

7.

MĚŘICÍ TECHNIKA

Osciloskopy a jejich použití v technických měřeních

Lubomír Harwoť

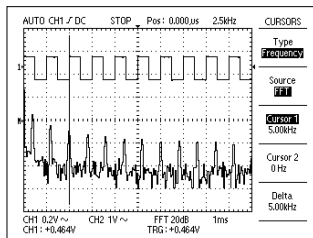
1. Úvod

Osciloskop zobrazuje na zobrazovací ploše (zpravidla na stínítku obrazovky nebo LC displeji) v časové (Y, t) a většinou i v kmitočtové (Y, f) oblasti průběhy připojených elektrických signálů. Speciální konfigurace připojení signálů (X, Y) zobrazuje také závislost jednoho napětí na napětí druhém. Na obr. 1 je uveden příklad reálného zobrazení obdélníkového průběhu v časovém a kmitočtovém (FFT analýza) měřítku. Pomocí kurzorů je možné odečítat amplitudové a kmitočtové složky průběhů. Záznam byl pořízen na digitálním osciloskopu EZ Digital DS 1080K a přenesen do počítače po rozhraní USB.

Bez zviditelnění elektrických signálů by nebylo možné vyvíjet řešení obvodů, sledovat jejich chování a v neposlední řadě řešit a odstraňovat případné závady. Od základních osciloskopů analogových se v dnešní době dostáváme k osciloskopům digitálním se speciálními funkcemi a v silnoprůdové praxi k osciloskopům s vnitřní pamětí analyzujícím průběhy v síti – analyzátorům sítí.

Od roku 1947, kdy byl americkou firmou Tektronix představen první analogový osciloskop (10 MHz, 1 kanál), prošel vývoj osciloskopů dlouhou cestou vedoucí ke stále dokonalejším přístrojům.

U prvního osciloskopu Tektronix byly aplikovány novinky používané při výrobě osciloskopů i v dnešní době:

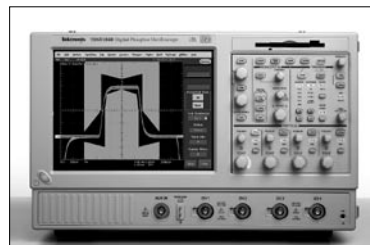


Obr. 1. Reálné zobrazení připojeného průběhu v časové a kmitočtové oblasti

- vynucený pracovní bod tranzistoru,
- diferenční zesilovače,
- stabilizované napájecí napětí,
- kalibrovaná spouštěná časová základna,
- odpovídající impulsní odezva obvodů.

Současné nejmodernější přístroje mohou sledovat signály v časech od několika pikosekund s amplitudou milivoltů. Součástí dnešních osciloskopů je také speciální příslušenství (napěťové a proudové sondy, komunikační rozhraní, zásuvné matematické moduly, softwarové prostředky apod.).

Na obr. 2 je uvedena současná nejmodernější verze osciloskopu Tektronix řady TDS 5000 s otevřenou architekturou a možností softwarové úpravy při měření.



Obr. 2. Osciloskop Tektronix TDS 5000 s otevřenou architekturou

Osciloskop lze přirovnat k jakémusi elektronickému zraku, který nám umožňuje nahlédnout do světa elektronických obvodů a elektrotechniky obecně.

1. Rozdělení osciloskopů

1.1. Zpracování a zobrazení připojených signálů člení osciloskopy do dvou základních částí:

- *osciloskopy analogové* (ART - Analog Real Time: přístroje pracují v reálném čase)
- *osciloskopy s digitální pamětí - digitální osciloskopy*

(DSO – Digital Storage Oscilloscope: přístroje vzorkují signál a matematicky zpracovávají naměřené hodnoty, které jsou poté zobrazeny na LC displeji, popř. na speciální obrazovce).

Podle funkcí vnitřních elektronických obvodů, lze uvedené členění dále rozdělit na:

analogové osciloskopy:

- osciloskopy základní,
- osciloskopy s integrovanými přístroji,
- osciloskopy vzorkovací,
- osciloskopy s analogovou pamětí,
- osciloskopy analogově-digitální,
- osciloskopy s kurzory a vestavěnými matematickými funkcemi,
- vysokonapěťové osciloskopy,
- přístroje monitorující bioelektronické signály (měření v medicíně),

digitální osciloskopy:

- osciloskopy digitální základní
- osciloskopy digitální s rozšířenými funkcemi a speciálními technologiemi zpracování informace o signálu a následného zobrazení na displeji.

Mezi speciální funkce digitálních osciloskopů ze zahrnout rozšíření spouštění časové základny, matematické moduly a především způsob zobrazení připojeného signálu.

1.2. Vazba mezi kanály rozděluje digitální osciloskopy na:

- osciloskopy s galvanicky spojenými kanály,
- osciloskopy s galvanicky oddělenými kanály.

1.3. Napájení dělí osciloskopy na:

- osciloskopy napájené ze sítě,
- osciloskopy napájené z akumulátorů.

Nejmodernější digitální osciloskopy zobrazují průběh signálu v DPX 3-D databázi, ve které představuje třetí osa (Z) informaci o náhlých změnách v signálu (obdoba modulace osy Z u analogového osciloskopu).

Technologii zpracování DPX 3-D databáze používají osciloskopy Tektronix řady TDS 5000 a vyšších. Osa X představuje časovou rovinu, osy

Y amplitudu a osa Z umožňuje zobrazit nestandardní změny v signálu. Většina základních digitálních osciloskopů používá zobrazení 2-D databáze (osy X a Y). Průběh signálu zobrazený technologií DPX 3-D u digitálního osciloskopu Tektronix TDS 5000 je uveden na **obr. 3**.

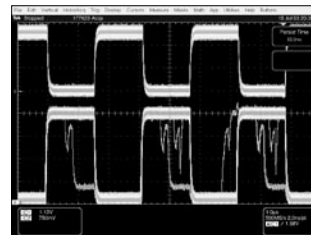
2. Základní parametry osciloskopů

Základní parametry osciloskopů mají podstatný vliv na kvalitu zobrazeného průběhu. Při nevhodné volbě parametrů přístroje jak analogového, tak s digitální pamětí je připojený signál zobrazen nesprávně což může vést ke špatným závěrům při analýze elektronických obvodů a jejich zapojení.

2.1. Šířka kmitočtového pásma

Šířka kmitočtového pásma (bandwidth) označuje kmitočtové pásmo osciloskopu, ve kterém může být zobrazen harmonický průběh. Horní limitní kmitočet je určen poklesem amplitudy o 3 dB ve vztahu k amplitudě měřeného signálu. Osciloskop s kmitočtovým pásmem 100 MHz zobrazí tedy signál o amplitudě 1 V a kmitočtu 100 MHz amplitudou na stínítku obrazovky 0,707 V. Současné osciloskopy zobrazují také stejnosměrné složky (DC). Např. v literatuře se můžeme setkat s vyjádřením, že osciloskop pracuje v kmitočtovém pásmu DC až 100 MHz.

Osciloskop je zpravidla určen především ke sledování nesinusových průběhů a hlavně k zobrazení průběhů impulsních. Zpracování a zobrazení průběhů na obrazovce osciloskopu proto musí odpovídat především metodám impulsního zpracování signálů. Impuls obsahuje mnoho kmitočtů a jeho tvar nezávisí pouze na amplitudových složkách jednotlivých kmitočtů ale také na fázových poměrech mezi kmitočty. Proto jsou zesilovače



Obr. 3. Zobrazení připojeného průběhu technologií DPX 3-D databáze u osciloskopů Tektronix řady TDS 5000

v osciloskopech zpravidla řešeny jako stejnosměrně vázané širokopásmové impulsní zesilovače.

Důležitou charakteristikou osciloskopu, ve vztahu k pozorování impulsních průběhů, je doba náběhu vertikálního zesilovače osciloskopu.

Přibližný vztah mezi dobou náběhu a kmitočtovým pásmem osciloskopu je dán vztahem /1/

$$t_{01} = 0,35 / f_h \quad (1)$$

kde je

t_{01} doba náběhu,

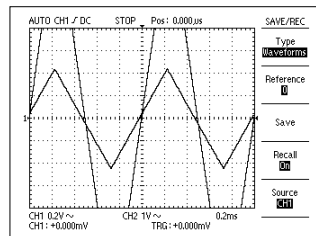
f_h limitní kmitočtový rozsah osciloskopu.

Osciloskop by měl mít 3krát až 5krát vyšší kmitočtové pásmo, než má pozorovaný průběh. Je-li šířka pásma osciloskopu 7krát vyšší v porovnání s měřeným průběhem, lze počítat při zobrazení ze základní chyby přístroje (např. 1 %).

Osciloskopem o šířce kmitočtového pásma 100 MHz lze pozorovat a reálně zobrazit průběhy s šířkou pásma do 100 MHz. Nejvyšší kmitočty ale mohou být zkresleny vlivem použité pasivní napětové sondy, limitního nastavení časové základny, nesprávného zobrazení čela impulsu apod. K pozorování průběhů s šířkou pásma 100 MHz je vhodné použít osciloskop s šířkou 3krát až 5krát větší (teorie integrity připojených signálů k osciloskopům).

Při měření v kmitočtové oblasti např. 20 MHz je vhodné mít k dispozici osciloskop s kmitočtovým rozsahem 100 MHz.

Dalším podstatným kritériem osciloskopu je odezva vnitřních obvodů na přebuzení a zotavení po přebuzení. Tyto vlastnosti lze jednoduše ověřit při změně citlivosti vstupního zesilovače. Na obr. 4 je uveden průběh signálu, u něhož není,



Obr. 4. Zobrazení průběhu při nestandardním nastavení citlivosti

Na obr. 4 je uveden průběh signálu, u něhož není,

vlivem nevhodného nastavení citlivosti, zobrazen celý průběh. Odpovídající zobrazení představuje průběh s nižší amplitudou.

2.2. Vstupní rozsahy osciloskopu – citlivost

Signál připojený k osciloskopu je před vstupem do vertikálního zesilovače přiveden ke vstupnímu děliči (*input attenuator*), který umožňuje nastavit zesílení zesilovače tak, aby byl průběh na obrazovce v optimální poloze.

Vstupní dělič je velmi náročné místo v řetězci, kterým prochází signál v osciloskopu. Kvalita, přesnost a stabilita nastavení děliče je rozhodující pro přesné zobrazení průběhu.

Většina osciloskopů umožňuje zobrazit průběh s maximální citlivostí 2 mV/dílek (v horizontální ose má obrazovka 8 dílků). Vybrané typy osciloskopů mají v základní poloze maximální citlivost 5 mV/dílek, povytažením přepínače je citlivost zvětšena na 1mV/dílek. Minimální citlivost bývá většinou 5 V/dílek, popř. 10 V/dílek. Pokud je rozsah děliče 2 mV/dílek až 10 V/dílek, což odpovídá poměru 1 : 5 000 je tento dělicí poměr v celém kmitočtovém pásmu osciloskopu těžko realizovatelný. Změní-li se zesílení zesilovače, změní se také jeho kmitočtové pásmo (každý zesilovač má definovaný součin *šířka kmitočtového pásma × zesílení*).

Významné parametry vstupního děliče:

- přepínáním dělicího poměru (2 : 5 : 10) nemá být nepříznivě ovlivněno impulsní chování odezvy,
- přepínáním dělicího poměru má být zachována neměnná vstupní časová konstanta, aby bylo možné připojit ke vstupu osciloskopu sondu bez nutnosti kompenzace,
- nastavení dělicího poměru má být jasně zřetelný (u analogových osciloskopů je dělicí poměr uveden u přepínače, digitální osciloskopy jej zobrazují na displeji. Digitální osciloskopy většinou umožňují softwarově nastavit i dělicí poměr napětové sondy (10:1, 100:1, 1000:1).

Napětové sondy mají většinou přepínatelný dělicí poměr (10:1, 1:1). Dělicí poměr 1:1 představuje přímé propojení mezi vstupem osciloskopu a měřeným zařízením. Je-li uváděno kmitočtové pásmo napětové sondy, odpovídá dělicímu poměru připojené sondy 10:1. Je-li sonda používána v režimu dělicího poměru 1:1 je kmitočtové pásmo užší, většinou 6 MHz.



Obr. 5. Napěťová sonda HP 9100 s dělicím poměrem 10:1 / 1:1

Napěťová sonda EZ Digital HP 9100 s dělicím poměrem (10:1, 1:1) a šířkou kmitočtového pásma DC až 100 MHz je zobrazena na **obr. 5**.

2.3. Vstupní vazba osciloskopu

Připojený signál může být zobrazen osciloskopem se stejnosměrnou složkou (DC) v režimu střídavém (AC), popř. je možné vstup zesilovače spojit se zemí přístroje (GND).

Volba vstupní vazby (*input coupling*) se nastavuje u analogového osciloskopu přepínačem umístěným pod vstupním děličem, osciloskopy digitální umožňují nastavit vstupní vazbu softwarově na LC displeji přístroje.

Střídavá vstupní vazba odděluje od signálu stejnosměrnou složku a omezuje dolní kmitočtové pásmo zesilovače. Dolní kmitočtové pásmo je při nastavení střídavé vazby v rozsahu 5 Hz až 25 Hz.

Při volbě stejnosměrné vazby je dolní kmitočtové pásmo nulové – jsou uvažovány i stejnosměrné složky signálu.

Střídavá vazba je nastavena většinou u signálů s velkou stejnosměrnou složkou, aby bylo možné zobrazit optimálně celý průběh. Zobrazení průběhu se stejnosměrnou složkou vyžaduje nastavit vstupní citlivost osciloskopu na vyšší hodnotu, tím je zobrazen signál s nízkou amplitudou. Průběh signálu s vysokou stejnosměrnou složkou a nízkou amplitudou je uveden na **obr. 6**.

Připojení vstupu osciloskopu se zemí (GND) umožňuje zjistit přítomnost signálu nebo šumu na vstupu osciloskopu, popř. nastavit polohu stopy na stínítku.

2.4. Vstupní impedance osciloskopu

Vstupní impedance (*input impedance*) osciloskopu je dána paralelní kombinací vstupního odporu a kapacity. Vstupní odpor bývá u nízkofrekvenčních osciloskopů 1 M Ω , kapacita je dána v rozsahu 5 až 25 pF.

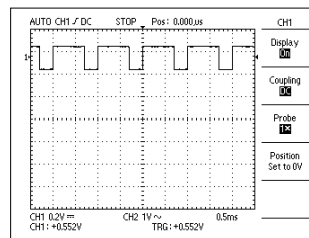
U vysokofrekvenčních měření (např. měření na koaxiálních kabelech 50 Ω při kmitočtech vyšších než 250 MHz) je vstupní impedance, vlivem kapacity malá a závislá na kmitočtu. Vstupní impedance je u těchto osciloskopů 50 Ω , přičemž paralelní kapacitu lze zanedbat.

Vybrané typy vysokofrekvenčních osciloskopů umožňují nastavit vstupní impedanci jak vysokou (1 M Ω), tak nízkou (50 Ω).

2.5. Vertikální posuv

Vertikální posuv (*vertical position*) umožňuje nastavit na obrazovce optimální polohu průběhu ve vertikálním směru. Posouvání musí být v celém rozsahu lineární, aby nedošlo ke zkreslení zobrazeného časového nebo frekvenčního průběhu.

Osciloskopy s digitální pamětí umožňují použitím funkce nastavení nuly (*set zero*) umístit stopu průběhu do základní polohy na ose Y (není nutné nastavit manuálně polohu stopy na střed stínítka).



Obr. 6. Zobrazení signálu se stejnosměrnou vazbou a nízkou amplitudou

2.6. Volba kanálu

Současné osciloskopy jsou většinou dvoukanalové s externím spouštěním (*ext. trig*). Na čelním panelu dvoukanalového

osciloskopu jsou vyvedeny tři BNC konektory. Vybrané typy osciloskopů mohou mít kanály čtyři.

Externí spouštění časové základny může mít společný konektor se čtvrtým kanálem nebo samostatný vstup.

Na obr. 7 je záznam dvou různých průběhů zobrazených na displeji digitálního osciloskopu DS 1080K s komunikačním rozhraním RS 232 a USB.

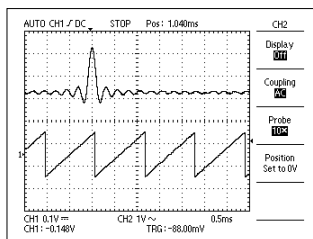
Z hlediska propojení kanálů lze osciloskopy, převážně s digitální pamětí rozdělit na přístroje s galvanicky spojenými a oddělenými kanály. Osciloskopy s galvanicky oddělenými kanály mohou být napájeny jak z vestavěným akumulátorů, tak i ze síťového adaptéru. Pokud je přístroj napájen z akumulátorů mohou být měřena napětí na různých potenciálech.

Signály připojené ke kanálům mohou být zobrazeny jednotlivě (CH1, CH2), jeden po druhém (ALT) nebo současně (CHOP). V režimu ALT jsou zobrazeny kanály celou periodu a pokud je nastavena pomalá časová základna, obrázek bliká. V tomto případě je vhodné nastavit režim zobrazení CHOP, kdy jsou průběhy přepínány velkou rychlostí. V tomto režimu časové základny jsou zobrazeny dva kanály současně.

Dvoukanalové osciloskopy s digitální pamětí umožňují uživatelsky nastavit režim zobrazení vypnutím a zapnutím průběhu na LC displeji. Na LC displeji mohou být současně, podle vnitřního uspořádání osciloskopu, zobrazeny průběhy připojené ke vstupům přístroje, obsah vnitřní paměti, popř. matematické průběhy (např. FFT analýza). U digitálních osciloskopů EZ Digital řady DS 1000 je možné ovládat zobrazené průběhy jak z čelního panelu osciloskopu, tak z počítače po sběrnici USB nebo RS 232.

2.7. Časová základna

Časová základna zajišťuje vychylování elektronového paprsku na obrazovce zleva doprava. Rychlost vychylování musí být velmi přesná, nastavitelná a s konstantní rychlostí. Zdrojem napětí časové základny je generátor pilového napětí – v podstatě kondenzátor periodicky nabíjený konstantním proudem. Rychlost nárůstu je dána nastavením přepínače



Obr. č. 7. Současné zobrazení dvou průběhů na osciloskopu EZ Digital DS 1080C

časové základny (čas/dílek).

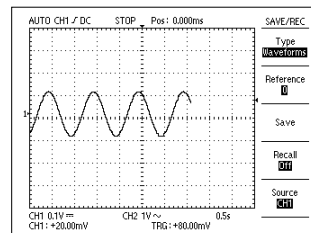
Po přesně definované době nárůstu pilového průběhu z generátoru je třeba vybit zdroj pilového napětí, aby bylo možné spustit další periodu nárůstu napětí. Po tuto dobu je spuštěn obvod zadržky s obvody zatemňovacích impulsů. Během této doby není zobrazen průběh signálu na obrazovce, aby tyl pilového impulsu nepůsobil rušivě.

Odlíšné rychlosti časové základny se nastavují přepínáním kondenzátorů, jejichž kapacita musí být velmi přesná, k doladění slouží kapacitní trimr umístěný na přepínači časové základny. Plynulé změny rychlosti časové základny se dosahuje změnou nabíjecího proudu kondenzátoru. Protože je paprsek vychylován zleva doprava, jsou průběhy pilového napětí z generátoru nesymetrické vzhledem k potenciálu země.

Rozsahy časové základny jsou u analogových osciloskopů od 1 ns/dílek do 5 s/dílek. Delší časové základny se u analogových osciloskopů nepoužívají, protože tyto na rozdíl od osciloskopů digitálních neumožňují pracovat v režimu pomalého zápisu na obrazovku – režim roll.

Na obr. 8 je uveden záznam z digitálního osciloskopu DS 1150CK, při kterém byla nastavena časová základna na hodnotu 0,5 s/dílek - do režimu roll. V druhé části displeje bylo zastaveno vzorkování osciloskopu, aby bylo možné znázornit pomalý režim záznamu na displeji.

V některých aplikacích je nutné v režimu zastavit vzorkování (funkce stop) a pokud možno horizontálně změnit nastavení časové základny (roztáhnout průběh v horizontálním směru). U základních osciloskopů nelze v režimu roll změnit nastavení časové základny. Osciloskopy s větší pamětí (např. TDS 3000, Agilent 5400, EZ Digital DS 1100) umožňují nastavit časovou základnu po zastavení vzorkování.



Obr. 8. Průběh záznamu z osciloskopu DS 1150CK při nastavené časové základně v režimu ROLL

Posloupnost přepínání časové základny je (1 : 2 : 5 : 10), podobně jako u změny nastavení citlivosti vertikálního zesilovače. Časová lupa časové základny umožňuje roztáhnout zobrazený průběh $\times 10$. Pracuje-li např. časová základna s hodnotou 1 s/dílek, je při použití časové lupy $\times 10$ zobrazen průběh tak, jako kdyby byla nastavena časová základna na hodnotu 0,1 s/dílek. Standardní přesnost časových základen analogových osciloskopů bývá 1 % až 5 %.

U velmi rychlých analogových osciloskopů je obraz průběhu obnovován 100 000krát až 200 000krát za sekundu. Osciloskopy s digitální pamětí obnovují průběh na LC displeji (*waveform capture*) 150krát za sekundu. U nejmodernějších digitálních osciloskopů obnovování průběhu dosahuje hodnot 150 000 s⁻¹.

Osciloskopy s pokročilými funkcemi mají většinou dvě časové základny. Základní časová základna A (*main*) je doplněna časovou základnou B (*delayed*, *window*). Druhá časová základna je spouštěna opožděně za časovou základnou hlavní, pracuje jako časová lupa ve zvolené části průběhu zobrazeného hlavní časovou základnou. Oblast zobrazená zpožděnou časovou základnou je na průběhu hlavní časové základny zobrazena s větší intenzitou. V režimu nastavení časových základen (*B delayed*) je možné plynule posouvat oblast, která bude zobrazena zpožděnou časovou základnou. Vertikální posuv časových základen a srozumitelné čtení na displeji umožňuje funkce oddělení stop (*trace separation*).

Obě časové základny jsou spouštěny většinou jedním generátorem spouštěcích impulsů. U složitějších průběhů (modulované signály, posloupnosti impulsů apod.) by bylo zobrazení zpožděné časové základny nestabilní a je nutné použít spouštění (*trigger after delay*) při kterém jsou použity dva spouštěcí generátory – první spouští časovou základnu, druhý synchronizuje průběh zobrazený zpožděnou časovou základnou.

2.8. Spouštění

Obvody spouštění (*triggering*) umožňují spuštění časové základny osciloskopu. Kmitočet interního spouštěcího generátoru časové základny je roven kmitočtu připojeného signálu nebo jeho celistvému násobku.

Jedním z důležitých parametrů osciloskopu (ve vztahu k časové základně) je úroveň spouštění, která určuje nejmenší amplitudu spouštěcího

napětí zaručujícího stabilní zobrazení připojeného průběhu na displeji. Analogové a digitální osciloskopy zaručují v celém kmitočtovém pásmu minimální citlivost interního spouštění pod jeden dílek dělení mřížky rastru obrazovky.

Úroveň spouštění (*trigger level*) je u některých analogových a většiny digitálních osciloskopů zobrazena na displeji. U vybraných typů osciloskopů je možné nastavit také automatickou úroveň spouštění na hodnotu 50 % ve vztahu k amplitudě zobrazeného signálu. V režimu automatického nastavení zobrazení průběhu na displeji (*auto set*) přístroj sám zvolí úroveň spouštění optimálně tak, aby byl průběh zobrazen stabilně.

Normální režim spouštění (*norm*) spouští časovou základnu pouze při přítomnosti vstupního signálu. Není-li ke vstupu připojen signál, není na stínítku zobrazena stopa.

Automatický režim spouštění (*auto*) zajišťuje volný běh časové základny i bez přítomnosti signálu na vstupu přístroje. V tomto režimu nastavení spouštění časové základny je zobrazena vodorovná stopa (bez přítomnosti signálu na měřicím vstupu).

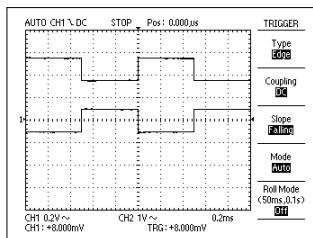
Režim jednorázového spouštění (*single*) spustí při přítomnosti signálu na vstupu jednorázově časovou základnu a opět ji zastaví. Po zmáčknutí tlačítka RESET je časová základna připravena k opětovnému jednorázovému spouštění.

Časová základna může být spouštěna interně nebo externě. Většinou se využívá interní spouštění. U osciloskopu se nastavuje spouštění ve vztahu k aktivnímu vstupu (vstup, ke kterému je připojen signál). Je-li připojen signál ke kanálu 1 (CH 1) je nutné nastavit spouštění od kanálu 1. Při nastavení spouštění od kanálu 2 (CH 2) by průběh nebyl zobrazen na obrazovce osciloskopu stabilně. Zdroj spouštění je uveden a displeji (např. CH 1, CH 2, EXT, LINE).

Externí spouštění časové základny se používá v kombinaci s generátory průběhů s výstupem spouštěcích impulsů. Po připojení generátoru ke vstupu externího spouštění osciloskopu je spouštěna časová základna. Tento způsob spouštění osciloskopu umožňuje např. generátor libovolných průběhů Agilent Technologies 33 220A s výstupními konektory – synchronizačním a úroňovým.

Časová základna je většinou spouštěna kladným nebo záporným če-

lem měřeného průběhu (EDGE). Je-li ke vstupu osciloskopu připojen obdélníkový průběh, je při nastaveném spouštění na kladnou polaritu čela zobrazeno čelo impulsního průběhu, při nastavením spouštění na zápornou polaritu čela je zobrazen tyl průběhu. Na **obr. 9** je zobrazeno spouštění obdélníkového průběhu s kladnou (horní průběh) a zápornou (dolní průběh) polaritou čela..



Obr. 9. Průběh spouštění časové základny s kladnou a zápornou hranou

obr. 10 jsou uvedeny osciloskopy s pokročilými funkcemi spouštění a matematickými výpočty řady TDS 7000.

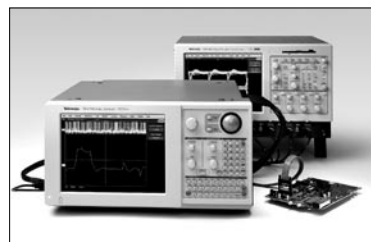
Při volbě spouštění časové základny osciloskopu je možné nastavit také vazbu spouštění. Základní nastavení vazby je stejnosměrné (DC) nebo střídavé (AC). Dolní kmitočtové pásmo u střídavé vazby může být 50 Hz.

Mezi pokročilé vazby spouštění lze zařadit spouštění s vysokofrekvenční zádrží (*HF reject*) a nízkofrekvenční zádrží (*LF reject*). Spouštění s propustní je vhodné zvolit u signálů, které obsahují v základním signálu superponované složky VF nebo NF signálu.

Ke stabilnímu zobrazení televizních signálů je určeno TV spouštění (*TV triggering*). K přesnému měření televizních průběhů jsou určeny speciální televizní osciloskopy umožňující vkládáním televizních masek zobrazit vybranou část průběhu a měřit požadované hodnoty (šířku pásma, zpoždění, amplitudové složky apod.).

Digitální osciloskopy mají zabudované pokročilé spouštění zahrnující spouštění na předem definovanou šířku impulsu (*width pulse*), spouštění logické (*pattern/time trigger*), spouštění rušivými impulsy (*glitch trigger*), spouštění impulsem zadaným délkou trvání (*time qualified pulse*) apod. Funkce rozšířeného spouštění mohou být již zabudované v přístrojích nebo jsou součástí externích modulů (např. digitální osciloskopy společností Agilent Technologies a Tektronix). Na

Speciální, opakující se sekvence impulsních průběhů může být spouštěna ve více bodech což vede k nestabilnímu zobrazení na displeji osciloskopu. Stabilní zobrazení takového průběhu umožňuje funkce nastavitelného spouštění časové základny (*Hold Off*), která zpozdí spouštění časové základny. Časová základna je v takovém případě spouštěna prvním impulsem



Obr. 10. Digitální osciloskopy řady TDS 7000 s pokročilými funkcemi spouštění a matematickými výpočty

po skončení nastavitelné zádrže. U digitálních osciloskopů je funkce Hold Off již standardem a nastavuje se v širokém rozsahu hodnot.

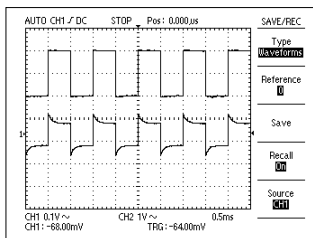
Podobně jako ve vertikálním směru je okamžik spouštění nastaven úrovní spouštění časové základny Hold Off, existuje analogická funkce pro spouštění ve směru horizontálním. Je-li připojen ke vstupu osciloskopu standardní harmonický průběh, nelze ověřit funkci Hold Off

2.9. Výstupní průběhy z kalibrátoru

Výstupní, obdélníkový průběh z vestavěného kalibrátoru osciloskopu umožňuje nastavení náběžných a sestupných hran napěťových sond. Kmitočet průběhu z kalibrátoru je většinou, u osciloskopu se vstupním odporem 1 M Ω ,

1 kHz, střída 1:1 a amplituda 0,5 až 1 V. Kalibrátor osciloskopu vysokofrekvenčního se vstupním odporem 50 Ω dovolující připojení signálů s menší amplitudou má průběh se strmými hranami a nižší amplitudou.

U pasivních napěťových sond se nastavují, po připojení ke kalibrátoru, většinou parametry obdélníkového průběhu zobrazeného na stínítku osciloskopu. K tomu je určen zabudovaný potenciometr v sondě. Výstupní

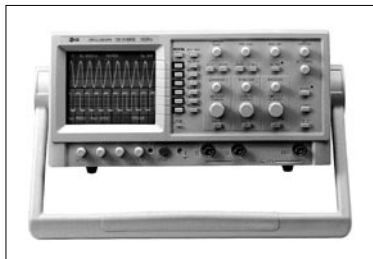


Obr. 11. Průběh signálu připojeného k osciloskopu vykompenzovanou a nevykompenzovanou napěťovou sondou

10 dílků. Při čtení hodnot je třeba vzít v úvahu rozsah – tedy nastavený dělicí poměr vertikálního zesilovače a časové základny.

Vybrané typy analogových osciloskopů s vestavěnými kurzory (*readout*) umožňují číst hodnoty zobrazeného průběhu pomocí kurzorů. Kurzory jsou napěťové, časové a kmitočtové. Příkladem je analogový osciloskop OS 5100RB na obr. 12 (2 kanály, 100 MHz, *readout*).

Vysokonapěťový zdroj osciloskopu OS 5100RB generuje napětí 14,5 kV což zaručuje velmi dobré čtení kurzory a hlavně zobrazení průběhu při



Obr. 12. Analogový osciloskop OS 5100RB s kurzory

konektoru kalibrátoru osciloskopu umožňuje připojení sondy a zemnicího kablíku.

Na obr. 11 je horní průběh připojen správně vykompenzovanou sondou, dolní průběh je připojen k osciloskopu nevykompenzovanou sondou.

2.10. Čtení naměřených hodnot

Většina analogových osciloskopů je ke čtení naměřené hodnoty vybavena rastrem na obrazovce. Rastr má dělení 8 ×

nastavené nejrychlejší časové základně, včetně lupy ×10. Přístroj má zabudovanou funkci automatického nastavení optimálního zobrazení, vnitřní čítač kmitočtu průběhu připojeného ke vstupu prvního kanálu apod. Čtení složek signálu pomocí kurzorů u analogových a digitálních osciloskopů ocení jak uživatel, tak kalibrační laboratoř.

2. 11. Vzorkování digitálních osciloskopů

Signál připojený ke vstupu digitálního osciloskopu je v analogové části osciloskopu amplitudově upraven a následně přiveden k obvodům digitální části. V těchto obvodech je signál vzorkován a v analogově-digitálním (A/D) převodníku převeden do digitální podoby. Za převodníkem je již signál zpracováván digitálně. Vstupní obvody analogové části jsou shodné s obvody analogového osciloskopu a měly by bez zesílení přenést k digitálním obvodům celé kmitočtové pásmo signálu.

Obvody vzorkovače (komparátory) a A/D převodníku určují stěžejní parametry digitálního osciloskopu.

Vzorkování signálu většiny digitálních osciloskopů zajišťuje přímý převodník nebo posuvné registry CCD.

Přímý převodník (*flash converter*) umožňuje provádět rychlé vzorkování. Převodník obsahuje řadu komparátorů, k jejichž vstupním obvodům se přivádí signál. Podle požadovaného výstupního kódu jsou propojeny komparátory jednotlivých úrovní. Většina digitálních osciloskopů má rozlišení 8 bitů (256 komparátorů) a rozlišovací schopnost při maximální velikosti zobrazení na displeji 0,4 %. Je tedy vhodné pozorovat průběhy na displeji digitálních osciloskopů s maximální amplitudou.

Převodník s postupnou aproximací (*successive approximation converter*) lze realizovat s rozlišením 16 bitů. Používá se u speciálních přístrojů, v současné době není mnoho rozšířen.

Vzorkování technikou CCD (vazba elektrickým nábojem - *charge-coupled devices*) používá analogové posuvné registry s možností rychlého zápisu a pomalého zpracování FISO (*Fast In Slow Out*). Je pomalejší v porovnání s přímými převodníky, má větší šum a zvětšováním paměťových buněk také větší nežádoucí kapacity. Vzhledem k tomu, že tato technika vzorkování, může mít bez velkých nároků na obvodová řešení rozlišení 10 bitů, bývá používána u mnoha osciloskopů.



Obr. 13. Digitální osciloskop Tektronix řady TDS 7000

Současné digitální osciloskopy jsou dále vybaveny speciálními (většinou patentovanými) technologiemi, které určují konečné vlastnosti přístrojů. Mezi základní technická řešení lze zahrnout *Mega Zoom* firmy Agilent Technologies a *Insta Vu* společnosti Tektronix. Technologie zpracování informace je závislá především na rychlosti odezvy, s jakou je přivedena informace o signálu na displej osciloskopu. Speciální digitální osciloskopy mohou zobrazit až 400 000 obrázků za sekundu. Rychlost odezvy lze určit např. pozorováním signálů s modulací, rozmítáním apod.

Na obr. 13 je uveden osciloskop Tektronix řady TDS 7000 s maximální rychlostí odezvy na displeji, čtyřmi kanály a speciálními matematickými funkcemi.

Obr. 13.

Vzorkování signálů (*sampling*) může probíhat v reálném (real time sampling) nebo v ekvivalentním čase (equivalent time sampling).

Při vzorkování v reálném čase jsou vzorky ze signálu odebírány během jednoho průběhu (jedné periody). Počet vzorků získaných z průběhu určuje věrnost zobrazeného průběhu.

K většímu množství vzorků získaných během jedné periody je používáno prokládané vzorkování (*interleaved sampling*) dvou vzorkovačů. U dvou vzorkovačů vzorkujících stejnou rychlostí prokládaným vzorkováním je získáno 2krát více vzorků během jedné periody a rekonstruovaný signál

tedy obsahuje 2krát více bodů v porovnání s použitím jednorázového vzorkování.

Rychlost vzorkování ocení uživatel osciloskopu především při sledování jednorázových dějů, kdy je nutné získat z průběhu velké množství bodů během jednoho průběhu.

Vzorkování v ekvivalentním čase se používá především u periodických, opakujících se průběhů. Vzorky, ze kterých je rekonstruován signál, jsou získávány postupně během několika period. Vzorkování v ekvivalentním čase může být sekvenční nebo náhodné.

Sekvenční vzorkování odebírá z každé periody jeden vzorek zpožděný proti předešlému vzorku o konstantní časový interval. Odběr dalšího vzorku je uskutečněn vždy po dalším spuštění osciloskopu.

U vzorkování náhodného je také odebrán z jedné periody jeden vzorek konstantním kmitočtem a vzorky jsou ukládány do paměti v náhodném pořadí. Rekonstrukce průběhu – zobrazení vzorků je dána časovým intervalem



Obr. 14. Uživatelem nastavené parametry u osciloskopů Tektronix řady TDS 5000

určeným spouštěním a uloženým vzorkem. Vzhledem k tomu, že odběr vzorků je náhodný ve vztahu ke spouštění (*triggering*), lze zobrazit také časový úsek před spouštěním (většinou jedna obrazovka) a po spouštění (jedna nebo více obrazovek). Náhodné vzorkování vícebodové umožňuje odebrat během jedné periody více vzorků, což umožňuje rekonstruovat průběh z méně period. Zobrazení více obrazovek po spouštění umožňují např. digitální osciloskop EZ Digital řady DS 1000 (obr. 14).

Rychlost vzorkování (odběr vzorků) by měla být podle Nyquistova kritéria minimálně dvojnásobná ve vztahu k nejvyšším kmitočtům obsaženým v signálu. Kritérium ovšem předpokládá dolní frekvenční propust, která je v praxi nerealizovatelná. Je-li vzorkován sinusový

signál o kmitočtu f kmitočtem $4f$ lze s dostatečnou přesností rekonstruovat průběh. Pokud ovšem průběh signálu předem neznáme (a tak tomu je u většiny měření), je rekonstrukce ze čtyř bodů získaných během periody velmi nepřesná. Minimální počet bodů, ze kterých lze v praxi rekonstruovat signál, je deset (použitím sinusové interpolace lze počet bodů snížit). U impulsních a speciálních průběhů je i tento počet bodů určených k rekonstrukci signálu nedostatečný. Během rekonstrukce signálu se k pospojování bodů používá lineární nebo sinusová interpolace. Vybrané typy digitálních osciloskopů umožňují také zobrazení průběhu bez použití interpolace, což je vhodné ve speciálních případech měření a pozorování připojených signálů. K věrohodné rekonstrukci signálu používají současné osciloskopy až 500 bodů během jednoho průběhu.

Minimální počet bodů k rekonstrukci průběhu je dán vztahem

$$n = f_v / B_r \quad (2)$$

kde je

n minimální počet vzorků rekonstruujících průběh,

f_v maximální rychlost vzorkování,

B_r reálný kmitočtový rozsah osciloskopu.

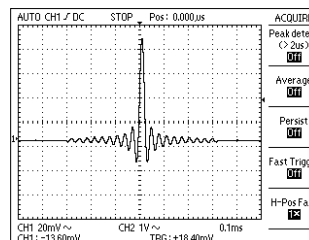
Renomovaní výrobci osciloskopů udávají u digitálních přístrojů dvě šířky pásma

B_a analogová šířka pásma

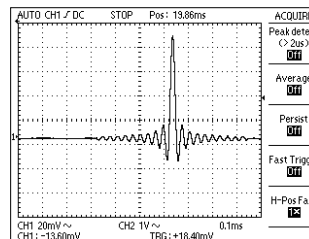
B_r reálná šířka pásma

Reálný šířka kmitočtového pásma se snižuje podle požadavku na nejmenší počet bodů rekonstruujících signálu na displeji. Snahou výrobců moderních digitálních osciloskopů je přiblížit analogové a reálné kmitočtové pásmo přístrojů.

Reálný kmitočtový rozsah digitálního osciloskopu je také závislý na nastavené časové základně používané během měření. Nastavením pomalejší časové základny, je k dispozici menší počet vzorků, a tím klesá rychlost vzorkování. Se snižováním rychlosti vzorkování se snižuje také reálná kmitočtová šířka pásma digitálního osciloskopu B_r .



Obr. 15. Základní poloha průběhu při použití funkce Fast Trigger



Obr. 16. Pozorování průběhu při použití funkce Fast Trigger

Hloubka paměti osciloskopu do jisté míry určuje reálnou rychlost vzorkování f_r , která je dána vztahem

$$f_r = \text{hloubka paměti} / (\text{časová základna} \times 10) \quad (3)$$

Výraz „časová základna“ ve vztahu (3) označuje nastavení časové základny (čas/dílek) na osciloskopu. Je-li např. u digitálního osciloskopu udávána rychlost vzorkování 1GS/s a hloubka paměti přístroje je 1 kB, pak při nastavené časové základně 10 ms/dílek je reálná rychlost vzorkování pouze 10 kHz.

Proto je vhodné zaměřit se při volbě digitálního osciloskopu jak na rychlost vzorkování, tak na hloubku paměti. Např. digitální osciloskopy EZ Digital mají hloubku paměti 32 kB a rychlost vzorkování v reálném čase 200

MS/s. Někteří výrobci udávají rychlost vzorkování 1GS/s, přičemž osciloskopy disponují pamětí pouze 1 kB nebo max. 2 kB.

Na obr. 15 a 16 je zobrazen signál připojený k digitálnímu osciloskopu EZ Digital DS 1150. Protože osciloskopy disponují pamětí 32 kB je možné po zastavení vzorkování zobrazit několik obrazovek po spouštění a jednu obrazovku před spouštěním. Zobrazení a následné prohlížení umožňuje funkce Fast Trigger.

Obrázek 15 uvádí průběh s horizontální polohou 0,00 μs (STOP Pos 0,00 μs). Na obr. 16 je uveden průběh uchovaný v akvizici paměti osci-

loskopu posunutý horizontálně na značku 13,86 ms (STOP Pos 13,86 ms). Prohlížení dlouhého časového úseku po zastavení vzorkování umožňuje paměť osciloskopu o velikosti 32 kB.

Vztah určující reálnou frekvenci vzorkování lze upravit z hlediska obsahu složek v rekonstruovaném signálu na

$$F_1 = 0,5 + f_r \quad (4)$$

kde je

F_1 obsah složek signálu,

f_r reálná frekvence vzorkování.

Má-li digitální osciloskop hloubku paměti 1 kB, je obsah složek signálu F_1 při nastavené časové základně 1 ms/dílek 50 kHz a při 100 ms/dílek 500 Hz. Digitální osciloskopy nemají tedy konstantní šířku pásma jako osciloskopy analogové.

Rostoucí časové měřítko zužuje kmitočtové pásmo osciloskopu a reálnou frekvenci vzorkování.

Frekvence vzorkování a šířka kmitočtového pásma digitálního osciloskopu udávané výrobcem nevyovídají příliš o kvalitě přístroje. Mnoho uživatelů bohužel nezná souvislosti mezi frekvencí vzorkování, nastavením časové základny, hloubkou paměti a reálnou šířkou kmitočtového pásma osciloskopu a při pořizování osciloskopu často podlehnou nepřesným technickým informacím o osciloskopu.

2. 12. Průměrování průběhů na displeji

Průběh harmonického signálu, který je připojen ke vstupu osciloskopu, může být zobrazen na displeji okamžitě (jeden průběh) nebo z několika průběhů (AVG). Jednotlivé průběhy jsou ukládány v paměti přístroje a po určitém počtu (period) je výsledný průběh zobrazen.

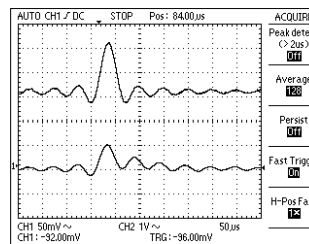
Průměrováním lze zlepšit např. poměr signál/šum (S/N). Uživatel digitálního osciloskopu si může nastavit průměrování v posloupnosti 2 až 256 akvizic. Zobrazení průběhu s průměrováním je náročnější na čas, z hlediska výpočtů procesorem osciloskopu jde „pouze“ o sčítání.

Na obr. 17 jsou zobrazeny dva průběhy. Horní průběh představuje zobrazení s průměrováním 126krát (average 126). U dolního průběhu byla

náhle změněna citlivost a odpovídající odezva na displeji je zobrazena až po proběhnutí 126 period (průběh má jiný tvar). Aby bylo možné demonstrovat nároky na čas potřebný k zobrazení průběhu po proběhnutí 126 period, bylo po změně citlivosti zastaveno vzorkování osciloskopu (STOP).

Kdyby vzorkování zastaveno nebylo, byly by průběhy shodné.

Ostatní speciální funkce jak analogových tak zejména digitálních osciloskopů jsou uvedeny u jednotlivých přístrojů a jejich popis přesahuje rámec tohoto článku.



Obr. 17. Zobrazení průběhů s průměrováním 126 krát

přesnější než osciloskop analogový, protože před analogové digitální převodníkem digitálního osciloskopu jsou stejné obvody jako u osciloskopu analogového a digitální osciloskopy mají většinou rozlišení pouze 8 bit. Vyšší rozlišení lze aplikovat jen do kmitočtového pásma přístroje zviditelnění speciálních nestandardních průběhů jasovou informací třetího rozměru – osu Z. Tuto funkci nahrazuje do jisté míry DPX 3-D technologie zpracování informace u digitálních osciloskopů Tektronix řady TDS 5000 a vyšší. Ovšem osciloskopy s technologií DPX 3-D zpracování informace požadují, v porovnání s osciloskopy analogovými, vysoké pořizovací náklady.

Na analogovém osciloskopu je průběh připojeného signálu zobrazen v reálném čase na obrazovce. Pro osciloskopy jsou používány výhradně obrazovky s elektrostatickým vychylováním, protože vychylovací destičky

3. Analogové osciloskopy

Základní analogový osciloskop, na rozdíl od osciloskopu digitálního zobrazuje připojený signál nepřetržitě, bez vzorkování, matematických výpočtů a aproximací. Z tohoto důvodu jsou analogové osciloskopy používány i v dnešní době, kdy by se mohlo zdát, že jsou překonány osciloskopy digitálními. Např. ve vztahu k přesnosti, lze říci, že digitální osciloskop nemůže být

tvorí čistou kapacitu pouze několika pikofarfů. Obrazovky s magnetickým vychylováním, i když jsou cenově výhodnější, nejsou vhodné pro zobrazování vysokých kmitočtů a kapacitní poměry jsou u nich složitější. Jsou používány převážně v pomaloběžných osciloskopech (sledování bioelektronických signálů) a pro testování televizních přijímačů.

Vybrané typy osciloskopů, zejména Tektronix byly v 70. letech osazeny analogovou paměťovou obrazovkou (např. osciloskop s analogovou obra-



Obr. 18. Analogový osciloskop OS 5100

zovkou Tektronix 466 DM44). Tyto přístroje pracují v reálném čase, není u nich používán A/D převodník. Paměťové analogové obrazovky osciloskopů jsou založeny na sekundární emisi elektronů (dopadne-li elektron určitou rychlostí na vybraný materiál, vyvolá sekundární emisi elektronů).

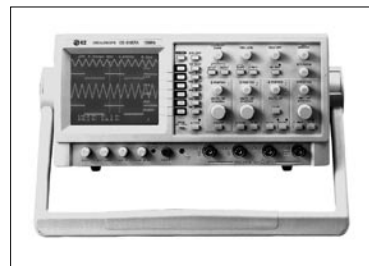
Postupně byly používány v osciloskopech s analogovou pamětí obrazovky transmisní, transferové a Scan Converter. Poslední druh obrazovky umožňoval zaznamenat jednorázový děj 2,4 GHz (osciloskop Tektronix, rok výroby 1973) což ve vztahu k digitálnímu osciloskopu odpovídá přístroji se vzorkovací frekvencí 20 GHz. Koncem 80. let uvedla firma Tektronix speciální mikrokanálovou paměťovou obrazovku, kterou byl osazen osciloskop Tektronix 2467 (bližší informace k obrazovce výrobce neposkytuje).

Z hlediska elektronové optiky je možné rozdělit obrazovku analogového osciloskopu na 5 základních oblastí: trioda, zaostřovací soustava, vychylovací destičky, urychlovací soustava a stínítko. Pro uživatele je, z hlediska pozorování průběhu, zajímavá zejména oblast stínítka a především lumino-

foru, na kterém je zobrazen průběh signálu. Z mnoha materiálů luminoforu jsou u osciloskopů používány nejčastěji tři (s obchodním označením P2, P11 a P31). V současnosti se již průběhy nefotografují (lze použít digitální osciloskop), a proto obrazovky obsahují převážně luminofor P31 (je velmi jasný, odolný proti propálení a má vysoký fotografický lesk). Vnější strana stínítka obrazovky obsahuje rastr umožňující odečítání zobrazeného průběhu. Rozměry rastru jsou 10 dílků horizontálně a 8 dílků vertikálně. Typickým představitelem analogového osciloskopu je osciloskop EZ Digital OS 5100 (2 kanály, 100 MHz, časová základna hlavní a zpožděná, externí spouštění, separace stop apod.), který je uveden na obr. 18.

Základní blokové schéma analogového osciloskopu obsahuje vstupní dělič (většinou s dělicím poměrem v posloupnosti 1 - 2 - 5, u některých osciloskopů lze nastavit dělicí poměr také jemně), vertikální zesilovač, obvody časové základny s interním a externím spouštěním, horizontální zesilovač, zpožďovací vedení, napájecí obvody, zdroj vysokého napětí pro obrazovku (1,2 až 14,5 kV) a kalibrátor (kmitočet: 100 Hz, 1 kHz, amplituda: 500 mV).

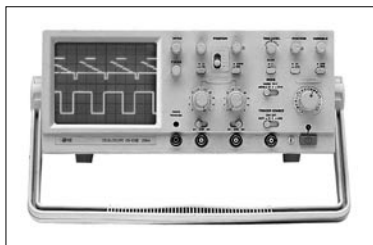
Kromě těchto základních bloků obsahují speciální analogové osciloskopy elektronické obvody bloků kurzorů, automatických měření, digitální paměti, komunikace s prostředím, vzorkovací obvody (DIGITIZING SAMPLING) apod. Analogový READOUT osciloskop s digitálními kurzory OS 5100RB (4 kanály, 100 MHz, časová základna hlavní a zpožděná externí spouštění, kurzory, vestavěný čítač) je zobrazen na obr. 19.



Obr. 19. Analogový osciloskop OS 5100RA

Kromě kurzorů pro čtení amplitudových a kmitočtových parametrů signálu jsou některé analogové osciloskopy vybaveny např. generátory funkcí, možností měření pasivních součástek se zobrazením charakteristik apod.

Dvoukanálový osciloskop EZ Digital OS 5020G s možností měření v kmitočtovém pásmu DC až 20 MHz je standardně osazen generátorem funkcí s kmitočtovým rozsahem 0,2 Hz až 2 MHz. Deska generátoru je umístěna mezi vertikální a horizontální částí osciloskopu, je napájena ze zdroje osciloskopu. Generátor funkcí umožňuje nastavit výstupní amplitudu, stejnosměrnou složku (offset) a kmitočet. Přístroj je zobrazen na obr. 20.



Obr. 20. Analogový osciloskop OS 5020G s generátorem funkcí

Analogově digitální osciloskopy spojovaly výhody osciloskopu analogového (zobrazení v reálném čase) a digitálního (možnost uchování naměřených hodnot v digitální paměti). V době, kdy byly vyráběny měly frekvenci vzorkování pouze 20 MS/s a šířku kmitočtového pásma do 100 MHz. Lze říci, že jsou v současné době na ústupu a jejich výroba pomalu končí.

4. Digitální osciloskopy

Vybrané vlastnosti digitálních osciloskopů byly popsány v předešlých částech článku.

Z hlediska napájení je možné rozdělit digitální osciloskopy na:

- digitální osciloskopy napájené ze sítě,
- digitální osciloskopy napájené z akumulátorů.

4.1. Digitální osciloskopy napájené ze sítě

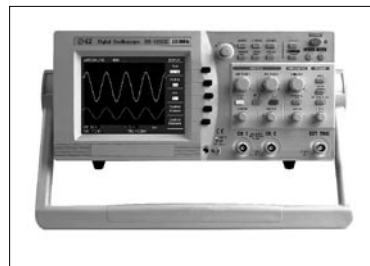
Přístroje napájené ze sítě jsou vybaveny většinou impulsním zdrojem umožňujícím připojení k napětí od 90 do 250 V s kmitočtem 50 až 440 Hz. Velmi nízká spotřeba v mezích 30 až 50 W, umožňuje použití, ve speciálních případech měření, napájení z externího měniče.

Ekonomické hledisko některých výrobců vyžaduje umístit zdrojovou část osciloskopu do společného plastového krytu s vlastním přístrojem, což má za následek nepříjemnou vazbu při měření signálů s nízkou amplitudou. Umístění napájecích částí do stínícího krytu tuto nežádoucí vlastnost digitálních osciloskopů potlačuje.

Např. mechanická konstrukce digitálních osciloskopů EZ Digital řady DS 1000 potlačuje jak vstupní, tak výstupní složky elektromagnetického pole a zabezpečuje možnost měření signálů s velmi malou amplitudou (EMC).

Standardní, cenově dostupné provedení digitálních osciloskopů, zahrnují přístroje EZ Digital, Tektronix a Agilent Technologies. Osciloskopy se vyznačují vysokým poměrem užitečných vlastností a pořizovacích nákladů.

Přístroje EZ Digital pracují s šířkou kmitočtového pásma od DC až do 250 MHz, frekvence vzorkování je 200 MS/s, ekvivalentně 25 GS/s, standardní hloubka paměti 32 kB zaručuje vysokou reálnou frekvenci vzorkování i při nastavených delších časových základnách. Právě velká hloubka paměti umožňuje rychlé sejmutí vzorků a po zastavení vzorkování (*run/stop*) prohlížení až 640 obrazovek po spuštění (*fast trigger*). Osciloskopy v reálném čase jednak zobrazují průběhy – vodorovná osa je funkcí času, jednak vypočítávají složky rychlé Fourierovy transformace



Obr. 21. Digitální osciloskop EZ Digital DS 1250C

(*fast Fourier transformation*) – vodorovná osa je funkcí kmitočtu. Komunikaci s prostředím zabezpečuje rozhraní USB, RS232 a Centronix – přímý tisk (*hard copy*) na standardní paralelní tiskárnu. Osciloskopy mohou být ovládány jak manuálně, tak automaticky po rozhraní RS 232 nebo USB. (bližší informace jsou uvedeny na www.amt.cz).

Na obr. 21 je zobrazen digitální osciloskop EZ Digital DS 1250C (250 MHz, 2 kanály, FFT analýza, paměť 32 kB, rozhraní RS 232, USB a Centronix)

Digitální osciloskopy Tektronix řady TDS 1000/2000 (obr. 22) mohou být dvoukanalové nebo čtyřkanalové s šířkou pásma DC až 200 MHz a vzorkovací rychlostí 2 GS/s. Hloubka paměti těchto osciloskopů je 2,5 kB. Komunikace s prostředím je umožněna po připojení externího modulu TDE 2 MEM, který je vybaven také kartou Compact Flash (32 MB) na kterou lze uložit několik průběhů jak v grafické podobě, tak s matematickými údaji. Modul komunikuje s prostředím po rozhraní RS 232, přímý tisk na standardní tiskárně zabezpečuje sběrnice Centronix.

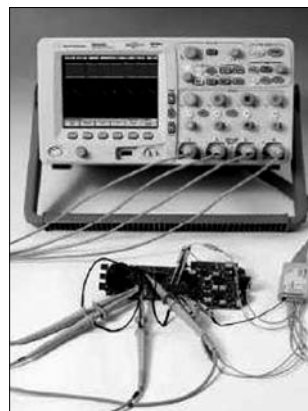
Digitální osciloskopy Agilent Technologies (dříve Hewlett Packard) řady 54600 a DSO/MSO 6000 (obr. 23) se vyznačují především zobrazením

průběhů na speciální obrazovce (nepoužívají LC displej). Osciloskopy mohou být dvoukanalové nebo čtyřkanalové s možností rozšíření o logický 16kanalový analyzátor.

Nejnovější řada osciloskopů Agilent Technologies MSO/DSO 6000 s rozlišením XGA (1024 x 768 bodů) a Mega Zoom Technologii III. generace je standardně vybavena hloubkou paměti 1 MB s možností rozšíření až na 8 MB, což zaručuje maximální přiblížení analogové a reálné šířky kmitočtového pásma, která může být maximálně 1 GHz.



Obr. 22. Digitální osciloskopy Tektronix řady TDS 1000/2000



Obr. 23. Digitální osciloskop Agilent řady DSO / MSO 6000

čase matematické výpočty apod. Komunikaci s periferními zařízeními umožňují sběrnice GPIB nebo rozhraní RS 232 + USB, Ethernet apod. V porovnání se základními digitálními osciloskopy jsou pořizovací náklady na tyto přístroje poměrně vysoké.



Obr. 24. Digitální osciloskopy Tektronix řady TDS 5000

Osciloskopy Tektronix řady TDS 5000 (obr. 24) používají k zobrazení průběhů speciální technologii DPX se současným zobrazením v 3-D databázi. Opět hloubka paměti může být 400 kB až 8 MB. Přístroje podporují vývojové prostředky Visual Basic, C, C++, MATLAB, LabVIEW apod. Maximální šířka kmitočtového pásma osciloskopů je DC až 500 MHz, přístroje mají dva nebo čtyři kanály doplněné 16 kanálovým logickým analyzátozem.

Osciloskopy Agilent Technologies série 54600, DSO / MSO 6000 a Tektronix TDS 5000 umožňují měření zejména speciálních průběhů, mají rozšířené spouštění, provádějí v reálném

4.2. Digitální osciloskopy napájené z akumulátorů

Digitální osciloskopy napájené z akumulátorů lze rozdělit podle vazby mezi kanály na:

- osciloskopy s galvanicky neoddělenými kanály,
- osciloskopy s galvanicky oddělenými kanály.

Typickými představiteli osciloskopů napájených z akumulátorů s galvanicky spojenými kanály jsou přístroje Tektronix řady TDS 3000B. Řada obsahuje celkem 6 modelů s šířkou kmitočtového pásma DC až 500 MHz. Přístroje mají maximální rozlišení 9 bitů, frekvence vzorkování může být až 5 GS/s, hloubka paměti je 10 kB. Osciloskopy jsou dvoukanalové nebo čtyřkanalové. Externí moduly rozšiřují možnosti speciálních měření a komunikaci s periferními zařízeními.

Osciloskop Tektronix TDS 3000B se čtyřmi kanály je zobrazen na obr. 25.



Obr. 25. Digitální osciloskopy Tektronix řady TDS 3000B

Standardními představiteli přístrojů s galvanicky oddělenými kanály jsou *scopemetry* Tektronix řady THS 700 a FLUKE 190 (obr. 26), které pracují v kmitočtovém pásmu DC až 200 MHz, jsou dvoukanalové s vestavěným digitálním multimetrem s galvanicky odděleným vstupem.

Přístroje Tektronix řady THS 700 mají monochromatický LC displej, *scopemetry* FLUKE jsou vybaveny displejem monochromatickým nebo barevným. Rychlost vzorkování udávaná výrobcem *scopemetrů* FLUKE může být až 2,5 GS/s, reálné vzorkování je ovlivněno opět hloubkou paměti, podobně jako u přístrojů Tektronix řady THS 700.

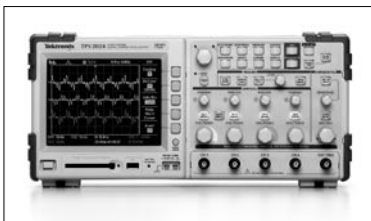


Obr. 26. Scopemeter FLUKE řady 190

Nejnovější osciloskopy Tektronix řady TPS 2000 s galvanicky oddělenými kanály mohou být dvoukanalové nebo čtyřkanalové s maximální šířkou kmitočtového pásma DC až 200 MHz a frekvencí vzorkování 2 GS/s. Hloubka paměti je u těchto přístrojů 2,5 kB. Přístroje svým provedením navazují na oblíbenou řadu osciloskopů napájených ze sítě TDS 1000/2000. Standardně jsou vybaveny jednou napájecí baterií. V přístroji mohou být umístěny napájecí baterie dvě, což umožňuje až osmihodinový provoz (pokud je osciloskop připojen k adaptéru, jsou akumulátory automaticky dobíjeny). Osciloskopy pracují také s napájením pouze z adaptéru, bez vložených baterií.

Základní konfigurace obsahuje rozhraní RS 232 a Centronix. Průběhy je možné zaznamenat jednak do vnitřní paměti přístroje nebo na kartu compact flash v přednastavených formátech. Ovládací prvky, rozšíření spouštění a matematické funkce jsou řešeny podobně jako u řady TDS 1000/2000 (obr. 27).

U přístrojů s galvanicky oddělenými kanály je nutné zvolit pro měření odpovídající napěťovou sondu, aby nedošlo k poškození vstupních zesilovačů kanálů. Výrobcem doporučenou sondu je nutné použít také z hlediska bezpečnostního, protože napětí na plovoucích vstupech mohou být až 1 kV. Při výběru sondy je vhodné respektovat doporučení výrobce, protože měření probíhá za nestandardních podmínek.



Obr. 27. Digitální osciloskop Tektronix řady TPS 2000

5. Sondy k osciloskopům

Sondy k osciloskopům jsou určeny k přenosu signálu mezi měřeným objektem a vstupem osciloskopu a měly zajistit minimální impedanční zatížení měřeného zařízení vstupními obvody osciloskopu.

Sondy určené k osciloskopům lze rozdělit na *napěťové* a *proudové*.

Obě tyto skupiny lze dále členit na:

- pasivní,
- aktivní,
- oddělovací sondy,
- diferenciální sondy,
- vysokonapěťové sondy.

5.1. Napěťové sondy

V nízkofrekvenčních aplikacích (jednotky MHz) lze přivést signál přímo k osciloskopu koaxiálním kabelem. Vstupní odpor osciloskopu je v tomto případě 1 M Ω a celé zařízení (koaxiální kabel, vstup osciloskopu) má kmitočtový rozsah do 8 MHz což odpovídá připojení napěťové sondy s dělicím poměrem 1:1.

K měření signálů s vyšším rozsahem kmitočtů je nutné připojit osciloskop k měřenému zařízení sondou s malou vstupní kapacitou a velkým vstupním odporem. V tomto případě měření lze použít pasivní napěťové sondy s dělicím poměrem 10:1. Při použití sondy s dělicím poměrem 10:1 se také amplituda signálu zmenší 10krát a je nutné nastavit na osciloskopu větší citlivost (V/dílek). Při volbě sondy je tedy vhodné používat sondu



Obr. 28. Pasivní napěťové sondy Tektronix

vyráběna v nezměněné podobě delší dobu. Tato skutečnost může být důkazem toho, že výroba jak sond, tak samotných analogových a digitálních osciloskopů je výsadou pouze několika renomovaných výrobců, kteří mají s produkcí těchto přístrojů a příslušenství zkušenosti (**obr. 29**).

Pasivní napěťové sondy jsou většinou nastaveny od výrobce. V některých případech je možné ověřit kompenzaci sondy přímo na obrazovce. Při připojení ke generátoru obdélníkového signálu lze nastavit potenciometrem na sondě správné vykompenzování sondy ve vztahu k čelu a týlu průběhu.

Rozdílové napěťové sondy mají vzájemně spojena místa s potenciálem země, při měření nejsou uzemněny.

Pasivní rozdílové sondy mají dvě výstupní svorky, které se připojují k speciálnímu rozdílovému zesilovači.



Obr. 29. Vysokonapěťová sonda Tektronix P 6015A

s nejnižší vstupní kapacitou a největším rozsahem kmitočtů. Pasivní napěťové sondy Tektronix jsou zobrazeny na **obr. 28**.

Vysokonapěťové sondy mají dělicí poměr 100:1 nebo 1000:1. Např. VN sonda Tektronix P 6015A s dělicím poměrem 1000:1 měří napětí do 20 kV v kmitočtovém pásmu DC až 75 MHz. Kromě technických parametrů je sonda zajímavá tím, že je již

Aktivní rozdílové sondy mají, na rozdíl od sond pasivních, jeden výstup s rozdílovým napětím (součástí sond jsou elektronické obvody upravující vstupní rozdílový signál). Signál symetrický je těmito sondami převeden na nesymetrický. Sondy mohou signály jak zeslabovat, tak zesilovat.

5.2. Proudové sondy

Proudové sondy lze z hlediska měření rozdělit na sondy měřící střídavé průběhy a sondy měřící střídavé a stejnosměrné průběhy.

Proudové sondy transformují magnetické pole vznikající kolem vodiče protékajícího proudem na elektrický signál. Střídavé magnetické pole kolem vodiče je indikováno transformátorem umístěným v kleštích sondy, stejnosměrné Hallovými sondami. Kombinací transformátoru a Hallových sond lze získat proudové sondy měřící jak střídavé, tak stejnosměrné proudy.



Obr. 30. Pasivní proudová sonda Chauvin Arnoux E3N

v kmitočtovém pásmu do 10 kHz nebo 100 kHz, zakončeny jsou BNC konektorem (obr. 30).

Napětové i proudové sondy jsou náchylné k mechanickému poškození. Během měření se sondami je nutné zacházet opatrně zejména s koncovými hroty, krokosvorkami, zemnicími kablíky a samotnými proudovými kleštěmi. (Obr. 31).

Aktivní proudové sondy se zesilovači mohou pracovat v kmitočtovém pásmu do

1 GHz s možností měření proudů několik tisíc ampér. Aktivní proudové sondy Tektronix s zesilovači jsou zobrazeny na obr. 31.

Mezi standardní proudové pasivní sondy lze zahrnout sondu C 160 měřící střídavé proudy a sondu E3N měřící jak stejnosměrné, tak střídavé proudy. Sondy měří

6. Analyzátoři průběhů s vnitřní pamětí

Analogové a digitální osciloskopy umožňují analyzovat připojené signály, měřit stěžejní parametry, provádět matematické výpočty, uchovávat průběhy v paměti přístroje nebo je přenášet do počítače atd.

V silnoproudých měřeních se setkáváme s požadavky dlouhodobého měření s možností uchovat průběhy, zaznamenávat přechodné jevy, indikovat překročení nastavených parametrů v paměti přístroje, měřit výkon, energii, kmitočet atd. Taková měření umožňují *analyzátoři elektrických sítí*.



Obr. 31. Aktivní proudové sondy Tektronix

Analyzátoři se odlišují od osciloskopů především tím, že na ně nejsou kladeny vysoké nároky na šířku kmitočtového pásma, množství obecných matematických výpočtů, přednastavené obecné masky, podporu vývojevých prostředků apod.

Lze říci, že *analyzátoři jsou osciloskopy se speciálními funkcemi umožňujícími měření v silnoproudých zařízeních*.

Typickým a velmi používaným analyzátořem v současné době je jednofázový a třífázový analyzátoř elektrických sítí Chauvin Arnoux C.A 8334, který splňuje nejpřísnější kritéria pro měření parametrů sítě. Konstrukce přístroje je v souladu s EN 50 160, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30 a IEC 61000-4-7.

Analyzátoř je určen dodavatelům a odběratelům elektrické energie,

servisním organizacím a vybrané části revizních techniků. Přístroj měří jak v jednofázových (L1,N), dvoufázových (L1, L2, N), tak třífázových soustavách. Příjemnou vlastností je barevný displej, na kterém lze nastavit pro každou fázi odlišnou barvu, bateriové napájení pro případ použití v terénu a minimální hmotnost 2 kg.

Analyzátor Chauvin Arnoux C.A 8334 umožňuje tato měření:

- měření střídavých napětí (True RMS) do 480 V (N - L) a 830 V (L - L) vstupní impedance (L - N) je 340 kW, maximální napětí (L - L) je 1 360 V,
- měření střídavých proudů může být až do 3 kA (podle použitého převodníku),
- měření kmitočtu do 10 Hz do 70 Hz,
- výpočet proudu v nulovém vodiči (N),
- výpočet činitele výkyvu proudů a napětí (k_v v rozsahu 1,00 až 9,99),
- výpočet převodu K proudových transformátorů,
- výpočet krátkodobé nestability napětí,
- výpočet fázové nesymetrie napětí a proudu,
- měření úhlu a poměru harmonických (základní nebo RMS) pro napětí, proud a výkon až do 50. harmonické, základní kmitočtet je v rozsahu 40 Hz až 69 Hz
- výpočet THD (celkového harmonického zkreslení),
- určení CF (činitele zkreslení),
- měření výkonu (činného, jalového a zdánlivého) v rozsahu 0 až 9 999 kW, var, V·A,
- měření energie v rozsahu 0 až 9 999 MW·h, Mvar·h, MV·A·h,
- výpočet ztrátového činitele,
- určení energie od okamžiku nastavení operátorem,
- sledování střední hodnoty libovolného parametru pro zvolenou periodu,
- ukládání hodnot do paměti,
- sledování poruchy se záznamem významných hodnot,
- záznam přechodných dějů.

Obr. 32.

Všechny naměřené hodnoty mohou být přenášeny po optickém (tj. izolovaném) rozhraní IR-RS 232 do počítače. Přenosová rychlost může být až 115 kB, software Qualistar View pracuje pod operačním systémem Win-

dows. Novinkou je také software Data Viewer, který v reálném čase vyhodnocuje naměřené hodnoty podle EN 50160 a okamžitě upozorňuje obsluhu na anomálie v síti. Blíže technické informace k analyzátoru sítí C.A 8334 jsou uvedeny na www.amt.cz.

7. Závěr

Cílem příspěvku bylo popsat vybrané funkce analogových a digitálních osciloskopů, objasnit vztahy mezi reálnou rychlostí vzorkování, šířkou kmitočtového pásma, hloubkou paměti, způsobem vzorkování, apod.

V části článku jsou uvedeny analogové a digitální osciloskopy současných renomovaných výrobců se stručným popisem technických vlastností. Blíže informace k přístrojům jsou uvedena na www.amt.cz.

Literatura

- [1] Katalog měřicí techniky, technické listy k přístrojům. Praha, AMT měřicí technika, 2004 – 2005.
- [2] AMT měřicí technika (www.amt.cz)
- [3] Katalog měřicí techniky EZ Digital, Co., Ltd, Seoul, Jižní Korea, 2005.
- [4] Katalog měřicí techniky, Tektronix, Bewerton, USA, 2005.
- [5] SEIBT, A.: Handbuch Oszilloskopetechnik. Aachen, Elektor-Verlag GmbH, 2003.
- [6] HLADÍK, L.: Osciloskopy a jejich použití, Praha, ST 2002.
- [7] HARWOT, L.: Analogový nebo digitální osciloskop. Elektro2003, č. 12, s. **,



Obr. 32. Analyzátor Chauvin Arnoux C.A 8334

- [8] HAASZ, V. – SEDLÁČEK, M.: Elektrická měření, Přístroje a metody
Praha, ČVUT 2003.
- [9] VEDRAL, J. – FIŠER, J.: Elektronické obvody pro měřicí techniku.
Praha, ČVUT, 1999.
- [10] UHLÍŘ, J. – SOVKA, P.: Číslicové zpracování signálů. Praha, ČVUT,
2002.
- [11] ĎAĎO, S. – SEDLÁČEK, M.: Měření aktivních elektrických veličin
s neharmonickými průběhy. Praha, ČVUT, 2002.