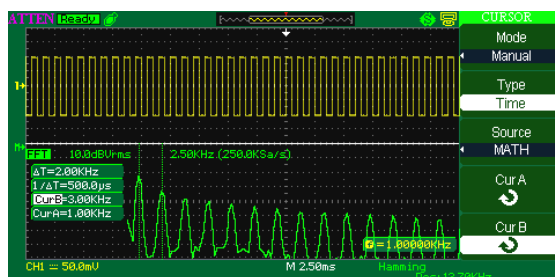


Osciloskopy, základní vlastnosti a jejich použití v laboratorních měřeních SPŠD Masná 18, Praha 1

Ing. L. Harwot, CSc.

Úvod

Osciloskop zobrazuje na stínítku obrazovky (CRT) nebo LC displeji v časové (amplituda/čas) a většinou i v kmitočtové (amplituda/kmitočet) oblasti průběhy připojených elektrických signálů. Speciální konfigurace připojení signálů (X, Y) zobrazuje také závislost jednoho napětí na napětí druhém, např. měření kmitočtu. 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 v laboratoři SPŠD Masná, Praha 1.



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

Bez zviditelnění elektrických signálů by nebylo možné vyvíjet elektronické obvody, 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 silnoproudé praxi k osciloskopům s vnitřní pamětí analyzujícím průběhy v síti - analyzátorům sítě.

Od roku 1947, kdy byl firmou Tektronix (USA) představen první analogový osciloskop (10MHz, 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 jako např. přesný měřicí vertikální zesilovač, stabilizované napájecí napětí, kalibrovaná spouštěná časová základna, odpovídající impulsní odezva vstupních obvodů apod.

Současné nejmodernější digitální osciloskopy mohou sledovat signály v 3D oblasti (Mega Zoom, DPO, SPO technologie) v časech od několika pikosekund s amplitudou pouze několik mV. Standardem dnešních osciloskopů je také speciální příslušenství (napěťové a proudové sondy, komunikační rozhraní (USB, USB TMC, GPIB, LAN), zásuvné matematické moduly, softwarové prostředky apod.).

1 Rozdělení osciloskopů

Rozdělení osciloskopů lze provést podle více hledisek. Mezi stěžejní můžeme zahrnout rozdělení podle zpracování a zobrazení připojených signálů, podle galvanické vazby mezi kanály a v neposlední řadě podle druhu napájení.

Zpracování a zobrazení připojených signálů člení osciloskopy do dvou základních částí a to na osciloskopy analogové (ART - Analog Real Time) a osciloskopy digitální (DSO - Digital Storage Oscilloscope) Digitální přístroje vzorkují signál a matematicky zpracovávají naměřené hodnoty, které jsou následně zobrazeny na LC displeji přístroje nebo u USB osciloskopů na monitoru počítače.

Podle funkcí vnitřních elektronických obvodů, lze rozdělit osciloskopy na základní a osciloskopy s rozšířenými funkcemi. Rozšířené funkce u analogových osciloskopů byly především kurzory, u analogově-digitálních osciloskopů byla mezi rozšířené vlastnosti zahrnuta digitální paměť a komunikační rozhraní.

Současné digitální osciloskopy základní disponují mnoha speciálními funkcemi, které jsou dány především stále se snižujícími cenami součástí. Mezi speciální funkce digitálních osciloskopů ze zahrnout rozšířené spouštění časové základny, matematické funkce včetně FFT analýzy, analýzu sběrnic (IIC, SPI, UART/RS232, CAN, LIN) a především způsob zobrazení připojeného signálu. Nejmodernější digitální osciloskopy zobrazují průběh signálu v 3D databázi, ve které představuje třetí osa „Z“ informaci o náhlých změnách v signálu (obdoba modulace osy „Z“ u analogového osciloskopu). Technologii zpracování 3D databáze používají osciloskopy Tektronix, Agilent, Siglent, LeCroy, Fluke apod.

Galvanická vazba mezi kanály rozděluje digitální osciloskopy na osciloskopy s propojenými kanály a osciloskopy s galvanicky oddělenými kanály.

Dle napájení a tím možnosti použití mimo laboratoř lze rozdělit osciloskopy na osciloskopy napájené ze sítě a osciloskopy napájené z akumulátorů.

2 Základní parametry osciloskopů

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

Šířka kmitočtového pásma

Šířka kmitočtového pásma označuje kmitočtové pásmo osciloskopu, ve kterém může být zobrazen harmonický průběh. Horní limitní kmitočet je určen poklesem amplitudy o 3dB ve vztahu k amplitudě měřeného signálu. Současné osciloskopy zobrazují také stejnosměrné složky. Např. v literatuře se můžeme setkat s vyjádřením, že osciloskop pracuje v kmitočtovém pásmu DC až 100 MHz.

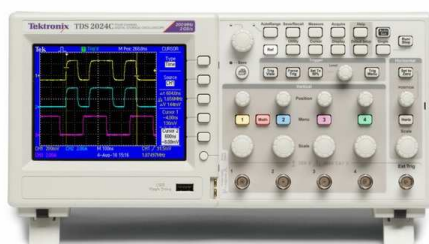
Osciloskop je zpravidla určen především ke sledování nesinusových průběhů a hlavně k zobrazení průběhů impulsních. Zpracování a zobrazení průběhů na stínítku obrazovky osciloskopu musí odpovídat tedy především metodám impulsního zpracování signálů. Je obecně známo, že spektrum impulsu obsahuje mnoho kmitočtů a tudíž jeho správné zobrazení nezávisí pouze na amplitudových složkách jednotlivých kmitočtů ale také na fázových poměrech mezi kmitočty. Proto jsou zesilovače v osciloskopech zpravidla řešeny jako stejnosměrně vázané širokopásmové impulsní zesilovače.

Důležitou charakteristikou osciloskopu, ve vztahu k pozorování impulsních průběhů, je náběžná část vertikálního zesilovače.

Z praktického hlediska lze říci, že by měl mít osciloskop 3 až 5 krát vyšší kmitočtové pásmo než má pozorovaný průběh. Je tedy vhodnější používat k měření osciloskop s vyšším kmitočtovým pásmem. Při měření v kmitočtové oblasti např. 20 MHz je vhodné mít k dispozici osciloskop s kmitočtovým rozsahem 100 MHz.

Vstupní rozsahy osciloskopu – citlivost

Signál připojený k osciloskopu je před vstupem do vertikálního zesilovače přiveden ke vstupnímu děliči, který umožňuje nastavit zesílení zesilovače tak, aby byl průběh na stínítku obrazovky zobrazen v optimální poloze. Vstupní dělič představuje velmi náročné místo v řetězci, kterým prochází signál v osciloskopu. Kvalita, přesnost a stabilita nastavení děliče je rozhodující pro odpovídající zobrazení průběhu. Většina osciloskopů, například osciloskop Tektronix TDS 2024C (obr. 2) umožňuje zobrazit průběh v rozsahu od 2 mV/dílek do 5 V/dílek. Vybrané typy analogových osciloskopů mají v základní poloze možnost změnit citlivost až na 1mV/dílek. U osciloskopů přenosných může být citlivost zvýšena až na 100 V/dílek. Pokud je rozsah děliče 2 mV/dílek až 10 V/dílek, což odpovídá poměru 1:5000 je tento dělicí poměr v celém kmitočtovém pásmu osciloskopu těžko realizovatelný. Pokud se u zesilovače změní zesílení, dojde také ke změně jeho kmitočtového pásma. Obecně je známo, že každý zesilovač má definovaný součin šířka kmitočtového pásma krát zesílení.



Obr. 2. Digitální osciloskop Tektronix TDS 2024C

Vstupní vazba osciloskopu

Připojený signál může být zobrazen osciloskopem se stejnosměrnou složkou, v režimu střídavém popř. je možné vstup zesilovače spojit se zemí přístroje (GND). Volba vstupní vazby 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 nastavené střídavé vazbě v rozsahu 5 Hz až 25 Hz. Při volbě stejnosměrné vazby je dolní kmitočtové pásmo nelimitováno a při zobrazení jsou uvažovány i stejnosměrné složky signálu.

Vstupní impedance osciloskopu

Vstupní impedance osciloskopu je dána paralelní kombinací vstupního odporu a kapacity. Vstupní odpor bývá u nízkofrekvenčních osciloskopů 1 MOhm, kapacita je dána v rozsahu 5 až 25 pF. U vysokofrekvenčních měření (např. měření na koaxiálních kabelech 50 Ohm při kmitočtech vyšších než 250 MHz) je vstupní impedance, vlivem kapacity malá a závislá na kmitočtu. Vstupní impedance je u těchto osciloskopů 50 Ohm, přičemž paralelní kapacitu lze zanedbat.

Vertikální posuv

Vertikální posuv umožňuje nastavit optimální polohu průběhu ve vertikálním směru na stínítku obrazovky nebo LC displeje. Posouvání musí být v celém rozsahu lineární, aby nedošlo ke zkreslení zobrazeného časového nebo frekvenčního průběhu. Osciloskopy s digitální pamětí umožňují použitím funkce SET ZERO nastavit stopu na stínítku do základní polohy na ose Y.

Volba kanálu

Současné osciloskopy jsou většinou dvoukanálové s externím spouštěním. Na čelním panelu dvoukanálového osciloskopu jsou vyvedeny tedy tři BNC konektory. Vybrané typy osciloskopů mohou mít kanály čtyři. 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. U těchto přístrojů mohou být aplikována měření na různých potenciálech (např. trakční měření na měničích).

Časová základna

Časová základna zajišťuje vychylování na stínítku obrazovky, zpravidla ze strany levé na stranu pravou. Rychlost vychylování musí být velmi přesná, nastavitelná a s konstantní rychlostí. Rychlost nárůstu pilového napětí je dána nastavením přepínače časové základny (čas / dílek). Rozsahy základní časové základny osciloskopů jsou dány šířkou kmitočtového pásma. Zpravidla od 1 ns/dílek do 5 s/dílek. Delší časové základny nejsou u analogových osciloskopů, v porovnání s osciloskopy digitálními, používány protože přístroje neumožňují pracovat v režimu pomalého zápisu na obrazovku - režim „ROLL“. Posloupnost přepínání časové základny je (1 : 2 : 5), podobně jako u změny nastavení citlivosti vertikálního zesilovače. Časová lupa časové základny umožňuje roztáhnout zobrazený průběh, např. x10.

Spouštění

Obvody spouštění umožňují spouštět časovou základnu 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.

Vzorkování digitálních osciloskopů

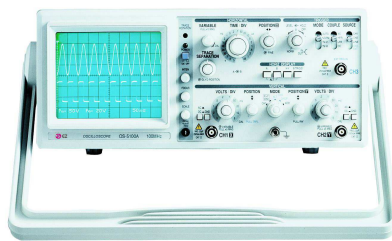
Signál připojený ke vstupu digitálního osciloskopu je v analogové části osciloskopu amplitudově upraven a následně přiveden k obvodům digitální části. V těchto obvodech je signál vzorkován a v analogově - digitálním převodníku převeden do digitální formy. Za převodníkem je již signál zpracován digitálně. Vstupní obvody analogové části jsou shodné s obvody analogového osciloskopu a měly by bez zkreslení přenést k digitálním obvodům celé kmitočtové pásmo signálu. Obvody vzorkovače (komparátory) a A/D převodníku určují stěžejní parametry digitálního osciloskopu. Vzorkování signálu zajišťuje u většiny digitálních osciloskopů přímý převodník nebo CCD bipolární technologie. Vzorkování signálů může probíhat v reálném nebo ekvivalentním čase.

U vzorkování v reálném čase jsou vzorky ze signálu odebírány během jednoho průběhu. Počet vzorků získaných z průběhu určuje věrnost zobrazeného 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

Rychlost vzorkování (odběr vzorků) by měla být podle Nyquistova kritéria minimálně dvojnásobná ve vztahu k nejvyšším kmitočtům obsaženým ve spektru signálu. Z praktického hlediska je minimální počet bodů, ze kterých lze rekonstruovat signál 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.

3 Analogové osciloskopy

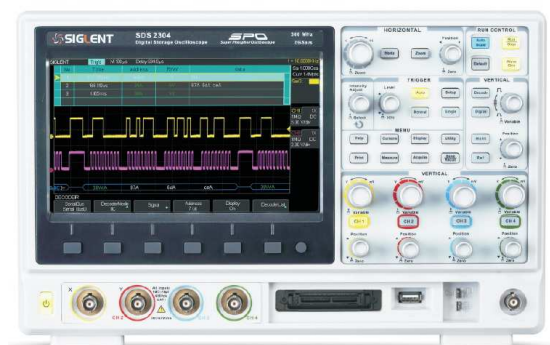
Základní analogový osciloskop, na rozdíl od osciloskopu digitálního zobrazuje připojený signál nepřetržitě, bez vzorkování, matematických výpočtů a aproximací. Z tohoto důvodu jsou analogové osciloskopy používány i v dnešní době, kdy by se mohlo zdát, že jsou překonány osciloskopy digitálními. Např. ve vztahu k přesnosti, lze říci, že digitální osciloskop nemůže být přesnější než osciloskop analogový, protože před analogově digitálním převodníkem digitálního osciloskopu jsou stejné obvody jako u osciloskopu analogového a digitální osciloskopy mají většinou rozlišení pouze 8 bit.



Obr. 3 Analogový osciloskop OS 5100 (100MHz, 2 kanály, kurzory)

4 Digitální osciloskopy

Mezi současné digitální osciloskopy předních světových výrobců lze zahrnout přístroje Tektronix, Siglent, Agilent, Fluke apod. Jeden z největších výrobců osciloskopů společnost Siglent Technologies, kterou zastupuje v České republice AMT měřicí technika (www.amt.cz) se specializuje na dvou a čtyřkanalové přístroje a to jak s galvanicky spojenými, tak oddělenými kanály. Osciloskopy řady **SDS 2000 CFL** (obr. 4) pracují v kmitočtovém pásmu DC až 300MHz. Vzorkování v reálném čase může být až 2GS/s. Přístroje se vyznačují hloubkou paměti 24k, rozšířeným spouštěním (hrana, šířka impulsu, šířka hrany impulsu, alternativní), zabudovanými digitálními filtry, možností nahrávání průběhů, rozhraním USB, USBTMC a LAN apod.



Obr. 4 Digitální osciloskop Siglent SDS 2000

Digitální osciloskopy s galvanicky oddělenými vstupy řady **SHS 1000** (obr. 5) sdružují digitální osciloskop, multimetr a záznamník (ScopeTrendPlot, Multimeter Trend Plot, Scope Recorder). Přístroje s barevným TFT 5,7" displejem, se vyrábějí v 60MHz a 100MHz verzi v dvoukanalovém provedení. Rychlost vzorkování v reálném čase až 1GS/s, hloubka paměti

2M vzorky, automatická měření, včetně matematických funkcí, FFT analýzy, měření fázových poměrů, volitelné digitální filtry, tři režimy kurzorů, zařazují přístroje, při optimálních pořizovacích nákladech do nejvyšší třídy současných osciloskopů s galvanicky oddělenými kanály. Komunikace s prostředím probíhá po rozhraní USB Device, USB Host.



Obr. 5 Digitální osciloskop Siglent SHS 1000

Ruční multifunkční digitální osciloskopy Siglent řady **SHS 800** (obr. 2) pracují v kmitočtovém pásmu DC až 200MHz. Přístroje vycházející z koncepce řady SHS 1000 sdružují jak digitální osciloskop včetně záznamu, tak digitální multimetr. Přístroje se vyznačují hloubkou paměti 2M vzorky (např. Scope Recorder až s 18 hodinovým záznamem), rozšířeným spouštěním (hrana, šířka impulsu, šířka hrany impulsu, alternativní), automatickým měřením 32 parametrů, FFT analýzou, zabudovanými digitálními filtry, rozhraním USB Device, USB Host apod. Digitální multimetr s měřením True RMS střídavých hodnot a čítáním 6000 měří napětí, proudy, odpory, kapacity a provádí testování polovodičových přechodů.

5 Sondy k osciloskopům

Napěťové a proudové sondy světového výrobce Pintech mohou být připojeny jak k osciloskopům, tak k digitálním multimetrům. Sondy pokrývají široké kmitočtové, napěťové a proudové pásmo od pasivních, diferenciálních až k sondám vysokonapěťovým. Pasivní napěťové sondy s přepínáním 10:1 a 1:1 umožňují měřit v kmitočtovém pásmu DC až 500MHz s možností připojen k osciloskopům s funkcí Readout. Vysokonapěťové sondy řady P60xx jsou charakterizovány jak širokým kmitočtovým, tak napěťovým pásmem. Ve výrobním programu jsou zařazeny např. VN sondy (obr. 6) měřící napětí do 8kV nebo 40kV s dělicím rozsahem 1000:1 a kmitočtovým pásmem DC až 220MHz. Diferenciální napěťové sondy řady PT 51xx (obr 3) se vyznačují, kromě širokého pásma měření napětí, vysokou přesností (až 1%), co je u sond tohoto provedení neobvyklé.



Obr. 6 VN sonda P6039A

6 Cíl měření

Cíl měření a další body úlohy jsou uvedeny v laboratorních úlohách...