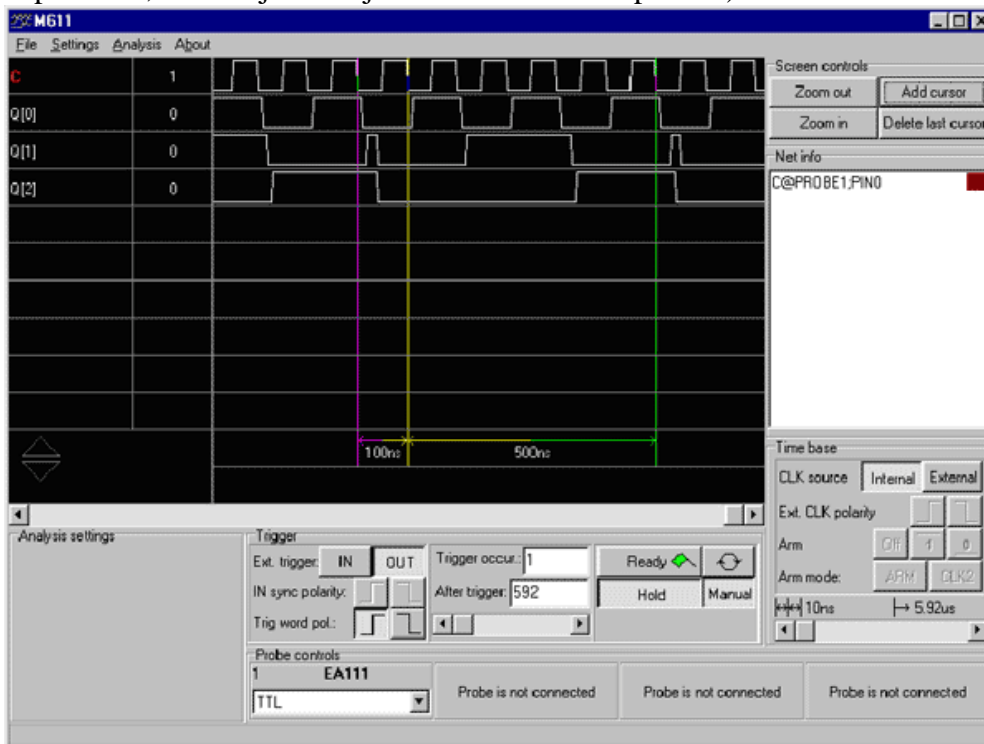


Obr.1 - Zapojenie asynchrónneho čítača so skráteným cyklom $M = 6$

Podľa meraní časových závislostí je možné zistiť, že frekvencia taktovania čítača je $1/T_c = 10$ MHz a čítač pracuje správne. Skrátenie cyklu čítača, ktorý normálne pracuje s cyklom $M = 8$ bolo dosiahnuté detekovaním výstupu $Q_1 = 1$ a $Q_2 = 1$ a následným asynchrónnym nulovaním čítača. Predpokladajme, že nás zaujíma časová relácia signálov C, Q_0 , Q_1 a Q_2 v čase tejto udalosti. Predpokladajme tiež, že máme k dispozícii virtuálny dvojkanalový digitálny osciloskop ETC M621. Môžeme teda súčasne merať reláciu dvoch

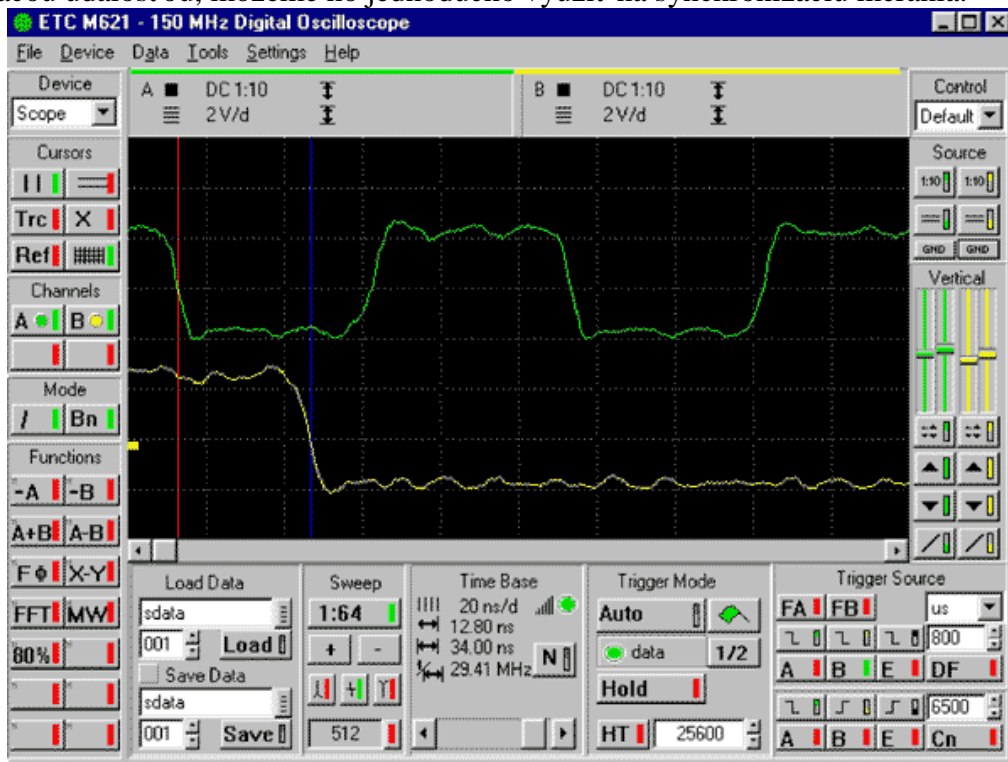
signálov. Kľúčovou otázkou správneho merania je správna voľba spúšťacieho signálu. Ideálny spúšťací signál by mal spĺňať nasledujúce podmienky:

- počas celej periódy práce meraného systému by sa mal vyskytnúť iba raz
- mal by sa vyskytnúť čo najbližšie sledovanej udalosti (ideálne tesne pred ňou), ale v každom prípade v takej vzdialenosti, ktorú je schopný osciloskop obsiahnuť (závisí to od možnosti spúšťania, zvolenej časovej základni a veľkosti pamäte)



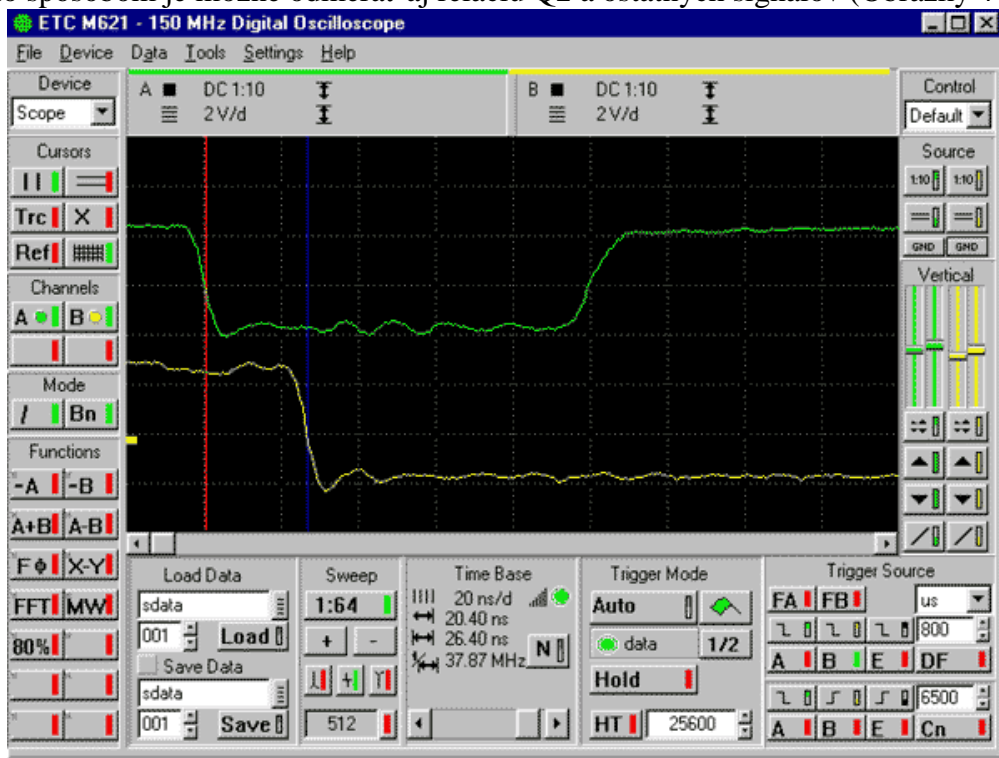
Obr.2 - Analýza činnosti asynchrónneho čítača z obr.1

Ako z obrázku 2 vidíme, signál Q2 je jediný, ktorý sa mení s rovnakou periódou, ako pracovný cyklus čítača. Jeho záverná hrana (zmena z 1 do 0) je blízko udalosti, ktorú chceme sledovať, ale vyskytuje sa až po niektorých udalostiach (signály C, Q0, Q1), ktoré chceme sledovať. Našťastie je vzdialenosť závernej hrany hodinových impulzov (C) a závernej hrany Q2 asi 30 ns. Pretože osciloskop M621 je schopný zobraziť vo vzorkovacom režime 50 ns pred spúšťacou udalosťou, môžeme ho jednoducho využiť na synchronizáciu merania.

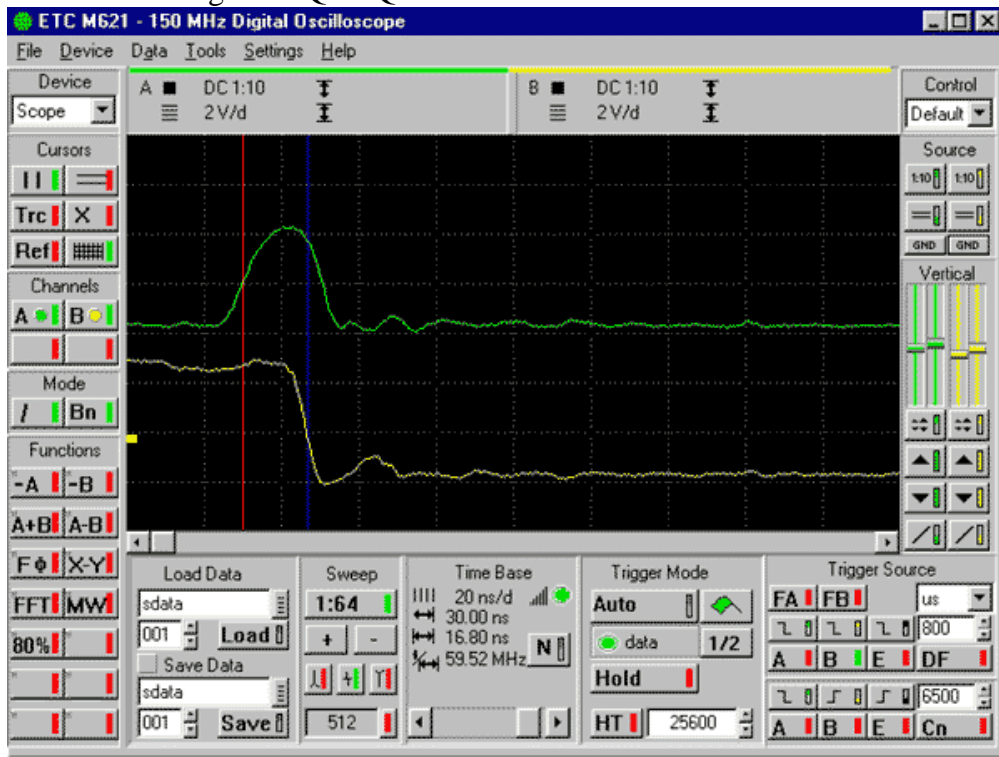


Obr.3 - Vzťah signálov Q2 a C

Na obrázku 3 je obrazovka počítača s aplikáciou M621, pričom prostredníctvom meracích sond s frekvenčným rozsahom 135MHz a deliacim pomerom 1:10 je na kanál A osciloskopu pripojený signál C a na kanál B signál Q2. Zber údajov je synchronizovaný na závernú hranu kanálu B. Nastavenie synchronizačnej úrovne je patrné z obrázku (poloha žltej značky na ľavej strane obrazovky osciloskopu). Takto je možné vidieť a odmerať reláciu priebehov Q2 a C (záverná hrana signálu C je vzdialená od závernej hrany Q2 o 38.4 ns). Takýmto spôsobom je možné odmerať aj reláciu Q2 a ostatných signálov (Obrázky 4 a 5).

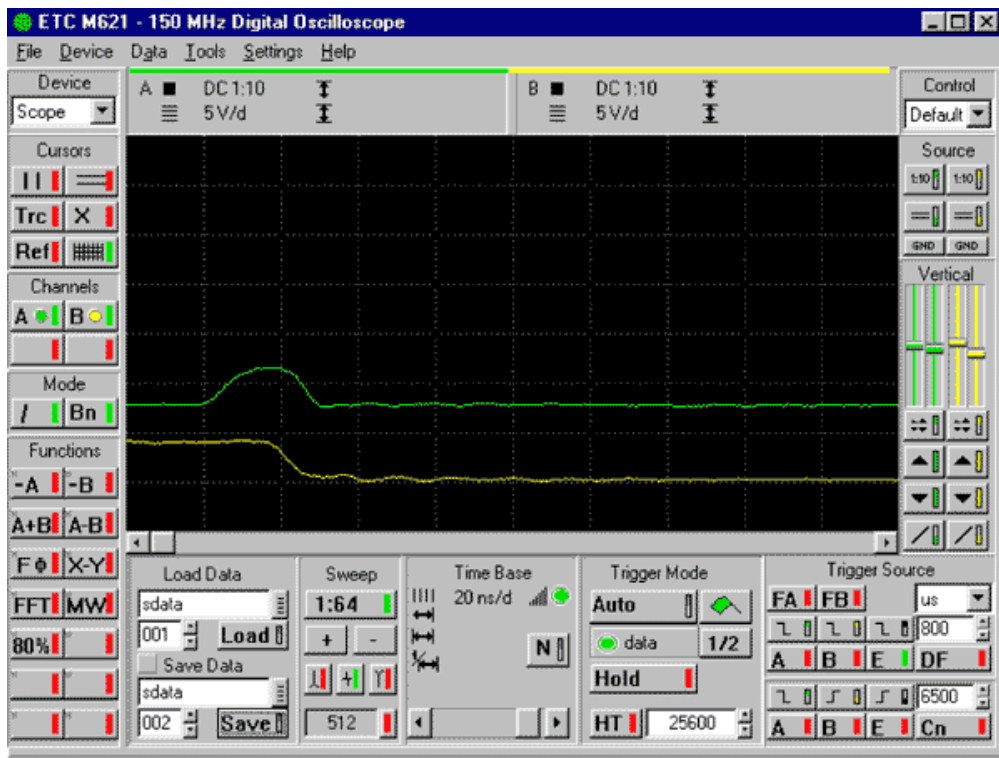


Obr.4 - Vzťah signálov Q2 a Q0



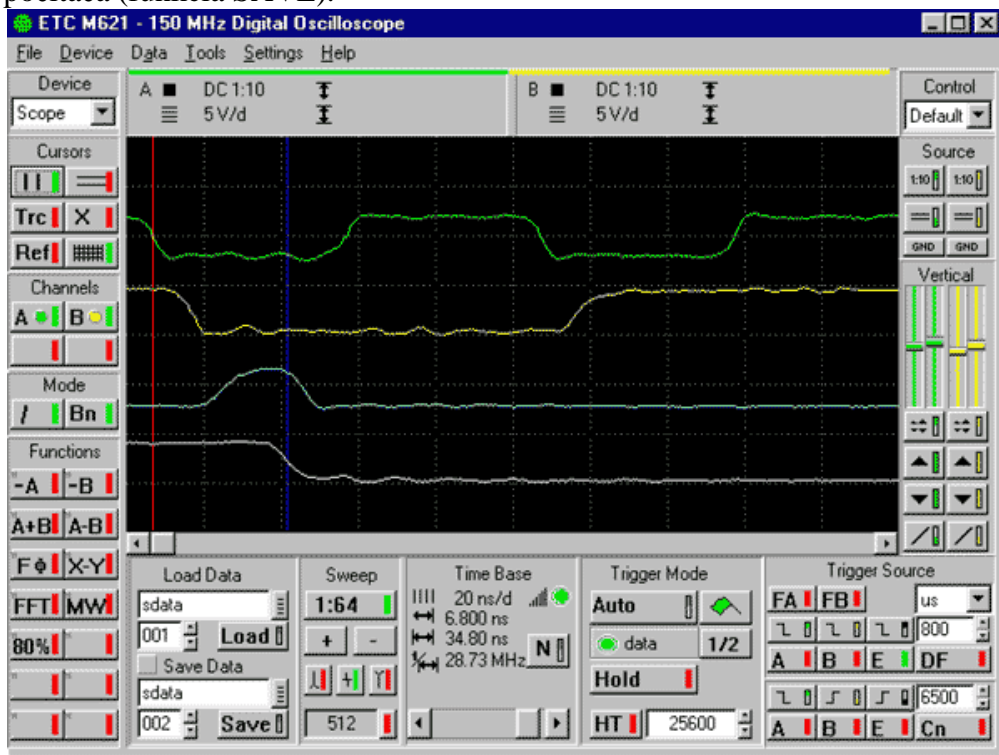
Obr.5 - Vzťah signálov Q2 a Q1

Vzájomné vzdialenosti jednotlivých signálov je teda možné odmerať (ak je to vzdialenosť synchronizačného signálu a niektorého meraného), alebo vypočítať z nameraných hodnôt (v prípade, že nás zaujíma vzdialenosť signálov z ktorých ani jeden nie je synchronizačný). Tak napríklad vzdialenosti záverných hrán signálov C a Q0 je XXXns.



Obr. 6 - Signály Q2 a Q1 merané tak, že zber dát je synchronizovaný externe od Q2

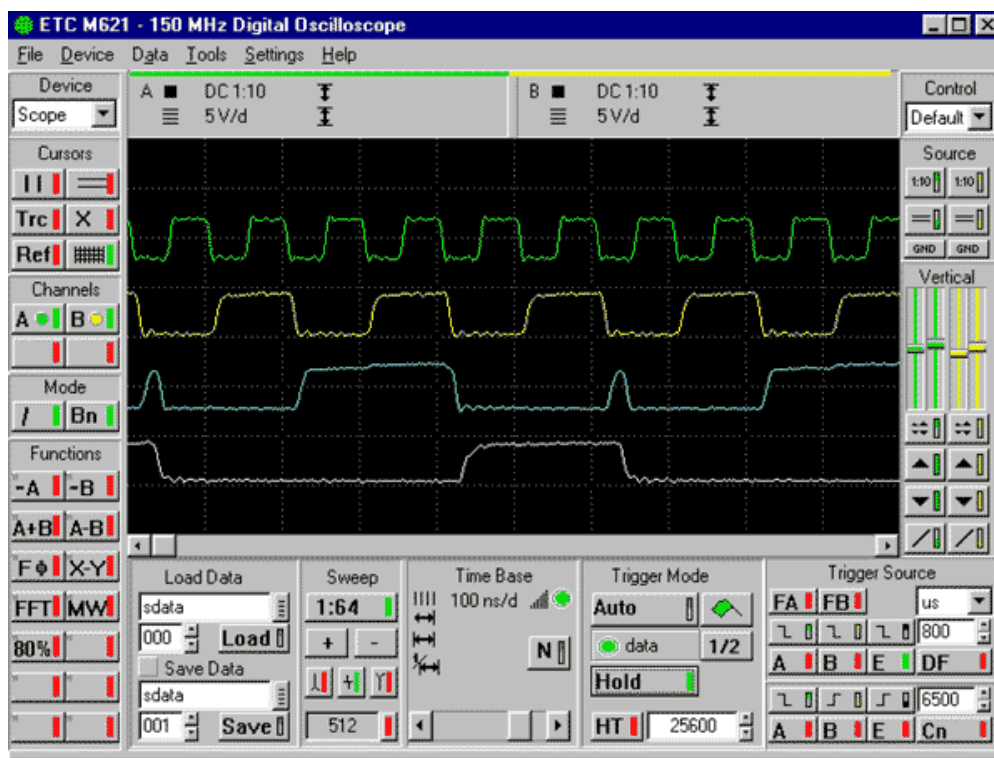
Metóda s ktorou sme sa zaoberali je použiteľná vždy. Ak je však synchronizačný signál kompatibilný s externým spúšťacím vstupom osciloskopu, je možné s využitím ďalších možností osciloskopu M621 zobraziť všetky štyri signály súčasne. Opäť použijeme Q2 ako synchronizačný signál a pripojíme ho k externému synchronizačnému vstupu osciloskopu. Stopy kanálov a rozsahy nastavíme tak, aby sa na obrazovku zmestili štyri priebehy. Ku kanálu A pripojíme signál Q1 a kanálu B signál Q2 (obr. 6). Namerané priebehy uložíme do pamäte počítača (funkcia SAVE).



Obr.7 - Súčasné zobrazenie všetkých meraných signálov pomocou externej synchronizácie

Presunieme stopy jednotlivých kanálov na nové miesta. K vstupu kanálu A pripojíme signál C a kanálu B signál Q0. Pomocou funkcie LOAD zobrazíme na obrazovke aj uložené priebehy signálov Q2 a Q1 (obr.7). Teraz je možné pozorovať a merať časové súvislosti štyroch signálov. Pokiaľ by sme mali záujem vidieť celý cyklus práce osciloskopu celý postup

zopakujeme s takou časovou základňou, ktorá umožní pozorovať úsek väčší ako 600 ns (obr.8).



Obr.8 - Pracovný cyklus čítača z obr.1 zobrazený dvojkanálovým osciloskopom M621

Ako je z príkladu patrné dvojkanálovým osciloskopom je možné merať vzťah väčšieho počtu signálov než je počet kanálov. Je možné konštatovať, že čím je väčší počet kanálov tým je meranie pohodlnejšie, avšak dva kanály sú pre väčšinu meraní postačujúce.

Peter Gubiš ETC R&D

DOWNLOAD & Odkazy

- Pokračovanie popisu parametrov osciloskopov - [Vstupní obvody a jejich parametry](#)
- Rozdelenie osciloskopov podľa princípu činnosti - [Osciloskopy - princípy činnosti](#)
- **ETC** - Stránka výrobcu (nejen) osciloskopov na [HW.cz](#)
- [Osciloskopy a jejich použití](#) - Kniha venovaná princípom osciloskopov
- [Osciloskopy od A do Z](#) - Rozsáhlá publikácia, ktorá zodpovedá takmer všetkým otázkam týkajúcim sa osciloskopov

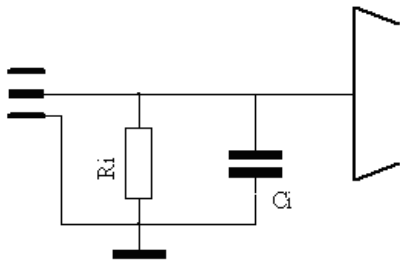
Základné parametre digitálnych osciloskopov a ich význam II

Redakce, 17. Říjen 2003 - 0:00

- [Dokumentace](#)

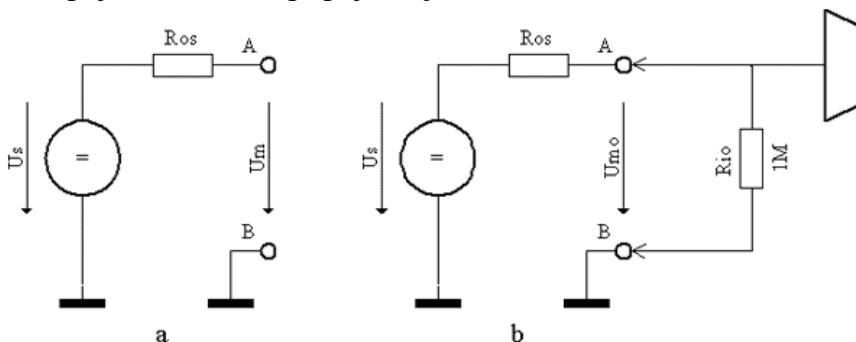
Pokračovanie článku o základných parametroch digitálnych osciloskopov sa nyní zaoberá impedanciou a frekvenčným rozsahom vstupných obvodov.

2. Vstupná impedancia meracích kanálov



Obr.9 - Zapojenie meracieho vstupu osciloskopu z hľadiska analýzy vstupnej impedancie

Dôležitou požiadavkou na meracie prístroje, a teda aj na osciloskop je, aby ovplyvňovali meraný systém, čo najmenej. Na obrázku 9 je náhradné zapojenie vstupu vertikálneho zosilňovača. Vstupná impedancia zosilňovača sa dá nahradiť paralelnou kombináciou odporu R_i a kondenzátora C_i . Hodnota odporu je štandardizovaná na 1 MW. Skúmajme, akú chybu merania spôsobí tento odpor, ak ho pripojíme k meranému obvodu. Náhradné zapojenie takéhoto pripojenia je na obrázku 10.



Obr.10 - Vplyv vstupného odporu osciloskopu na chybu merania

Obrázok 10a zobrazuje situáciu v meranom systéme na meracích bodoch A a B, na ktoré je privedený zdroj napätia U_s cez jeho výstupnú impedanciu R_{os} . Ak k meracím bodom A a B nie je pripojený vstup osciloskopu, $U_m = U_s$. Ak pripojíme vstup osciloskopu, bude napätie na meracích bodoch:

$$U_{mo} = U_s * R_{io} / (R_{io} + R_{os}) \quad [V] \quad (1)$$

Pretože R_{io} a R_{os} majú konečné a nenulové hodnoty, je zrejmé, že pripojenie osciloskopu ovplyvní veľkosť nameraného napätia. Skúmajme, akú chybu pripojenie prístroja sôsobí.. Vyjadríme chybu merania spôsobenú pripojením vstupnej impedancie osciloskopu ako:

$$d = ((U_s - U_{mo}) / U_s) * 100 \quad [\%] \quad (2)$$

Ak vyjadríme U_{mo} pomocou (1), vzťah (2) sa modifikuje:

$$d = ((U_s - U_s * R_{io} / (R_{io} + R_{os})) / U_s) * 100 \quad [\%] \quad (3)$$

Po úpravách:

$$d = 100 * R_{os} / (R_{os} + R_{io}) \quad [\%] \quad (4)$$

Zo vzťahu (4) vyplýva, že čím je vyšší výstupný odpor zdroja meraného napätia, tým bude chyba väčšia. Pre posúdenie možnosti merania osciloskopom vyjadríme hodnotu výstupného odporu, ako funkciu chyby a vstupného odporu osciloskopu:

$$R_{os} = R_{io} * d / (100 - d) \quad [W] \quad (5)$$

Ak dosadíme hodnotu 1 MW miesto R_{io} , potom:

$$R_{os} = d / (100 - d) \quad [MW] \quad (6)$$

Hľadáme hodnotu výstupného odporu zdroja meraného napätia, pri ktorom sa zväčší chyba merania na dvojnásobok presnosti osciloskopu. Ak príklad si zvolíme osciloskop ETC M621, ktorý má zaručenú chybu 2 %. Podľa vzťahu (6), ak bude vnútorný odpor meraného napätia R_{os} väčší ako 20.4 kW, spôsobí prídavnú chybu merania väčšiu ako 2 %, čím sa celková chyba merania môže zvýšiť nad 4 %.

Druhou zložkou vstupnej impedancie meracieho kanálu osciloskopu je kapacita C_i (obr.9). Tvorí reaktančnú zložku impedancie. Je frekvenčne závislá tak, že jej hodnota s rastom frekvencie klesá podľa vzťahu:

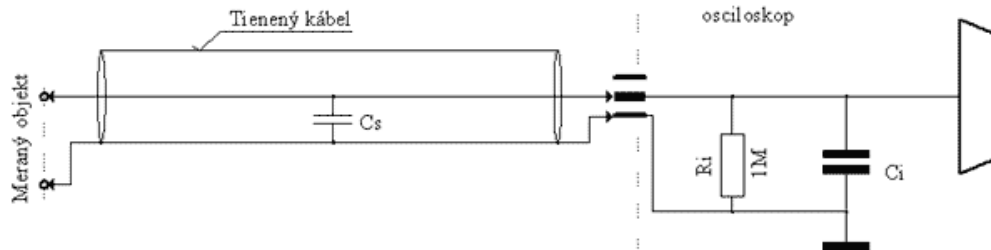
$$X_c = 1 / (6.28 * f * C_i) \quad [W] \quad (7)$$

Pričom f je frekvencia pre ktorú reaktanciu kapacity počítame.

Zo vzťahu (7) môžeme vypočítať frekvenciu pre hodnotu kapacity a je reaktanciu ako:

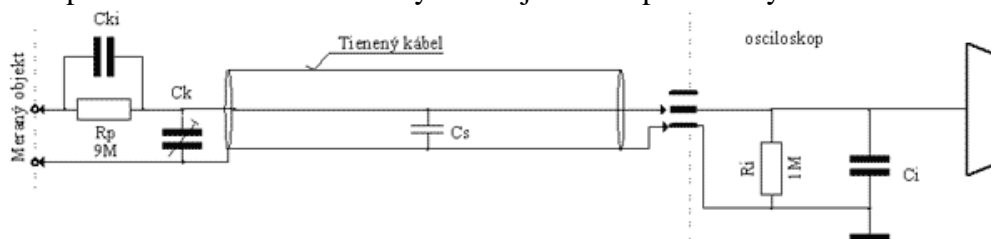
$$f = 1 / (6.28 * X_c * C_i) \quad [\text{Hz}] \quad (8)$$

Vstupná kapacita meracích kanálov osciloskopu sa obvykle pohybuje okolo hodnoty asi 25 pF. Pomocou vzťahu (8) je možné vypočítať, že reaktancia kapacity klesne už pri frekvencii 6370 Hz na 1 MW. Pretože R_i a X_c sú fázovo posunuté o 90° , absolútna hodnota vstupnej impedancie klesne už pri 6370 Hz na hodnou asi 707 kW. Ak by sme skúmali vstupnú impedanciu osciloskopu pri frekvencii 10 MHz, zistili by sme, že má prakticky kapacitný charakter a hodnotu 637 W, čo je zrejme hodnota, ktorá môže výrazným spôsobom ovplyvniť meranie ba dokonca aj funkciu meraného systému.



Obr.11 - Pripojenie osciloskopu k meranému objektu tieneným káblom

Problémy so vstupnou kapacitou osciloskopu vzrastú ak si uvedomíme, že meraný objekt je potrebné so vstupom osciloskopu prepojiť tieneným meracím káblom (obr.11), ktorý výrazne zvýši kapacitu vstupu. Ak použijeme kábel s extrémne nízkou kapacitou 50 pF/m, pridáme pri dĺžke kábla 1m ďalších $C_k = 50$ pF, čím sa vstupná kapacita zvýši na 75 pF. Týmto frekvencia pri ktorej sa začína uplatňovať vstupná kapacita klesne na 2123 Hz a impedancia pri 10 MHz na 212 W. Takýto stav je neakceptovateľný.



Obr.12 - Usporiadanie pasívnej meracej sondy

Ako najlacnejšie (a najčastejšie) riešenie týchto problémov je použitie meracích sond s deliacim pomerom 1:10. Princiipiálne usporiadanie takejto sondy je na obrázku 12. Predradením odporu $R_p = 9$ MW k vstupnému odporu osciloskopu, sa vytvorí delič v pomere 1:10. Ak chceme, aby bol delič frekvenčne nezávislý, musíme zabezpečiť, aby kapacity, ktoré sú pripojené paralelne k odporom, boli v opačnom pomere k ich hodnotám:

$$C_{ki} / (C_k + C_s + C_i) = 1 / 9 \quad (9)$$

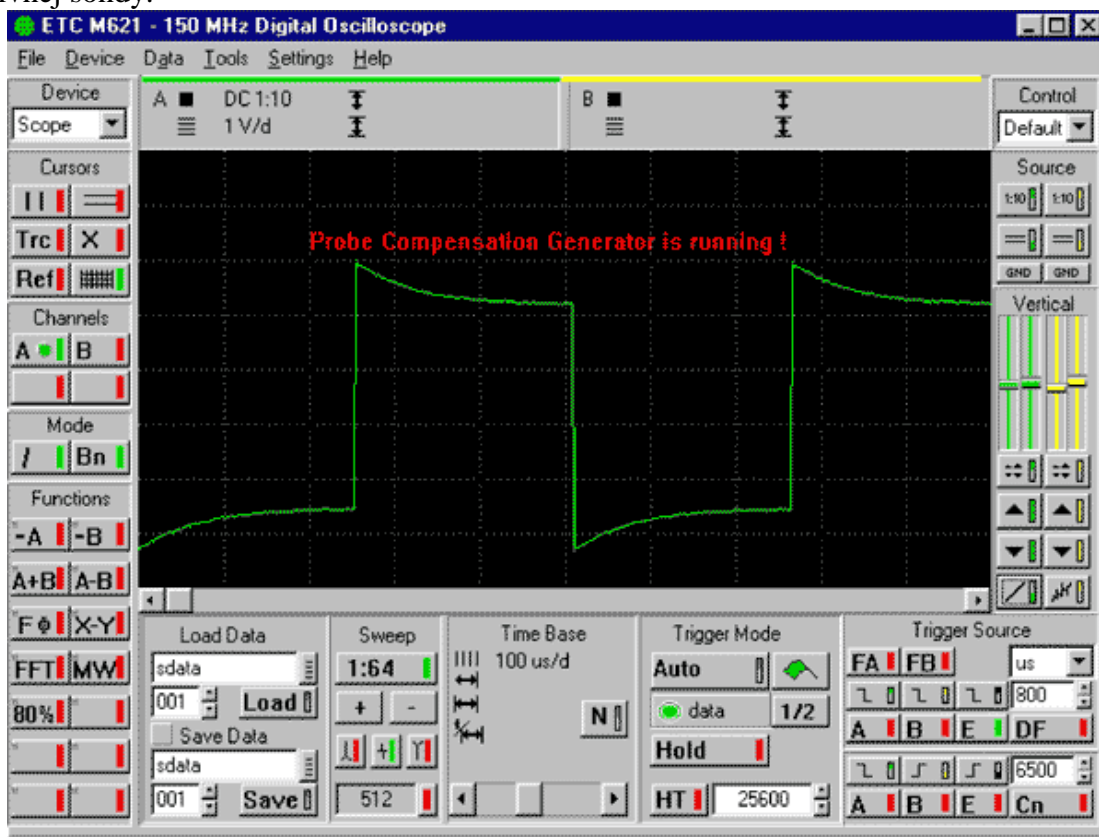
Kondenzátor C_k je kapacitný trimer, ktorý slúži na nastavenie pomeru definovaného vzťahom (9) (C_{kopt}) vždy keď sa sonda použije pre osciloskop s inou vstupnou kapacitou. Aké sú výhody takéhoto usporiadania? Predpokladajme, že chceme vyrobiť sondu pre osciloskopy s rozsahom vstupných kapacít 20 až 30 pF a dĺžkou spojovacieho kábla 1m s kapacitou 50pF. Musíme teda použiť kondenzátor C_k s nastaviteľným rozsahom 1 až 11 pF (lepšie by bolo 0 až 10 pF, ale taký by sme nenašli). Maximálna hodnota kapacity pripojenej paralelne k vstupnému odporu osciloskopu bude teda $C_{imax} + C_{kmin} + C_s = 30 + 1 + 50 = 81$ pF. Podľa vzťahu (9) môžeme vypočítať hodnotu C_{ki} na 9 pF. Pretože z hľadiska vstupnej impedancie sondy sú kapacity C_{ki} a $(C_{imax} | C_{kmin} | C_s)$ zapojené do série, vstupná kapacita pripojenej sondy bude:

$$C_{is} = C_{ki} * (C_{imax} | C_{kmin} | C_s) / (C_{ki} + (C_{imax} | C_{kmin} | C_s)) \quad (10)$$

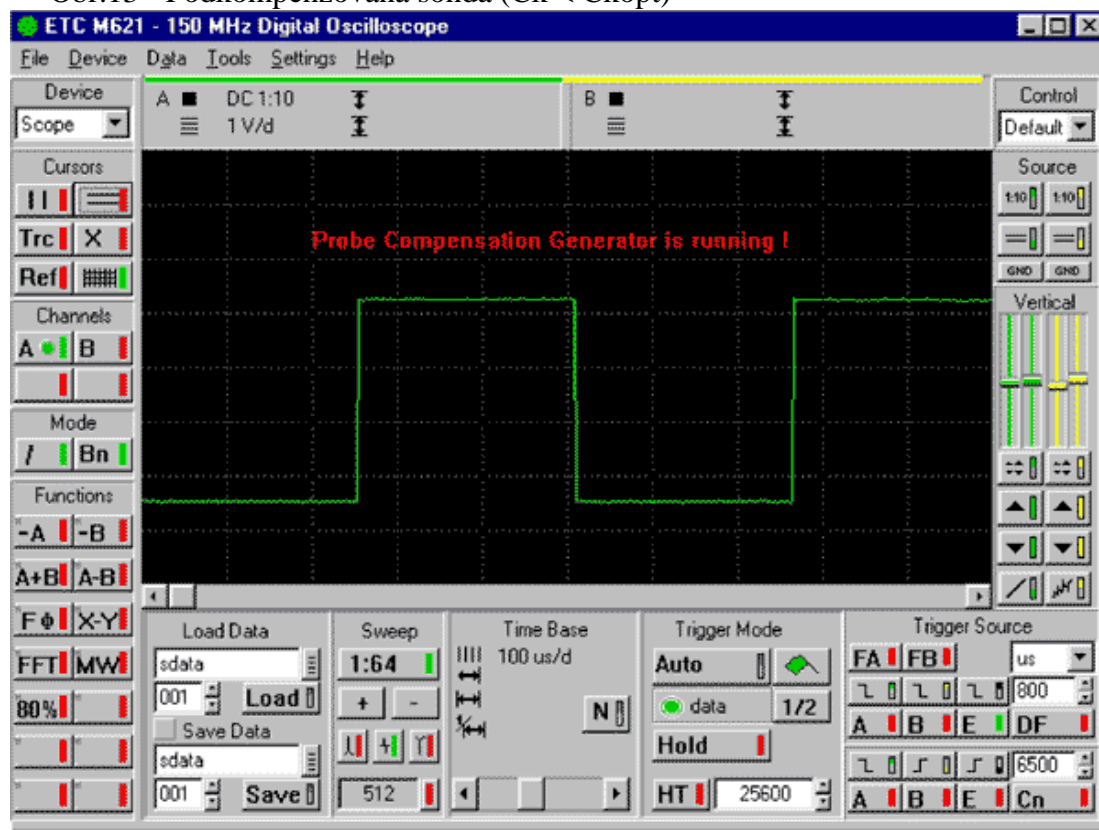
$C_{is} = 8.1$ pF. Táto hodnota je minimálna možná. V skutočnosti sa vstupné impedancie sond pohybujú jednotky pikofarad nad hodnotou 10 pF, čo je spôsobené konštrukčnými parazitnými kapacitami.

Popísaná osciloskopická sonda býva označovaná aj prívlastkom „pasívna“. Pri meraní s pasívnymi sondami si treba uvedomiť, že sondu je treba vždy „nakompenzovať“ pre konkrétny osciloskop. Kompenzácia sa deje nastavením kapacity kondenzátora C_k tak, aby

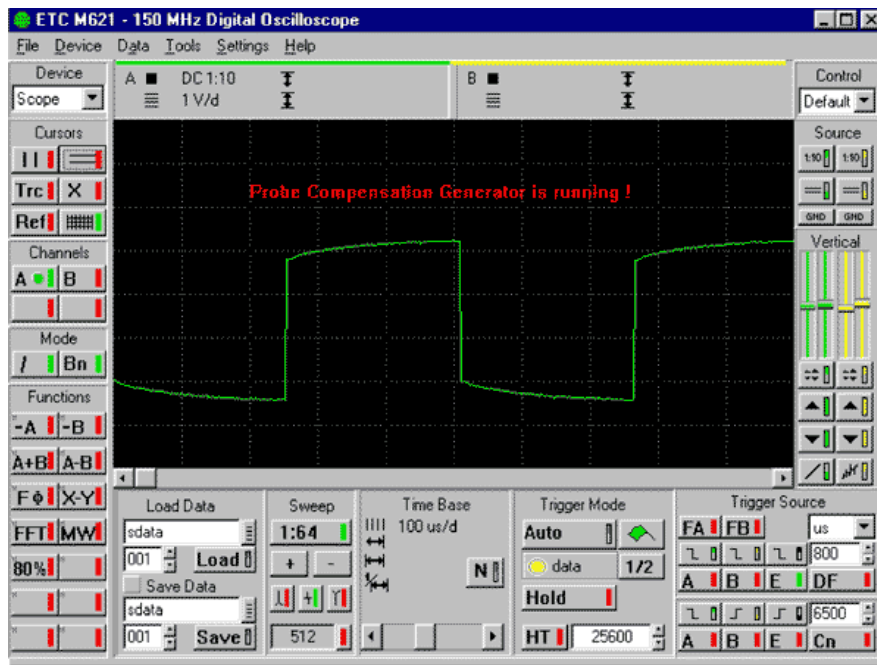
bola podmienka formulovaná v vzťahu (9) splnená. Najčastejšou technikou, ako nastaviť C_k je meranie prechodového deja. Za prechodový dej obvykle slúži obdĺžnik. Dobré osciloskopy bývajú vybavené generátorom kompenzačného signálu. Na obrázkoch 13, 14 a 15 sú obrazovky osciloskopu ETC M621, ktorý je vybavený generátorom kompenzačného signálu. Obrázky reprezentujú odozvu podkompenzovanej, správne nastavenej a prekompenzovanej pasívnej sondy.



Obr.13 - Podkompenzovaná sonda ($C_k < C_{kopt}$)



Obr.14 - Správne nastavená sonda ($C_k = C_{kopt}$)



Obr.15 - Prekompenzovaná sonda ($C_k > C_{kopt}$)

3. Frekvenčný rozsah vstupných zosilňovačov

Zásadným parametrom určujúcim oblasť použiteľnosti každého osciloskopu je frekvenčný rozsah vertikálneho zosilňovača. Vertikálny zosilňovač osciloskopu je konštruovaný ako jednosmerný zosilňovač, čo znamená, že zosilňuje aj jednosmerné napätia. Jeho frekvenčný rozsah je 0 [Hz] až f_h [Hz], pričom f_h je frekvencia pri ktorej klesne zosilnenie zosilňovača o 3 dB, teda na asi 70 % pôvodnej hodnoty. Teda pri meraní signálov s frekvenciou f_h je chyba merania asi - 30 %. Je zrejmé, že pri f_h je osciloskop použiteľný iba pre orientačné merania. V tabuľke 1 sú uvedené približné chyby merania spôsobené frekvenčnými vlastnosťami vertikálneho zosilňovača pri meraní na rôznych frekvenciách, pričom frekvencia je vyjadrená vzhľadom na f_h . Celková zaručená chyba merania bude súčet chyby zosilnenia vertikálneho zosilňovača a chyby spôsobenej jeho frekvenčnými vlastnosťami.

frekvencia	chyba merania
f_h	-30%
$f_h/2$	-10%
$f_h/3$	-5%
$f_h/4$	-3%
$f_h/5$	-2%
$f_h/7$	-1%
$f_h/10$	-0.5%

Tab. 1 - Závislosť chyby merania na frekvencii meraného signálu

Tak napríklad ak meriame osciloskopom M621, ktorý má frekvenčný rozsah vertikálneho zosilňovača 150 MHz a chybu zosilnenia $\pm 2\%$, signály s frekvenciou 50 MHz je možné merať so zaručenou chybou 7% a signály 30 MHz s chybou 4 %.

Existuje približná metóda na meranie frekvenčnej charakteristiky vertikálneho zosilňovača osciloskopu. Býva doporučovaná výrobcami osciloskopov, pretože je jednoduchá a poskytuje použiteľné výsledky. Spočíva v meraní dĺžky nábežnej hrany zobrazeného impulzu.

Na základe nameranej dĺžky nábežnej hrany tr (čas zmeny z 10% na 90% hodnoty napätia) je možné približne určiť f_h zosilňovača ako:

$$f_h = 350/(tr - tri) \quad [\text{MHz, ns, ns}] \quad (11)$$

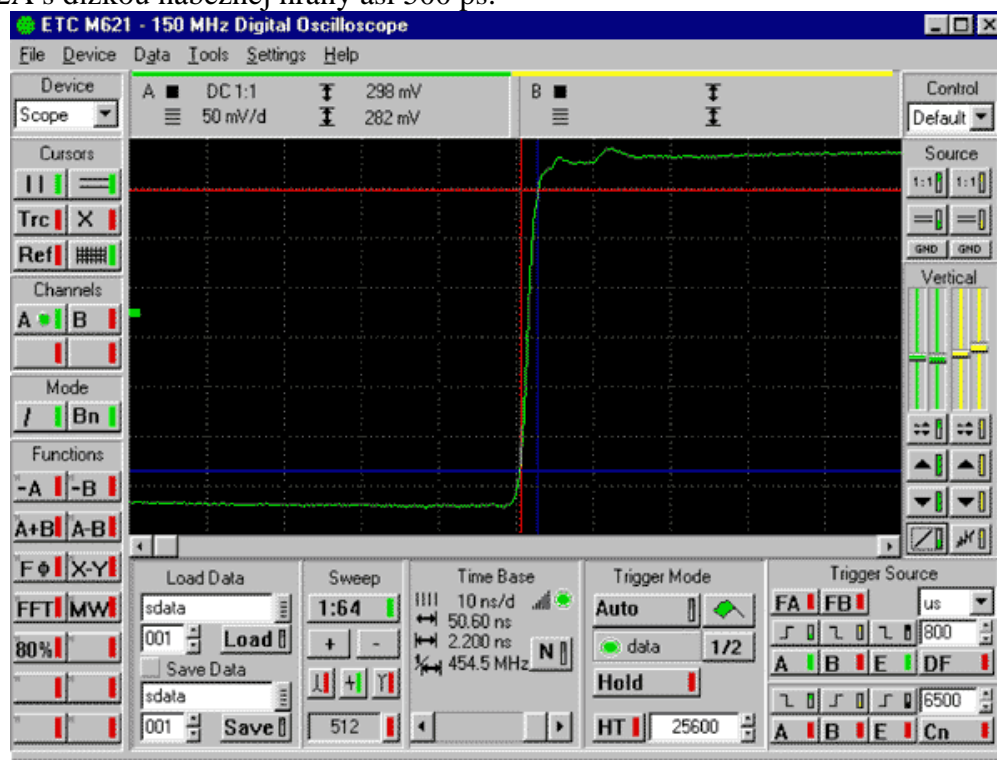
kde tri je dĺžka nábežnej hrany impulzu, ktorý bol na vstup zosilňovača privedený

Pri meraní teda určíme, o koľko predĺžil zosilňovač nábežnú hranu privedeného impulzu a pomocou tejto hodnoty vypočítame hornú medznú frekvenciu. Ak chceme dosiahnuť použiteľné výsledky, je potrebné dodržať nasledovné zásady:

1. Treba zamedziť skresleniu tvaru impulzu na ceste medzi generátorom a vstupom osciloskopu, čo znamená prispôbiť impedanciu prepojovacieho kábla výstupnej impedancii generátora a vstupnú impedanciu osciloskopu zaťažovacím členom prispôbiť impedancii generátora. Všetky použité komponenty tohto prenosového reťazca musia byť v očakávanom rozsahu frekvenčne nezávislé.

2. Nábežná hrana privedeného impulzu tri musí byť oveľa menšia než očakávané predĺženie. Dobré výsledky dosiahneme, ak je pomer $tri/tr=1/3$. Táto požiadavka býva spojená s problémom vhodného generátora, pretože generátory so subnanosekundovou hranou impulzu patria k drahším.

Na obrázku 16 je príklad merania frekvenčnej charakteristiky vertikálneho zosilňovača virtuálneho osciloskopu ETC M621 na rozsahu 50 mV/d. Pri meraní bol použitý generátor HP8082A s dĺžkou nábežnej hrany asi 500 ps.



Obr.16 - Meranie frekvenčnej charakteristiky vertikálneho zosilňovača metódou merania nábežnej hrany impulzu.

Podľa vzťahu (11) je $f_h = 350/(2.2 - .5) = 205$ MHz. Pri meraní nábežnej hrany impulzu je možné využiť funkciu „80%“ tak, že horizontálne kurzory nastavíme tak, aby ohraničovali amplitúdu konštantných úsekov priebehu. Potom použijeme funkciu 80%, ktorá nastaví spodný kurzor na 10% hodnoty a horný na 90% hodnoty priebehu. Vzďialenosť miest, kde priebeh pretína kurzory je čas nábežnej hrany impulzu.

Peter Gubiš ETC R&D

DOWNLOAD & Odkazy

- [Obsah seriálu](#)
- Pokračování popisu parametrů osciloskopů - [Vzorkovací frekvence](#)
- Rozdělení osciloskopů podle principu činnosti - [Osciloskopy - principy](#)

činnosti

- [ETC - Stránka výrobce \(nejen\) osciloskopů na HW.cz](#)
- [Osciloskopy a jejich použití](#) - Kniha věnovaná principům osciloskopů

- [Osciloskopy od A do Z](#) - Rozsáhlá publikace jež zodpoví téměř všechny otázky týkající se osciloskopů

Základné parametre digitálnych osciloskopov a ich význam III

Redakce, 24. Říjen 2003 - 0:00

- [Dokumentace](#)

Dnešní díl seriálu se zabývá vzorkovací frekvencí digitálních osciloskopů. Popisována je pak především maximální frekvenci vzorkování v reálném čase a zmíněno ze i vzorkování pro opakované děje.

4. Maximálna vzorkovacia frekvencia v reálnom čase

Vzorkovacia frekvencia je pri frekvenčnom rozsahu vertikálneho zosilňovača ďalším parametrom, ktorý má rozhodujúci vplyv na frekvenčný rozsah meracieho reťazca. Platí, že horná medzná frekvencia sledovaného signálu je:

$$f_{hs} = f_s / 2 \quad (12)$$

kde f_s je vzorkovacia frekvencia.

Na obrazovke osciloskopu je teda možné sledovať priebehy až do frekvencie f_{hs} . Pri práci s digitálnym osciloskopom je dôležité vedieť, ako sa správa osciloskop ak vzorkuje signály s frekvenciou väčšou, ako f_{hs} .

Zatiaľ, čo v prípade vertikálneho zosilňovača dochádzalo k poklesu amplitúdy meraného signálu, ak jeho frekvencia prekročila medznú frekvenciu zosilňovača, vzorkovaním signálov, ktorých frekvencia je vyššia ako f_{hs} dochádza k zobrazeniu signálov, ktoré v skutočnosti v meranom priebehu neexistujú a analógovým osciloskopom by sme ich nenamerali. Tento jav sa označuje ako „aliasing efekt“.

Zjednodušene je to vznik signálov s frekvenciou:

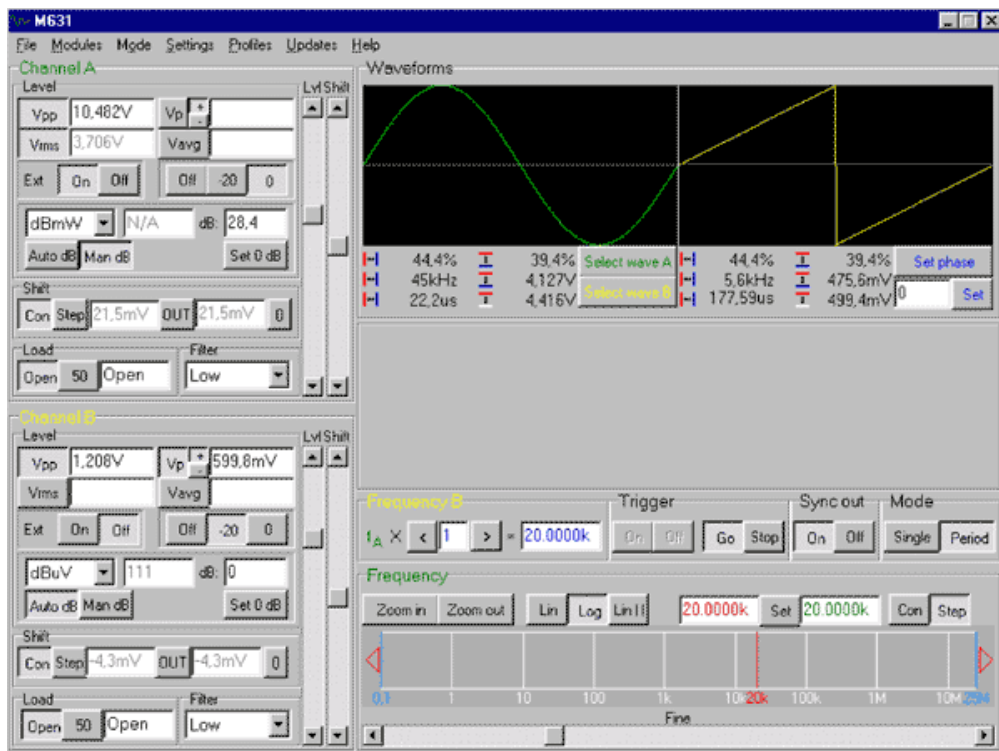
$$f_a = f_s - f \quad (13)$$

kde f je frekvencia meraného signálu.

Vzťah (13) platí, ak $(f_s / 2) < f < f_s$. Pre rozsah frekvencií $f_s < f < (3 * f_s / 2)$ platí:

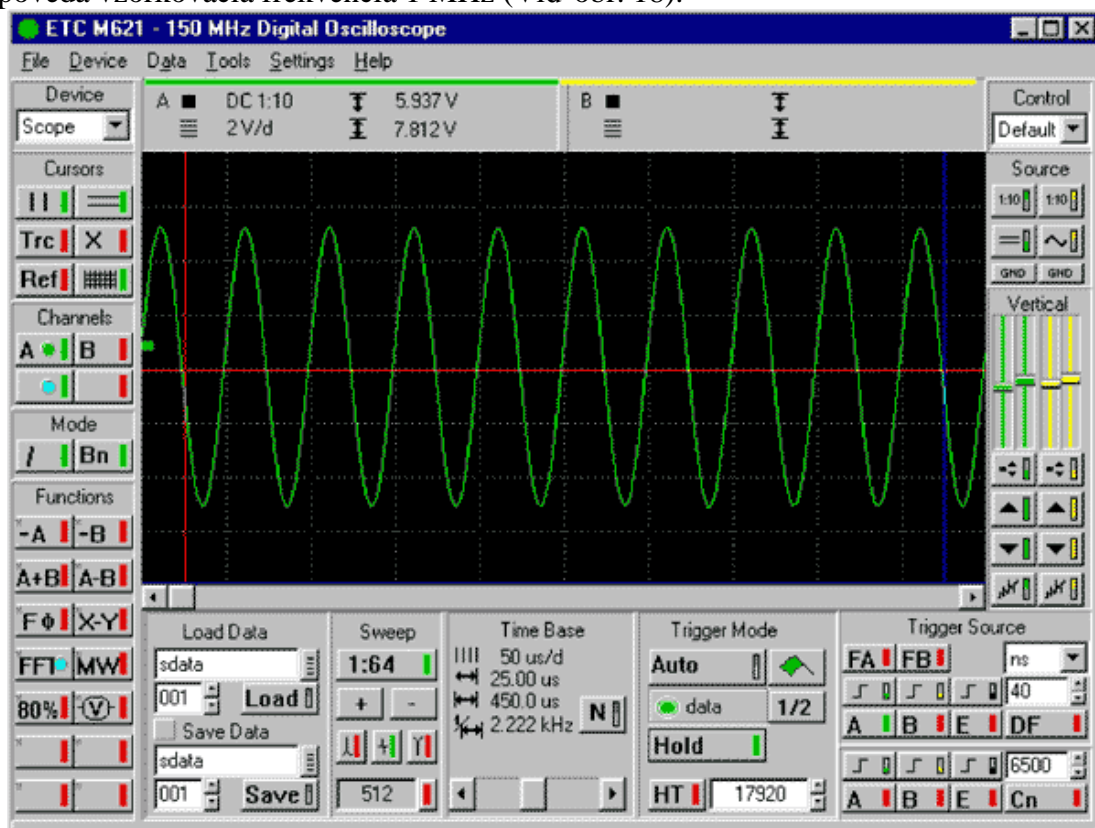
$$f_a = f - f_s \quad (14)$$

Pre vyššie frekvencie sa tento jav opakuje vždy s periódou frekvencií f_s . Tak napríklad ak je vzorkovacia frekvencia 1MHz sa harmonické signály s frekvenciou 1.1 MHz, 2.1 MHz, 3.1 MHz atd.. Zobrazia ako signál s frekvenciou 100 kHz. Pri rovnakom vzorkovaní sa signály s frekvenciou 600 kHz, 1600 kHz a 2600 kHz zobrazia s frekvenciou 400 kHz.



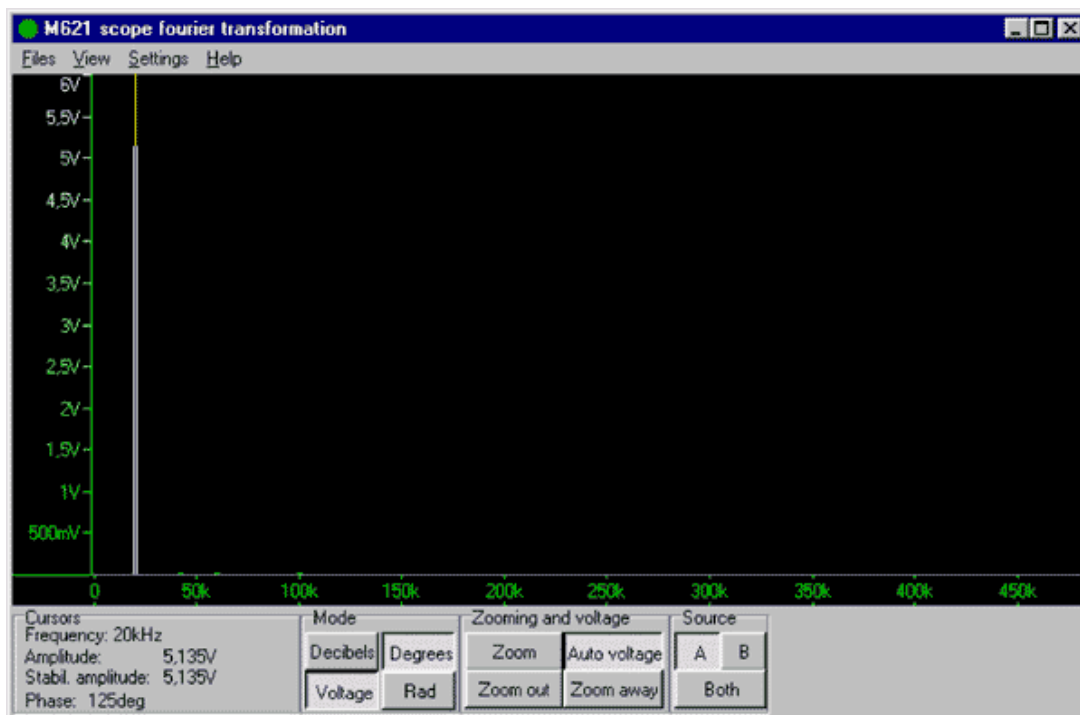
Obr. 17 - Nastavenie generátora harmonického signálu s $f = 20$ kHz

Ilustrujme aliasing efekt príkladom. Na obrázku 17 je nastavenie generátora M631 tak, že kanál A generuje harmonický signál s frekvenciou 20 kHz. Tento signál je meraný osciloskopom s nastavením časovej základne na 50 us/d, čomu v prípade osciloskopu M621 zodpovedá vzorkovacia frekvencia 1 MHz (Vid' obr. 18).

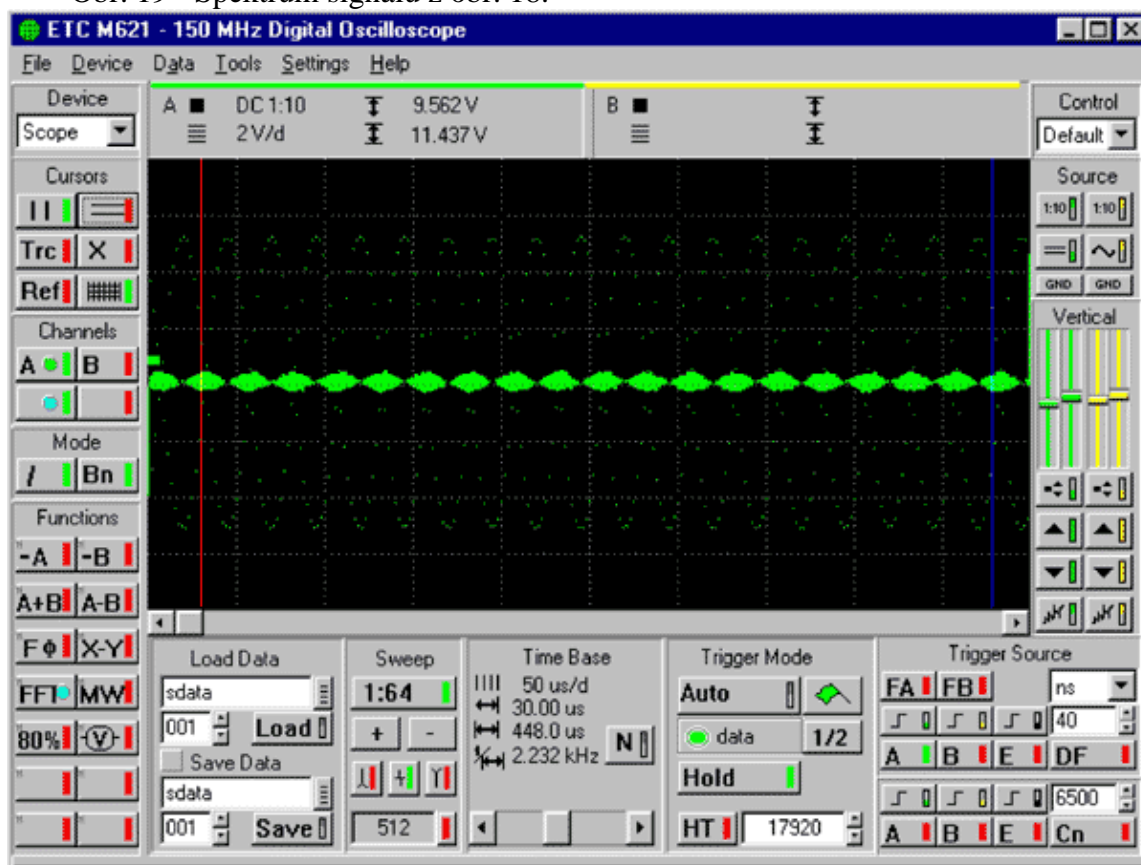


Obr. 18 - Harmonický signál s frekvenciou 20 kHz meraný osciloskopom s frekvenciou vzorkovania nastavenou na 1MHz. Vertikálne kurzory vymedzujú časť priebehu, na ktorý je aplikovaná Fourierova transformácia.

Aplikovaním Fourierovej transformácie, ktorá je súčasťou programového vybavenia osciloskopu, na úsek vyznačený vertikálnymi kurzormi je možné získať spektrum meraného signálu (vid'. Obr. 19). Podľa očakávania je spektrum tvorené jediným harmonickým signálom s frekvenciou 20 kHz.

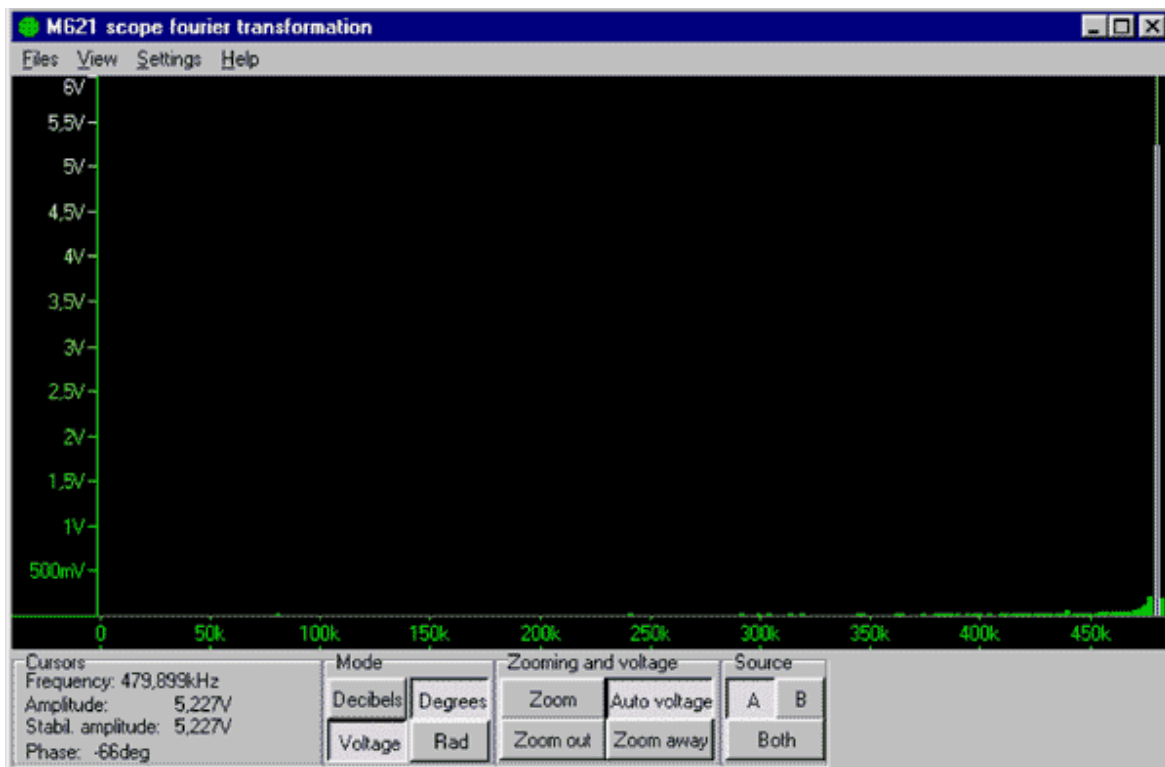


Obr. 19 - Spektrum signálu z obr. 18.

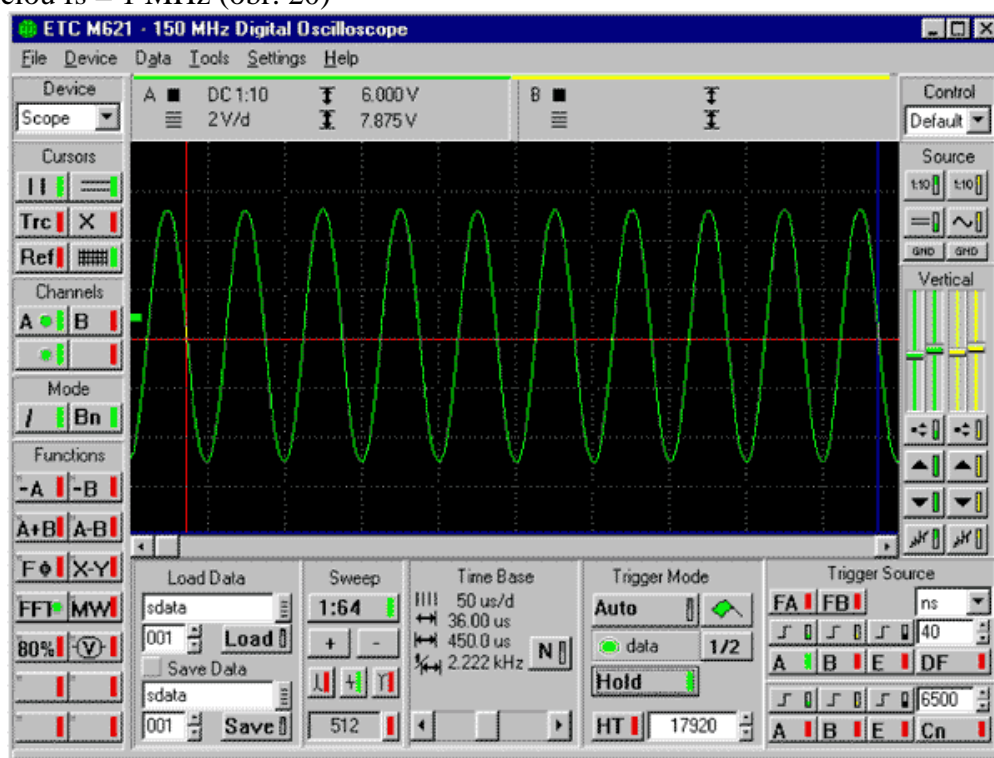


Obr. 20 - Zobrazenie harmonického signálu s frekvenciou 520 kHz, vzorkovaného frekvenciou 1MHz

Zmeňme frekvenciu generátora na 520 kHz. Na obrazovke osciloskopu sa objaví priebeh podľa obr. 20. Ak na zobrazený signál aplikujeme Fourierovu transformáciu, získame spektrum podľa obr. 21. Zo spektra je patrné, že sme vďaka „aliasing efektu“ namerali harmonický signál s frekvenciou 480 kHz (479.899 kHz) a amplitúdou rovnou skutočnému meranému signálu.

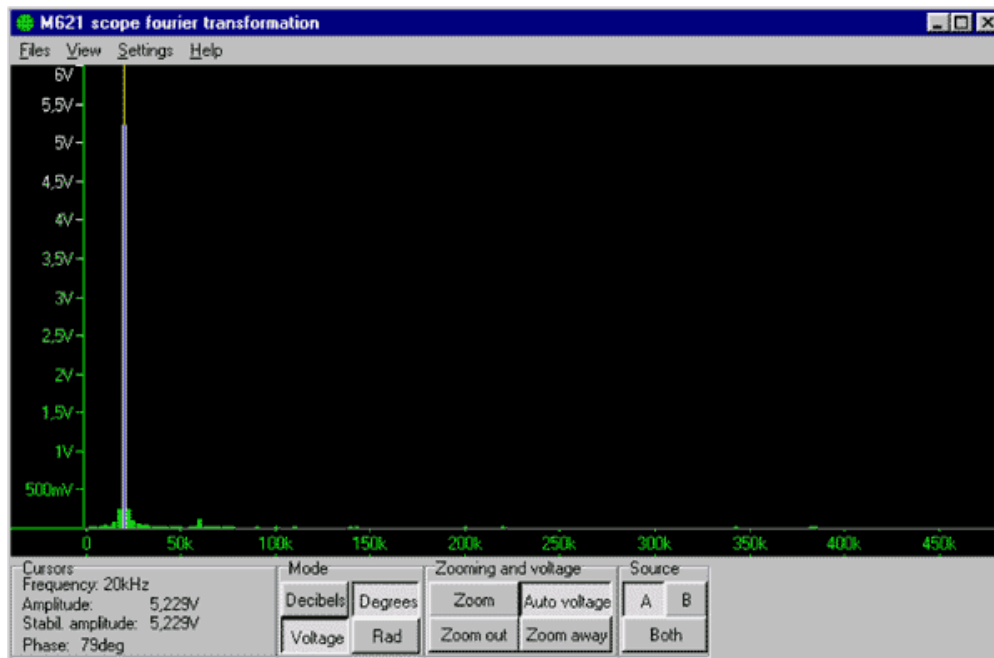


Obr. 21 - Spektrum harmonického signálu s frekvenciou $f = 520$ kHz vzorkovaného frekvenciou $f_s = 1$ MHz (obr. 20)



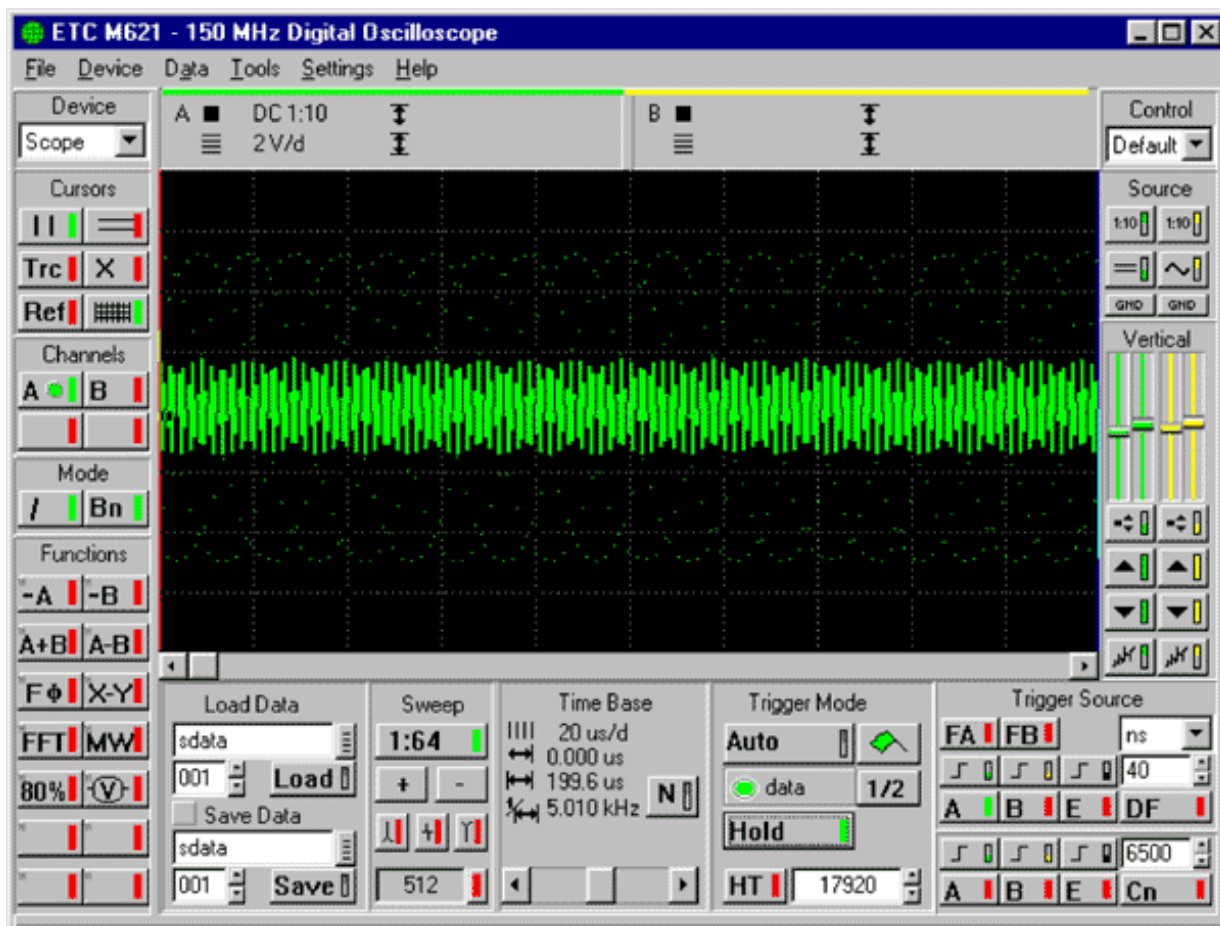
Obr. 22 - Zobrazenie harmonického $f = 1020$ kHz vzorkovaného frekvenciou $f_s = 1$ MHz

Zmeňme frekvenciu harmonického signálu na 1020 kHz a pokúsme sa ho pri rovnakom nastavení časovej základne zobraziť. Podľa očakávania nameráme harmonický signál s frekvenciou asi 20 kHz (viď obr. 22). Analýza spektra iba potvrdí to, čo je patrné z obrazovky osciloskopu (obr. 23).



Obr.23 - Spektrum harmonického signálu s frekvenciou $f = 1020$ kHz, vzorkovaného frekvenciou $f_s = 1$ MHz

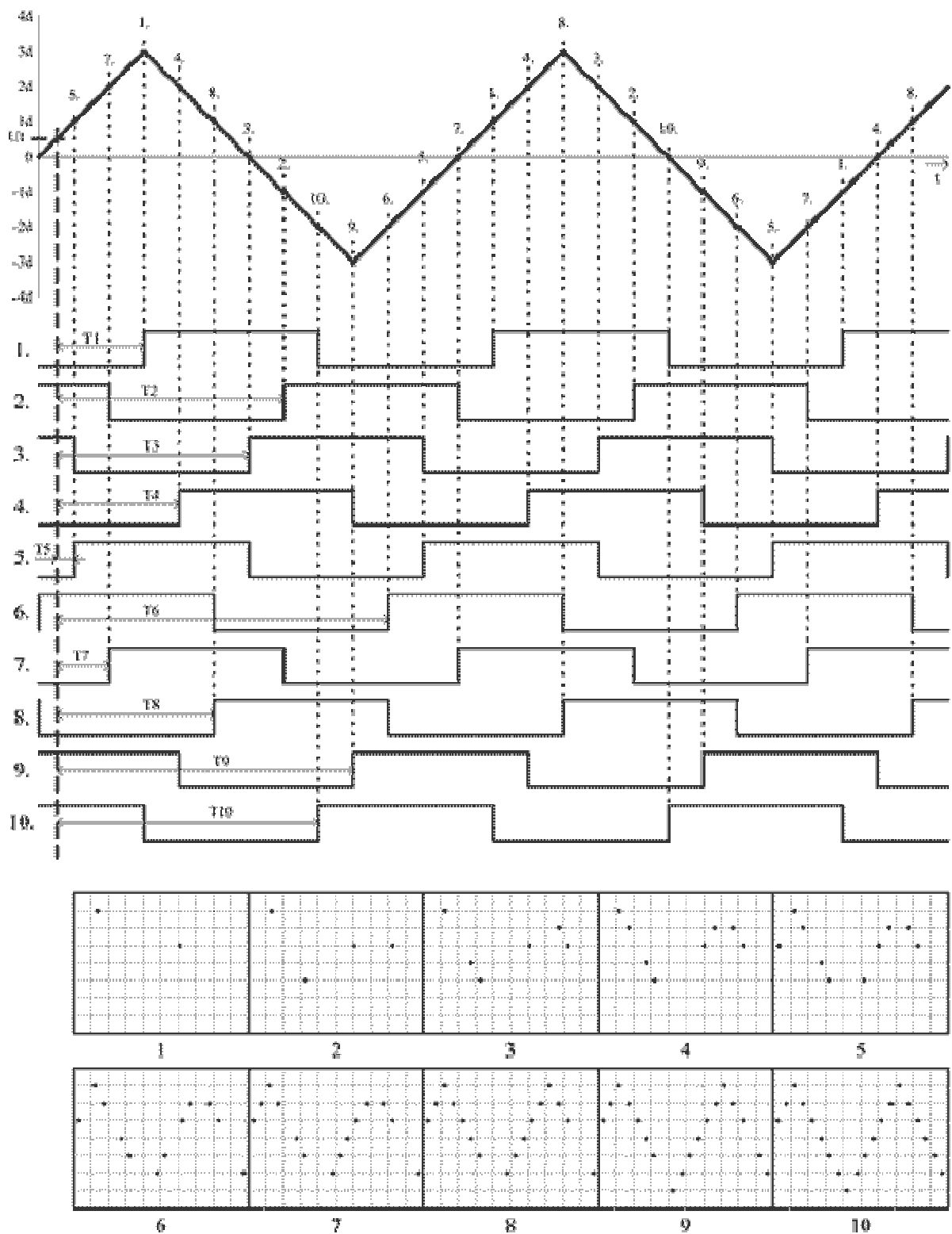
Je namieste otázka, ako sa vyvarovať chybám merania, ktoré „aliasing efekt“ môže spôsobiť. Podrobnejšou analýzou priebehu z obr. 22 odhalíme, že horizontálna poloha priebehu nezodpovedá nastaveným spúšťacím podmienkam zberu dát (nastavená úroveň spúšťacieho signálu nezodpovedá skutočnému začiatku zberu). Je to spôsobené tým, že vzorkovací signál nie je synchronný s meraným. V prípade, ak analyzujeme tvar signálu, ktorý sa vyskytol len jednorazovo (nie je periodický), je nutné skúmať, či umiestnenie nameraného signálu zodpovedá nastaveniu podmienok spúšťania. Ak zobrazujeme signál, ktorý sa periodicky vyskytuje v režime AUTO, alebo NORMAL nebude signál, ktorý je produktom „aliasing efektu“ synchronizovateľný (v horizontálnom smere bude na obrazovke nestabilný). Inou metódou na odhalenie signálu, ktorý je výsledkom aliasing efektu je postupné zvyšovanie frekvencie vzorkovania (prepínanie časovej základne smerom ku kratším časom). Ak sa nameraný priebeh aj pri niekoľkonásobnom prepínaní správa korektne, je pravdepodobné, že je skutočný. Príkladom je priebeh z obr, 24, kde je tvar signálu z obr. 22 zobrazený s časovou základňou nastavenou na 20 us/d ($f_s = 2.5$ MHz).



Obr. 24 - Harmonický priebeh s frekvenciou $f = 1020$ kHz vzorkovaný frekvenciou $f_s = 2.5$ MHz.

5. Maximálna vzorkovacia frekvencia pre opakované deje

Ak chceme vyrobiť digitálny osciloskop s frekvenčným rozsahom vertikálnych zosilňovačov f_h , minimálna vzorkovacia frekvencia, ktorá umožní využiť ich frekvenčný rozsah bude $f_s = 2 \cdot f_h$. Komfortu merania však prispeje, ak je maximálna vzorkovacia frekvencia vyššia. Tak osciloskop s $f_h = 150$ MHz by mal byť schopný vzorkovať s frekvenciou minimálne 300 MHz. Komfort meraní by však zvýšilo, ak by to dokázal s frekvenciou 3 GHz. Prevodníky s takouto vzorkovacou frekvenciou predstavujú technologickú špičku a cenovo sú pre osciloscipy nižšej cenovej triedy (napríklad virtuálne prístroje) nedostupné.



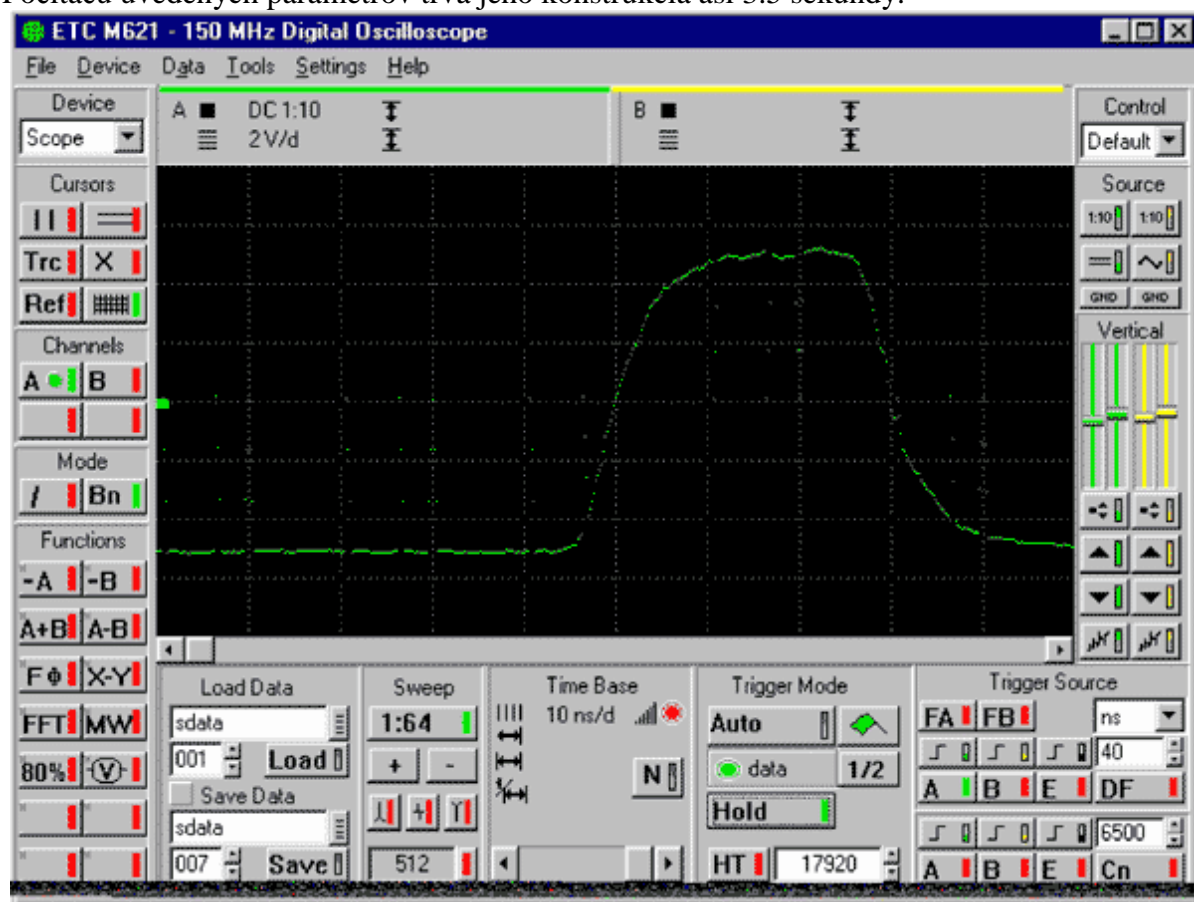
Obr.25 - Princíp náhodného vzorkovania

Z uvedených dôvodov bola vyvinutá technológia vzorkovania, ktorá je aplikovateľná na periodicky sa opakujúce deje a býva označovaná termínom „náhodné vzorkovanie“, alebo aj termínom „ekvivalentné vzorkovanie“. Využíva skutočnosť, že vzorkovaný priebeh sa periodicky opakuje a taktovacie impulzy vzorkovania sú vzhľadom na periódu meraného signálu asynchrónne. Obrázok 25 ukazuje princípnáhodného vzorkovania trojuholníkového signálu. Predpokladajme, že prah spúšťania zberu dát je nastavený na hodnotu U_t a je nastavené spúšťanie na nábežnú hranu meraného signálu. Pod meraným signálom je zobrazený vzťah taktovacích impulzov pri desiatich nasledujúcich zberoch dát. Čísla 1 až 10 označujú poradové číslo zberu. Pretože sú výskytu meraného signálu a taktovacieho signálu zberu dát asynchrónne, vzdialenosť prvej aktívnej hrany (v našom prípade nábežnej) taktovacieho impulzu od výskytu spúšťacej udalosti (fáza merania) je náhodná (T1 až T10).

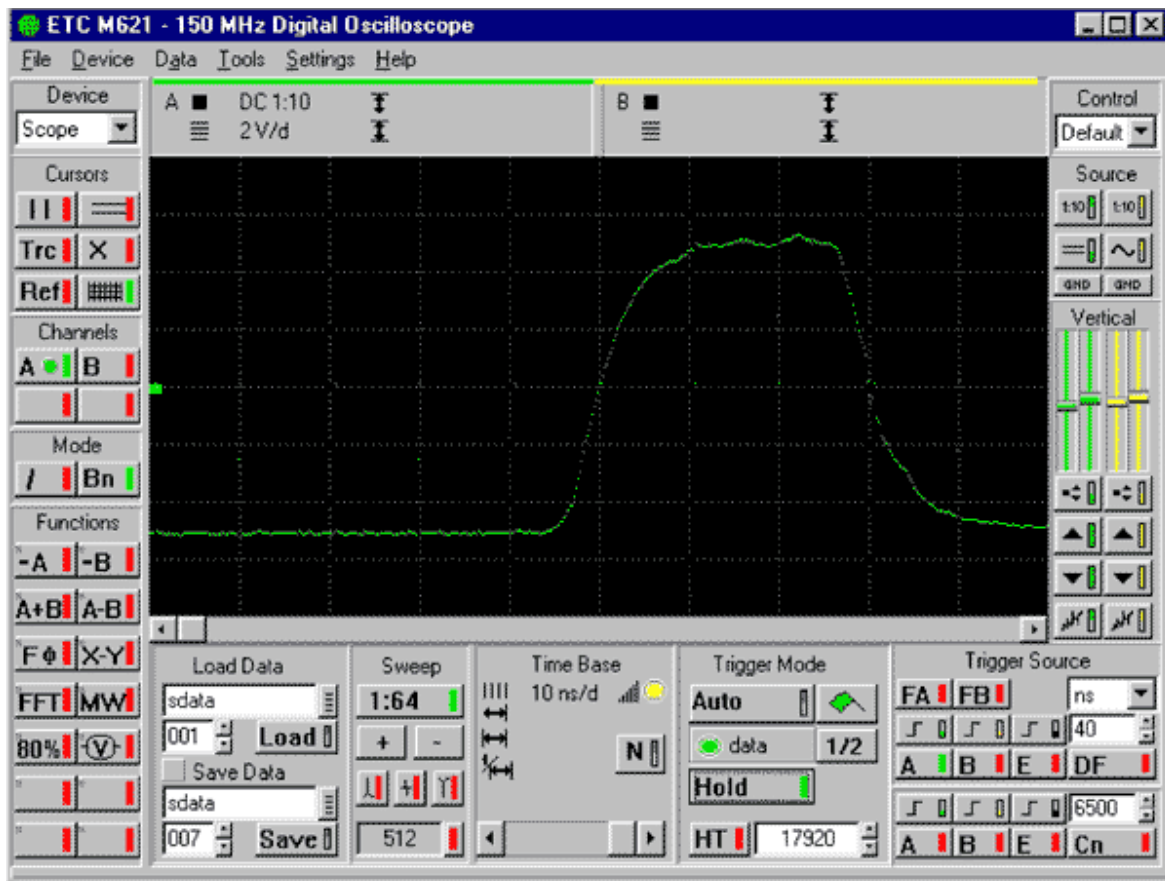
Ak poznáme túto vzdialenosť, môžeme určiť vzájomnú polohu nameraných údajov a takto postupne zložiť na obrazovke meraný priebeh.

Ak chceme metódou náhodného vzorkovania „vynásobiť“ vzorkovaciu frekvenciu N krát, budeme k tomu potrebovať minimálne N nasledujúcich meraní. Vo väčšine prípadov však bude potrebných viacero meraní, pretože vzhľadom na náhodnosť procesu sa niekoľkokrát môžu opakovať merania s rovnakou fázou.

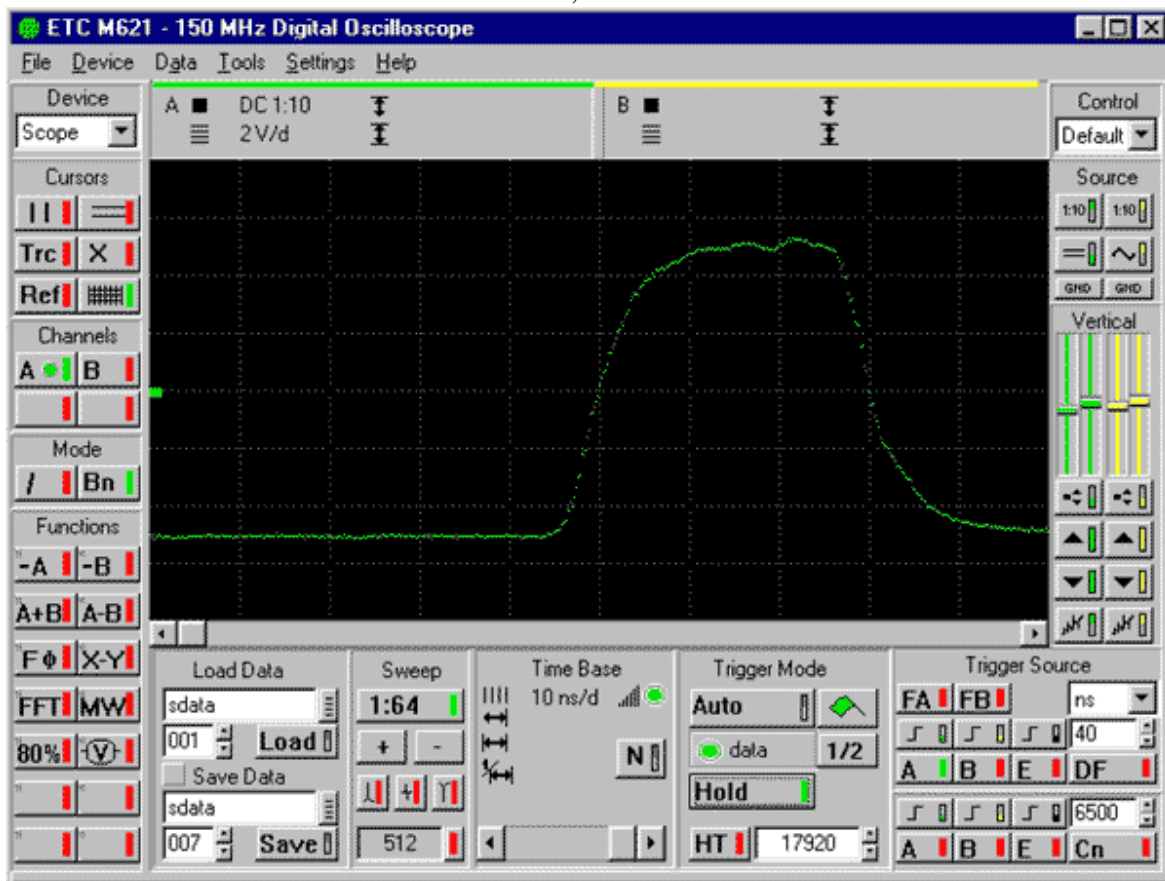
Tak napríklad osciloskop M621 potrebuje pre dosiahnutie ekvivalentnej vzorkovacej frekvencie 5GHz minimálne 100 meraní. Prakticky však potrebuje pre obzorkovanie 90% priebehu asi 180 meraní a 100% priebehu až 400 meraní. Pretože jedno meranie a zobrazenie výsledku trvá asi 5 ms (závisí od výkonu počítača), s úplne navzorkovaným priebehom je možné počítať až po uplynutí 2s po začatí merania (alebo zásadnej zmene signálu). Priebeh, ktorý obsahuje 90% informácií o tvare signálu je už dobre použiteľný. Z tohto dôvodu je vhodné implementovať tzv. metódu predikcie tvaru signálu (Shape Prediction (SHP)), ktorá sa snaží z nameraných bodov ich interpoláciou vytvoriť spojitý signál. Ak má táto metóda použiteľne fungovať, musí mať zabudovaný mechanizmus kontroly, či sa namerané hodnoty významne neodlišujú od predpokladaných a v takýchto prípadoch začať celý proces znova. Je vhodné, ak sa citlivosť na popisovanú zmenu dá nastavovať. Na obrázku 26a,b,c je zobrazený tvar signálu vytvorený metódou náhodného vzorkovania bez použitia predikcie tvaru. Pri meraní bol použitý PC kompatibilný počítač s procesorom typu 486 a taktovacou frekvenciou 166 MHz (počítač s nižším výkonom bol použitý preto, aby sa podarilo zachytiť všetky tri fázy vzorkovania). Obrázok 26a zobrazuje priebeh vytvorený z menej ako 90% nameraných bodov, ktorý sa vytvorí prakticky okamžite po štarte merania (alebo zmene meraného signálu). Obrázok 26b zobrazuje priebeh z viac ako 90% nameraných bodov, ktorý sa vytvorí spravidla do 1.5s po začatí merania. Obrázok 26c je priebeh so 100% nameranými bodmi. Počítaču uvedených parametrov trvá jeho konštrukcia asi 3.5 sekundy.



Obr. 26a - Vzorkovací režim bez SHP, 500 ms od začiatku merania

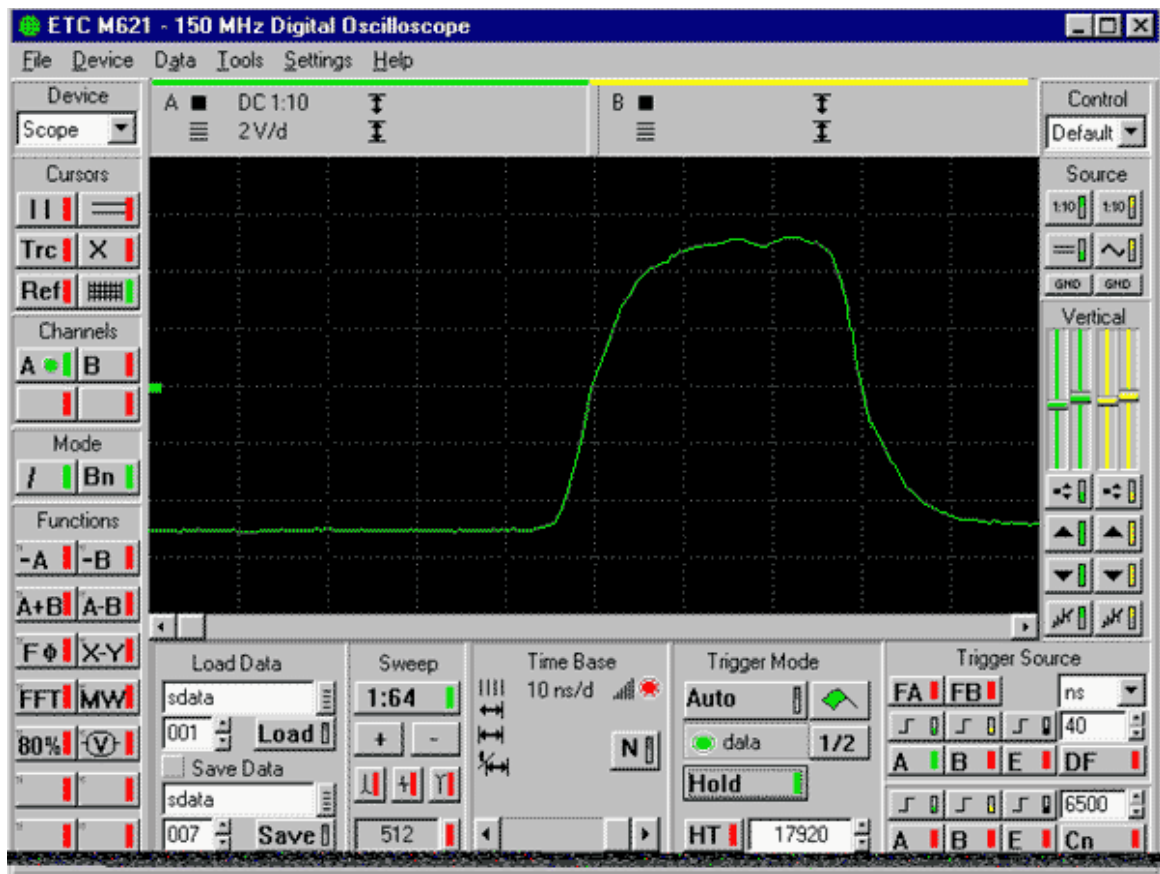


Obr. 26b - Vzorkovací režim bez SHP, 1,5s od začiatku merania

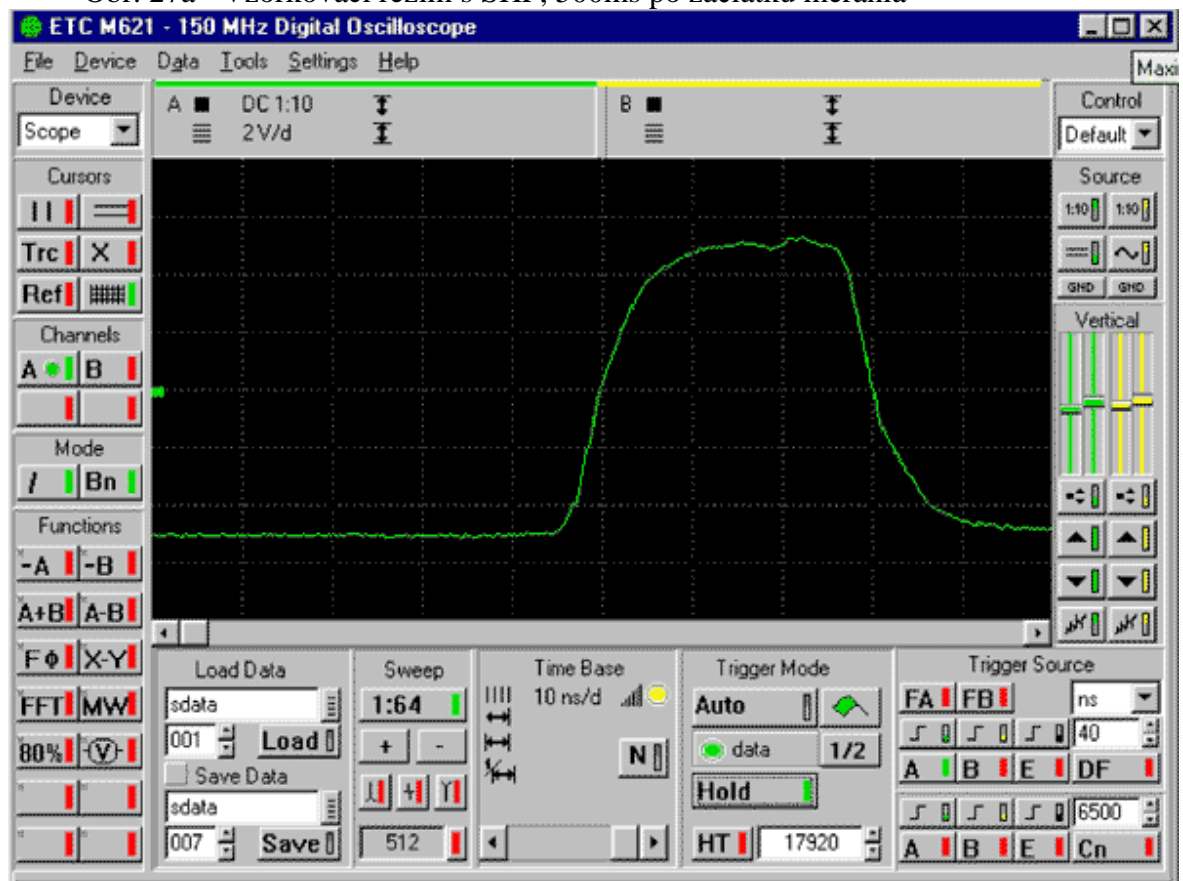


Obr. 26c - Vzorkovací režim bez SHP, 3,5s od začiatku merania

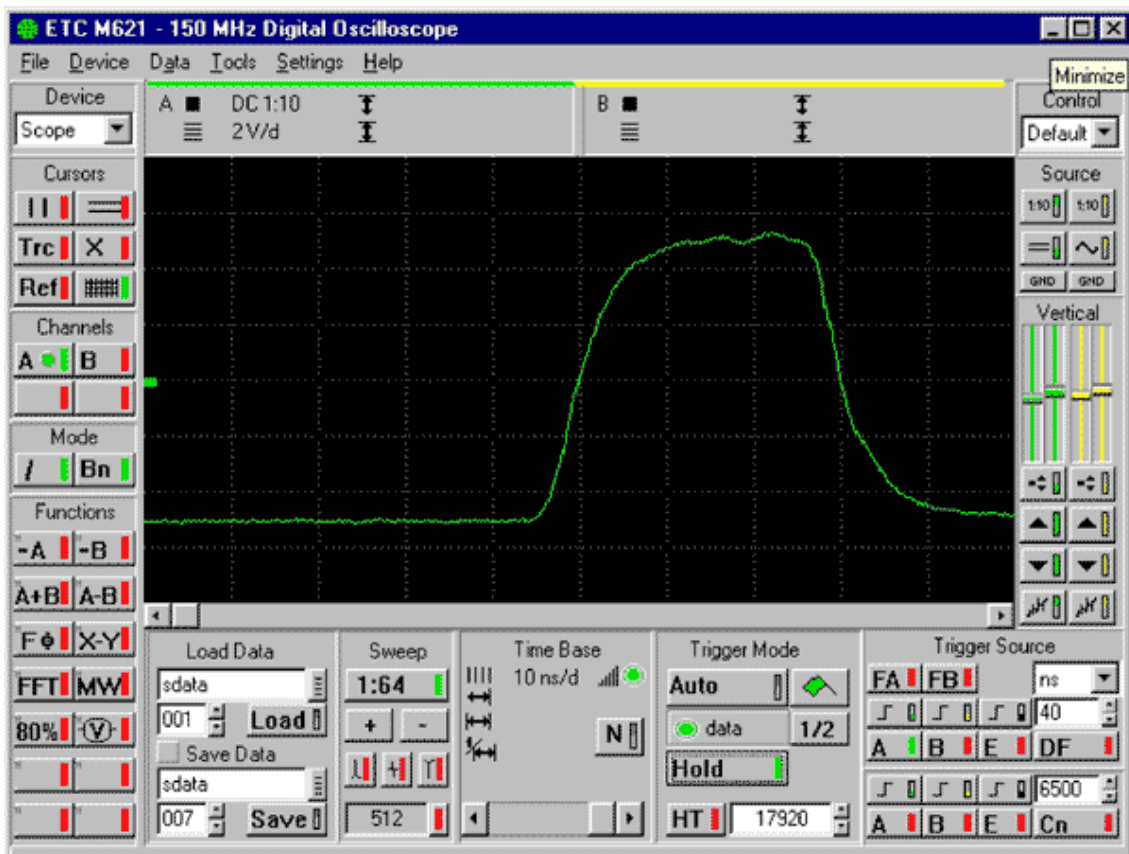
Na obrázkoch 27a,b,c sú zobrazené merania rovnakého signálu so zapnutou predikciou tvaru. Ak porovnáme obrázky 27a a 27c nezistíme významných rozdielov aj keď v prvom prípade je navzorkovaných menej ako 90% bodov a v druhom všetky.



Obr. 27a - Vzorkovací režim s SHP, 500ms po začiatku merania



Obr. 27b - Vzorkovací režim s SHP, 1.5s po začiatku merania



Obr. 27c - Vzorkovací režim s SHP, 3.5s po začiatku merania

Ak pracuje osciloskop vo vzorkovacom režime je veľmi dôležité, aby bol spúšťací signál merania dobre definovaný, inak môže byť ustálenie meraného signálu problematické.

Peter Gubiš ETC R&D

DOWNLOAD & Odkazy

- [Obsah seriálu](#)
- Pokračování popisu parametrů osciloskopů - [Spouštění a záznam průběhů](#)
- Rozdělení osciloskopů podle principu činnosti - [Osciloskopy - principy činnosti](#)
- ETC - Stránka výrobce (nejen) osciloskopů na [HW.cz](#)
- [Osciloskopy a jejich použití](#) - Kniha věnovaná principům osciloskopů
- [Osciloskopy od A do Z](#) - Rozsáhlá publikace jež zodpoví téměř všechny otázky týkající se osciloskopů

Základné parametre digitálnych osciloskopov a ich význam IV

Redakce, 1. Listopad 2003 - 1:00

- [Dokumentace](#)

Poslední díl seriálu o základních vlastnostech osciloskopů je věnován možností spouštění a záznamem dat.

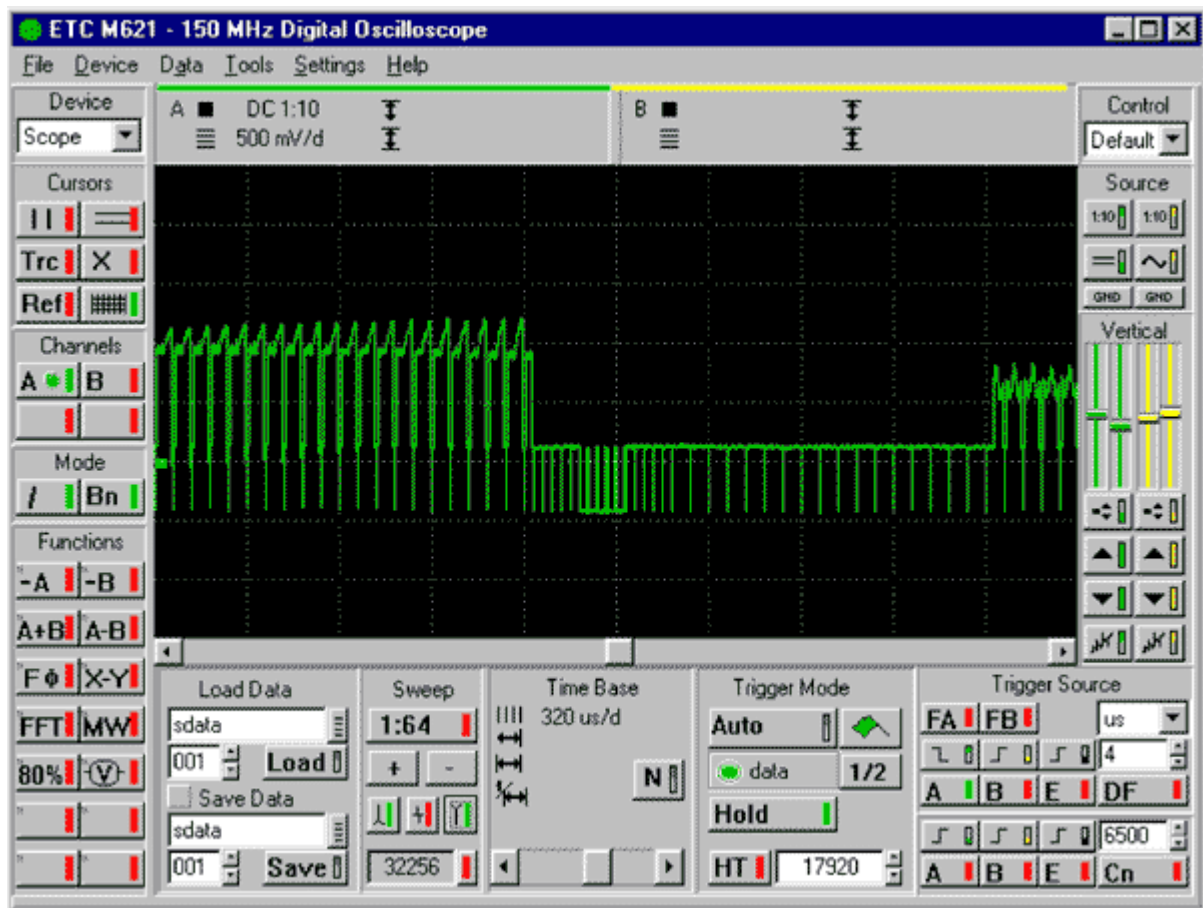
6. Možnosti spúšťania zberu dát

Každý osciloskop by mal umožňovať nastavenie štartu zberu dát aspoň nasledujúcimi spôsobmi:

- nastaviť úroveň napätia, pri ktorej sa spúšťacia udalosť uskutoční
- nastaviť smer zmeny spúšťacieho napätia, ktorá sa bude za spúšťaciu udalosť považovať.

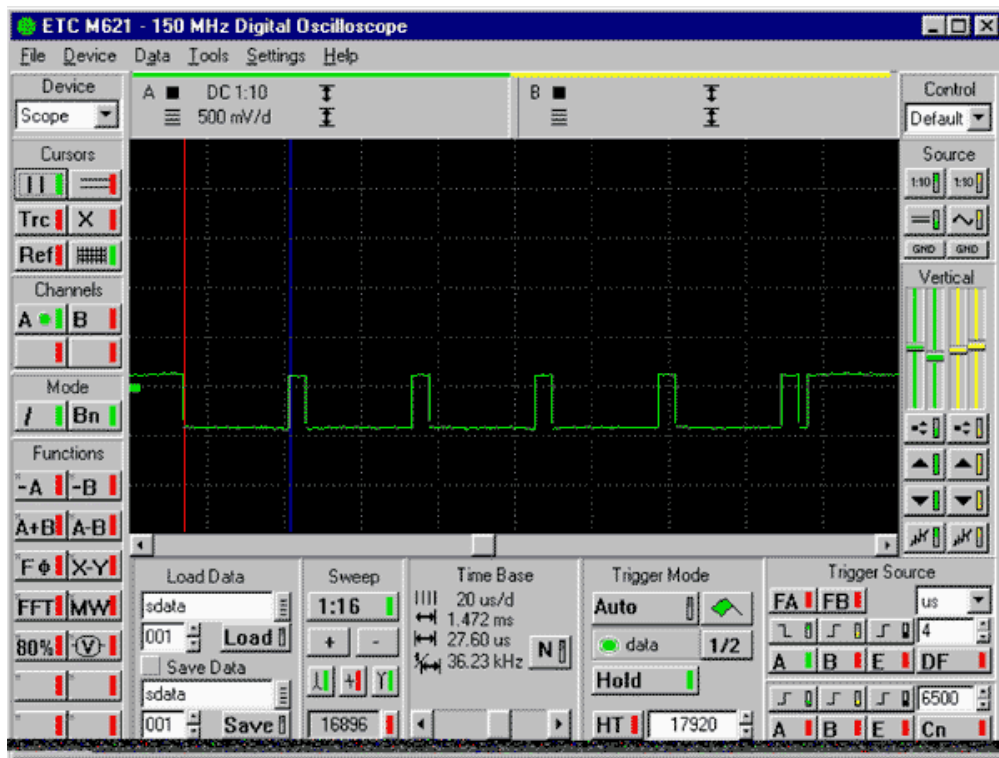
Prácu s prístrojom uľahčí, ak je možné zvoliť z rôznych zdrojov spúšťacieho napätia, prípadne za spúšťaciu udalosť považovať výsledok matematickej operácie nad niekoľkými zdrojmi.

Pri zložitých meraniach je možné s výhodou využiť aj operácie nad spúšťacími udalosťami v časovej oblasti, prípadne niekoľkoúrovňové spúšťacie systémy, ktorými je možné definovať postupnosť spúšťacích udalostí. Ako príklad zložitej spúšťacej udalosti vysvetlíme spôsob nastavenia spúšťacieho systému virtuálneho digitálneho osciloskopu M621 tak, aby sa na obrazovke zobrazil n-tý riadok kompozitného videosignálu z čiernobielej CCD kamery (OSCAR). Ako prvú úlohu, ktorú treba vyriešiť, je nájsť takú spúšťaciu udalosť, ktorá bude v cykle práce kamery unikátna. Unikátnou udalosťou je v tomto prípade vertikálny (snímkový) synchronizačný impulz. Oblasť okolo snímkového synchronizačného impulzu je zobrazená na obrázku 28.

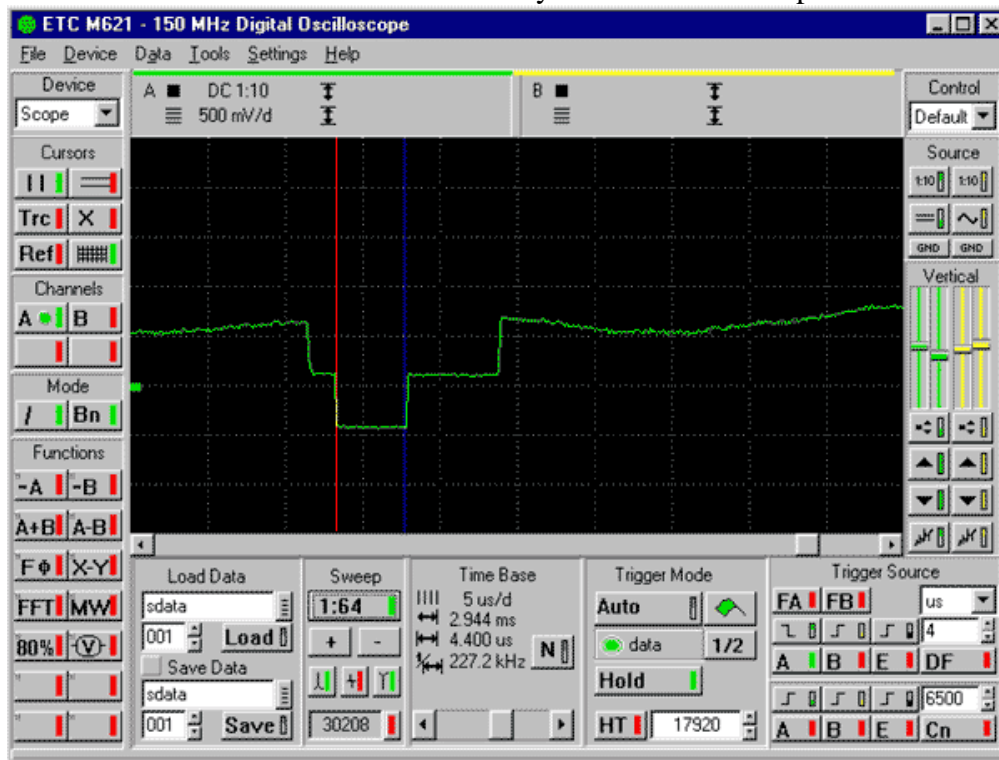


Obr. 28 - Oblasť okolo snímkového synchronizačného impulzu

Treba si všimnúť, že synchronizačné a videosignály sú jasne oddelené úrovňou napätia. Videosignály nezasahujú do úrovne nízkych napätí, kde sú synchronizačné impulzy, ktoré sú neviditeľné, lebo sú pod úrovňou čiernej. Na obrázku je patrná oblasť v čase, kde je vidieť posledné a prvé riadky obrazu a medzi nimi zatemnený pás, kde sa nachádza snímkový synchronizačný impulz. Na obrázku 29 je zobrazený detail tohto impulzu. Ako je vidieť, snímkový synchronizačný impulz je rozdelený na niekoľko impulzov, ktoré slúžia na zabezpečenie riadkovej synchronizácie. Ako je z obr. 29 patrné, trvanie nulovej úrovne týchto impulzov je 27.6 us.

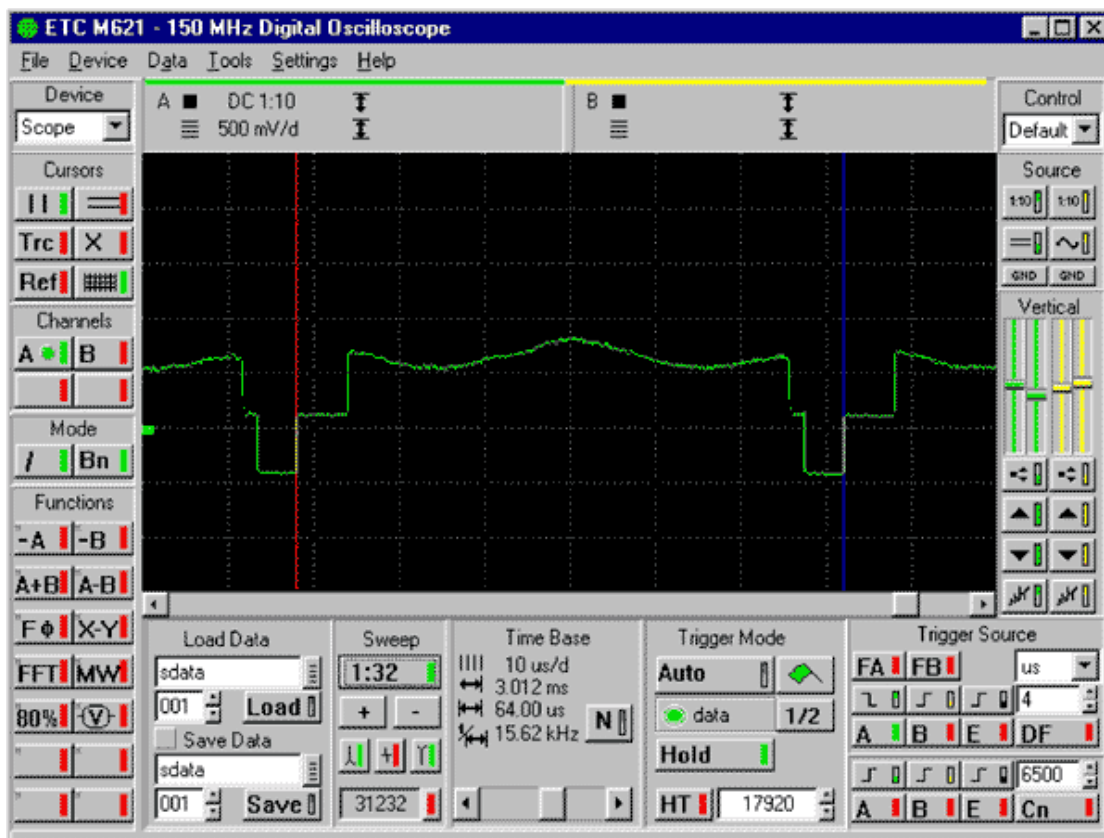


Obr. 29 - Detail snímkového synchronizačného impulzu

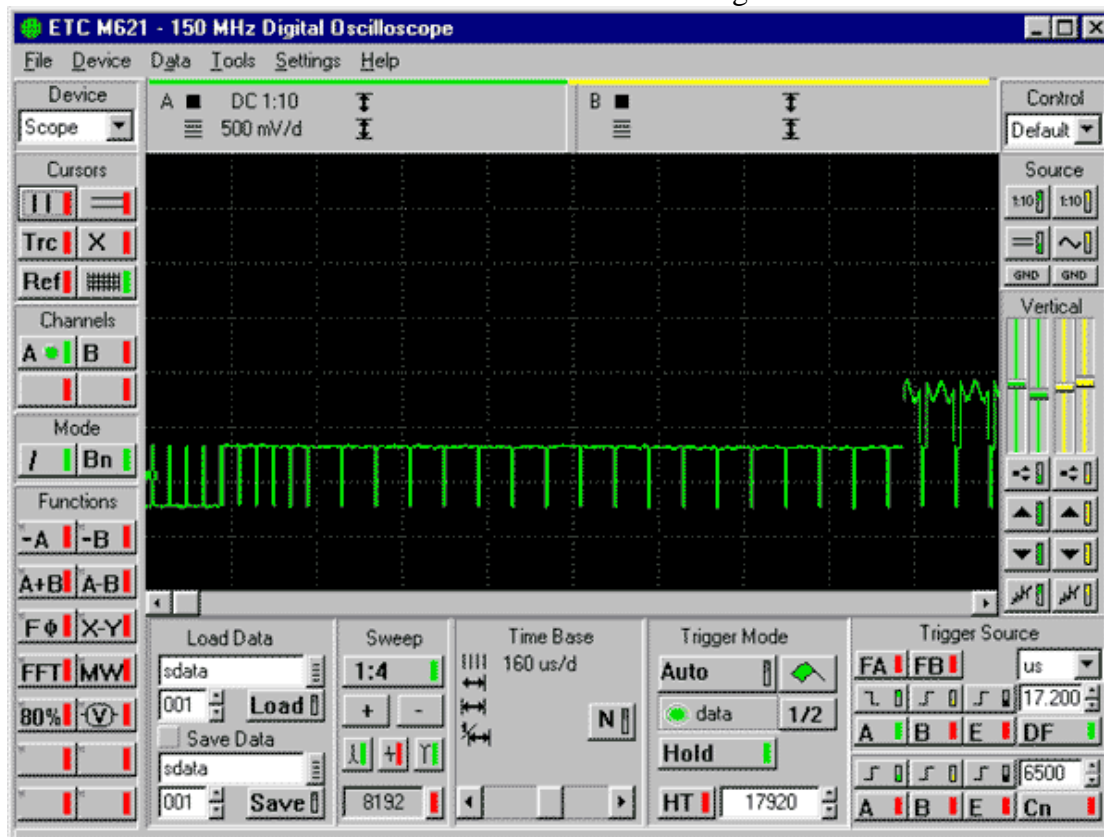


Obr.30 - Detail riadkového synchronizačného impulzu

Riadkové synchronizačné impulzy majú dĺžku 4.4 us, ako je to patrné z obr.30. Spúšťačiu udalosť treba konštruovať teda tak, že prvá udalosť, na ktorú budeme čakať, je výskyt synchronizačného impulzu s dĺžkou väčšou ako 4.4, ale menšou ako 27.6 us. Potom budeme čakať na taký počet synchronizačných impulzov, ktorý sa po prvom impulze snímkového synchronizačného signálu vyskytne pred tým riadkom videosignálu, ktorý chceme vidieť. Musíme tiež zistiť, ako treba nastaviť časovú základňu osciloskopu, aby bol celý riadok viditeľný. Ako je z obr. 31 zrejmé, čas medzi dvoma riadkovými synchronizačnými impulzmi je 64 us. K tomu, aby bol viditeľný celý riadok, bude treba časovú základňu nastaviť na rýchlosť 10 us/d. Ďalej musíme zistiť, koľko synchronizačných impulzov sa vyskytne medzi prvým impulzom vertikálneho synchronizačného signálu a začiatkom prvého riadku obrazu.



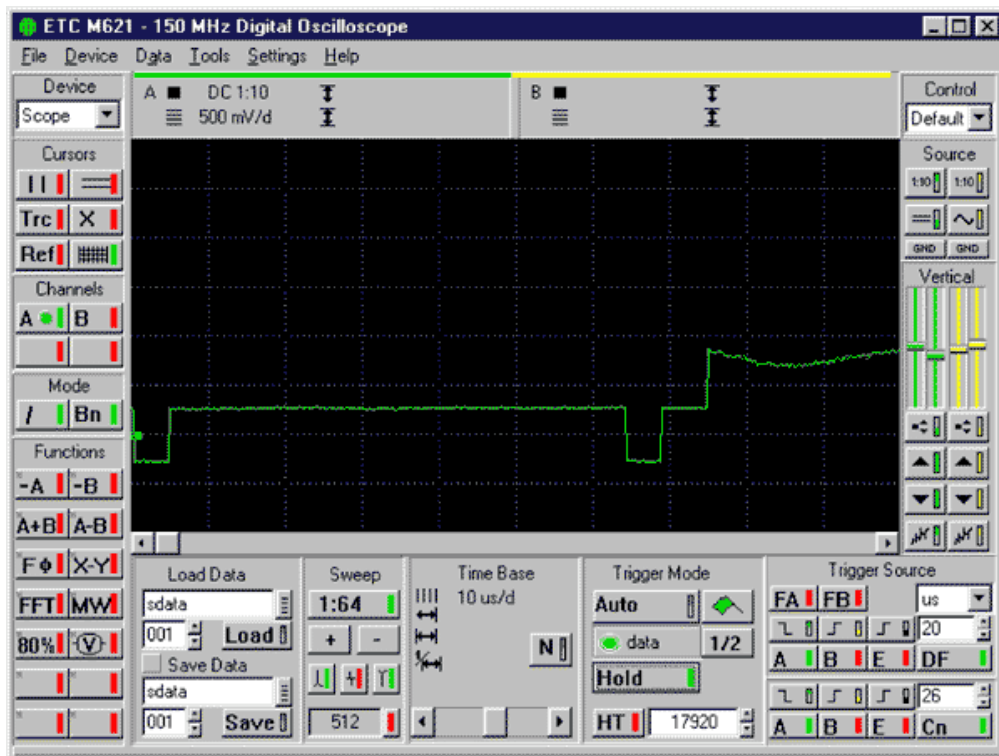
Obr. 31 - Riadok videosignálu



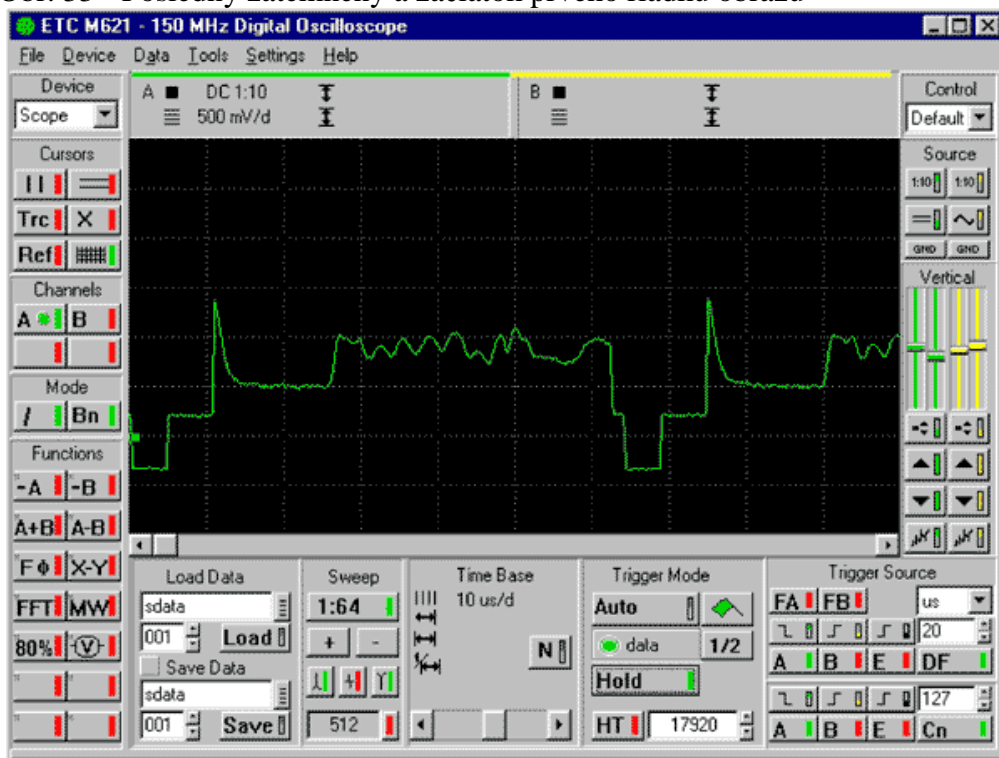
Obr. 32 - Detail oblasti medzi snímkovým synchronizačným signálom a prvým riadkom

Z obrázku 32 vidíme, že medzi týmito bodmi je 27 záverných hrán synchronizačných impulzov. Ak teda aktivujeme digitálny filter v prvej úrovni spúšťania a nastavíme minimálnu dĺžku nulovej hodnoty impulzu na 20 us, donútime tak spúšťacie obvody osciloskopu čakať na prvý impulz s nulovou hodnotou minimálne 20 us, čo je práve prvý impulz snímkovvej synchronizačnej udalosti. Ak potom druhú úroveň spúšťacích obvodov nastavíme tak, aby bola riadená závernou hranou rovnakého signálu a počet výskytov tohto signálu nastavíme na

26, bude viditeľný posledný zatemnený a začiatok prvého aktívneho riadku obrazovky (viď obr. 33).



Obr. 33 - Posledný zatemnený a začiatok prvého riadku obrazu



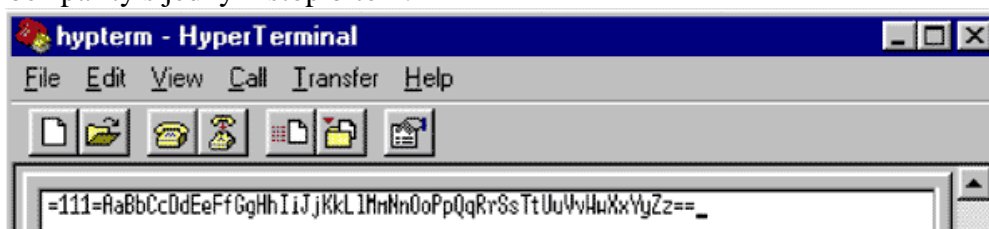
Obr. 34 - Zobrazenie stého (a začiatku stoprvého) riadku obrazu

Nastavením hodnoty parametra funkcie Cn (počet synchronizačných udalostí na druhej úrovni) je teraz možné jednoducho zobraziť ktorýkoľvek riadok obrazu (viď obr. 34).

7. Maximálna možná dĺžka záznamu

Pre zobrazenie meraného priebehu na obrazovke je potrebné zbierať iba malý počet dát (cca 500 bodov pre každý kanál), pretože väčší počet je vzhľadom na zobrazovacie možnosti obrazovky zbytočný. Ak však potrebujeme analyzovať s veľkou rozlišovacou schopnosťou dlhšie deje, uvítame, ak je osciloskop schopný zozbierať oveľa väčší počet bodov, ako je to pre zobrazenie priebehu na obrazovke potrebné. V takomto prípade je treba zabezpečiť možnosť orientácie v celom nameranom priebehu. Ako ilustračný príklad uveďme meranie výstupu sériového asynchrónneho komunikačného kanálu RS232. Sledujme prenos

bloku dát (obr.35), pričom vieme, že dáta sa vysielajú rýchlosťou 9600 Baud v osembitovom formáte bez parity s jedným stop bitom.



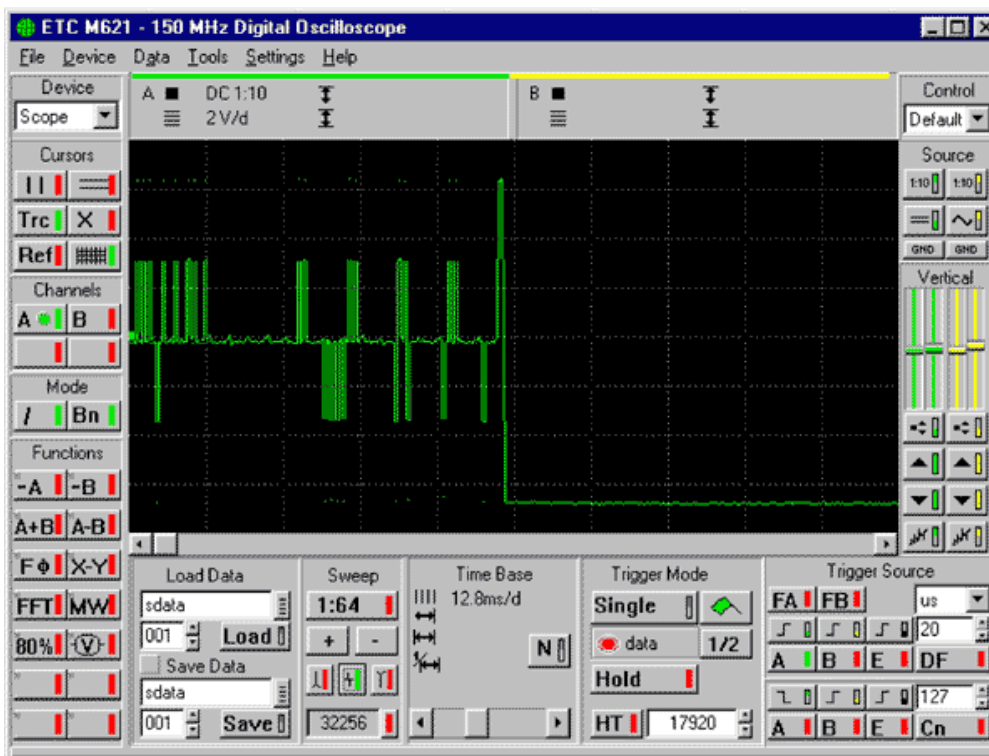
Obr.35 - Blok dát vysielaný kanálom RS232

Prenos jedného bajtu bude teda trvať asi 1.04 ms. Prenos celého bloku, ktorý sa skladá zo 59 znakov, bude trvať 61.36 ms. Ak by sme chceli zobrazit' celú sekvenciu na obrazovke, museli by sme rýchlosť časovej základne nastaviť na 10 ms/d, čomu zodpovedá vzorkovacia frekvencia 5 kHz. Je zrejme, nazbierané dáta by boli nepoužiteľné. Riešením nášho problému je zozbieranie väčšieho počtu dát, než je možné priamo zobrazit' na obrazovke, a využit' zobrazovacie a navigačné možnosti osciloskopu k ich vyhodnoteniu. Ak použijeme osciloskop ETC M621, ktorý dovoľuje zozbierať až 32000 bodov dát pre každý kanál, môžeme časovú základňu prepnúť na rýchlosť 200 us/d a potom nastaviť režim zobrazenia všetkých nazbieraných dát. Ak stojíme pred úlohou zobrazit' na obrazovke, ktorá má rozmer 500 bodov v horizontálnom smere, všetky dáta, musíme si uvedomiť, do jedného bodu obrazovky zobrazujeme 64 nameraných bodov. To, čo na obrazovke uvidíme, veľmi záleží na tom, akým spôsobom zobrazíme 64 nameraných bodov do jedného.

Osciloskop M621 ponúka niekoľko možností:

- zobrazenie strednej hodnoty z nameraných bodov
- zobrazenie maximálnej hodnoty z nameraných bodov
- zobrazenie minimálnej hodnoty z nameraných bodov
- zobrazenie vertikálnej čiary začínajúcej na minimálnej a končiacej na maximálnej hodnote z nameraných bodov.

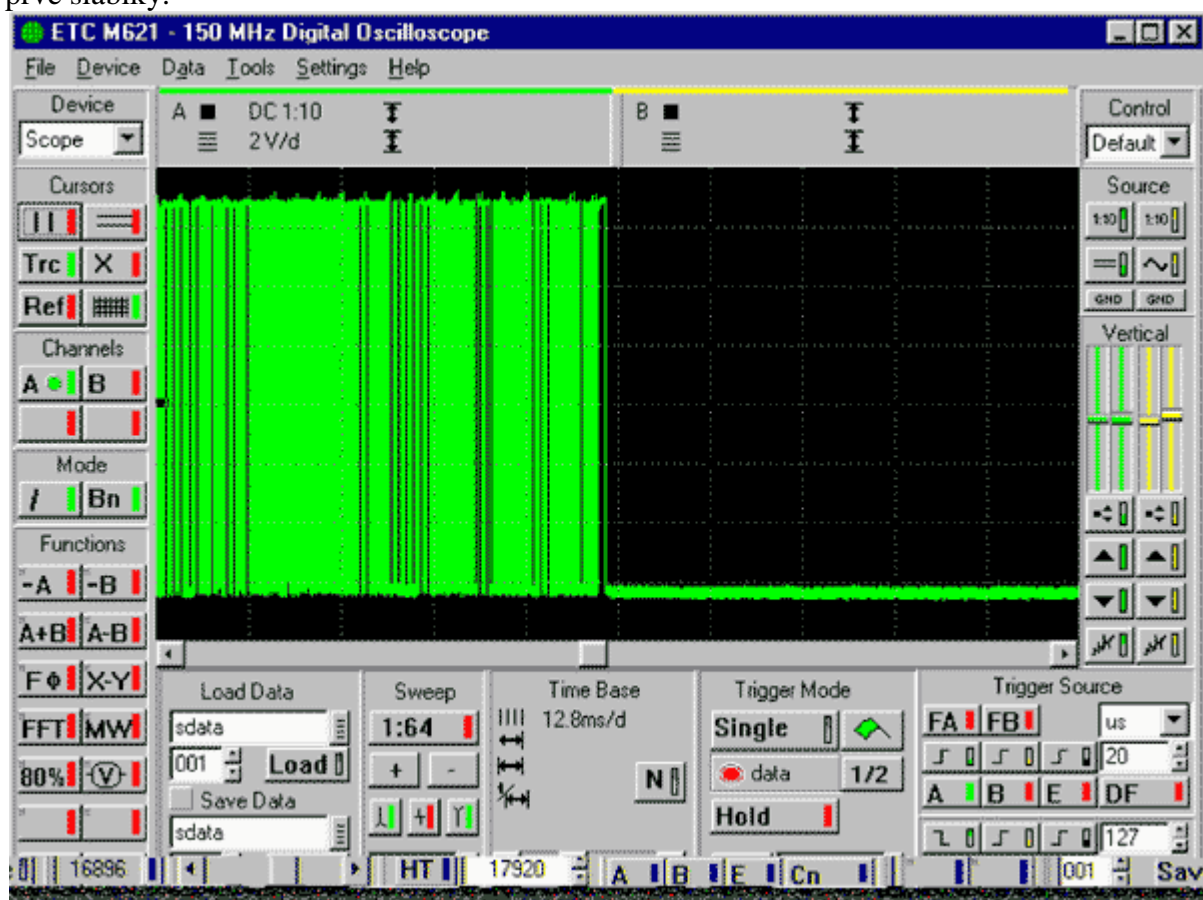
Ak zvolíme nesprávny spôsob zobrazenia, môžeme dostať skreslený obraz skutočnosti.



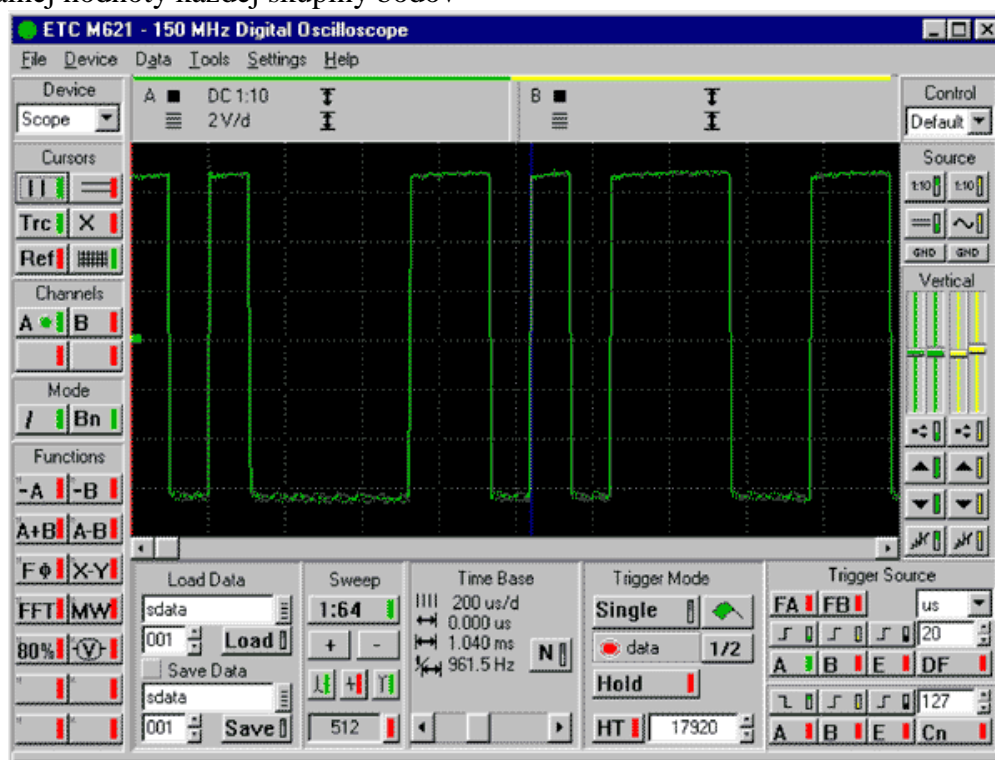
Obr. 36 - Zobrazenie priebehu sériovej komunikácie pri nevhodnom spôsobe zobrazenia (stredná hodnota)

Tak napríklad na obrázku 36 je zobrazená celá sériová komunikácia, avšak pri nastavení zobrazenia strednej hodnoty z nameraných bodov, čo značne skresluje skutočnosť. Ako vhodný spôsob zobrazenia dát sa javí zobrazenie minimálnej a maximálnej hodnoty

každého bodu. Takto zobrazená sériová komunikácia je na obrázku 37. Ako je z obrázku zrejmé, je použiteľný len na hrubú orientáciu. Ak nás zaujímajú detaily, môžeme pomocou rolovacej lišty zvoliť miesto, ktoré nás zaujíma, a po prepnutí zobrazenia do režimu 1:1 sledovať detaily. Na obrázku 38 je zobrazený detail začiatku komunikácie. Sú viditeľné dve prvé slabiky.



Obr. 37 - Zobrazenie priebehu sériovej komunikácie zobrazením minimálnej a maximálnej hodnoty každej skupiny bodov



Obr. 38 - Detail začiatku komunikácie (vertikálne kurzory ohraničujú prvý bajt)

Prvá má binárny tvar 00111101, teda 0x3D hexadecimálne, čo reprezentuje znak „,““. Binárny tvar druhej je 00110001, teda 0x31, čo reprezentuje znak „1“. Takto je možné

analyzovať ktorúkoľvek časť komunikácie, prípadne postupne detailne prezerat' celú postupnosť.

Je možno konštatovať, že aj keď prevažná časť meraní digitálnym osciloskopom je takého charakteru, že nevyžaduje zber väčšieho počtu dát, než je potrebný na priame zobrazenie nameraných priebehov, z času na čas sa vyskytne úloha, ktorá sa bez veľkej pamäte prístroja nedá riešiť, alebo sa rieši veľmi obtiažne. Odporúčam preto, aby digitálny osciloskop, ktorý si zvolíte, umožnil zbierať minimálne 20x väčší počet bodov, než je potrebný pre zobrazenie. Prírodzene použiteľnosť osciloskopu bude v špeciálnych prípadoch tým vyššia, čím je tento pomer väčší.

Peter Gubiš ETC R&D

DOWNLOAD & Odkazy

- [Obsah seriálu](#)
- Rozdělení osciloskopů podle principu činnosti - [Osciloskopy - principy činnosti](#)
- **ETC** - Stránka výrobce (nejen) osciloskopů na [HW.cz](#)
- [Osciloskopy a jejich použití](#) - Kniha věnovaná principům osciloskopů
- [Osciloskopy od A do Z](#) - Rozsáhlá publikace, jež zodpoví téměř všechny otázky týkající se osciloskopů

Zdroj:

<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART947-Zakladne-parametre-digitalnych-osciloskopov-a-ich-vyznam.html>

<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART948-Zakladne-parametre-digitalnych-osciloskopov-a-ich-vyznam-II.html>

<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART949-Zakladne-parametre-digitalnych-osciloskopov-a-ich-vyznam-III.html>

<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART950-Zakladne-parametre-digitalnych-osciloskopov-a-ich-vyznam-IV.html>