

„Hiszem, ha látom (analóg szkóp)
Ha látom, hihetem? (digitális szkóp)“
(PápayZsolt)

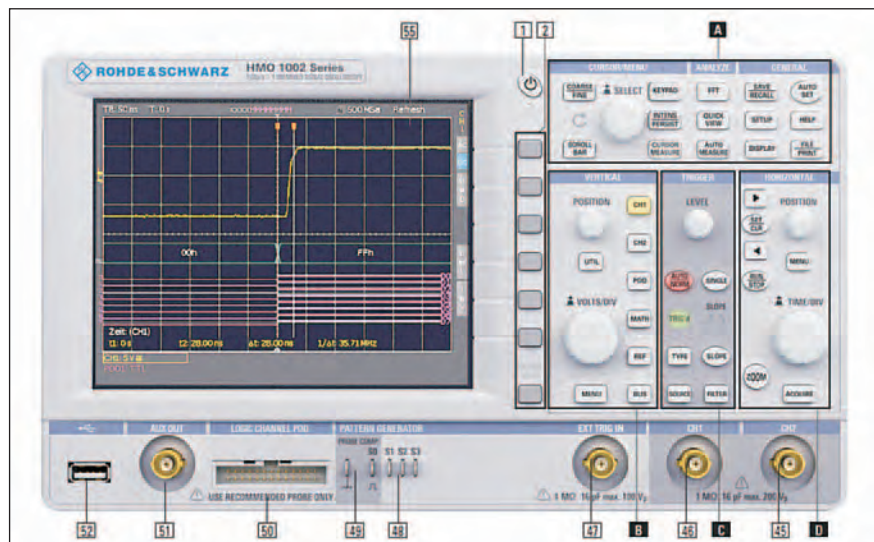
Digitális oszilloszkóp praktikum – kezdőknek

Nagymáté Csaba
villamosmérnök,
nmtecsaba@gmail.com

Megtévesztésig hasonló címmel több, mint 20 évvel ezelőtt jelent meg [1] írásunk az oszcilloszkópok felépítésével, kezelésével ismerkedők hasznos útmutatójaként. Az azóta eltelt sok-sok év alatt felnőtt egy új generáció, akinek akkori közleményünk tematikája – akár változatlan formában is – az újdonság erejével és hasznosságával hathat. Csakhogy nagyot változott a világ. A változás benne van abban az egy szóban, amiben eltér írásunk címe a hivatkozott forrásműtől, s az maga a digitális technológia megjelenése az oszcilloszkóp technikában. A digitális oszcilloszkópok bármilyen szintű megismerése tehát már nem csak egy új generáció feladata, hanem a klasszikus analóg működésmódot ismerők (kényszerű) kötelessége is. Írásunk tehát nem lehet egy korábbi tematika „leporolása”, sokkal inkább annak lesz bizonyítéka, hogy mit is jelent az élethosszig tartó tanulás igénye a gyakorlatban, ami alól jelen sorok írója sem kivétel. A technológiai váltás kényszeríti ki, hogy a gyakorlott szakemberek (újra)kezdők legyenek.

Persze azért vannak időtálló dolgok. A szerző annak tartja pl. egykori professzorának – itt újra megismételt – a méréstechnikához kedvet csináló bevezető gondolatait. Ezek szerint a villamosmérnöknek (s itt most általánosítsunk: az elektronikai szakembernek) munkássága során három dologra van szüksége:

- logarlécra,
- oszcilloszkópra,
- egy sörnyítővel kombinált dugóhúzóra.



Átformálódott világunk, ha eszmeiségekben nem is, de tartalmában némileg átszabta az iménti hármast, mert pl. a matematikai mindentudó logarléc helyét valamely nagyon okos kütyü vette át. A másik két tényező tartja hadállásait, sőt az oszcilloszkóp vonatkozásában annak fontossága sokkal nagyobb, mint az analóg világban volt. (A dugóhúzó kérdésével egy másik cikk keretében lehetne bővebben foglalkozni.)

De mitől vált még fontosabb mérőműszeré az oszcilloszkóp? Korabeli szakmai megállapítás szerint a legsilányabb paraméterekkel rendelkező oszcilloszkóp is több információt nyújt kezelője számára, mint az összes többi műszer együttvéve. Nos ezzel a megállapítással – a többi műszer „védelmében” – már 20-25 évvel ezelőtt is lehetett vitatkozni, de a tény az maga a csoda. Ugyanis látjuk, ami láthatatlan: a villamos folyamatokat, ráadásul azoknak egyszerre több jellemzőjét is. Az oszcilloszkóppal történő mérés még akkor is értékelhető, ha a mérendő jelet nemkívánatos jelenségek kísérik, torzítyják (zaj, gerjedés, vágás stb.). Ilyen esetekben más műszerek „megbolondulnak”, a közvetett mérést is lehetlenné teszik.

A digitális szkópok ezt a csodát továbbá, eddig elképzelhetetlen lehetőségekkel bővítik, melyek felsorolása, műszaki értelmezése évkönyvünk egész terjedelmét lekötné. Mert pl. nemcsak látjuk a villamos folyamatokat, hanem azok lefolyását el is tárolhatjuk, a kijelzését tekintve megállíthatjuk, matematikailag elemezhetjük, más jelekkel összehasonlíthatjuk stb. Alapvető újdonság lehet az is, hogy az időtarto-

mánybeli vizsgálatról áttérhetünk a frekvenciatartománybeli vizsgálatokra, mely lehetőségről analóg műszer esetében gondolni sem lehetett. A tárolt jeleket számítógépes eljárás segítségével feldolgozhatjuk, jegyzőkönyvszerűen dokumentálhatjuk. A digitális szép új világ azonban megannyi új fogalom megismerését követeli, s a legnehezebb helyzetben azok vannak, akik már egy begyakorolt működési sémából (értsd: analóg szkópok) kénytelenek váltani.

Azért az elején gyorsan leszögezzük: az analóg és a digitális oszcilloszkópok alapvető működése és kezelése azonos. Így aki a „régit” mellé, a modernebb technika elsajátítására adja a fejét, ha nem is könnyen, de megbirkózzhat vele. Az alapvető különbség az analóg és a digitális szemlélet között az, hogy az analóg műszer a jelalakot az eredeti formájában, azonnal megjelenítve, közvetlen módon mutatja számunkra. Az analóg műszer „bejárata” és a kijelzője között direkt kapcsolat van. A digitális utódja az eredeti, pl. analóg jelet mintavételezi, a mintákat digitális számokká konvertálja, majd digitális formában tárolja, végül valamilyen rendező elv szerint kijelzi. És máris egy seereg idekapcsolódó kérdés vetődhet fel bennünk. Milyen gyorsan kell mintavételeznünk ahhoz, hogy visszakapjuk eredeti jelünket, és ez hogy függ össze jelünk sáv szélességével? Mi történik akkor, ha túl sok, vagy éppen elégtelen mennyiségű mintánk van, s mindez milyen hatással lesz a megjelenítésre? Sorolhatnánk tovább is, de ezekre, s majd a továbbiakra megadjuk a reményeink szerinti kielégítő választ. Mivel pedig – az előzőek szerint – mondhatnánk azt



1. ábra

is, hogy, ezek a berendezések nem a „közvetlen valóságot” mutatják, a kérdések mindig egy irányba hatnak: *hogyan lehetünk biztosak abban, hogy valójában azt látjuk, amit a vizsgált áramkörünk produkál?*

Nézhetjük ezt a problémát más szemszögből is. Az analóg oszcilloszkópoknál az eredeti jelünk megállapítható jellemzőit (frekvencia, amplitúdó, fázisszög, stb.) némi gondolkodással (számolással) tudtuk csak „kinyerni”. (Kivételt képeztek az újgenerációs, az effajta kezelési kényelmet biztosító, jelparamétereket is megjelenítő analóg oszcilloszkópok.) Digitális társa eleve ugye számokkal „működik”, így kézenfekvő, hogy minden eredményt, minden beállítási mozzanatot számszerűen meg is jelenít. Ez így is van, tehát akkor mentesülünk az iménti gondolkodási, számolási procedúrák alól? *Nem, sőt ahhoz, hogy oszcilloszkópunk tényleg a valóságot láttassa, nagyon kell ismer-nünk műszerünk számszerűsített mérési, kijelzési stratégiáját!* Azzal pedig kalkulálnunk kell, mielőtt bármilyen menüpontot alkalmazásba hívunk. Onnantól kezdve persze már hátradőlhetünk, az alkotó pihen, a gép dolgozik. Írásunkban többször is rámutatunk, hogy mennyire fontos az előre gondolkodás, a várható mérési érték ismerete. Azt is megkockáztatjuk, hogy némely esetekben az analóg oszcilloszkóppal történő előzetes vizsgálat (ha mód van rá) segítségünkre lehet, mert hát jó az öreg a háznál...

Ismeretetésünk nem vállalhatja fel sem egy tankönyv, sem egy konkrét gépkönyvismertetés szerepét, sokkal inkább tekinthető néhány kezelési, alkalmazási praktikum – elméleti háttérrel támogatott – bemutatásának. Mindezek megértéséhez az analóg oszcilloszkópok világának gyakorló szintű ismerete szükséges. Az is tapasztalati tény, hogy ahány ház (oszcilloszkóp-

gyártó), annyi szokás. Igyekszünk ettől elvonatkoztatni, s általános érvényű praktikákkal előállni. Persze méréseket, elveket „beszédese képekkel” bemutatni csak konkrét készülék bevetésével lehet. Ebbéli segítségünk a *Rohde & Schwarz HMO1002 típusú oszcilloszkópja* lesz.

1. Honnan hova is?

A mai kor embere (magánszemély, vállalkozó) el van kényeztetve, már ami az oszcilloszkóp-hozzáférési választékot illeti. Nem volt ez mindig így. A szerző szubjektív szakmai életrajztöredékeiben (*Rádiótechnika Évkönyve 2014*) tett említést egy, a kényszer szülte, házilagos kivitelezésű „egynapos szkópról”, illusztrálандó az inséges idöket. Valami csoda folytán a szerkezet megörzödött, amit itt azért mutatunk be (**1. ábra**), hogy a cikkünkben tárgyalt mai valósággal a kontrasztot a lehető legjobb legyen. A mindössze 2+1 elektroncsövel működő műszernek semmilyen mérésre alkalmas kalibrált kezelőszerve nem volt, de jelalakat mutatott, mely információ jelentőségéről a bevezetőben szöltünk. A közbülső, már ipari körülmények között gyártott készülék-arszenál hőskorszakát – melynek a hazai ipar is jelentős beszállítója volt – átugorva cikkünk **címfotóján** mutatjuk a mai idők egyik emblemátikus típusát.

A több, mint 80 éve alapított Rohde & Schwarz műszergyártó világcég vezető szerepet tölt be a nagyfrekvenciás műszer- és mérés technika területén (műsorszórás, rádiómegfigyelés, más- képpen rádió monitoring, rádió-irány- mérés). A HAMEG Instruments 2005- ben történt felvásárlásával kínálata a „Value instruments” műszerkategóriával és azon belül oszcilloszkópokkal is bővült. Az azóta eltelt időben egy komplett új műszercsalád váltotta a fel- vásárolt választékot, melyben az oszcilloszkópok jelentős szerepet kaptak. Ennek egyik első darabja, a „legkisebb gyerek” a HMO1002 nevet kapta a ke- reszttségben. Mondják, alapszintű ké- szülék a digitális világban, de a teszte- lők egyöntetű véleménye, hogy tudása az átlagos igényeket messze meghalad- ja, ár-érték aránya meg egyenesen kivá- ló. Hogy ezzel az oszcilloszkóppal (még) nem találkozott olvasó is érzé- kelhesse: ha az 1. ábra „műszerét” egy papírsárkánynak tekintjük, akkor a HMO1002 a lopakodó repülőgép. Mindkettő közege a levegő, de a kü- lönség...

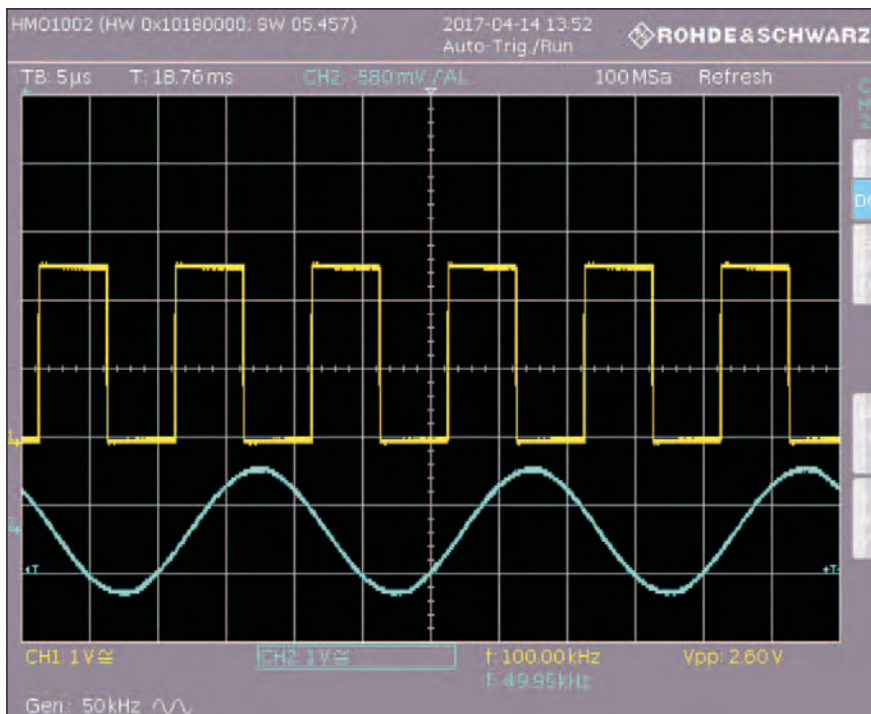
Oscilloszkóp-praktikáink bemuta- tásához tehát ezt a típust használjuk, ki- csit bemutatva képességeit is, a teljes- ségre való törekvés legcsekélyebb igénye nélkül.

1.1. Amit a külső is elárul

Digitális oszcilloszkópot a tradicioná- lis világcégek (pl. Tektronix, Le Croy, R&S), és a távolkeleti gyárak is készí- tenek, a választék hatalmas. Ha jól akarnak, akkor termékük előlapi meg- jelenése olyan, hogy az analóg műszer- hez szokott szem is ismerősen találja: képernyő, mellette (alatta) kezelőgom- bok. A mi „belépő kategóriánkban” a képernyő jó, ha min. 16,5 cm (6,5”) képátlójú, LED-es háttérvilágítású, szí- nes, VGA felbontású (640×480 pixel) TFT kijelző. A katódsugárcsőves ana- lóg gépekhez hasonlóan a kijelző felü- let rácson beosztású, s normál módban (azaz menük nélkül, lásd később) az X tengely mentén 12 osztás van. Menük megjelenítése esetén a hasznos rácso- zat 10 osztásra csökken. Függőleges irányban alapesetben 8 osztás látható, de ez virtuálisan 20-ra bővíthető a Scroll Bar gomb használatával. A rá- cson belül a kiválasztott csatorna jele látható. A rácsozat keretvonalain kívül viszont rengeteg információt ad a ké- szülék. Na ez már újdonság annak, aki most ismerkedik ezzel a technológiá- val.

A képernyő bal oldalán kis nyilak mutatják a csatornák referencia poten- ciálját (nullahelyzetét). A rácsozati sor néhány állapot- és beállítási infor- mációt ad, mint pl. időalap-sebesség (TB), triggerkésleltetés (T), egyéb triggerfeltételek, mintavételi sebesség, valamint az adatgyűjtés módja. A kép- ernyő alján a kurzorok és paraméterek mérési eredményei jelennek meg. Ugyanitt láthatók az aktív függőleges csatorna, a referenciajel, és a matemati- kailag származtatott görbék jelzései. A képernyő rácson kívüli jobb oldala egy gyorsmenüt mutat, az aktuális csatorna fontosabb beállításai (csatolás módja, bemenőimpedancia, sáv szélesség-limit stb.)

Az ilyen kategóriájú készülékek alapvetően három típusú kezelőszerv- vel rendelkeznek. Az egyik, amelyiket mindannyian ismerünk: a direkt (vagy közvetlen) gomb, amely a melléírt je- lentésnek megfelelő beállítást hajtja végre (Volt/DIV, Time/DIV, Position, stb.) Meg kell jegyeznünk azonban, hogy ezek a kezelőszervek is digitális



2. ábra

eszközök, ne a szokásos Yaxley kapcsolókban gondolkodjunk! (Pl. a forgatógombok is digitális jeladókat működtetnek.) Jelentősebb számú kezelőszerv az ún. „softkey” gomb, vagy magyarázhatnánk „programgomb” (vagy „menügomb”) kezelőszervnek is. Ezek bármelyikét aktiválva, a képernyő rácsvonalain belül – két osztást elfoglalva – egy menürendszer nyílik meg, amelyeken belül meg egy jobb oldali „aktuálisított” softkey gombsorral lépkedhetünk. Így leírva egy kicsit bonyolultnak tűnik, de nem sokkal különbözik egy okostelefon használati módjától. Végül található a készüléken egy multifunkciós vagy univerzális gomb, amelynek elforgatása és/vagy megnyomása engedélyezi a rá dedikált funkció működését (pl. menüléptetés, általános kurzorkiválasztás és beállítás stb.). Működése némileg hasonlítható a számítógép „Enter” billentyűjéhez. Ezt a kezelőszerv-típust a gyártók más-más néven szerepeltetik (pl. Tektronix: „Multi-purpose”, a Rigol: csak egy piktoqram), a Rohde & Schwarz ezen típusán: „Select” néven találjuk.

Egy ergonómiailag jól tervezett gép a kezelőszervek funkcionálisan tagozódnak az oszcilloszkóp klasszikus szerkezeti egységeihez igazodóan. Így jelen esetben is felismerjük – s színezéssel el is van különítve – a nagy hármast: a függőleges (Vertical), a Trigger,

és a vízszintes (Horizontal) szekciókat (menücsoportokat). Van azonban egy külön kategória, amely csak a digitális oszcilloszkópok sajátja (címfotón az „A” mező).

Általában azokat a szolgáltatásokat fogja össze, amelyek kihasználják az informatika és a digitális jelábrázolás összefonódását (kurzoros mérések, jelanalízis, adattárolás, mentés, Display megjelenítés, nyomtatás stb.) Ezek megismerése és használata teljesíti ki igazán az oszcilloszkópunk használhatóságát, melynek elsajátítása csak gyakorlással, gyakorlással, s (használható?) gépkönyvének állandó forgatásával lehetséges. Eddigi verbális megállapításainkat egyrészt címfotónk műszere szemlélteti, másrészt a 2. ábrán a saját tesztjelének felvételével, s né-

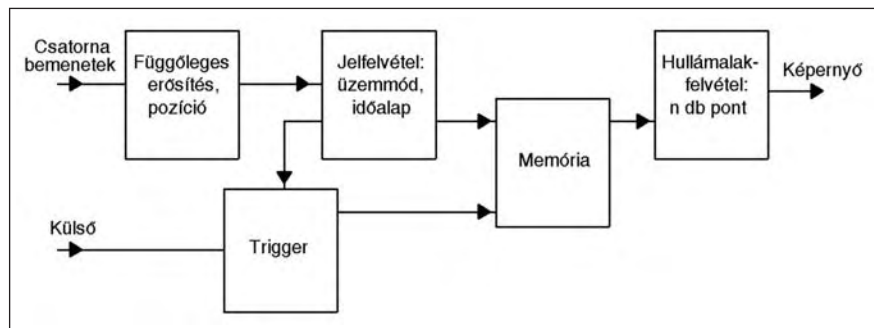
hány jellemzőjének megméréseivel a képernyőről elmondottakat láttatjuk.

2. A digitális oszcilloszkóp működése

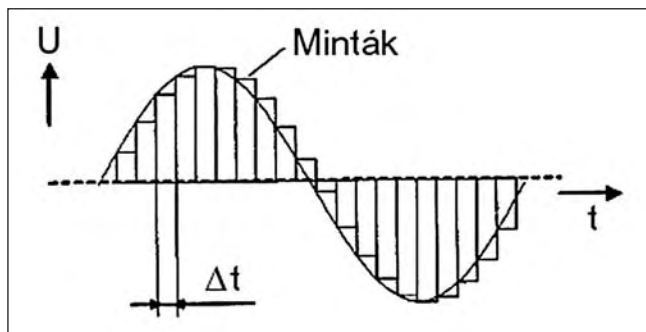
Azt már az előzőekből érezhetjük, hogy ilyen berendezés vázlatos ismertetése is messze túlmutat a szokásos áramköri tömbök tárgyalásánál. Sőt, áramköri részletekről nem is szólhatunk, amelynek okait a [2] szépen bemutatja. Sokkal inkább kell ismernünk információtechnológiai, informatikai alapokat, amelyek műszerünk működését alapvetően meghatározzák. Jellemzően az egyes gyártók a berendezéseiknek még a tömbvázlatát sem publikálják, így szemléltetésül egy általános elvi sémát fogunk követni. Ennek mentén pedig értelmezhetjük az egyes működési funkciókat, illetve azok leképzési módját. A 3. ábra egyszerűsített tömbvázlata egy oszcilloszkóp működési egységeit és azok egymás közti viszonyát mutatja. Megfigyelhetjük, hogy a jelképzés során, a mintavételezést követően van egy jelfelvételi eljárás, valamint egy hullámalak-előállítási (kijelzési) fázis. A két fázis közt, a számunkra megjelenő jelalak digitális megvalósulása megjárja a jel átmeneti tárolására szolgáló memóriablokkot.

2.1. A mintavételezésről

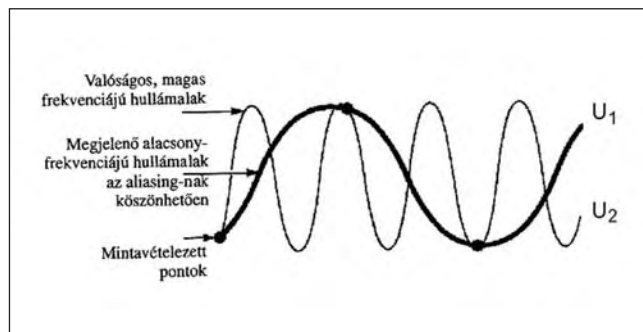
A digitális oszcilloszkópok a mérendő jelből mintavételezéssel veszik azt az információt, amellyel aztán az eredeti jelet reprodukálni lehet. Shannon-Nyquist tétele kimondja: *Ahhoz, hogy pontosan képezzünk le egy jelet (azaz mintáiból visszaállítható legyen), a mintavételi frekvenciának legalább kétszeresének kell lennie a vizsgált jelben előforduló legnagyobb frekvenciájú komponensnél.* A mintavételi törvény megnevezésével úgy vagyunk, mint az a kérdés, hogy ki is találta fel a



3. ábra



4. ábra



5. ábra

rádiót? A köztudat szerint a mintavételezés elméletének alapjait Claude Shannon fektette le 1949-ben megjelent tanulmányával. Előtte azonban hasonló eredményre jutottak: E. Whittaker (1915), H. Nyquist (1928), V. Kotelnikov (1933). Shannon önállóan egy hírközlő csatorna kapacitása, és annak sávszélessége közötti összefüggés meghatározásával szerzett felbecsülhetetlen érdemeket. Az előzőeknek megfelelően pedig különböző irodalmakban pl. a Shannon, Nyquist elnevezés külön-külön, vagy összevontan szerepelhet.

Ezen a ponton máris fogalmi kavalkáddal találkozhatunk. Szakirodalmi források, gépkönyvek mintavételi sebességről, mintavételi frekvenciáról (miként mi is az előző mondatainknál), mintavételi arányról szólnak. Valójában mindhárom elnevezés ugyanazt az eljárást, illetve műszaki jellemzőt jelenti, s amelyet Sa/s (Sample/secundum), illetve prefixált többszörösében (pl. 1 GSa/s) adnak meg. (Mint látjuk, ez ugye sem frekvencia, sem sebesség dimenzió.) A dimenzióból a „mintavételi gyakoriság” elnevezés következne, de nem terjedt el, bár néhol előfordul pl. „Nyquist gyakoriság” néven. Az általunk használt Rohde & Schwarz szkópnál ez az adat 1 GSa/s. Rögtön felvetődhet a kérdés: az előző adat ismeretének birtokában ez akkor azt jelenti, hogy nevezett műszerünkkel 500 MHz-ig mérhetünk? Tegyük fel a kérdést! Mit szeretnénk ábrázolni és milyen pontosan? Szinuszos jelet? Ebben az esetben, a mintavételezési tétel szerint, (és amennyiben a szkópunk analóg fokozata is képes rá) akkor elméletileg még működne is a dolog. De a való élet nem ilyen, mert ha ilyen szélsőséges esetet vizsgálunk, akkor periódusonként összesen 2 db mintánk van, amiből a későbbiekben tárgyalt megjelenítési stratégiák alkalmazása ellenére sem kapjuk vissza az alakhú eredeti jelformát. Egy jelalak pontosabb ábrázolásá-

hoz gyakoribb mintavételezés szükséges, mely gyakoriság az előbb feltett kérdéseinkre adott választól függ. Emellett a valóságban az igazi korlátozó tényezőnk az analóg fokozatunk sávszélessége lesz.

A mintavételezésünk során, egy periódusból több mintát veszünk (4. ábra, [3]). Amennyiben ez a mintavételi „szaporaság” a Shannon feltétel többszöröse, akkor beszélünk túl-mintavételezésről. Például egy 50 MHz-es hirtárfrekvencia esetén az 1 GSa/s mintavételi gyakoriság tízszeres túl-mintavételezést jelent. A sok minta különböző mértékű feldolgozása aztán megannyi szolgáltatás alapja lesz. Ha a folyamatos mintavételezést leállítjuk (Run/Stop gomb), akkor a digitális mintákat a szkóp kikapcsolásáig tárolja (megőrzi), így a műszerünk egyidejűleg tárolós oszcilloszkóp is. Innen az elnevezés is „Digital Storage Oscilloscope” (DSO).

A mintavételezés másik véglete az alul-mintavételezés, a belapolódás (aliasing) jelensége. Ez akkor következik be, amikor az oszcilloszkóp a jelet nem mintavételezi elég gyorsan, nem teljesül a Shannon feltétel (5. ábra). Ebben az esetben a műszerünkre érkező nagyfrekvenciás jel elégtelen mintavételezéssel egy kisebb frekvenciára helyeződik át. Tehát, ha az ábra szerinti három mintavételi pontot a nagyobb frekvenciás jelből vettük, akkor a szkópunk az ugyanezen pontokból származtatható kisebb frekvenciás jelet, mint „hasonmást” (alias) jeleníti meg. Gondoljon bele az olvasó: mi történik, ha mindezt a frekvenciatartományban vizsgáljuk? Semmi más, mint az hogy az alul-mintavételezéssel az adott frekvenciaösszetevők egyszerre és azonos frekvenciával tolódnak lejjebb, és egymás hasonmásaiként jelenik meg a két spektrum. E ponton engedtessek meg a szerzőnek egy csipetnyi nyelvészkedés. A „hasonmás” kifejezés még így idézőjelbe téve is megté-

vesztő lehet. Az „alias” szó (lat.) „más-képpen”-t jelent, s valójában ez is történik: a jel másképpen jelenik meg a valóságoshoz képest. A „hasonmás” elnevezésre eredendően a fac simile (lat. tedd hasonlónvá) a jó kifejezés, közismertebben: faximile, vagy csak fax. Rosszul beidegződött fordítás, bár az „alias” használata az eredeti értelmében helyes. Akárhogy is nevezzük, a jelenség kóros, lehetőség szerint kerülendő.

Ismeretlen jelforrás mintavételezésénél nehéz felfedni a jelenséget (valóban azt látjuk, amit kell?), ezért a gyártók a konstrukció kialakításánál igyekeznek a lehetséges tévedést kizárni. Példaként itt csak ismételni tudjuk a [2] aktualizált, ide vágó megállapítását: a belapolódás esélye csökkenthető, ha az adott mintavételi frekvenciával már nem megfelelően mintavételezett frekvencia-komponenseket még a mintavétel előtt egy aluláteresztő szűrővel elnyomjuk. Erre a célra szolgál többek között – a jobb analóg szkópoknál is megtalálható – sávszélesség korlátozás (BW Limit kapcsoló). A Rohde & Schwarz HMO1002 típusánál biztosra mentek. A Time/Div kapcsoló állásaihoz (32 db) olyan mintavételezési értékeket rendeltek, rögzítettek, hogy „szinte kizárt” a belapolódás bekövetkezése. Ugyanakkor azt jegyezzük meg, ha a felhasználó hibázik, az ellen nincs védelem. A későbbiekben mutatunk erre is példát. A Time/Div kapcsoló állásaihoz rendelt mintavételezési értékeket miatt egyúttal persze korlátozva is van választási szabadságfokunk, de hát valamit, valamiért.

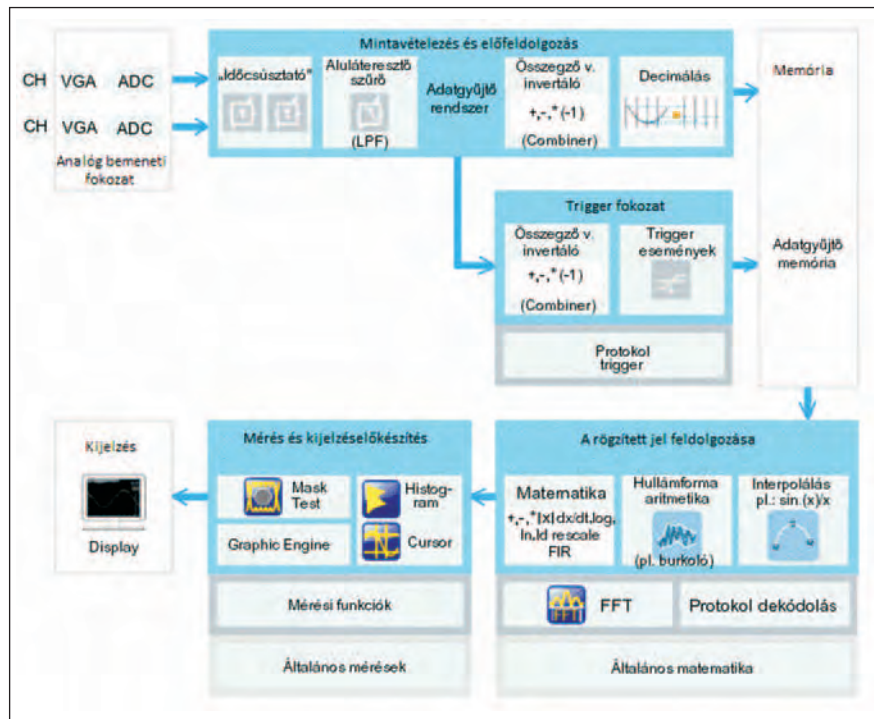
Mikor fogjunk gyanút? Az olyan görbealak, amely instablnak tűnik, vagy a képernyőn „úszik” dacára annak, hogy a triggerelés helyes, és mellette szerencsés a csillagállás, nos akkor valószínűleg a jelünk belapolódó jel. Ezt úgy is ellenőrizhetjük, hogy a Time/Div kapcsolót gyorsabb idő-

alap-beállítás irányába forgatjuk. Ha a frekvencia megváltozik, akkor hamis jelünk volt. A kissé „tankönyv ízü” 5. ábra után a későbbiekben majd bemutatunk egy nagyon csipett élő esetet.

A digitális oszcilloszkópok részletebb működése a 6. ábra, mint elvi séma alapján jól lekövethető. A műszer bemeneti fokozata, folyamatosan működik. A „VGA” (Variable Gain Amplifier, azaz Változtatható erősítésű erősítő) valójában egy csillapító és erősítő lánc (tartalmazza az analóg szűrő egységet is [BW limiter]), mely az utána következő ADC (Analóg/Digitális Konverter [8 bites]) ideális működési állapotához (munkapontjához) illeszti a bemeneti szintet. (Itt jegyezzük meg, hogy a különböző gyártók esetében az ADC működésében lényeges eltérések lehetnek. Léteznek egymagos ADC-k melyek egy feldolgozási szálon, de állandó maximális sebességgel működnek, valamint több magos elrendezések, melyek magon belül akár „ellenütemben” is képesek dolgozni. Utóbbiak előnye, hogy külön decimálási eljárás nélkül (lásd később), az órajel változtatásával, vagy a feldolgozási szálak kiiktatásával csökkenthető a mintavételi sebesség, ugyanakkor kétségtelen hátrányuk, hogy az ADC gyártása során az egyes ADC szálak időbeli csúszása nem kívánt hibát visz a rendszerbe.)

A mintavételezésért felelős egység, már a nagysebességű – HMO1002 esetében 1 G 8 bit – adatfolyamot kapja. Több apróbb előfeldolgozási folyamat utáni decimálással (szándékolt, előre meghatározott stratégia szerinti minta-eldobálással) állítja be az általunk meghatározott mintavételi sebességet. Ezzel a beállított sebességgel történik a mintasorunk rögzítése a memóriába. A memóriaegység nagysága („hossza”, „mélysége”) egyik alapvető jellemzője oszcilloszkópunknak, miként a triggerfokozat működése, minősége is, így az utóbbiakkal külön szakaszban foglalkozunk.

A rögzített jel feldolgozása már a memóriából előhívott adatból valósul meg. Itt történik a kijelzéshez használt interpoláció, a matematikai műveletek, protokoll-dekódolás, és az FFT-is. Az innen származó adathalmaz átkerül a mérés- és kijelzés előkészítési egységbe, ahol a mask teszt, a hisztogram, illetve a kulzoros mérések történnek. Ezt követően már csak a digitálisan előállított számsorok, mint a megjelenítés van hátra.



6. ábra

2.2. Minden összefügg mindennel

Egy analóg megjelenítés esetében minden folyamatban és folyamatosan történik. Digitális világunkban minden „darabokból” áll. Hogy aztán ezek a darabok valamilyen módon mégiscsak analóg(szerű) megjelenést adjanak ki, ahhoz sok mindennek kell történnie. Miként látni fogjuk, minden történés egy vagy több másikkal szoros összefüggésben van. Megállapításaink a [2] nyomán részint általános érvényűek, részint konkrétan a R&S HMO1002 típusához igazítottak.

Először azonban nézzük, hogyan is jön létre az „ördögi kör”? A bejövő jelünket tehát mintavételezzük, majd eltároljuk a memóriában. Shannon óta pedig tudjuk, hogy csak a pillanatnyi mintavételezési sebesség felét el nem érő frekvenciájú komponensekből álló jelek állíthatók vissza. A berendezésünk memóriája véges mérettel rendelkezik. Ebből következik, hogy ha gyorsan változó jeleket vizsgálunk, az azt jelenti, hogy nagyon gyorsan kell mintavételeznünk, és akkor a véges memóriánk hamar megtelik. Másik néven szólva: gyorsan változó jeleket, gyors időlappal rövid ideig tudunk vizsgálni. Ha lassan változó jeleink vannak, akkor az időlapot hozzá kell igazítani („le kell húzni”). Ha lassítjuk az időlapot (tehát hosszú ideig futtat-

juk a műszert), ez azt jelenti, hogy hosszú ideig mintavételezzünk. Ilyen feltételek mellett, ha tartjuk a nagy mintavételi frekvenciát, akkor nagy memóriára lesz szükségünk. Az oszcilloszkóp memóriamérete azonban korlátozott. Tehát, hogy hosszú ideig tudjunk vizsgálni jeleket, lassú időlappnál a mintavételi frekvenciát visszaveszi a műszer. És máris zárul az „ördögi kör”: mert ha csökkentjük a mintavételi frekvenciát, akkor a legnagyobb határfrekvencia, amit még éppen hitelesen vizsgálhatunk, szintén csökkenni fog.

Konkrét levezetéseink már műszaki adatokhoz kötődnek, azokat (reményeink szerint) a készülék gépkönyvéből nyerhetjük ki. Esetünkben már tudjuk, hogy a mintavételi gyakoriság (maximált) értéke 1 GSa/s, de itt pl. a Time/Div kapcsolóálláshoz, illetve az adatgyűjtés módjához (lásd később) kötötten, változó. A memóriával kapcsolatosan már használtunk többféle elnevezést is; hol memóriahossznak, hol memóriamélységnek, hol memóriamélységnek titulálják. A mi műszerünkénél memory depth (memóriamélység) néven szerepel, s 2×500 kPts, vagy 1×1 MPts adattal jellemzik. (A Pts a tárolt minták számát jelöli.) Végül ismerünk kell még a kijelzőnk főbb paramétereit. A színes monitor vízszintes irányban 12 osztásnál (lásd korábbi fejezetünket) 600 képpont (pixel), 10

osztásnál 500 képpont felbontású. Ez nettó értéket jelent, az egyéb információs karaktereknek, ikonoknak további pixelek állnak rendelkezésre. Függetlenül irányban ugyanezen adat 8 osztás/400 képpont.

2.3. A mintavételezés, az időkapcsoló és a memória kapcsolata

Az eredő mintavételi sebesség nem más, mint a memóriában eltárolt minták számának és a képernyőn megjelenített időtartamnak a hányadosa. A megjelenített időtartam az időalap tizeszerese (vagy tizenkétszerese):

$$SR = \frac{N}{10 \cdot TB}$$

Ha vesszük az elméleti maximált értékeket, azaz az 1 GSa/s mintavételi sebességet, valamint a memória hosszát (1 MPts), akkor a két adat hányadosa azt adja meg, hogy a memóriánk szélességes esetben akár 1 ms alatt is megtehet. Amennyiben ezt szeretnénk megjeleníteni, úgy a Time/Div kapcsolónkat 1ms/időalapra kell állítanunk. Megjegyezzük, hogy ezen esetben, a jeltől függően, valószínűleg erősen elmosódott képet kapunk a kijelzőn (600 képpont szélességben kellene megjeleníteni 1 000 000 mérési pontot). Ugyanakkor, az adat a memóriában tárolva van, így azt nagyítási funkcióval (lásd később) ténylegesen is láthatóvá tehetjük. Ha kisebb idő/osztás értékre állunk, azaz a teljes megjelenített időtartományt csökkentjük, akkor a memóriában hosszabb időn keresztül gyűjtött minták állnak rendelkezésünkre, mint amennyit kijelezhettünk. A HMO1002-nél a 100 s/div álláshoz már „csak” 5 MSa/s mintavétel tartozik. Ez a teljes memóriát 250 ms alatt tölti fel. Amennyiben gépünket ekkor 10 ms/osztás értékre állítjuk, akkor is 2,5-szeres „adatfeleslegünk” lesz. Erősen óvakodnánk ekkor is túl-mintavételezésről beszélni, egészen másról van szó ez esetben.

Ami lényeges azonban, hogy ekkor a vízszintes pozícióállító gombbal lehetőségünk van a tároló tartalmát megnézni, persze a kijelző Time/Div beállítása szerinti időtartományban. Másképpen szólva a vízszintes pozíció kezelőszerv nem valami hardveres sugáreltolást jelent, hanem a memóriatartalmat „böngészi”, „görgeti”, azon egy kijelzési ablakot csúsztat. Amikor megváltoztatjuk a hullámalak vízszintes pozícióját, akkor valójában a trigger (lásd később) és a képernyő központja kö-

zötti időt változtatjuk. Ez úgy jelenik meg, hogy a hullámalak jobbra, vagy balra mozdul el a képernyőn.

Az elméleti példában az 1 GSa/s-os mintavételezést továbbra is megtartva, de az idő/osztás kapcsolót 100 ms/Div értéknél nagyobbra választjuk, akkor az a jelenség áll elő, hogy a teljes képernyőre rajzolandó adatok benyeréséhez 1 ms-nál több idő szükséges. Ekkor az eredeti memóriahosszat feltételezve a gép változtatni fog a mintavételezési sebességen, csökkenti azt, hiszen a memória nagyságának és mintavételi sebességnek a hányadosa határozza meg kijelezhető tartalom hosszát. *Már megint az ördögi hármass; minden mindennel összefügg.*

A csökkentett mintavételi sebesség értelmezhető úgy is, hogy az A/D-átalakító kimenetéről csak minden második, vagy minden tizedik minta tárolódik el. Ez a decimálás, melyet korábban már említettünk. Megjegyzésként: létezik olyan gyártó is, amely az A/D-átalakító fizikai sebességének csökkentésével oldja meg ugyanezt.

Példaként: 1 s/Div rajzoló sebességnél 10 Div 1 s = 10 s alatt kell 10⁶ mintát beírni, ami 10 ms/minta beírási sűrűséget jelent. Ez pedig akkor egy 100 kHz-es virtuális mintavételi frekvenciának felel meg. Ha csak a szigorúan véve Shannoni feltételből indulunk ki, akkor alapesetben is a mérhető frekvencia ennek a fele. A HMO1002-nél az 1 s/Div-hez tartozó mintavételi arány kb. 500 (496) Sa/s. Ekkor a mintavételi sűrűség 20 ms-ra adódik, s ez 50 Hz virtuális mintavételezési frekvenciának felel meg, a maga következményeivel. Nem szabad megelégedeznünk, hogy ebben a beállításban mindössze 5 Kpt memóriát használ a megjelenítésre, így amennyiben feltételezzük, hogy gyorsabb jeleket is látnunk kellene, használjuk a maradékot is a korábban taglalt módon!

Túl minden számszaki megfontoláson, fontosabb a végkövetkeztetés: *a sávszélesség-csökkentés egyrészt növeli az belapolódás (aliasing) bekövetkezésének lehetőségét, másrészt a lassú folyamatok vizsgálatánál a jelben előforduló gyors részletek elveszhetnek.*

24. A memória és a képernyőfelbontás kapcsolata

Láttuk, hogy kijelzőnk vízszintes irányban nettó (10 osztásra vetítve) 500 pixeles felbontású, így 1 osztás 50 pixelt tud megjeleníteni. Akkor megint csak szá-

molnunk kell. Továbbra is tartsuk meg az 1 GSa/s mintavételi arányt. (R&S HMO1002 gépnél ez az arány 2-500 ns/Div kapcsolóállásig áll fenn, alapértelmezett adatgyűjtési módnál). Ezt figyelembe véve a mintabeírás 1 ns-onként történik.

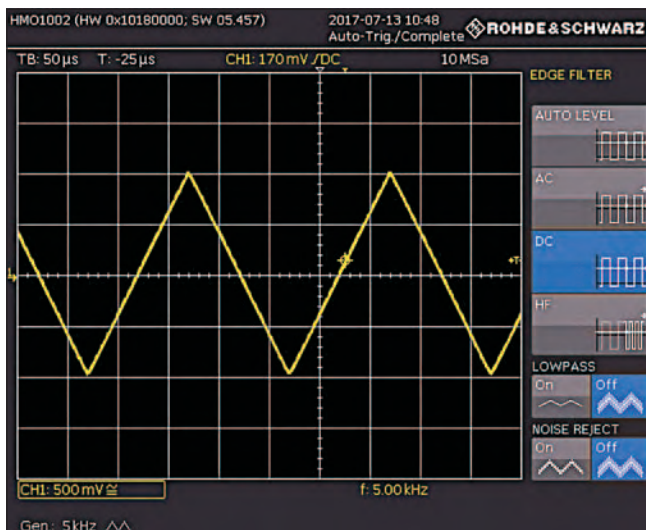
A két adatból megállapítható, hogy kb. 50 ns/Div rajzolósi időnél jön létre az az állapot, hogy az egymást követő pixeleken kb. az egymás után felvett minták jelennek meg. Ha ennél gyorsabb a rajzolósi sebességünk, akkor már kevesebb minta áll rendelkezésre, mint amennyi pixelt ki kell „világítanunk”. A hiányt, a szomszédos letárolt pontok között az oszcilloszkóp interpolációval (azaz számított módon) kipótolja. Még a legegyszerűbb DSO-nál is többféle interpolációs mód közül választhatunk, melyek közül alapvetésnek számít a lineáris és a sin(x)/x közelítésű megoldás.

A lineáris interpoláció egyszerűen egyenes szakaszokkal köti össze a mintavételezéssel kapott pontokat. Az ily módon rekonstruált jelek „szögletes” kinézetűek. Az utóbbi megoldás viszont a sin(x)/x formulán alapuló vonalakat használ a pótlásra, ami sima megjelenésű jelalakot eredményez. Bármelyiket is vetjük be, teoretikusan belátható, hogy hiánypótlással a valódi jel 100%-os pontossággal nem reprodukálható. Az más kérdés, hogy a gyakorlatban ez a fajta pontatlanság az esetek nagy részénél elhanyagolható.

Más a helyzet akkor, amikor egy pixel aktív időtartama alatt több minta is rendelkezésre áll. Hogy melyiket is jelenítsük meg, nos abban nagy a választék, s minden a mérési stratégiától, és a szkóp lehetőségeitől függ. A lehetséges módzatokra a konkrét gépünkönél kitérünk.

3. Triggerkérdések

Az analóg oszcilloszkópoknál is döntő jelentőségű, s itt sincs másképpen: a triggerelés minősége a műszerünk használhatóságát alapvetően meghatározó tényező. A digitális technológia ezen a téren is képes többet nyújtani, mint az analóg technikában megismertek. A jelenleg elterjedt alap- és középkategóriás tárolós oszcilloszkópok döntő többsége ötvözi az analóg és a digitális technológia lehetőségeit. A trigger alapvetően analóg, de a jelfeldolgozó egységből származtatott számos számláló, időzítő és egyéb, bemenettel kombinált külön áramkör. Ezzel a tech-



7. ábra

nikával számos triggerelési metódus valósítható meg, melyeket a konkrét műszerünk esetében rendre be is mutatjuk.

Az analóg világban a trigger határozta meg, hogy a kijelzőn haladó sugár mikortól induljon, a jelet mikortól vettse ki. A DSO-k világában ez kicsit másképp van. A memóriát folyamatosan írjuk, a trigger előre meghatározott helyen van az időtengelyen, mellyel valójában csak a felvétel nulla markerpontját jelöljük ki. Beállíthatunk olyat is a műszeren (mely általában alapértelmezett is), hogy a triggerpont a képernyő közepén van, de ettől még a jelalak korábbi részei is láthatóak. Ez a klasszikus analóg világban elképzelhetetlen lett volna.

Fontos tudnunk, hogy a DSO-nkon hol a triggerelés időpontjának alapértelmezett (default) helye, mely esetiünkben a képernyő közepe (a függőleges középvonal).

A triggerelés pillanatának a kijelzőn levő helyzete a vízszintes pozíció gombbal az ernyő két széléig láthatóan állítható, megválasztható. Az R&S HMO1002 esetében (is) ezen két látható szélső értéken túl is tolható a trigger azzal a korlátozással, hogy mind a triggernek, mind a kijelzett tartalomnak bele kell férnie a memóriába. A beállított helyzetet a mérőháló felső vonalán egy kis nyíl jelzi. Mindezeket egy „számpéldával” illusztráljuk. Legyen a Time/Div kapcsoló 100 ms/Div állásban, azaz ekkora a rajzolási sebesség. A triggerpontunk default helyzetű, azaz a középvonalon van. A triggerelés bekövetkezése után a mintavételezés még 5 Div (a képernyő jobb széléig) hosszan,

azaz legalább 500 ms időtartamig folytatódik. Ekkor a mintavételezést követően keletkezett pontok a mérési memóriába íródnak, ahonnan a matematikai műveletekért, mérésekért, valamint a kijelzésért felelős részekhez továbbítódik. Ennek eredményeként láthatjuk a kijelzőn a jelalakunkat. A kijelzett hullámforma 5 osztásban (a képernyő bal szélétől a közép-

vonalig) a trigger-esemény előtti, továbbá 5 osztásban az utáni hullámformát tartalmazza. A triggerelést megelőző jelek ábrázolását *előtriggerelésnek (pretriggernek)* hívjuk. A mintavételezés a triggeresemény utáni mintáktól az adott memóriaterület feltöltéséig folytatódik. Ez, és a holtidő (Hold-Off idő, lásd később) alatt a DSO nem fogad újabb trigger impulzust.

Az előbbi példát folytatva: az alap-helyzetű triggerpontot toljuk el a középvonaltól jobbra két osztással! Ekkor a triggerléstől számított 300 ms (3 Div) múlva íródik át és jelenik meg az ernyőképen, ugyanakkor 700 ms-ig (7 Div) tart az ezt követő előtriggerelés. S hogy mindez miért is jó?

Például, ha valaki meg akarja találni a vizsgálandó jelben egy tüimpulzus okát, akkor triggerelhet a tüimpulzusra, és a előtriggerelési időt elég nagyra állítva elkaphat adatokat a tüimpulzus előttről. Azokat pedig eltárolva, majd elemezve esetleg megtalálható az impulzus oka.

DSO-k esetében a trigger módok és fajták (típusok) hasonló elnevezéssel bírnak, mint az analóg műszereknél, azonban tartalmuk gyakorta egészen más. A trigger üzemmódok (auto, normal, single) itt teljesen hasonlatosak az eddig ismertekhez. Azt határozzák meg, triggeresemény hiányában hogyan viselkedik az oszcilloszkóp.

- Az *Auto* üzemmód engedélyezi a mintavételezést akkor is, ha nem detektál triggerfeltételt. Ennélfogva *Auto* módban mindig látunk jelet a képernyőn. Ha a jel teljesíti ezt a feltételt, akkor

a szkóp szinkronizál erre az eseményre. Amennyiben a jel nem teljesíti azt (pl. egyenfeszültség), a szkóp maga fog szinkronjelet generálni.

- A *Normal* üzemmód csak akkor engedélyezi az oszcilloszkóp-nak egy hullámalak felvételezését, ha az triggerelve van. Ha az nem történik meg, akkor a DSO nem fog új hullámalakot felvételezni, és az előző jel marad a képernyőn, ha volt ilyen. Megjegyezzük, hogy amikor az oszcilloszkóp trigger „talált”, azt az előlapi „TRIG’d” ablak kivilágosodása jelzi.
- A *Single* mód. Az olyan jeleknél, amely csak egyszer teljesíti a triggerfeltételt (egyszeri lefutású), csak ez az üzemmód alkalmas annak „befogására”. Működése a *Normal* üzemmódhoz van kötve, azaz nyomjuk le a *Normal* + *Single* gombokat. A jelre várva a *Run/Stop* gomb villogni fog, majd mikor a jel befogásra került, az adatok tárolódnak, és a jelfelvétel megáll. A kép az ernyőn kimerevedik, a *Run/Stop* gomb folyamatosan világít.

Megjegyezzük, hogy amikor a Single triggerelési üzemmódot együtt használjuk az Average (lásd később) jelfelvételi üzemmóddal, akkor az átlagolások száma által meghatározott számú hullámalak kerül felvételezésre mielőtt a jelfelvétel megáll. Oda kell figyelni!

Ez máris az a funkció, amely analóg esetben ugyan szintén létezik, de ott az elkapott jel csak felvillan, értékelése szinte lehetetlen. Illusztrálásként nézzük majd az I. elemző feladatunkat!

A trigger típusok tekintetében az analóg oszcilloszkópoknál nem nagy a választék, s azok is alapvetően egy adott jelszint átlépéséhez kötöttek (Slope, TV, Line). A DSO-k esetében ez a funkció az „Edge” (élre vezérelt) menüpontnak felel meg, s ez egyben a leggyakrabban használt típus, ami a default beállítás is. A jelszint és a jelirány beállítása segít meghatározni a triggerelést. A jelirány meghatározza, hogy az oszcilloszkóp a triggerpontot a jel emelkedő (rising), csökkenő (falling), vagy mindkettő élénél keresse meg.

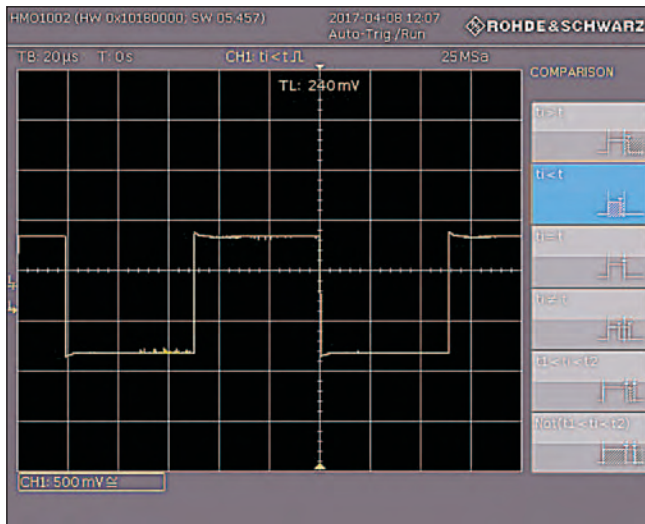
Az előbbi beállítási lehetőség jelszékpellel is segít tájékozódni a „Slope” gomb feletti kivilágosodó kis

Tízesek bővületében Érintse meg új R&S® RTB2000 sorozatú oszcilloszkópjainkat.

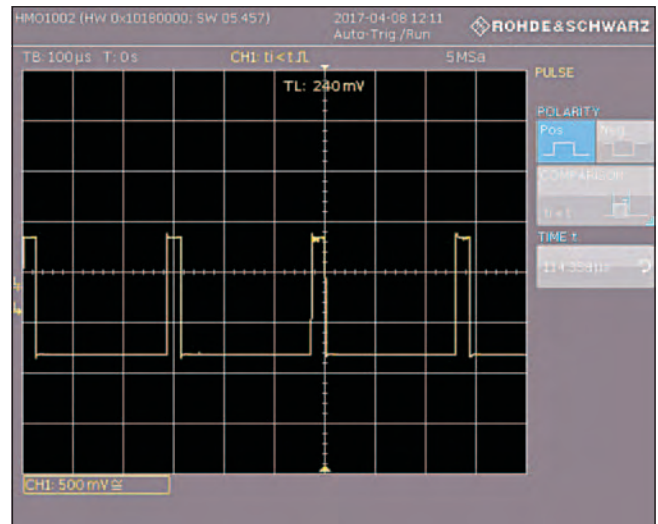
R&S® RTB2000 oszcilloszkópok 70 MHz-től 300 MHz-ig.
Rohde & Schwarz csúcstechnológia csúcsmínőséggel párosítva.
Kategóriájában minden más oszcilloszkópon túlszár.
Több szolgáltatás és intuitív kezelhetőség igen jó áron.

Győződjön meg róla személyesen, és kérjen ajánlatot!
www.rohde-schwarz.com/ad/rtb2000





8. ábra



9. ábra

ablak segítségével. Azt azonban meg kell jegyezzük, hogy *óvakodjunk az egy-szerre mindkét jelirány kijelölésétől*. Abban az esetben műszerünk két, egymástól független (gyakorta „szaladgáló”) jelalakot rajzolhat ki. Csak bizonyos különleges eseteknél szoktuk használni.

A jelszint beállítása a jelélen történik, s erre egy direkt kezelőszerv (Level) szolgál. Ennek helyzete a képernyőn is kijelződik (7. ábra), a jobb oldali keretvonalon kis nyílacska egy „T” betűvel, s a felső keretvonalon pedig numerikusan (170 mV).

Amíg a vizsgálandó jelünk „tiszt”, azaz minden zavartól mentes, addig az előbbi sima élvezérelt funkcióval könnyű azt szinkronizálni. Ellenkező esetben (pl. zajos jeleknél) az gyakorta meghiúsulhat.

Persze itt is van segítség: valamennyi triggerpushhoz hozzárendelhető egy tágabb, és egy szó szoros értelmében vett szűrő (Filter) menü, amelyet aktiválva az „Edge” triggerrel pl. a csatolás módját választhatjuk meg (lásd a 7. ábra oldalmenüjét). Nyomatékosan ki kell hangsúlyozzuk, hogy bármelyik szűrőfunkciót is aktiváljuk, az a szinkronizáló fokozatra bejövő jelet szűri meg valamilyen általunk választott szempont szerint. Ez csak a triggerelést érinti (teszi hatékonyá) a képernyőn megjelenő jelalakra nincs befolyással.

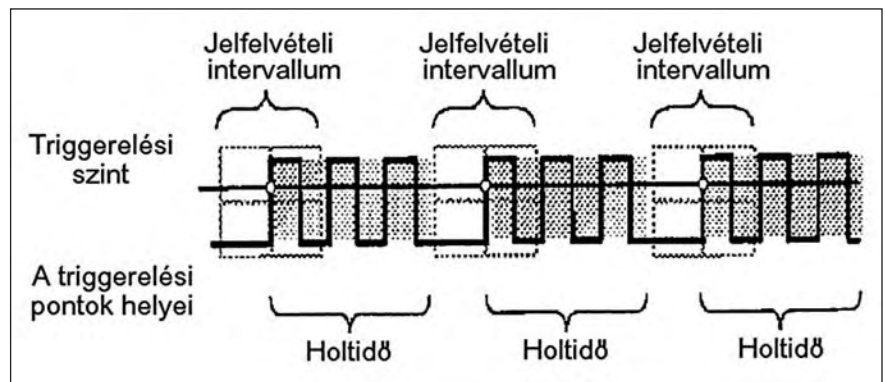
A csatorna szűrő (BW-limit) akár analóg gépeknél, akár itt, szintén hatásos lehet a zajos jelek triggerelésénél, de akkor már csonkolt megjelenítésről beszélhetünk. Az Edge triggerhez tartozó szűrőfunkciók pedig:

- *Auto Level*. Alapértelmezett, s automatikus szűrőbeállítást jelent,
- *AC*. A jel egy 5 Hz-es felüláteresztő szűrőn megy keresztül, azaz a triggerjel DC komponensét elnyomja. Az előzőek ismeretében ez nem egyenlő a bemeneti csatorna AC csatolásával. Tehát az eredeti DC jelre ráült AC összetevőre szinkronizálhatunk, úgy, hogy a DC összetevő is kényelmesen vizsgálható,
- *DC*. A triggerjel a DC komponensével együtt kerül felhasználásra,
- *HF*. A triggerjel egy 30 kHz-es törésponti frekvenciájú (-3 dB) felüláteresztő szűrőn megy keresztül. Ezt a csatolást akkor érdemes használni, ha olyan nagyon nagy frekvenciás jelre szeretnénk triggerelni, amelynek kismagyságú összetevői is vannak.

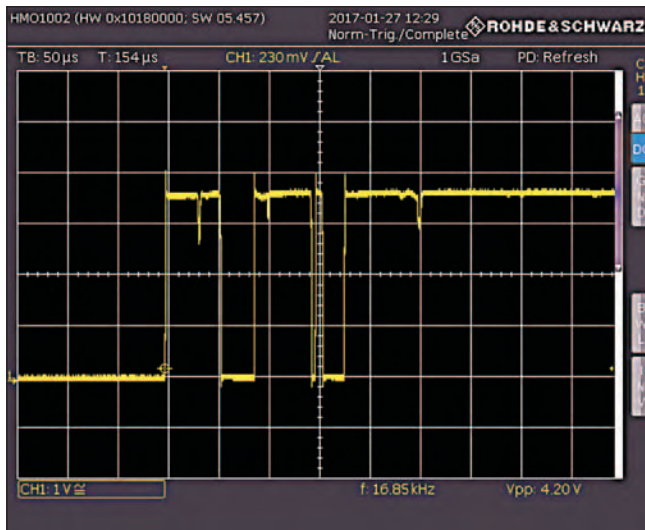
- *Low Pass*. A triggerjel egy 5 kHz-es levágási frekvenciájú aluláteresztő szűrőn megy át. Ekkor a nagyfrekvenciás komponensek lesznek hatástalanok. Ez az üzemmód az AC/DC csatolásnál is rendelkezésre áll,
- *NR* (Noise Reduction). Zajcsökkentő eljárás, ami egy max. 100 MHz-es törésponti frekvenciájú aluláteresztő szűrőt használ, ami által a triggererősítő zajtűrését teszi jobbá. Ezt is alkalmazhatjuk AC/DC csatolásnál egyaránt.

Meg kell jegyezzük, hogy a *Low Pass*, és az *NR* funkciók egymást kizárják, egyidejűleg nem alkalmazhatók.

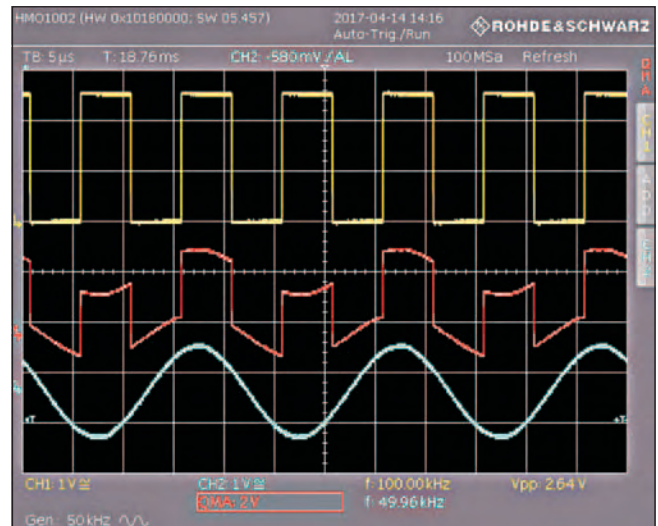
Szinte kimeríthetetlen triggerelési módot ad az impulzus (Pulse) különböző jellemzőire történő szinkronizálás. Általában olyan negatív, vagy pozitív impulzusra triggerel, amelynek impulzusszélessége megegyezik, vagy éppen nem egyezik meg egy, a kezelő által



10. ábra



11. ábra



12. ábra

előre beállított értékkel. A hatféle változatot a típushoz szintén leítható Filter menüből választhatjuk ki (8. ábra).

A tolerancia-intervallumot pedig egy újabb almenüből elérhető módon az Univerzális forgatógombbal 16 ns ...34,36 s-ig állíthatjuk be (9. ábra) Úgy véljük, hogy ez már tényleg az a mélység, mikor a várható érték, az eredő jel előzetes ismerete nélkül a mérés könnyen ellehetetlenül.

A menüben szereplő további két trigger típussal, a logikai (Logic), valamint a videó (Video) triggerrel jelen közleményünkben nem foglalkozunk. Az előbbivel azért, mert korrekt működéséhez logikai szonda (HO3508) szükséges.

A videó trigger pedig elége egyszerű az azt használók körében. Csúpan tájékoztatásul: lehetővé teszi a PAL, NTSC, SECAM sztemder videojelek és HDTV jelek általi triggerelést. Az ehhez a menühöz is választható Filter menüben végezhetjük el a pontos beállítást:

- *Hold-Off* (holtidő). A triggerjel összetett jelalak is lehet, sok lehetséges triggerelési ponttal, mint pl. egy digitális impulzussorozat (10. ábra). Még akkor is, ha a hullámalak ismétlődő, egy egyszerű triggerelés különféle mintázatokat eredményezhet a képernyőn ahelyett, hogy ugyanazt a mintát rajzolná fel minden egyes alkalommal. A holtidő, vagy kitartási idő, egy megadott időmennyiség, aminek el kell telnie egy triggeresemény

után, mielőtt a triggeráramkör egy következő triggereseményt elfogad. Másképpen szólva: a triggerrendszer csak a hold-off idő letelte után aktív ismét. Ez az opció tehát olyan periodikus jelek triggereléséhez ideális, amelynek számos éle van. Az ábránkbeli példánknál a beállítás megakadályozza a triggerelést minden impulzusra, kivéve az első impulzust a sorozatban. A konkrét műszerünknel a holtidőt az univerzális forgatógombbal 50 ns 10 s között választhatjuk meg.

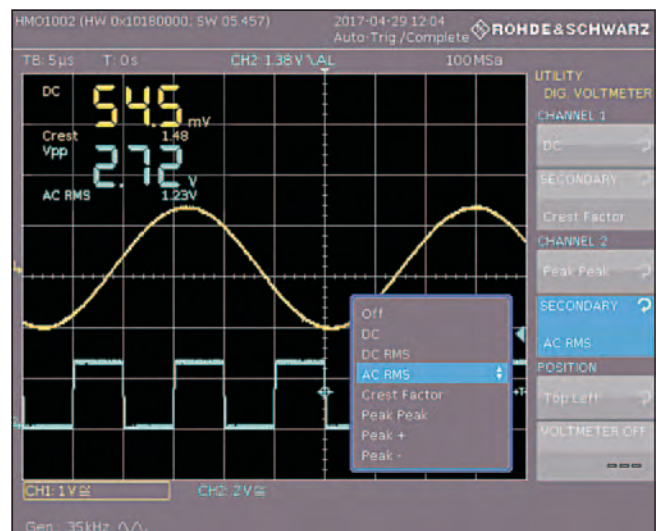
3.1. I. elemző feladat

Vegyük fel egy reed-relé kapcsolási tranzienst, prelegését! Egyszeri lefutású jeltől van szó, tehát csak a Single üzemmód jöhet szóba. Szó volt már róla, de most ismét kiemeljük: általában minden mérésnél érdemes tudni (megbecsülni) a várható értéket. Ez, meg az előző „tudományos” okjejtések alapján kell(ene) az előzetes műszerbeállításokat elvégezni. Egyszeri lefutású, hosszú időnként ismétlődő, vagy éppen megismétel-

hetetlen jeleknél ez az eljárásrend alapvető fontosságú lehet.

Az üvegpatronos reed-relével egy 5...15 V-os feszültséget kapcsolunk egy kb.100 ohmos ellenállásra. A pergesési jelenséget az ellenálláson regisztráljuk. A konkrét pergeskép valószínűleg függ a kapcsolt áram nagyságától, és várhatóan 500 s-nál nem tart tovább a jelenség.

Ezeket a „várható értékeket” figyelembe véve állítsuk be a DSO kezelőszerveit. (Itt most megelőlegezzük: az adatgyűjtés (Acquire) menüből a csúcsdetektálás (PD = Peak-Detect) opciót választjuk) Az egyik lehetséges eredményt a 11. ábrán láthatjuk. Azon túl, hogy az ábra kitűnően elemezhető, figyeljük meg a felső és alsó keretvonalakon kívül megjelenített beállítási értékeket!



13. ábra

4. A függőleges rendszer

A menücsoporthoz főbb kezelőszervei az analóg oszcilloszkópoktól ismert beállításokat teszik lehetővé (függőleges érzékenység, pozíció, csatornakiválasztás).

Az egyes kezelőszervekhez egy mindig látható gyorsmenü és egy bővített menü tartozik. Ez utóbbit a „Menu” softkey hívja elő (pl. csatolásmódok, sáv szélesség-limit, invertálás stb.) Ezeknek csupán kezelése, elérési módja más, mint az analóg társáé, így működésükkel, hatásukkal itt nem foglalkozunk.

Ugyanakkor ehhez a menücsoporthoz társítottak (véljük, a helykihasználás okán) néhány olyan alkalmazást is, amely már kimondottan a digitális működésmód sajátja. Ezek közül két főcsoportot mutatunk be: a matematikai funkciót, valamint a „Hasznos” (Util) alkalmazásokat.

4.1. A matematikai funkció

Ez ma már minden digitális oszcilloszkópban létező alkalmazás, hol egyszerűbb, hol kiterjesztett formában. Ez utóbbi esetben a nagykategóriás oszcilloszkópoknál pl. felsőfokú matematikát is jelent függvény- és képletszerkesztéssel stb. Mint utaltunk rá, az előlapon itt kapott helyet, holott inkább a jelanalízis témaköréhez tartozik. Kis műszerünknel a megnyomva pirosan világító „Math” gomb egy gyorsmenüt nyit meg, amelynek fejlécén a QMA (Quick Mathematics) a gyors matekot jelenti. Itt az elején kell leszögezzük, hogy nem egy, a mobiltelefonokon (is) futó számológép alkalmazást hívunk be!

Oscilloszkópunk kétszörös, azaz egyszerre két időfüggvény jeleníthető meg. A két jelet pedig akkor valamilyen formában közösinhetjük. Ez alatt azt értjük, hogy a két hullámalakkal valamilyen matematikai műveletet végezhetünk, nevezetesen: összeadás (addition), kivonás (subtraction), szorzás (multiplication), és osztás (division). A gyorsmenü tetején levő választógomb az első operandust jelöli ki. Alatta az előbbi négy operator közül választhatunk, majd végül a második operandust jelölhetjük ki. (ha valamely függvény-nyel önmagával akarunk műveletet végezni, akkor a két operandus azonos.) Az eredményfüggvény pedig piros színnel rajzolódik ki, s a függőleges kezelőszervek (érzékenység, pozíció) er-

re az új hullámalakra hatnak. A **12. ábra** egy összeadási funkciót mutat be.

Csupán emlékeztetőül: a jobb analóg szkópoknál is megtalálható egy matematikai funkció, az összeadás, valamint egy csatorna-invertálás. Ezekkel már néhány „trükköt” megtehetünk két jelünkön, de a műszer az ernyőre rajzolt jeleket összegzi. Tehát az eredményfüggvény szempontjából nem mindegy a függőleges kezelőszervek beállítása, ha azokat módosítjuk, akkor az eredmény is változni fog. Digitális társánál azonban, az a matematikai eredményt a memóriában tárolt mintából digitálisan képi. Így az eredmény szempontjából szinte közömbös, hogy pl. milyen V/Div érték van a csatornákon beállítva. Itt viszont fontos az, hogy a jel a mintavételezéskor ne lépje túl a képernyő, de legalábbis a 8 bites felbontás határát. Ilyen esetben a képzett eredmény hibás lesz.

4.2. Util (hasznos) funkció

Ez a menüpont tényleg egy sor hasznos szolgáltatást gyűjtött egy menügomb alá, melynek eredményeképpen, ha ezt az alkalmazást választjuk, akkor gyakorlatilag egy komplett elektronikai minilaboratóriumhoz jutunk. Ezek közül kettőt mutatunk be, s az XY üzemmód tekintetében, azt egy alkalmazás kapcsán külön analizáljuk. A „Function Gen” menügomb behívásával a készülék extra szolgáltatásként nem csak oszcilloszkóp, hanem egy alapfüggvénygenerátor szolgáltatást is nyújt. Segítségével lehetőségünk van pl. egy négypólus vizsgálatára, melynek bemenőjelét ugyanez a gép adja. Hangfrekvenciás tartományban szinus, négyszög, háromszög, illetve impulzus jeleket generál tág amplitúdóhatárok között, s akár DC eltolással is. A **12. ábra** egyik (alsó) operandusa innen származik, melyet a képernyő bal alsó sarkában mutatkozó felirat (GEN 50 kHz) jelez is számunkra.

A „Digital Voltmeter” (digitális feszültségmérő) működése független a felvételezés módjától, s a transzformált értékek utófeldolgozásától. Teljes egészében a begyűjtött adatokból dolgozik az A/D konverter alappontosságával. Itt is meg kell állapítsuk, nem a szokásos DMM kéziműszereket pótolja! A definiált mérési tartományon belül (20 Hz-től 100 kHz-ig) csatornánként két-két jellemző mérhető 3 digitális kijelzéssel. A kettő közül az egyik egy elsőleges mérési eredmény, míg a kisebb ka-

rakterű egy másodlagos. A lehetséges mérési módozatokat a menüjével a **13. ábrán** mutatjuk.

A „Comp Test” menüpont alatt lehetőség van elektronikai alkatелеmek (RLC, dióda, tranzisztor) közvetett mérésére, melynek itt történő bemutatása túlságosan messzire vezetne, így ezt sem részletezzük.

Az előzőeken „felbátorodva”, ugyan nem a fenti menüpont segítségével, hanem az általános használat mellett csak bemutatunk egy alkatrészvizsgálatot!

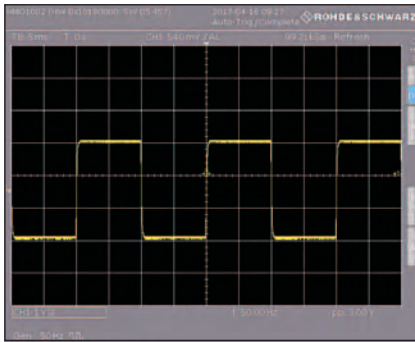
4.3. II. elemző feladat

Adott egy ismeretlen értékű kondenzátor, amelyről annyit lehet tudni, hogy kapacitása 50 és 200 nF között lehet. Határozzuk meg pontosabban az értéket, amihez csak az oszcilloszkópot használhatjuk! Ehhez eszünkbe ötlük a tanult elmélet: a kondenzátor feltöltési folyamatánál az RC szorzat a feltöltési sebességre jellemző, és időállandónak nevezzük, képletszerűen: $\tau = RC$. Ez az időállandó az az időtartam, mialatt a kondenzátor a végfeszültségének kb. 63%-ára töltődik. Tehát kondenzátorunkat egy ellenálláson keresztül töltjük, s rajta feszültséget indikálunk. Ehhez használni fogjuk a szkóp már bemutatott generátor opcióját, valamint az itt még csak megelégedezett mérési lehetőséget: a kurzoros mérést (lásd később részletesen).

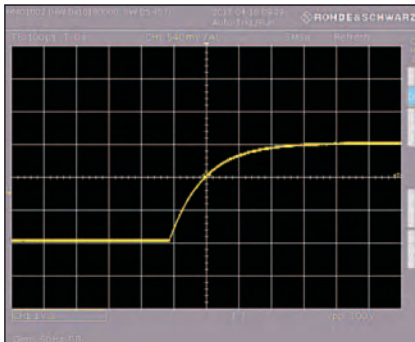
A szükséges műszaki adatok:

- a bemenőjel négyszög, 50 Hz, csúcstól csúcsig 3 V-os amplitúdóval,
- $R = 680 \text{ ohm}$.

Az egyébként aluláteresztő szűrő (integráló) kapcsolást tehát egy állandó 50 Hz-es jellel tápláljuk. A mérési folyamatot képekben a **14. ábra** szemlélteti. A **14.a ábrán** a kondenzátoron mért jelalak alig mutatkozik különbözőnek a bemeneti (igen precíz) jelhez képest. Ha azonban az időalapot 100 s/Div-re változtatjuk (**14.b ábra**), akkor már jól látszik a töltési folyamat. Következő lépésként a feszültségmarkerekkel jelöljük be a 3 V-os amplitúdó 63%-nak megfelelő 1,89 V-os feszültségértékét (**14.c ábra**). Ezt követően az időjelölőkkel az előbbi tartomány időtávolságát határozzuk meg (**14.d ábra**), mely példánk esetében 109,8 s volt. Az előzőek szerint $C = \tau / R$, behelyettesítve, s az osztást elvégezve C-re 160 nF érték jön ki. Digitális RLC mérővel utólag



14.a ábra

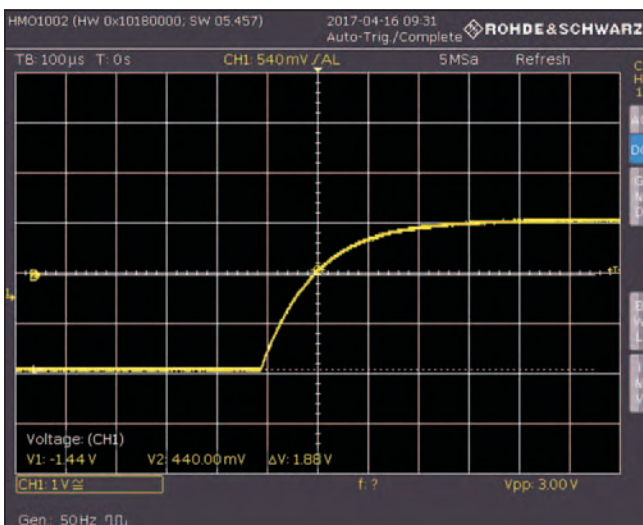


14.b ábra

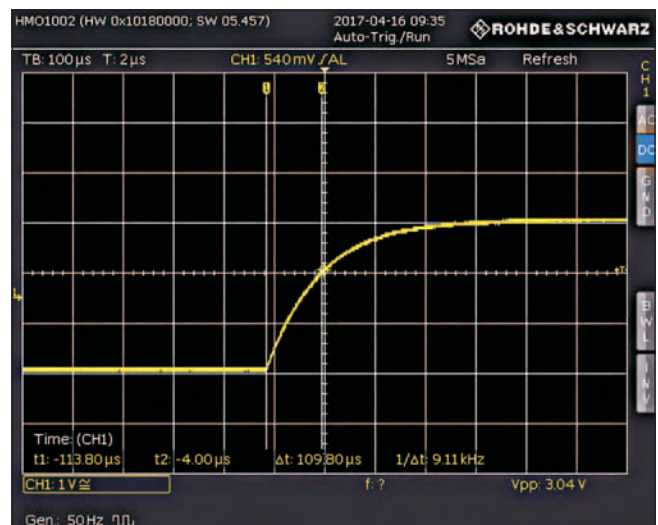
megmérve alkatrészünket, az 152 nF-ot mutatott. Az oszcilloszkópos eredmény jobb, mint az várható volt, hiszen mindig kalkulálni kell a leolvasási pontatlansággal, s nem utolsó sorban a 8 bites A/D konverterünk kvantálási lépcsőivel is.

5. A vízszintes menücsoport

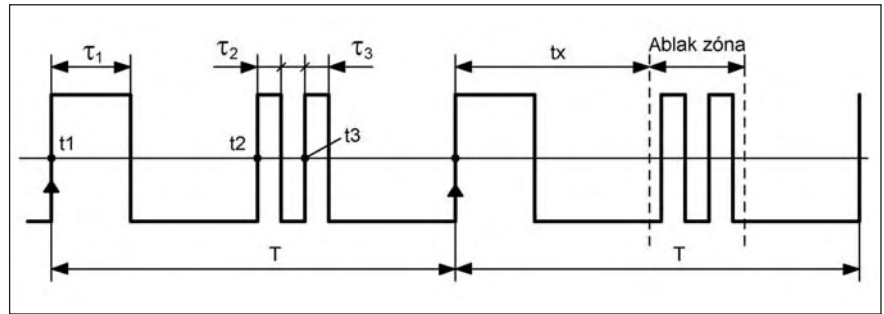
A függőleges szekcióhoz hasonlóan a klasszikus vízszintes eltérítés beállító szerveihez is társítottak néhány, csak



14.c ábra



14.d ábra



15. ábra

közvetve idetartozó, de alapvető fontos-ságú alkalmazás kezelését. Az előbbie-k vonatkozásában a vízszintes pozíció gomb működési mechanizmusáról már szoltunk, a Time/Div kapcsolót meg nem kell bemutatnunk. Annál inkább a csak digitális oszcilloszkópokra jellemző két szolgáltatást: a ZOOM funkciót, és az Adatgyűjtés módja (Acquire) főcsoportot.

5.1. A ZOOM (nagyítás)

Ez a szolgáltatás az ún. kettős időalap-pal rendelkező analóg szkópoknál is elérhető volt. Digitális utódjánál a nagy mélységű memória (itt 1 MiB) lehetővé teszi hosszú, komplex jelek rögzítését, amelyek egyes részletei aztán a ZOOM funkcióval tetszőlegesen nagyíthatók, elemezhetők. A pusztá kíváncsiságon túlmenően vannak esetek, mikor a nagyítás teszi csak lehetővé a jelanalízist. Ilyen lehet egy olyan összetett jelalak, ami pl. a 15. ábrán látható. Ebben az esetben analóg szkópoknál a trigge-relés feltételét nem lehet egyértelmű-nek kijelölni. Ha pl. a triggerelés t_1 -nél történik, akkor sem t_2 , sem t_3 impulzus

szélességét nem tudjuk kellő pontos-sággal mérni. Ha az indítás mondjuk t_2 -nél sikerülne (s ez a szerencse mű-ve), akkor az időalapot nyújtva mind t_2 , mind t_3 impulzus kellő pontossággal mérhető lenne.

De nemcsak impulzusvizsgálatnál hasznos ez a funkció, összetett jelcsomagoknál (pl. szinusz burst-ök esetén) ha az egyes összetevőket ki akarjuk „hámozni”, akkor a belső trigger bi-zony esetlegesen „kapja el” a számunk-ra kimutatandó frekvenciát.

A digitális zoomolási eljárás lényege az, hogy bármilyen sikeres trigge-relés esetén, a szinkronizálást követő teljes képernyő időtartományban a jel-be belenagyíthatunk. Ez pedig igaz, mind élőképnél, mind kimerevített (megállított jelfelvétel) állapotban egyaránt.

Egy szép, magyarázattal is szolgáló alkalmazási példát láthatunk az év-könyvünk „A kis hangoskodók” c. cik-kében, s ott is a 6. ábra, valamint a Rohde & Schwarz egyik nagygépével (RTO) készült felvétel kapcsán is. Ese-tünkben a III. elemző feladat példáján



16.a ábra



16.b ábra

keresztül mutatjuk majd be használatának fontos szerepét.

Technikai értelemben pedig azzal a helyzettel szembesülhetünk, hogy a digitális oszcilloszkópok ezen „kettős időalapjának” kezelése összehasonlíthatatlanul egyszerűbb az analóg megoldáshoz képest, gyakorlatilag egy gomb (ZOOM) megnyomását jelenti.

Ilyenkor a képernyő két eltérő nagyságú részre oszlik. A felső, kisebb tartományban az eredeti jelünk mutatkozik, ahol két határvonallal kijelöljük a nagyítani kívánt részletet. Az osztott képernyő alsó részén pedig a nagyítás eredménye látható.

Megjegyzés: A nagyítás abban az esetben eredményes, ha kellő számú mintát rögzítettünk a memóriába. Ez ugye könnyedén lehetséges, mert a memóriánk 1 MPt nagyságban áll rendelkezésre, és akkor számoljunk egy kicsit: ha az időalapunk 2 ms/Div, a mintavételezés 10 MSa/s akkor a kijelző 10 osztás ideje alatt 200 000 pontot tárolunk le. (Megjeleníteni ebből mindössze a kijelzőnek megfelelően fogunk.)

5.2. III. elemző feladat

Eddigi ismereteinkkel felvértelve (egy-kettőt meg megelőgezve) a következőkben egy AM jelet vizsgálunk meg. Tekintettel „állatorvosi beteg lovunkra” több, megfontolásra érdemes praktikat láttatunk, így kissé elmerülünk a részletekben is.

A kiindulási műszaki adatok:

$f_{\text{vivő}} = 10 \text{ MHz}$, amplitúdó: csúcstól csúcsig 6 V szinusz

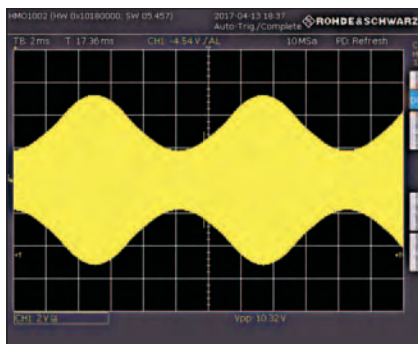
$f_{\text{mod}} = 100 \text{ Hz}$, amplitúdó: csúcstól csúcsig 750 mV szinusz

Először is, hogy helyén lássuk a dolgokat, egy analóg szkóppal idézzük fel az iskolában tanultakat. A modulált jelünk analizését a **16. ábra** felvételsorozattal követhetjük. A **16. a ábrán** tehát az AM jelünket látjuk a „klasszikus” megjelenési formában. Ennek segítségével szoktuk pl. a modulációs mélységet meghatározni. Az időalap 2 ms/Div, a leolvasott periódusidő 10 ms, s innen a moduláló frekvenciára 100 Hz-re adódik. Az ábrából az is látszik ezek után, hogy erre a 100 Hz-re szinkronizáltunk, a nagyfrekvenciás vivőt nem tudjuk ezzel a képpel „számszerűsíteni”. Az előző fejezetben ismertettük a kettős időalap lényegét, hát lássuk mire megyünk vele! Analóg szkópunk ebbéli képességét kihasználva belenagyítunk egy jellemző részletbe (**16.b ábra**) A második időalapunk most 50 ns/Div, a leolvasott periódusidő 100 ns, azaz a frekvencia 10 MHz, ez is rendben van. Ehhez azért van két megjegyzésünk: egyrészt egy ilyen 5 nagyságrendet átfogó frekvenciakülönbségű tartományba nem olyan egyszerű belenagyítani (s ez a szkóp képességeit is dicséri). Másrészt mindjárt látszik a jelentős analóg hátrány: a lényegesen csökkent fényerő, amelynek okait itt nem boncolnánk.

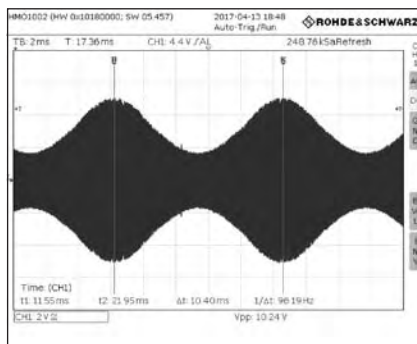
Lássuk inkább az előbbi jelünk digitális megfelelőjét (**16.c ábra**)! Az időalap itt is 2 ms/Div, a kép is ugyanaz. A jelfelvételnél (s ezt itt most megelőgezünk) a PD (Peak Detect), a csúcsdetektálást válasszuk! Figyeljük meg: hol is van a trigger szintet mutató kis nyíl? Lent a kisfrekvenciás jelnél,

tehát – értelemszerűen – itt is a kisfrekvenciás jelre szinkronizáltunk. Mérésük meg ezt az értéket időmarkerek segítségével (**16.d ábra**), értéke a várható 100 Hz-re adódik. Egy eltérés azért látható a 16.c ábrához képest. Itt kikapcsoltuk a PD detektálási módot, s egyszerű jelfelvételezési (Refresh) módszerrel választottuk. Látható, hogy csipkézett szélű lett a jelalakunk. Nem pontosan ilyet láttunk az analóg szkópon, tehát *erre (is) oda kell figyelni*.

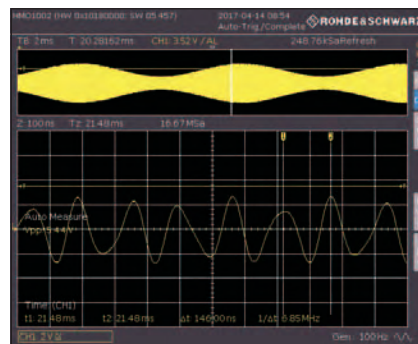
Lássuk akkor a vivőt! Itt is nagyítunk bele a „sűrűjébe”, mert mint említettük, igen egyszerű a ZOOM funkció használata. A felső kisebb keretben látható eredeti jelen két határvonallal jelöljük a nagyítandó részletet, amelyet aztán az alsó keretben láthatunk. Az első meglepetésünk, hogy a látható jel nem tiszta szinusz, és állandó mozgásban van, illetve átfedéssel egymással (**16.e és 16.f ábra**). Mindkét képnél megmértük a frekvenciát, ami persze nem volt egymással egyenlő (5...7 MHz). De más kijelölt szakasznál ez az érték lement akár 1,8 MHz-re is. Valami nagyon nem jó! Ismét megelőgezve egy jelentős szolgáltatást, nézzük meg jelünk frekvenciatartománybeli képét az FFT alkalmazásával (lásd később) (**16.g ábra**). Az eredmény itt is az alsó nagykeretben látható, s a kurzorral mért értéke egybecseng a vizsgált időtartománybeli szakasz hasonló paraméterével. A gép nem hibás, csupán a kezelője nem volt körültekintő. Mit nem vettünk figyelembe? A 16.d ábrától kezdődően a mintavételi sebesség 248,76 kSa/s volt. A kisfrekvenciás jelre szinkronizáltunk, a műszert hosszú ideig futtattuk, azaz visszavette a



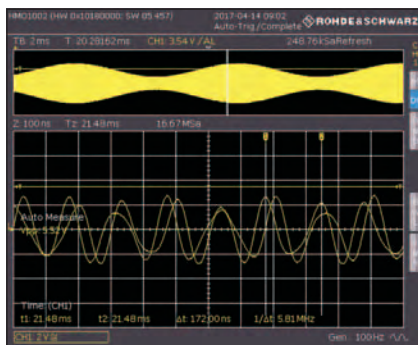
16.c ábra



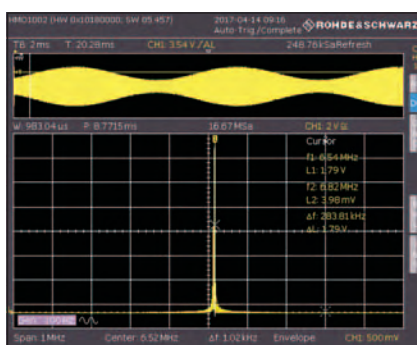
16.d ábra



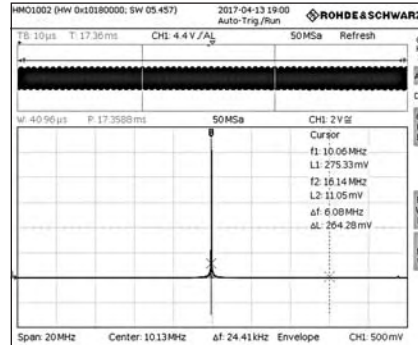
16.e ábra



16.f ábra



16.g ábra



16.h ábra

mintavételi sebességet. Ez jó volt, mert a 100 Hz-es burkolót szépen láttuk. A nagyfrekvenciás összetevőre viszont nem teljesült a mintavételi feltétel, jelentősen alul-mintavételeztünk. Így következhetett be az *Aliasing jelensége*. Egy jóval korábbi szakaszból ha visszaidézzünk: „Az olyan görbealak, amely instabilnak tűnik, vagy a képernyőn „úszik” dacára annak, hogy a triggerelés helyes, nos akkor valószínűleg a jelünk belapolódásos jel.” Láthatjuk, hogy a jelenség tökéletesen hozta a szindrómáit. Végül az utolsó képen (16.h ábra) – talán nem is idetartozóan – egy jól mintavételezett 10 MHz-es jel hibátlan spektrumát látjuk. Eddigi vizsgálatainknál mindig abból indultunk ki, hogy tudtuk mi a várható érték. Azt bizonyítottuk, hogy ha ugyanez az AM jel ismeretlen paraméterű, mennyire körültekintően kell eljárunk, ha pontos képhez, adatokhoz akarunk jutni.

5.3. Az Acquire (adatgyűjtés) főcsoport

Azt láttuk a korábbiakban, hogy a bejövő jel reprodukálásához szigorú feltételhez kötött számú mintát kell venni belőle. Ugyanakkor a digitális oszcilloszkópok másik – már említett – fontos tulajdonsága, hogy amikor begyűj-

tik a mintákat, akkor sokkal több mintát tárolnak a memóriában, mint amit a képernyőn mint pontokat meg tudnak jeleníteni. A két tényező között pedig valami megfeleltetést kell teremteni. Ezt az összerendelési mechanizmust hívjuk *hullámforma feldolgozásnak*. Tehát minden digitális oszcilloszkóp úgy működik, hogy először begyűjti az adatokat, majd a memóriájában eltárolt adatokat valamilyen stratégia szerint feldolgozza, s létrehoz egy olyan hullámformát, amelyet a kijelzőn meg tud jeleníteni. Az adatok „szűkítése”, elejtése többféle rendező elv szerint történhet. A mintakészülékünkbe kétféle koncepciót építettek be.

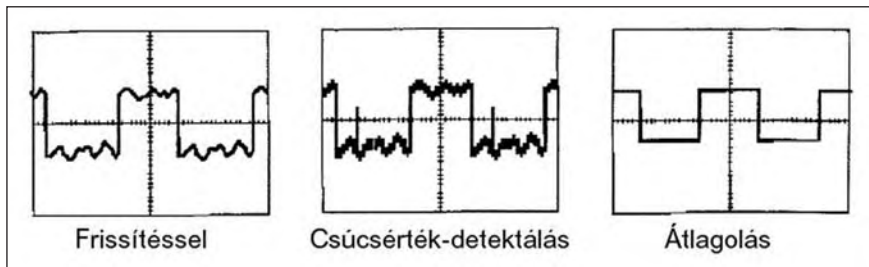
Az egyik az ún. *csúcsetektálási* (PD) üzemmód. Ekkor a műszer egy, a mintamennyiségtől függő intervallumban létrehoz egy-egy felvételi pontpárt, amely az intervallum (pontcsoport) alatti bemenőfeszültség maximumából és minimumából áll. Tehát egy intervallumot egyetlen maximált értékű képponttal reprezentál.

Alkalmazása akkor indokolt, ha szkópunk lassú időalappal működik (kis mintavételi arány), akkor a jelben előforduló gyors beütések jól detektálhatók. Ez persze azt is jelenti, hogy ha nem figyelünk, hogy a begyűjtött adatainkat milyen módon rendeljük hozzá

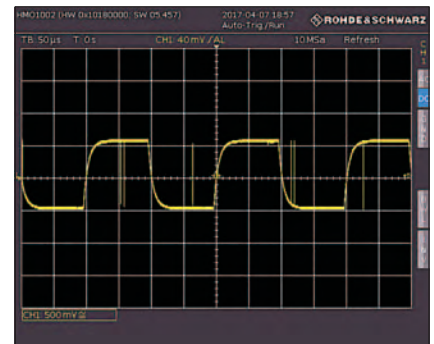
egy-egy pontokhoz, azaz *nem jó adatszűkítési algoritmust választunk ki, akkor a megjelenített jel akár torzulhat is*. Erre már láttunk a III. elemző feladatnál egy még nem túl zavaró példát.

Egy másik fajta stratégia az ún. *Nagyfelbontású (High Resolution)* eljárás. Ez arra szolgál, hogy valamely jelalakot (vagy annak részletét) részletesebben tudjunk vizsgálni. (Figyelem! Ez nem azonos a ZOOM funkcióval.) A megoldás alapötlete az, hogy adott egy adathalmaz, amiből csak egy értéket (pontot) akarunk megjeleníteni, akkor annak a számtani középértékét számítsuk ki, és ábrázoljuk egyetlen képpontként. Ennek a módszernek az a nagy előnye, hogy minél nagyobb a különbség a „pufferben” levő pontok mennyisége és a képernyőn ábrázolható pontszám között, annál hatékonyabb ez az átlagolás. Az eredmény pedig: az oszcilloszkóp függőleges felbontása finomítható.

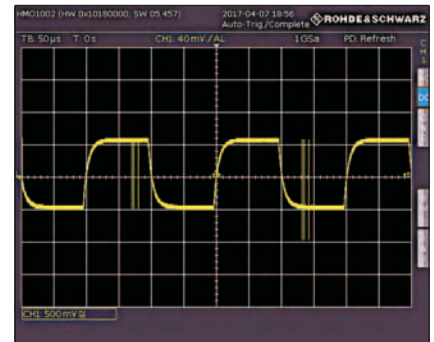
Matematikai úton bizonyítható, hogy adott bithosszúságú adatoknál ez a csúszóablakos átlapolás (ami a szomszédos minták átlagát veszi), az oszcilloszkópunk függőleges felbontását az eredeti 8 bitről 10-12 bitre megnöveli, feltéve, hogy a műszerünk bemenete csak minimális zajjal terheli a bemenetre jutó jelünket.



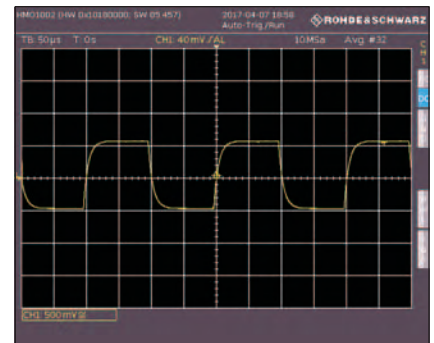
17. ábra



18.a ábra



18.b ábra



18.c ábra

54. Az Aritmetikai (Arithmetic) lehetőségek

Az előző két eljárás azzal foglalkozott, hogy mi történik az adatokkal, amikor mintavételezés után eltároltuk őket a memóriában, s az abban tárolt adatmennyiséget leképeztük egy olyan adathalmazra, amely már annyi pontból áll, mint amit vízszintesen meg tudunk jeleníteni.

Amikor az oszcilloszkóp előállít egy ilyen jelalakot, amint ezzel végzett, elkezd egy újabb jelalakot előállítani, vagyis 1 s alatt az előbb bemutatott algoritmusokkal (PD, HiRes) akár több ezer darabot is. Ezeket a jelalakokat aztán egymás után rajzolja, jeleníti meg az oszcilloszkóp. Kérdés, hogyan rakja ezeket egymás után? Az Acquire menüfőcsoportban találunk egy „Arithmetic” almenüsört, ahol azt választhatjuk ki, hogy az oszcilloszkóp az egymás követő jelalakokkal mit csináljon. Ezek pedig:

- *Refresh (Frissítés)*. A legegyszerűbb megoldást választja. Amikor a gép kirajzolt egy jelalakot, a következő jelalaknál az előzőt törli, s ezt az újat jeleníti meg. Így az aktuális jelek rögzítésre és kijelzésre kerülnek. Alapértelmezett kijelzés-mód, átlagos feladatra jó jelhűséget biztosít,
- *Envelope (Burkológörbe)*. Ha arra vagyunk kíváncsiak, hogy pl. egy zajos jel milyen széles határok között ingadozik, akkor ezzel a menülelőhívással arra utasítjuk a műszert, hogy ne törölje a korábbi jelalakot. Azaz egy adott képpontban az addig az adott időpontig előforduló legnagyobb pontokat végig tartsa megjelenítve, s mindig azokat ábrázolja. A bukológörbés megjelenítés tehát egy időben változó jelnél azt tudja ábrázolni, hogy milyen széles határok között ingadozik a jelünk a pozitív

és negatív kilengéseit tekintve. Teszi ezt olyan formában, hogy idővel a burkológörbe jelenik meg,

- *Average (Átlagolás)*. Az elnevezés magáért beszél. Azért vigyázzunk: ez az átlagolás nem az, mint amit a nagyfelbontású pontleképezés esetében elmondtunk! Nem arról van szó, hogy a memóriába begyűjtött igen sok egymást követő pontokat kiátlagoljuk, s azokat képezzük le egy ponttá. Ebben az esetben a már valamely adatfelvételi stratégiával (lásd előző fejezetben) előállított adathalmazból képzett hullámformákat vetítjük egymásra, s azokat tesszük a képernyőre. Az átlagolások száma az univerzális forgatógombbal kettő hatványai szerint 2 és 1024 között választható meg. Használatával a megjelenítendő jelben csökkenthető az abban levő véletlenszerű, vagy a jellel korrelációban nem levő zaj, azaz a jelünk „simább” válik.

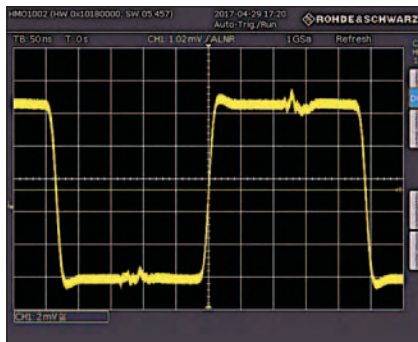
A simításra további két lehetőség is kínálkozik: egyrészt van egy kimondottan ilyen nevű almenü (Smooth = simítás), másrészt egy szűrő menüpont is. Ez utóbbi esetben a megjelenített jelgömbét valamilyen szűrő algoritmuson keresztül vezeti át a műszer, s azután ábrázolja. Konkrétan bekapcsol egy, a felhasználó által megadható vágási frekvenciájú aluláteresztő szűrőt, mely így elnyomja a nagyfrekvenciás összetevőket.

A szűrő vágási frekvenciája a mintavételi frekvenciához rendelt. A legalacsonyabb beállítható érték a mintavételi frekvencia 1/100-d része, a legmagasabb érték pedig az 1/4-e.

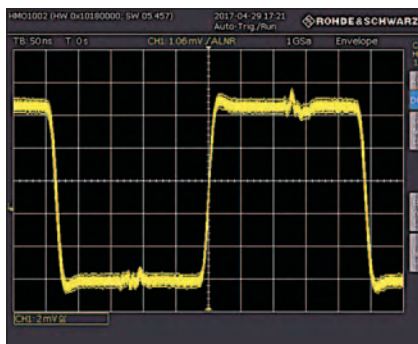
Az előzőeket illusztráló a 17. ábrán három olyan esetet mutatunk, ahol az eredeti négyzögjelben levő véletlenszerű tüskét vagy észrevesszük,

vagy nem, s mindez csak a választott leképezési és megjelenítési stratégiától függ. A 18. ábrán ugyanazt a sorozatot mutatjuk, de már élőképekben. A rácsvonalon kívüli jelzésekből látjuk, hogy a 18.a ábra Refresh aritmetikával, a 18.b ábra csúcsdetektálással, míg a 18.c ábra átlagoló aritmetikával került ábrázolásra. A tanulságok levonását az olvasóra bizzuk.

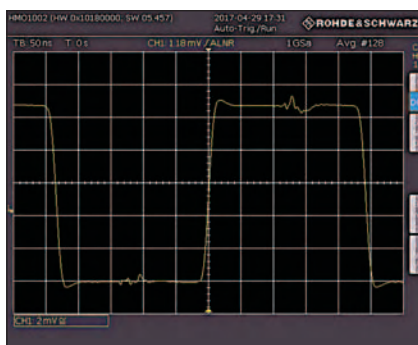
Az előző szakaszban a jelsimításról írtunk, többféle lehetőséget is ismertettünk. Óhatatlanul felmerül a kérdés: áldás vagy átok-e ez a fajta „sokszínűség”? Persze minden nézőpont kérdése. Egy zajokkal terhelt jelet másképpen tudunk vizsgálni, ha azt mondjuk átlagolással szépen „kismítjuk”. Ugyanakkor minden esetben tudnunk kell, hogy az eredeti jel nem úgy néz ki, csak a



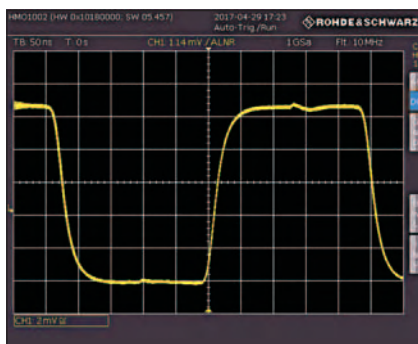
19.a ábra



19.b ábra



19.c ábra



19.d ábra

vizsgálat idejére dobtunk be egy kis „Photoshop-ot”. Ha pedig rosszul választunk jelsimítási algoritmust, akkor adott esetben nagyot is tévedhetünk. A helyzet akkor becsapós, ha a gépbeállítást úgy hagyjuk, s a következő alka-

Táblázat

Beállítás	Előnyök	Hátrányok	Alkalmazás
Max. Wfm. Rate	- sok felvétel egy képen belül, - ritka események gyors detektálása, - gyors reagálás működési vagy jelváltozásra, - alacsony zajszív.	- nagy Aliasing rizikó, - a részletek kevésbé pontosak, - csakély mérési pontosság a kis mennyiségű adat miatt.	- ritka események keresése, - modulált jelek kijelzése.
Max. Sa. Rate	- maximális részletpontosság, - alacsony Aliasing rizikó, - nagy mérési pontosság.	- lassú reagálás működési vagy jelváltozásra, - lassú jelfrissítési ráta - nagyobb látható zaj.	- NF összetevőjű jeleknél, - kis jelrészletek kiértékelésénél.
Automatic	- átlagos jelfrissítés, - jó mérési pontosság, - alacsony zajszív.	- Aliasing lehetősége	- alapértelmezett

lommal – lévén kikapcsolás után is megőrzi a legutolsó állapotot – egy másik jelenséget már „Photoshop” nélkül akarnánk vizsgálni. A 19. ábra felvételesorozata erre mutat jó és rossz példát. Az alapjelünk egy kisszintű zajos négyszögjel (19.a ábra). A zajunk amplitúdóingadozását szépen mutatja a burkológörbés megjelenítés, bár itt ugye nincs szó simításról, ez mást láttat (19.b ábra). Vessük be az átlagolási funkciót, s máris karakterében hasonló, de tisztább kép tárul elénk (19.c ábra). Az átlagolások számának növelésével jelben azt is megfigyelhetjük, hogy a felfutó élén a zaj csökken, de a felfutási idő változatlan marad (a sáv szélesség nem változik). Ha viszont a kisimításhoz a szűrő funkciót használjuk, s annak levágási frekvenciáját rosszul választjuk meg, akkor olyan jelet kaphatunk, amelynek már kevés köze van az eredetihez (19.d ábra).

Megjegyzés: A kisszintű négyszögjelünk vizsgálata (a szkópunk érzékeny állapotban, 2 mV/Div-ban van) egyáltalán azért lehetséges, főként ennyire szemléletesen, mert azt a műszerünk bemeneti fokozata megengedi. Ennél érzékenyebb állapotban is, 1 mV/Div csupán $n = 10 \mu V$ zajt termel a vizsgálni kívánt jelünkre, és a triggerelés sem okozott problémát. Így a szemléltetéshez használt jel már a bemeneten is „ennyire” zajos. Amennyiben a kedves olvasó, ilyen kis jelekkel dolgozna, úgy ennek megfelelően válassza meg „társát” a feladat végrehajtásához.

Összehasonításképpen megnéztük jelünket analóg oszcilloszkópon is, ahol a simítást csak a sáv szélesség korlátozással (BW limit funkcióval) lehetett elérni, de akkor már információvesztéget is láthattunk. Ugyanez a helyzet áll elő itt is, ha pl. az átlagolási

funkciót a BW-Limit alkalmazással kombináljuk. Szép sima jelünk lesz, de már veszteséges.

Kifejezetten lassú jelek vizsgálatára alkották meg az ún. „Görgető”, vagy *Roll funkciót*. Ez szintén az Acquire menüfőcsoportban található, s használatát 200 kHz alatt lehet aktiválni. Ugyanis lassú jeleknél a hagyományos jelfeldolgozási procedúrával a képernyőfrissítés nagyon sokára történhet meg. A felhasználónak nehéz ekkor eldöntenie, hogy tényleg nincs jel, vagy csak a frissítési idők miatt nem lát jelet a képernyőn.

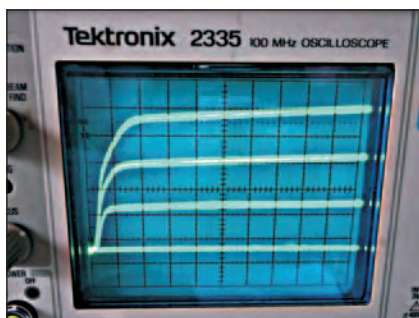
A Roll funkciót választva a mintavételezés triggerelés nélkül folyamatosan történik, s azonnal a tárbá íródik, miközben annak tartalma egy címmel arrébb lép, azaz a legrégebbi minta kicsordul a tárból [4]. Minden egyes új minta a képernyő jobb oldalán jelenik meg, s a jeltől már ábrázolásra került részek fokozatosan a képernyő bal oldala felé tolnak el, míg végül elhagyják azt. Hatásában ez úgy jelentkezik, hogy a „fényugár” a képernyőn jobbról balra mozog. A Roll üzemmód használata a képernyőre rajzolt jelalaknak mindig a jel legutóbbi időben mutatott viselkedéséről ad információt.

5.5. És a helyzet fokozódik

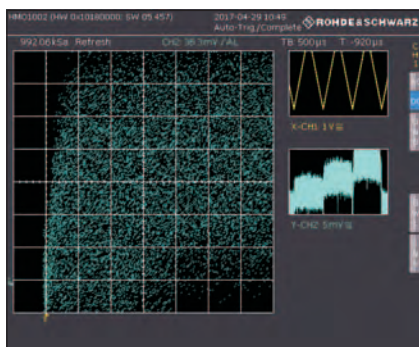
Az előzőekből talán kitűnik, hogy mire a szkóp eljut egy hullámforma kijelzéséig, addig belül igen sok művelet történik. Csupán emlékeztetőül: adatokat begyűjt, aztán szelektál, így előállítva egy hullámalakot, majd valamilyen külön algoritmus szerint kijelzi azt. De mindez persze időbe telik. Ennek megfelelően az oszcilloszkópok jelfeldolgozási ideje különböző lesz. Minél összetettebb jelfeldolgozási procedúrák



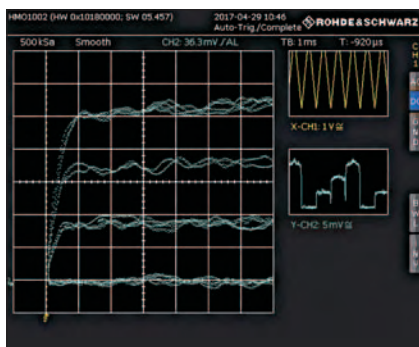
20.a ábra



20.b ábra



20.c ábra



20.d ábra

választunk, annál hosszabban áll elő egy hullámalak. Ekkor pedig előfordulhat, hogy egy-egy összetett jelalaknál a hosszas feldolgozás miatt lassabban frissít képet az oszcilloszkóp, mint amilyen gyorsan változik a jel. A következő ményeit meg ismerjük.

Persze mindenre létezik gyógyír, s ebbe a kis oszcilloszkópba így még egy optimalizálási lehetőséget is beépítettek: ez pedig a *Record mód*, ami szintén az Acquire főmenü csoportban található. Ezen menüpont alatt a műszer az adatfeldolgozás során a memóriakezelési üzemmódját választja ki. Beállíthatjuk, hogy milyen memóriakezeléssel dolgozzon saját magán belül, vagy hogyan optimalizálja saját belső memóriakezelését s mintavételezési mechanizmusát.

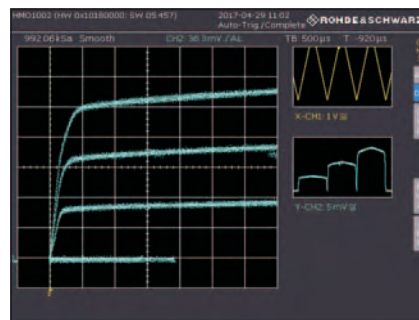
Három lehetőség közül választhatunk. Kijelölhetjük, hogy ezt döntse el automatikusan (*Automatic*). Sok dolgunk ekkor nincs vele, s egyben ez a default érték. Ugyanakkor nem győzük hangsúlyozni, hogy szemünk a mintavételi sebességet jelző számértéken legyen, elkerülendő a hamis kép kialakulását.

Választhatjuk a *MAX. SA. RATE* lehetőséget, amikor azt akarjuk, hogy a gép adott körülmények között mindig a legnagyobb mintavételi sebességgel dolgozzon. Végül a *MAX. WFM. RATE* kiválasztásával mindig a legnagyobb jelgörbe frissítési mechanizmus mellett dönthetünk.

Dolgunkat megkönnyítendő a **Táblázatban** összefoglaljuk a három lehetőség használatának előnyeit és hátrányait.

5.6. IV. elemző feladat

Szinte minden eddigi adatgyűjtési, feldolgozási lehetőséget be lehet mutatni a következő feladatnál, ahol is az oszcilloszkóp XY üzemmódját használjuk. Analóg testvérehez hasonlóan ebben a módban két jel kerül a képernyőre, az egyik az X, a másik az Y tengelyen. A szokásos időalapú a második jel amplitúdója váltja fel. Ezen üzemmód egy lényeges különbséget mutat az analóg gépekhez viszonyítva, nevezetesen: a két csatorna teljesen egyenértékű, mindkettő maximális sávszélességig használható. (Az analóg oszcilloszkópoknál a vízszintes fo-



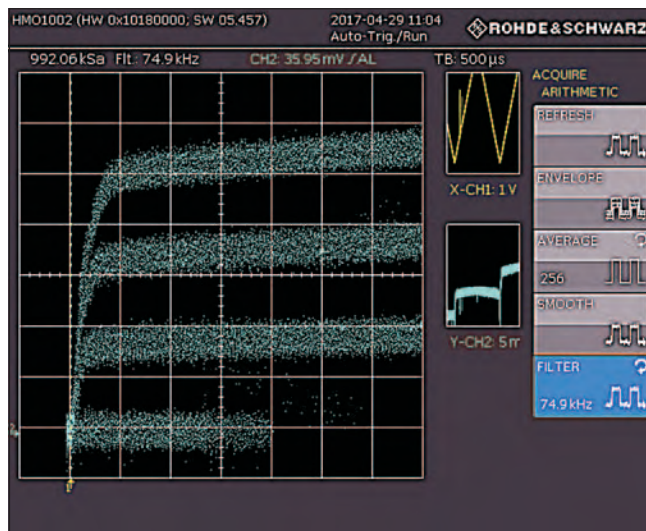
20.e ábra

kozat jellemzői tipikusan egy nagyságrenddel rosszabbak a függőlegesnél.) Az XY üzemmódban a képernyő egy nagyobb, és két kisebb részre van osztva. A nagyobb képernyő részen mutatja az XY ábrát, míg a kis mezőkben az X és Y bemenetek szokásos időfüggvényei láthatók. Ez utóbbi később igen hasznos szolgáltatás lesz, s mint ilyen pl. órási előrelépés az analóg szkópokhoz képest.

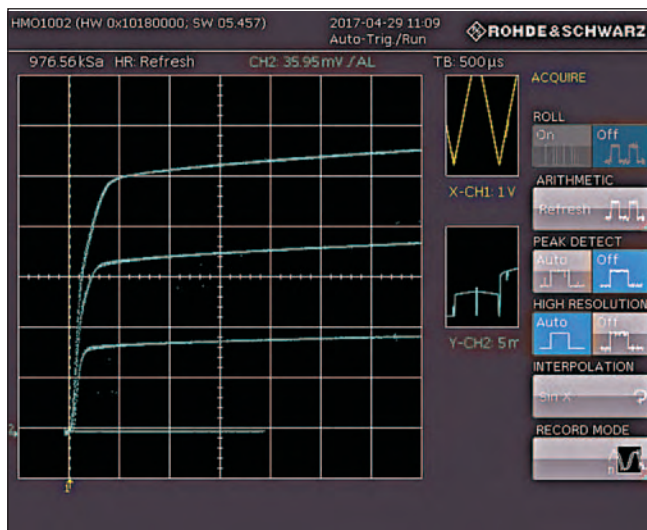
A vizsgálandó áramkörünk egy kimondottan XY üzemmódra készült tranzisztorkarakterisztika-rajzoló, melyet a *Hobby Elektronika 2001/2. számában* ismertettünk. Az áramköri kialakítás által meghatározott megjelenítési követelmények:

Az Y csatorna érzékenysége 5 mV/Div, az X csatornáé jobb, mint 500 mV/Div. Az előbbi érzékenységi adat már zajos környezetet feltételez, ami majd kihatással lesz a megjelenítésre.

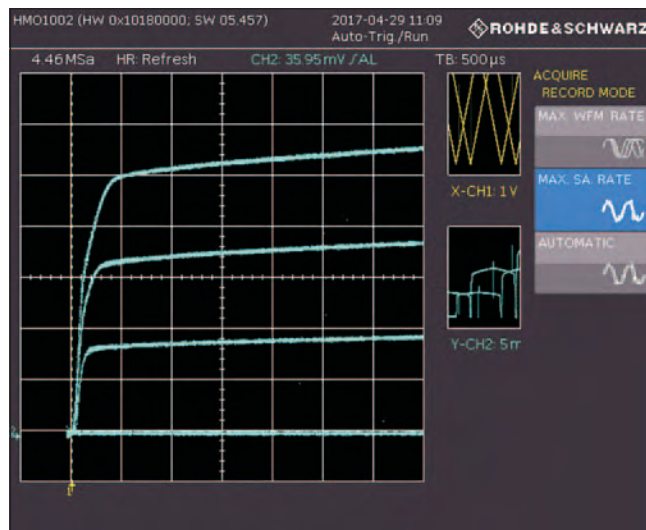
Az áramkör jelzésképe egy tranzistor kimeneti ($U_{CE}-I_C$) görbeseregét (itt 4 db) rajzolja ki, melyet ismertnek feltételezünk. Tekintettel a sok lehetséges kerülőútra, itt is részletes bemuta-



20.f ábra



20.g ábra



20.h ábra

tásra törekszünk, melyet a **20. ábra** felvételesorozata segít.

Először itt is megnéztük analóg szkóppal, s máris csalódtunk (**20.a ábra**). Tudtuk a várható eredményt, de ez használhatatlan. Változtatlan beállítások mellett egy másik (kisebb) oszcilloszkópon az eredmény szépen mutatkozott. „A hiba nem az ön készülékében van” mondták egykoron, s tényleg, azaz mégis, de pozitív értelemben. A 100 MHz-es Tektronix szkóp túl jó volt, s ez a sávszélesség minden zajt meg is jelenített!

Benyomva a BW-Limit gombot az eredmény közel ideális lett (**20.b ábra**). A digitális analízist itt az oszcilloszkóp alapértelmezett, azaz a szokásos (aritmetika: refresh, record: automatic) beállításával kezdtük (**20.c ábra**), s elsőnyűlködtünk a látottakon.

Nyilvánvaló, hogy, hogy ez a „másikos” képernyő nem a szokásos feldolgozási procedúrát igényli. A kis időablakban megfigyelhetjük az Y csatorna nagymértékű zajosságát. Az előző fejezetek ismeretében több tehetségünk is van a problémát kezelni, s ezeket 14 képernyő felvétellel rögzítettük. Ezek közül a megoldáshoz vezető út néhány állomását mutatjuk be.

Rögtön le kell szögezzük, hogy az analóg „trükk”, a csatorna-sávszélesség korlátozása itt nem hozott jobb eredményt. A helyzetet kissé bonyolítja, hogy nem tudjuk, a kijelzett mintavételi sebesség melyik csatornára is vonatkozik? Feltételezve, hogy elegendő mintánk van, először a simítási (smooth) aritmetikával próbálkoztunk (**20.d ábra**), de kevés sikerrel. Itt

már észrevehetően kevesebb az Y csatorna zaja, a képből már az is kivehető, hogy mit is kar ábrázolni. Felbátorodva megnöveltük a mintavételi sebességet (gyorsabb az időalap), s máris sokat javult a helyzet (**20.e ábra**), de az alsó görbe csonka lett, információt veszítettünk.

A zaj csökkentésének másik módja a szűrő (filter) aritmetika alkalmazása. Itt meg a helyes érték megválasztása igényel kiemelt figyelmet. A **20.f ábrán** egy 75 kHz-es szűrőt használtunk, nem volt szerencsés választás. A szűrő törésponti frekvenciáját 15 kHz-re csökkentve, ismét a **20.e ábra** szerinti képet kaptuk. Az előzőnél tehát jobb, de zsákutca.

A képekből az is nyilvánvaló, hogy az egyik irány a zaj kiszűrése, a másik pedig a függőleges felbontás növelése lehet. A Hi-Res optimalizálási lehetőséget alkalmazva a **20.g ábrához** jutunk.

Már-már hátradőlhetünk, de a csonkolt alsó görbe azt mutatja, hogy alacsony a mintavételi sebesség. Segítségül hívjuk hát a memóriakezelési Record menüpontot, amelyből a Max. Sa.rate lehetőséget választjuk (**20.h ábra**)

A kb. 5 MHz-re növelt mintavételezés + a felbontás növelésének megtartása meghozta fáradozásunk gyümölcsét. A kép szebb, mint analóg társáé.

Azért azt meg kell jegyezzük, hogy ezen utóbbi szubjektív megítélés szerint akár még szebb is lehetne. Ne fedjük, hogy a kijelzőnk néhány száz képpontos vízszintes, ill. függőleges felbontása messze nem éri el egy katód-

sugárcsöves készülék folytonos jelrajzolósi finomságát.

Túl az A/D átalakító kvantálási lépésein, azok hibájából adódóan a feszültségek némi kvantálási zajjal jelennek meg a kijelzőn (kicsit mindig „szőrösnek” látjuk). Nyilvánvaló, hogy ez sem lesz mindig így.

6. A jelanalízis

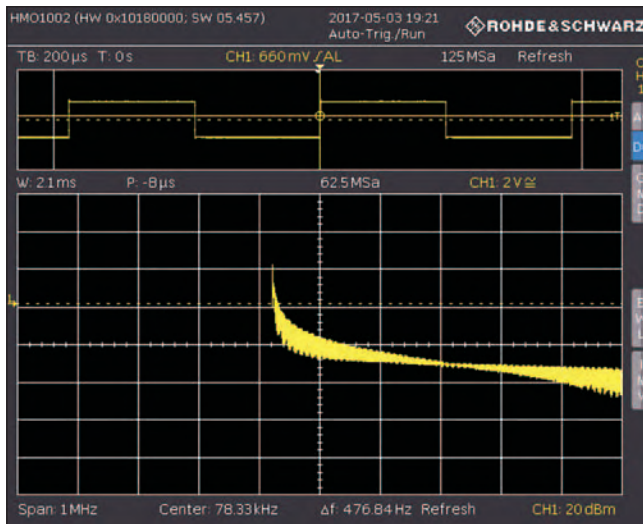
Az első fejezeteknél említettük, hogy a tradicionális oszcilloszkóp-kezelőcsoportokon túlmenően találhatunk egy olyan menücsoportot, amely csak kimondottan a digitális szkópok sajátja: ez pedig a jelanalízis lehetősége. Ezek közül is kettő kiemelkedően nagy fontossággal bír, ez pedig a *közvetlen mérési lehetőségek, és az FFT analízis*.

6.1. A közvetlen mérési lehetőségek

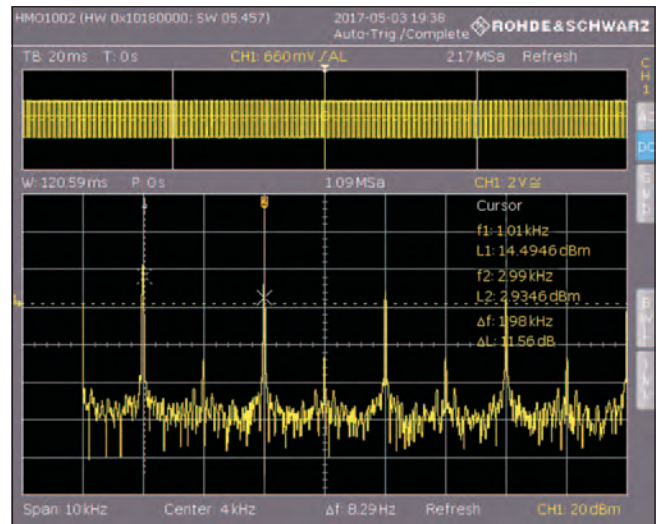
Automata módon (auto measure), vagy kézi állítással, kurzorok segítségével (cursor measure) lehetőségek. Nézzük először az utóbbit!

A művelet lényege abban áll, hogy kurzorokkal (jelölőkkel) mindkét tengely mentén kijelölhetünk tartományokat, s ezen tartományokon belül a választott lehetőségeknek megfelelően a műszer megméri, s kijelzi az adott jellemzőt.

Egyszerű eseteivel (amplitúdó- és időmérés) már találkoztunk is a II. elemző feladat kapcsán. A módszer azonban alkalmas összetett jelalakok vizsgálatára is attól függően, hogy milyen mérési típust (measure type) választunk ki.



21.a ábra



21.b ábra

Az összesen 13 mérési lehetőség közül itt csak néhány, talán magyarázatra szoruló (?) típust említünk.

- *Ratio X (Y)*. Ebben az esetben egy összetett jel egyes szakaszainak egymáshoz viszonyított arányait mérhetjük meg időtartományban, vagy amplitúdóban. Ehhez a gép három jelölőt ad. Az időtengelyen pl. az első és második, valamint az első és harmadik jelölő közötti időtartamok hányadosát számolja ki. Az eredményt részben arányszámban, részben százalékléban jelzi ki, de átszámolja fokra és radiánra is. Ez a funkció akkor hasznos, ha pl. valamely digitális jel időzítését (pl. kitöltési tényezőjét, bár arra van közvetlen lehetőség is) szeretnénk mérni.
- *Count* (számlálás). Kiváltképpen digitális jelek vizsgálatánál hasznos lehet tudni, hogy egy adott időtartam alatt a jelünk egy adott szintvonalat hányszor lép át pozitív és negatív irányban. A Count funkció erre szolgál. Szintén három jelölőt alkalmaz, így beállíthatunk egy bal oldali, egy jobb oldali időtartamot (amit együtt is lehet mozgatni), valamint egy szintvonalat.
- *RMS, MEAN, Standard Deviation* (négyzetes középérték, algebrai középérték, szórásnégyzet). A két jelölő által kijelölt „területen” a felsorolt jellemzőket méri, mely közül a szórás-

négyzet () azt láttatja, hogy mennyire szélsőséges jelünk ingadozása ezen időtartományon belül.

- *Crest factor* (Csúcstényező). Azt mutatja meg, hogy két időbeli határ között egy jelnek egy pillanatnyi csúcstényező hány-szor nagyobb, mint a jelnek tényleges teljesítménye, a négyzetes középértéke. A gép kiszámolja a jelnek a tényleges hőteljesítményét, és megméri az abszolút csúcsteljesítményét is. Majd a kettő arányát végül csúcstényezőként megjeleníti. Nagyon óvatosan bánjunk a jelölőkkel! Egy sima (zavarmentes) szinuszjel ismert csúcstényezője $\sqrt{2}$ (1,41). Ezt akkor méri a gép ennyinek, ha pontosan egy periódust „fogunk be” a jelölőkkel. Kicsivel több, vagy kevesebb (még ha szemre nem is látszik), az érték más lesz.

Az Auto Measure (Automata mérés) alapvetően abban különbözik a kurzoros mérésektől, hogy ebben a módban nem jelölünk ki időtartamot (feszültségtartományt), hanem a műszer az egész képernyőre vonatkoztatott tartományban méri meg, számolja ki, a választott jellemzőket.

Ezekből pedig ebben a kis műszerben összesen 30 db található ezen menüpont alatt. Könnyen belátható, hogy ezek + a kurzoros lehetőségek képekkel illusztrált teljes bemutatása önálló, terjedelmes cikket igényelne, így e tekintetben forgassuk a digitális gépünk-

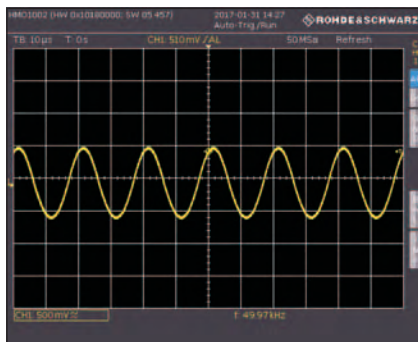
höz kapott gépkönyvet, és gyakoroljuk, gyakoroljunk.

6.2. Az FFT analízis

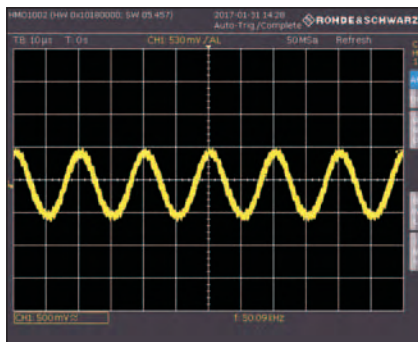
Ha már digitális jelfeldolgozás, akkor szinte adja magát a spektrumanalizálási lehetőség, amely már a kisebb oszcilloszkópokban is helyet kapott. Az áttérést az időtartománybeli vizsgálatról a frekvenciatartományra (frequency domain) a Diszkrét Fourier Transzformáció (DFT), illetve annak matematikai módszerekkel felgyorsított változata a Fast Fourier Transform (FFT) teszi lehetővé.

A kiindulási alap a francia matematikus, Fourier tétele: „Minden periodikus jel felbontható végtelen számú szinusz- és koszinuszjel összetevőre. A harmonikusok frekvenciája az alapharmonikus frekvenciájának egész számú többszöröse, amplitúdóikat pedig az adott periodikus jellel kiszámítható matematikai függvény határozza meg [5].” Ezen eljárás segítségével egy jel időfüggvényéből megállapítható annak frekvenciaspektruma. Természetesen a mintavétellel dolgozó oszcilloszkópunk esetében a Shannon feltétel, és a Fourier tétel „találkozik”, s elmondhatjuk, hogy egy vizsgált jel időtartományban vett „n” mintájából meghatározható frekvenciatartományának „n” komponense. Az érdeklődőknek az [5]-ben bemutatunk, pontosabban levezettünk egy 8 pontos DFT-t „kézi” számítással.

Az előzőekből világosan látszik, hogy műszerünk a spektrális összetevőket matematikai úton határozza meg,



22.a ábra



22.b ábra

azaz nem egy mérési érték, hanem egy számított függvény. Másképpen fogalmazva: nem tévesztendő össze a valódi, pl. a heterodin rendszerű analóg spektrumanalizátorral. Persze ha kompromisszumot kötünk, akkor nagyon is látszik a digitális jelfeldolgozás előnye, mert a spektrumanalizátorok ilyen kategóriában is sokkal drágábbak. Ennek ellenére ez utóbbi műszercsaládnál használatos fogalmi elemekkel találkozunk: frequency span, center frequency, vertical scale stb. Az oszcilloszkópunk FFT gombját benyomva, annak függőleges és vízszintes kezelőszervei ezeket a paramétereket állítják be. Persze itt is összefüggenek dolgok egymással: pl. nagyobb időalap kisebb átfogást (span) engedélyez. Ennél a gépnél nagyon fontos FFT beállítási feltétel: az adatgyűjtési record mód a „Max. Sa. Rate” legyen! A „Mod” menüválaszték is azonosul a spektrumanali-

zátorok azonos funkciójához (Refresh, Envelope, Average).

Miként a többi alkalmazásnál, úgy itt is nagyon fontos lehet a várható érték ismerete, mert az analízist elindítva szinte biztos, hogy elsőre nem jó képet kapunk. Példánkban most egy 1 kHz-es, csúcstól csúcsig 6 V amplitúdójú négyszögjelet vizsgálunk. Az FFT alkalmazást behívva, a képernyő két részterületre oszlik: a felső az analizálandó időfüggvényt, az alsó (nagyobb) a frekvencia-tartománybeli felbontását mutatja. A kezelőszervek kiválaszthatóan hol az időtartományra, hol a spektrumképre hatnak. Van egy közbülső kezelői állapot (ezek között a Time/Div gomb ismételt megnyomásával lehet váltani), ahol a nagyítás és a pozíció állítható be. Tehát a felső kis ablakban a vizsgálandó négyszögjelet látjuk a szokásos időnyújtással (TB: 200 ms) 2-3 periódust felrajzolva (21.a ábra). Az alatta levő FFT kép viszont értelmezhetetlen. Ha megfigyeljük, hogy ehhez a beállítás-hoz a gép 1 MHz-es átfogást rendelt 78,3 kHz-es center frekvenciával, akkor világossá válik, hogy így az eredeti jelből semmi nem mutatkozik. Lépünk vissza az időtartományba, s visszavesszük az időléptéket 20 ms/Div-re. Ekkor a jel már időtartományban semmit nem mutat, viszont elegendően sok periódusból vesz elég mintát egy már jól értelmezhető spektrumkép megjelenítéséhez. Általánosan elmondhatjuk: *minél durvább léptéket választunk az időtartományban (időalap lassítás), annál finomabb frekvencialéptéket tapasztalhatunk.* Ennek magyarázata igen egyszerű: a frekvencia és az idő fordított arányban állnak egymással. További egy-két kezelőszerv beállítás, s máris eljutunk az elvárt értékhez és minőséghez (21.b ábra).

De mi is az az egy-két kezelőszerv-beállítás? Először meg kell választanunk a függőleges tengely léptékét. Ez lehetséges logaritmikus és lineáris skála szerint. A logaritmikus esetben is két lehetőség közül választhatunk: dBm, vagy dBV. Ekkor a spektrumösszetevők szintjét dB-ben, és pl. dBm

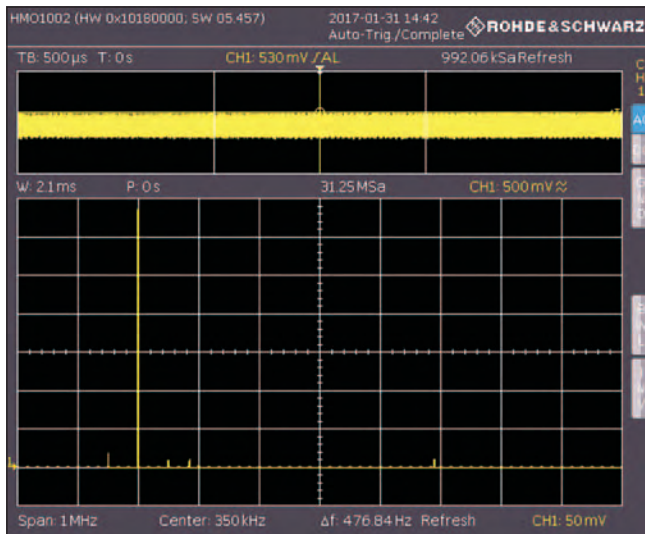
esetében 1 mW-hoz viszonyítva láthatjuk. Megjegyezzük, hogy a kijelzett értékek 50 ohm lezáró ellenállásra vonatkoztatottak. Pontos mérés igénye esetén külső lezáró ellenállás csatlakoztatása szükséges párhuzamosan a nagyimpedanciás bemenettel. A lineáris megjelenítés „tisztább” képet ad, mert a jelben levő kis amplitúdójú komponensek a kijelzés kis dinamikatartománya miatt elvesznek. Azonban ha valakinek szűkebb amplitúdótartományban kell pontosan mérnie, akkor ez a kijelzés mód szintén tökéletes a feladatra. Erre már láttunk példákat a 16.g és a 16.h ábra kapcsán.

A másik fontos megválasztandó jellemző, hogy hány pontból készüljön az FFT felbontás. Minél magasabb pontszámmal dolgozunk, annál lassúbb lesz a műszer működése, viszont annál finomabb spektrális felbontást kapunk. Azt már említettük, hogy az FFT nagyságrendekkel kevesebb számítási kapacitást igényel a DFT-hez képest (ezért gyakorlatilag el is végezhető). Az FFT viszont olyan pontszámokkal működik amelyek 2 hatványai, ezért esetünkben is a 2048 - 131 072 lehetőségek közül választhatunk 7 lépésben [6].

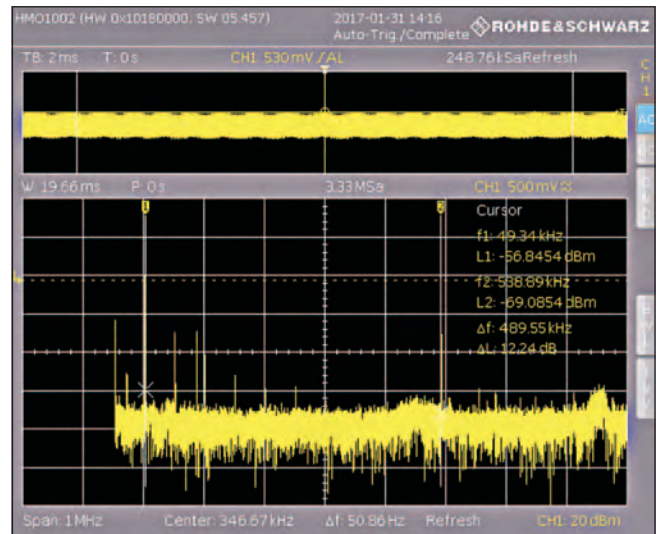
Végül van még egy kiválasztandó tényező, amely az FFT számítási algoritmusához kapcsolódik. Ha nagyon általánosítva fogalmazzunk, akkor azt mondhatjuk, hogy mivel az FFT egy számított függvény, így ennek a számításnak vannak különféle leképzési hibái attól függően, hogy a matematikai algoritmust hogyan építjük fel. Ezeket a „számítási hibákat” pedig korrigálni kell.

Kicsit „műszakiabban” (és precízebben) pedig azt mondjuk, hogy Furier tétele periodikus jelekre vonatkozik, a valós jelek pedig gyakorta nem azok, a számításba kódolva van a hiba. Egy kis csalással jeleinket „periodikus-sá” tehetjük, ugyanis az ablakozás (mintavételezési szakasz) során a következő ablak elején ugyanakkora jelet „vár”, mint az előző időablak végén volt, hiszen periodikus jelet feltételez. Ha ezen ablakokat nem élesen választ-

INCOMP Electronics Elektronikai alkatrész kis- és nagykereskedelem	
2120 Dunakeszi, Fő út 35. Tel.: 27/342-407 Nyitva: hétköznap 9.00–17.00 óráig	Fax: 27/341-601 E-mail: incomp@dunaweb.hu Postai utánvételes csomagküldés
Raktárról kínálunk több ezer féle elektronikai alkatrészt. IC-k, ellenállások, kondenzátorok, diódák, tranzisztorok, LED-ek, kvarcok stb. nagy választékban, SMD kivitelben is.	
RIGOL műszerek disztribúciója Internet címünkről www.incomp.hu online keresési és rendelési lehetőség!	



22.c ábra



22.d ábra

juk el egymástól, hanem valamilyen amplitúdó-átmenetet alakítunk ki közöttük, akkor a vizsgált jel látszólag periodikus lesz. Ezeket az amplitúdó-átmeneteket matematikai függvényekkel írhatjuk le, melyeket általában megalkotóiról neveztek el. Így ebben a kis Rohde & Schwarz szkópban az ún. Hanning, Hamming, Blackman, és rectangle lehetőségek közül választhatunk. Ez utóbbi (rectangle = négyszög) ablakozás nem alkalmaz korrekciós függvényt, használatával óvatosan bányunk! Általános esetekre pedig a Blackman ablakozást használhatjuk, nagyot csalódnai nem fogunk. Valamennyi ablakfüggvény alkalmazásának javallatait és ellenjavallatait [2] szépen összefoglalja, érdemes tanulmányozni.

Ennyi ismerettel felvértezve ezek után elmondhatjuk, hogy a 21. b ábránk logaritmikus kijelzéssel, 131 072 pontos FFT-vel és Blackman ablakozással készült. Azt pedig már korábbi tanulmányainkból tudjuk, hogy a négyszögjelek összetevőinél az alapharmonikuson kívül a páratlan számú harmonikusok nagyszintű jelenléte jellemző, amit az ábránk szépen mutat.

6.3. V. elemző feladat

Ebben a feladatban azt mutatjuk be, hogy mennyire mást láttat ugyanazon jel időtartománybeli és frekvenciatartománybeli képe. Vizsgálatunk tárgyát képezi egy kb. 50 kHz-es, csúcstól csúcsig kb. 1 V amplitúdójú szinuszejel (22.a ábra). A jelet szolgáltató generá-

tor (amely lehet ezen oszcilloszkóp saját funkciógenerátora is) kimenetével kössünk sorba egy 10...100 kohmos ellenállást. Ezzel az ellenállással a rendszer zavarérzékenysége növekszik meg. Most kezünkkel fogjuk meg az ellenállás a szkóp mérőfejéhez eső végét! Látható lesz a zaj jelentős növekedése (22.b ábra). Burkológörbés megjelenítés esetén a zaj ingadozásáról kaphatunk képet, de ezen kívül a zajosság tényét látjuk csak. Ha átkapcsolunk az FFT üzemre, akkor az előző szakaszban taglalt beállítások után kibontakozik jelünk spektrumképe az összetevőkkel (22.c ábra). Ez itt most még lineáris léptékű, de az alapharmonikuson kívül egy-egy kis „piszok” jelzi, hogy vannak benne zavaró komponensek is. Logaritmikus kijelzésre váltva a 22.d ábrán már megannyi zavarösszetevő ábrázolódik, melyek közül egy különösen figyelemre méltó. A 2-es markerrel jelölt helyen 540 kHz-et látunk, ami nem más, mint a Kossuth adó frekvenciája. Ez annyira markáns, hogy az előbbi lineáris léptékű ábrán is felfedezhető. Itt érhetjük tetten tehát, hogy kezünkkel megfogva az ellenállás végét, a zajkomponensünk egyik fő forrása egy rádióadás, a testünk antennaként viselkedik.

* * *

Írásunk címe szerint digitális oszcilloszkóp praktikákat mutattunk be, il-lusztrálándó, hogy miben is rejlik egy ilyen műszer újszerűsége, illetőleg használata során milyen buktatókra

számíthatunk. Olyan elméleti ismeretekkel támogatott példákat hoztunk, melyekkel a készülékkel most ismerkedők biztos alapokat szerezhetnek, s talán kedvet is az elmélyültebb ismeretszerzéshez. Témafeldolgozásunk biztos, hogy nem átfogó, hiszen pl. a mintakészülékünk képességeinek is csak mintegy 30...40%-át érintettük. Reményeink szerint azonban ez a magyar nyelvű (!) segédanyag így szerkesztve önállóan is megállja a helyét, másrészt hasznos kiegészítője lehet egyéb, igen kis számban fellelhető, s a témát korántsem átfogó jellegű kiadványoknak.

A szerző külön köszönetét fejezi ki tanult kollégáinak: Nagy Balázs (R&S), valamint Szombathy Csaba (BME) okl. villamosmérnöknek, akik a szaklektori feladatok lelkiismeretes el-látásán túl hasznos tanácsaikkal, kiegészítő soraikkal is segítették e nem agyonismertett szakanyag minél kor-rektebb bemutatását.

Irodalom:

1. Nagymáté Csaba: Oszcilloszkóp praktikum kezdőknek; Rádiótechnika Évkönyve 1996
2. Dr. Tolnai János. Digitális oszcilloszkópok; Rádiótechnika 2011/5-11.
3. Dr. Kármán Péter: Tektronix TDS oszcilloszkóp használata; www.muszeroldal.hu/measurenotes/tektronixtds.pdf
4. Dr. Hegedűs János: Digitális tárolós oszcilloszkópok; Egyetemi jegyzet, Miskolc, 2001.
5. Nagymáté Cs. - Csiszár J.: A vasút hangjai; Rádiótechnika Évkönyve 2012
6. R&S HMO1002 User Manual

Összefüggés a DSO-k rejtélyes paramétereinek között

Diószegi Gyula villamosmérnök, divelex@gmail.com

A DSO (Digital Storage Oscilloscope) kiválasztásánál, az egyes gyártmányok paramétereit böngészve, rejtélyesnek tűnő jellemzőkkel találkozhatunk. A 2018-as évkönyvünkben *Nagymáté Csaba* tollából elmélyült bemutatást olvashatunk a DSO-k használati praktikumairól, érintve természetesen ezen paramétereket is. Ezt a rövid írást tekintjük tehát következő évkönyvünk amolyan „kedvcsináló előzetesének”, ahol is ezen paraméterek közötti összefüggésre kívánunk rávilágítani.

A hagyományos oszcilloszkópokhoz hasonlóan, itt is egyik fontos jellemző a függőleges (vertikális) erősítő sávzélessége (Bandwidth), amelyet megahertzben adnak meg. Ne feledkezzünk meg arról, hogy ez a -3 dB-es ponthoz tartozó törésponti frekvencia, ahol az átvitel már közel 70%-ra csökken. Más képpen szólva: ennél a pontnál a függőleges eltérítés amplitúdóhibája 30%, azaz egzakt mérésekre gyakorlatilag alkalmatlan. A mai digitális alkalmazásoknál (áramkörök-nél) a gyakorlatilag megengedhető maximális függőleges eltérítési amplitúdóhiba kb. 3%. Ez azt jelenti, hogy ilyen méréseknél az oszcilloszkópunk megadott sávzélességének mintegy 30%-ig dolgozhatunk. (Létezik még az ún. „ötszöröségi” ökölszabály, de ebbe most nem bocsátkozunk.)

A digitális oszcilloszkópoknál a használható sávzélesség kérdése ennél sokkal összetettebb, több egymásra ható tényezőtől is függ. Ezek közül a címbéli „rejtélyes” paraméterek „egymásra vetítését” mutatjuk be, melyek konklúzióját az említett évkönyvcikk kellő részletességgel tárgyalja.

A következő három kifejezés, ugyanazon jellemzők közötti összefüggést írja le. Láthatjuk, hogy az egyes gyártók ugyanazt a paramétert más elnevezéssel illetik, sőt a mértékegységeket illetően sincs következetesség.

(1.) **Memory depth** (Sa) = **Full Scale Time Base** (s) × **Sampling Rate** (Sa/s)

(2.) **Acquisition Memory** (Sa) = **Time Span** (s) × **Required Sample Rate** (Sa/s)

(3.) **Memory record length** (kpts) = **Time Span** (s) × **Sample Rate** (Sa/s)

Az azonos színnel jelölt kifejezések ugyanazon jellemzőket jelentik.

Az (1.) pontból következik:

(4.) **Sampling Rate** (Sa/s) =
$$\frac{\text{Memory depth (Sa)}}{\text{Full Scale Time Base (s)}}$$

Az egyes paraméterek jelentése a következő:

1. **Memory depth** (Acquisition memory, Memory record length) → Memóriamélység, azaz a *megcímezhető tárolórekeszek száma*. Mértékegysége a kompatibilitás miatt Sample (minta), de a kpts-t (kilo-pont azaz kilopoints) is gyakran használják. (Egy memóriacella [memory cell] tárolókapacitása 1 bit. Egy memóriarekesz [memory location] n db cellából áll. A cellák száma az A/D konverter felbontásától [Resolution] függ, az esetek többségében ez 8 bitet jelent.)

A gyakorlatban ennek a paraméternek a jellemző értéke: 1...100 kpts, nagyságát a gyártó határozza meg, értékét a kezelőszervekkel nem lehet befolyásolni.

2. **Full Scale Time Base** (Time Span) → **FSTB**
FSTB = időalap; Time/div → vízszintes osztások száma; div.

Tehát 1 us/div időalap és 10 div esetén az FSTB értéke 10 us.

Megjegyezzük, hogy a vízszintes osztások száma jellemzően 10, az időalap pedig a kezelő által kiválasztott érték; ns/div, us/div, s/div.

3. **Sampling Rate** (Required Sample Rate) → Mintavétel gyakorisága (nevezik mintavételi frekvenciának és mintavételi sebességnek is).
Mértékegysége: Sample/s, Sa/s
Jellemző értéke: 100 MSa/s... 10 GSa/s

Két konkrét példa

Feltételezzük, hogy a DSO a következő jellemzőkkel rendelkezik:
Maximum sample rate: 1 GSa/s,
Maximum memory depth: 10 kpts.

Az időalapot 10 ns/div-re állítottuk be, az FSTB értéke 10 ns/div 10 div = 100 ns. Az (1) egyenletbe behelyettesítve: 100 ns 1 GSa/s = 100 pts = 100 Sa.

Ez azt jelenti, hogy 100 ns alatt a maximális mintavételi sebesség esetén is a 10 000 memóriarekeszből mindössze 100 rekeszt tud megcímezni és tartalommal megtölteni.

Állítsuk az időalapot 10 us/div-re! Ekkor az FSTB 10 us/div 10 div, azaz 100 us lesz. A memória mélysége továbbra is 10 kpts. A (4.) egyenletbe behelyettesítve:

Sampling Rate = 10 kpts/100 us = = 100 MSa/s lesz.

Ennek értelmében a maximális mintavételezés értékének mindössze a tizedével fog történni a mintavételezés, a szkóp automatikusan csökkenti a mintavételezés gyakoriságát, igazodva a rendelkezésre álló memóriához.

Összefoglalásképpen megállapíthatjuk, hogy szoros összefüggés van a mintavételezés Sa/s-ben megadott sebessége, a rendelkezésre álló, megcímezhető memóriarekeszek száma (kpts), valamint a kiválasztott időalap között.

Digitális tárolós oszcilloszkópok

Az analóg oszcilloszkópok elsősorban periodikus jelek megjelenítésére alkalmasak, tehát nem teszik lehetővé a nem periodikusan ismétlődő vagy csak egyszeri alkalommal bekövetkező jelváltozások megjelenítését.

A digitális tárolás azonban lehetővé teszi ezt, és ezen kívül számos előnyös tulajdonsággal is rendelkezik.

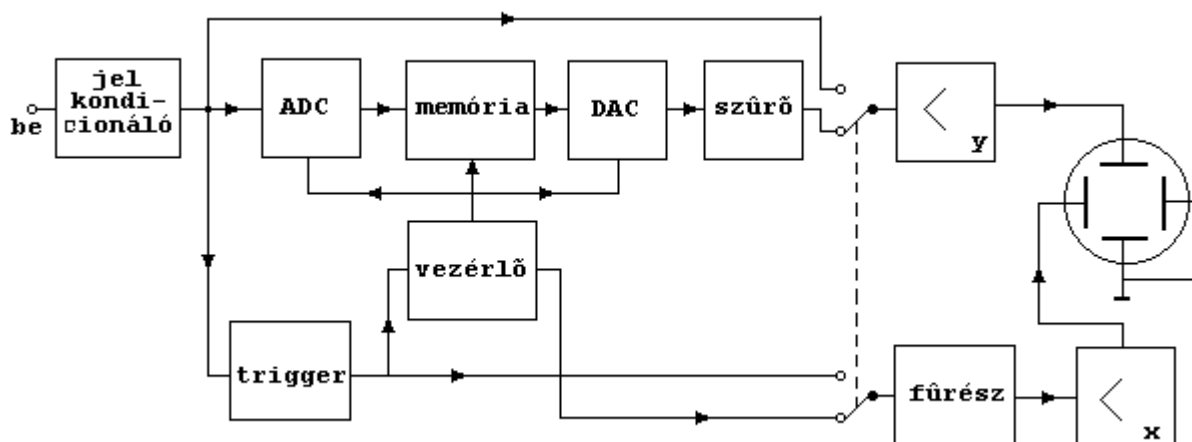
A digitális tárolás

Mint ahogy az elnevezése is mutatja, a jel digitális kód formájában kerül eltárolásra az oszcilloszkópban.

A jel belépve a készülékbe, a szokásos jelkondicionáláson megy keresztül, majd egy ADC fokozatba jut. A digitális szavak az oszcilloszkóp digitális memóriájában kerülnek. A mintavételezési ráta értéke általában 20 megaminta/másodperc és 200 megaminta/másodperc között mozog.

A digitális memóriában eltárolt adatokat az eredeti jelalak képernyőn történő megjelenítéshez analóg jellé kell vissza alakítani egy DAC áramkörrel.

Tehát az ernyőn látható kép, az eredeti jelről az eltárolt minták alapján készült rekonstrukció, nem pedig a bemeneti csatlakozókról érkező jel folytonos megjelenítése.



A digitális oszcilloszkóp általában párhuzamos ADC-t tartalmaz, amely nagyon gyors.

Az analóg-digitális átalakító és a függőleges felbontása

A jel függőleges felbontást bitekben fejezik ki. A kódolható feszültség szintek száma: $M = 2^N$. Ahol M a szintek száma, N a bitek száma.

A legtöbb digitális oszcilloszkóp 8 bites átalakítóval rendelkezik. Ez a vizsgált analóg jeltartományt, és a jelet $2^8 = 256$ különböző feszültség szintre bontja.

Az időbázis és a vízszintes felbontás

A digitális tárolós oszcilloszkópokban a vízszintező rendszer feladata annak a biztosítása, hogy minden egyes mintavételezésre a megfelelő időpontban kerüljön sor. Csakúgy, mint az analóg oszcilloszkópok esetében, a digitális tárolós oszcilloszkópoknál is az időbázis beállításától függ a képernyőre rajzoló elektronnyaláb pásztázási sebessége.

Ugyanabból a jelből vett minták egy teljes csoportját recordnak nevezik. Egy record felhasználásával általában egy képernyőnyi jelalak rekonstruálható. Egy recordot alkotó minták számát record hosszának, vagy mintavételezési hosszának nevezik és byte-ban, vagy kbyte-ban adják meg.

$$\text{A mintavételi frekvencia: } f_s = \frac{\text{minták száma/div}}{\text{idő / div}}$$

Itt is érvényes a Shannon mintavételezési törvény, azaz a mintavett jel csak akkor nyerhető vissza, ha a mintavételező óra a jel legnagyobb frekvencia összetevőjének több mint kétszeresével megegyező frekvenciával dolgozik.

Legyen:

M a képernyő osztásainak száma: 10

K (a horizontális eltérítési együttható (s/div)): 50 $\mu\text{s/div}$

N (a minták száma a teljes képernyő mentén): 1000

Akkor:

$$\text{az egy osztásra eső minták száma: } \frac{N}{M},$$

$$\text{A mintavételi gyakoriság: } T_s = \frac{K}{\frac{N}{M}},$$

$$\text{A mintavételi frekvencia: } F_s = \frac{N}{KM} = \frac{1000}{50 * 10^{-6} * 10} = 2\text{MHz}$$

A képernyőn ábrázolásra kerülő minták száma (N) általában rögzített, ezzel szemben az időbázis (K) a mintavételi frekvenciával (F_s) együtt változik.

Fontos az időbázis aktuális értékének a mindenkori ismerete, mert a nem periodikus jelek legsűrűbb mintavételezéséhez tartozó időbázis egyben megadja a jel legjobb időfelbontását.

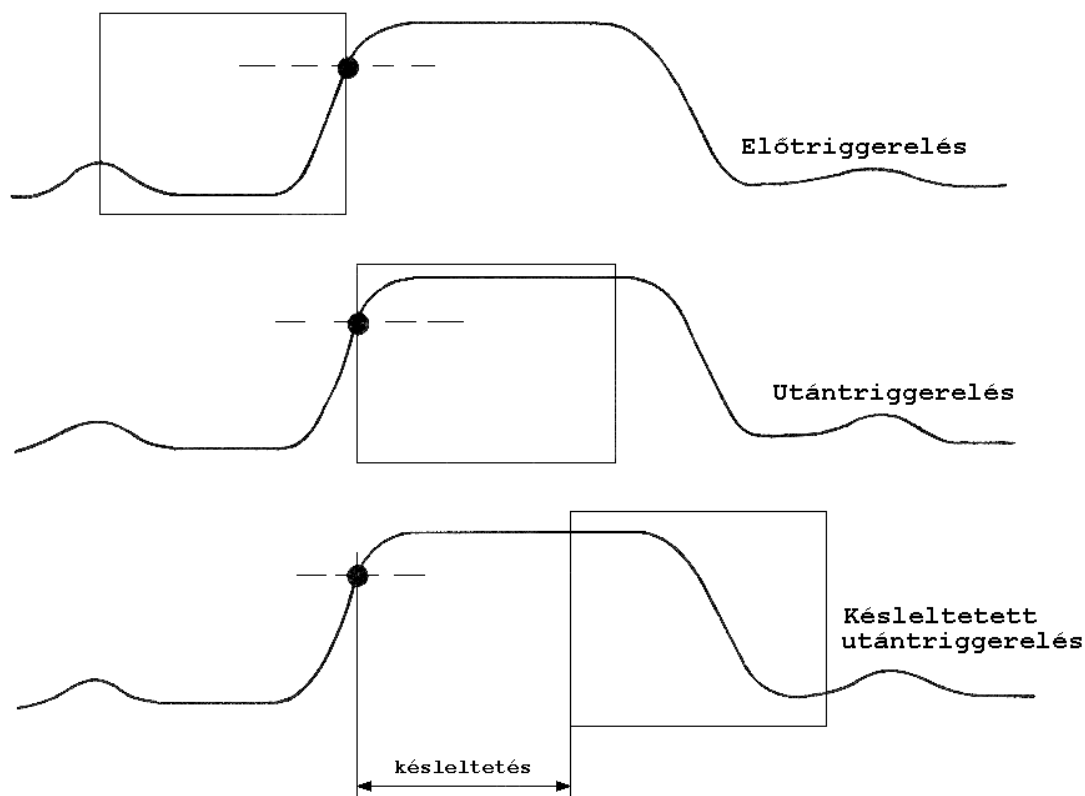
A digitális oszcilloszkóp gyakori alkalmazási területe a jelek kapcsolási karakterisztikáinak a vizsgálata, így például a jelek felfutási és esési idejének a meghatározása.

Digitális tárolós oszcilloszkóp funkciók és vezérlések

A digitális tárolós oszcilloszkópok speciális tulajdonságaiknak köszönhetően olyan kezelőszervekkel is rendelkeznek, melyek nem találhatók meg az analóg oszcilloszkópokon. Ezek közül kiemelést érdemelnek a speciális triggerelési módok.

Pre-triggerelés, Post-triggerelés

A mintavétel és a tárolás kezdetét – az analóg oszcilloszkópokhoz hasonlóan – a trigger komparátor indítja. Az analóg szkópoknál megismert triggerelési lehetőségek (adott csatornáról, hálózatról, kívülről) itt is megvannak, de ezen kívül a digitális szkóp további triggerelési lehetőségeket is biztosít.



Előtriggerelésnél (pre-trigger) a tároló feltöltése folyamatosan történik, a tár megtelte után az új adatok ciklikusan felülírják a régieket. A trigger megállítja a további beírást, így a képernyőre a triggerjelet megelőző jelrészlet kerül.

Utótriggerelés (post-trigger) a triggerjel indítja el a beírást, a képernyőre az ezután érkező jelrészlet kerül.

Mindkét triggerelés kombinálható késleltetéssel, ahol a késleltetés mértékegysége a mintavételi impulzusszám, vagy a vízszintes eltérítési sebesség időalapja.

Analóg üzemmód

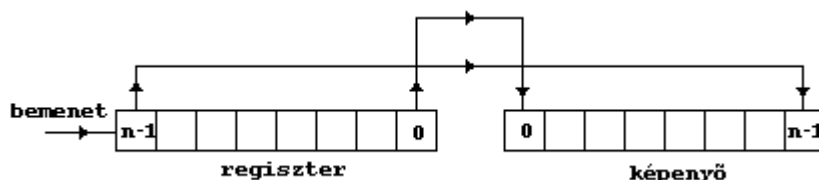
Minden digitális oszcilloszkóp képes normál analóg üzemmódban dolgozni. Ilyenkor a jel megkerüli mind az ADC és DAC átalakítókat, mind a memóriát.

Görgetési üzemmód (Roll)

A jel áthalad az átalakítókön és a közöttük elhelyezkedő memórián.

A mintavétel triggerelés nélkül folyamatosan történik és azonnal a tárból íródik miközben annak tartalma egy címmel arrébb lép, tehát a legrégebbi minta kicsordul a tárból.

Minden egyes új minta a képernyő jobb oldalán jelenik meg. A jelből már ábrázolásra került részek fokozatosan a képernyő baloldal felé tolódnak el. Végül a legrégebben vett minták elérve a képernyő bal szélét eltűnnek a kijelzőről.



A görgetési üzemmód használata során a képernyőre rajzolt jelalak mindig a jel legutóbbi időben tanúsított viselkedéséről nyújt információt. Lassú jelek folyamatos megfigyelésére alkalmas üzemmód.

A jelalak tárolása (Store)

Tárolásra kapcsolva a képernyő (memória) tartalma kimerevedik, az utolsó felvétel látszik. Frissítő (refresh) üzemmódban a beállított triggerelés szerint egy új tartalom jelenik meg.

Minden digitális tárolós oszcilloszkóp a képernyőtáron kívül több háttérmemóriával is rendelkezik, amelybe a képernyő tartalom átmásolható. Ez lehetőséget biztosít később történő adatfeldolgozásra, vagy jelek összehasonlítására.

Megjelenítő algoritmusok, interpoláció, pontok egyesítése

Az oszcilloszkóp dots üzemmódját aktiválva kikapcsolható az interpoláció. Ekkor a jel rekonstruált képe a jelből vett mintáknak megfelelően pontokból tevődik össze, és az egyes minták között semmilyen görbe sem létesít kapcsolatot. Az oszcilloszkópok lehetőséget biztosítanak a pontok összekötésére első- vagy magasabb fokú interpolációval.

Interface-ek

Az oszcilloszkóp által összegyűjtött információkat általában számítógépen dolgozzák fel. Más esetekben magát az oszcilloszkópot vezérlik a számítógéppel. Ezért az oszcilloszkópok el vannak látva kommunikációs hardware-vel és segéd software-vel. A legáltalánosabban használt interface típusok az RS-232 és az általános célú interface busz, vagy más néven a GPIB, mely az IEEE-488 busz.

A mérnököknek néha szükségük van mérési eredményekről készült másolatokra. Ezeket a másolatokat általában referenciaként használják olyan esetekben, amikor az oszcilloszkóp újabb beállítására kerül sor, vagy amikor a készülék hibásan, nem az előírtaknak megfelelően végzi a működését.

A legtöbb digitális tárolós oszcilloszkóp printerhez és plotterhez is csatlakoztatható.

Software-k

A digitális tárolós oszcilloszkópokhoz változatos programcsomagokat kínálnak a gyártók. A software-k között vannak olyanok, melyek az adatok számítógép által is kezelhető formára történő átalakításában, illetve a gépen való tárolásában nyújtanak segítséget, míg mások igényes adatfeldolgozást tesznek lehetővé.