

Radioelektronická měření (MREM)

Osciloskopy

5. přednáška

Jiří Dřínovský

Ústav radioelektroniky FEKT VUT v Brně

Úvod

Tyto přístroje se používají ke grafickému zobrazení časových průběhů napětí nebo ke zobrazení jednoho napětí jako funkce napětí druhého. Časový průběh napětí se obvykle zobrazuje na obrazovce osciloskopu (některé moderní osciloskopy určené pro průmyslové aplikace tuto obrazovku postrádají a pro zobrazení časových průběhů napětí slouží vzdálený osobní počítač, osciloskop je pak obvykle připojen do sítě LAN).

Osciloskopy se dělí na *analogové osciloskopy* a *osciloskopy s číslicovou pamětí*, resp. *digitální osciloskopy* (*digitizing oscilloscopes*, resp. *digital storage oscilloscopes, DSO*). Analogové osciloskopy upraví vstupní signál analogovými obvody (změní jeho velikost) a zobrazí jej na stínítku obrazovky. Digitální osciloskopy signál digitalizují pomocí A/D převodníku, kódované hodnoty uloží do paměti vzorků a zobrazí buď po rekonstrukci do analogové formy (pomocí D/A převodníku), nebo jako grafický výstup na displeji.

Úvod

Analogové osciloskopy jsou levnější, snadno ovladatelné a bezprostředně reagují na změny měřené veličiny. Neumožňují ale zkoumat signál před příchodem spouštěcího pulsu, obtížně zobrazují pomalu proměnné signály, až na výjimky (tzv. dvoupaprskové osciloskopy) neumožňují současné nepřerušované vícekanálové zachycení signálů. Záznam průběhu je možné získat pouze fotograficky a zachycený průběh není možno dále zpracovávat.

Digitální osciloskopy umožňují mnohakanálový současný záznam, záznam signálu před příchodem spouštěcího pulsu, snadné zachycení jednorázových dějů, výstup na tiskárnu, zapamatování průběhu v paměti a jeho další digitální zpracování, oboustranný přenos signálu mezi osciloskopem a počítačem. Dále umožňují i řadu nových způsobů spouštění, výpočet a zobrazení řady parametrů měřeného signálu vestavěným mikropočítačem (zobrazení spektra pomocí FFT analýzy). Nevýhodami jsou vyšší cena, možnost chyby typu aliasing při nesplnění vzorkovacího teorému a ve většině případů menší rychlost obnovování

průběhu na displeji (počet změn zobrazení za sekundu).

Obvyklý režim osciloskopů je tzv. *režim y-t*, čili pozorování časových průběhů. Osciloskop se tedy používá pro měření v *časové oblasti*. Osciloskop může být také použit v tzv. *x-y režimu*, kdy je napětí přivedené k vertikálnímu vstupu osciloskopu zobrazeno jako funkce druhého napětí, přivedeného k horizontálnímu vstupu osciloskopu.

Protože je možno na napětí převést i jiné elektrické a neelektrické veličiny, lze osciloskop použít k mnoha různým měřením. Jako příklady lze uvést např.:

- analýza časového průběhu (měření napětí, napět'ových rozdílů a časových rozdílů mezi zvolenými body záznamu, měření stejnosměrné složky, špičkové hodnoty, doby periody, frekvence, doby náběhu a překmitu pulsů, šířky pulsu apod.);
- měření fázového rozdílu dvou harmonických napětí;
- měření V-A charakteristik různých elektronických prvků;
- měření dynamické hysterezní smyčky vzorků feritových materiálů.

Analogové osciloskopy

Osciloskop má dva základní vstupy – *vertikální vstup Y* a *horizontální vstup X* (který se využívá pouze, pracuje-li osciloskop v režimu X-Y). Třetí vstup (*EXT.TRIG*) (vnější spouštění *external triggering*) se používá pro připojení vnějšího spouštěcího signálu, je-li měřený signál příliš slabý pro generování spolehlivého signálu pro vnitřní spouštění.

Na *vstup Y* se přivede měřený signál u_1 . Jeho stejnosměrnou složku umožňuje odstranit přepínač P1, pokud je přepnut do polohy AC. Velikost signálu se upraví vstupním dělič VD a vertikálním zesilovačem VZ (sestavajícím se z předzesilovače PZ a koncového stupně zesilovače KVZ). Vystup vertikálního zesilovače se zpozdí ve zpoždovací lince ZL a přivede se na vertikálně vychylující destičky obrazovky. Soustava právě vyjmenovaných bloků tvoří tzv. *vertikální kanál (kanál Y) osciloskopu*.

Analogové osciloskopy

Abychom získali časový průběh napětí na stínítku obrazovky, je nutno pohybovat svítícím bodem rovnoměrně zleva doprava současně s vychylováním paprsku ve vertikálním směru, vyvolaným vstupním napětím. Rovnoměrný horizontální posuv svítícího bodu od levého okraje stínítka k pravému okraji zajišťuje pilové napětí generované obvodem nazývaným *časová základna ČZ*, zesilované *horizontálním zesilovačem HZ* a přivedené na horizontálně vychylující vychylovací destičky obrazovky. Aby byl obraz stabilní, je časová základna opakovaně spouštěna spouštěcím obvodem SO. Spouštěcí puls u_5 je generován pokaždé, když vstupní napětí spouštěcího obvodu (vnitřní nebo vnější spouštěcí signál) dosáhne tzv. spouštěcí úrovně. V Případě vnitřního spouštění je to v okamžiku kdy vstupní signál u_1 dosáhne úrovně ÚS.

Elektronický paprsek generovaný katodou obrazovky se vrací na levou stranu obrazovky ihned po dosažení pravé strany obrazovky, aby během tohoto *zpětného běhu paprsku* nebyl na stínítku kreslen záznam, pouští se paprsek přes mřížku obrazovky pouze v době tzv. *přímého*

Analogové osciloskopy

běhu časové základny. To zajišťuje napětí u_g , nazývané *napětí modulace jasu paprsku*.

Protože se obvod časové základny rozběhne po příchodu spouštěcího pulsu s určitým zpožděním (t_1), musí být vstupní signál také zpožděn, aby se dostal na vertikální vstup obrazovky v době, kdy je paprsek přesouván zleva doprava. Toto zpoždění (t_d) zajišťuje obvod zvaný *zpoždovací linka* (ZL). Velikost zpoždění je 20 ns až 200 ns. Přepínač P2 slouží k volbě typu spouštění (vnitřním nebo vnějším signálem), přepínač P3 umožňuje volbu režimu X-Y nebo běžného režimu Y-t.

Digitální osciloscipy

Tyto přístroje v současné době téměř vytlačily analogové osciloscipy. Měřený signál je digitalizován pomocí A/D převodníků. Hodnoty napětí jsou snímány v ekvidistantních časových okamžicích a jsou ukládány do rychlé číslicové paměti, odkud jsou následně vybírány pro zobrazení nebo další zpracování.

Digitální osciloscipy používají ke zobrazení zpravidla displeje podobné displejům počítačovým nebo využívají LCD zobrazovače.

Základní charakteristiky digitálních osciloskopů jsou nejen šířka pásma, napěťová citlivost a přesnost jako u analogových osciloskopů, ale také *vzorkovací frekvence, vertikální rozlišovací schopnost (počet bitů A/D převodníku) a velikost paměti* pro ukládání vzorků. Čím vyšší je vzorkovací frekvence, tím rychlejší signály je možné zaznamenat. Čím větší je počet bitů A/D převodníku, tím menší změny velikosti signálu lze zachytit. Čím větší je kapacita číslicové paměti, tím delší je doba záznamu.

Digitální osciloskopy

Výhody číslicové techniky jsou následující:

- možnost zachycení jednorázových přechodných dějů;
- nastavitelná velikost „záporného zpoždění“ (možnost sledování signálu před příchodem spouštěcího signálu (*pretrigger mode*));
- lepší přesnost než u analogových přístrojů;
- rychlé měření s využitím kurzorů a s automatickým výpočtem a zobrazením hodnot řady parametrů měřeného průběhu;
- rychlý tisk naměřených výsledků;
- možnost archivování změřených průběhů pro analýzu a pozdější srovnání;
- možnost číslicového zpracování sejmutých průběhů a spektrální analýza;
- úplná programovatelnost měření a samočinné nastavení přístroje pro měření.

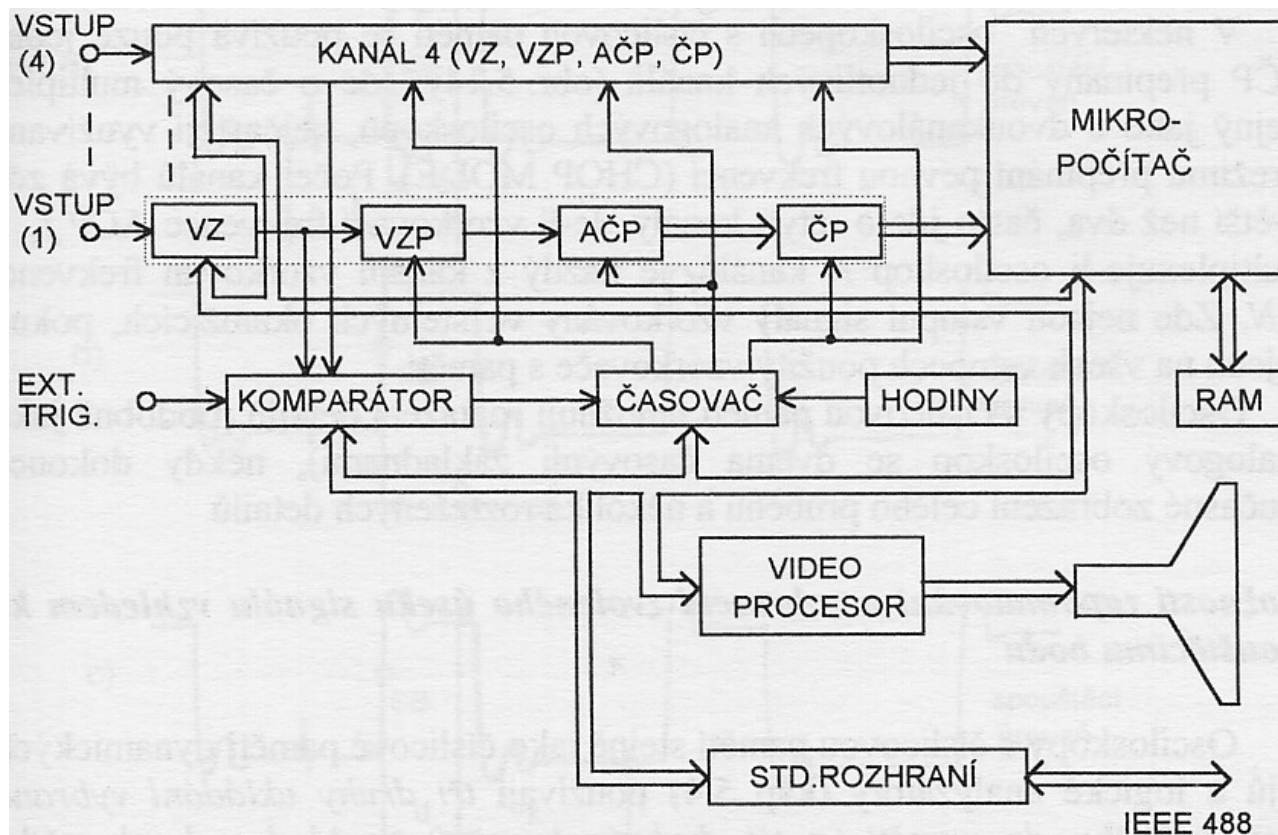
Digitální osciloscropy

Nejstarší digitální osciloscropy byli v podstatě číslicovou pamětí dynamických dějů se zabudovaným analogovým osciloskopem na výstupu. Pokud přístroj obsahoval i časovou základnu analogového osciloskopu, bylo možno ho přepínat do analogového nebo číslicového režimu. V současné době se tato koncepce využívá jen výjimečně u některých levnějších přístrojů.

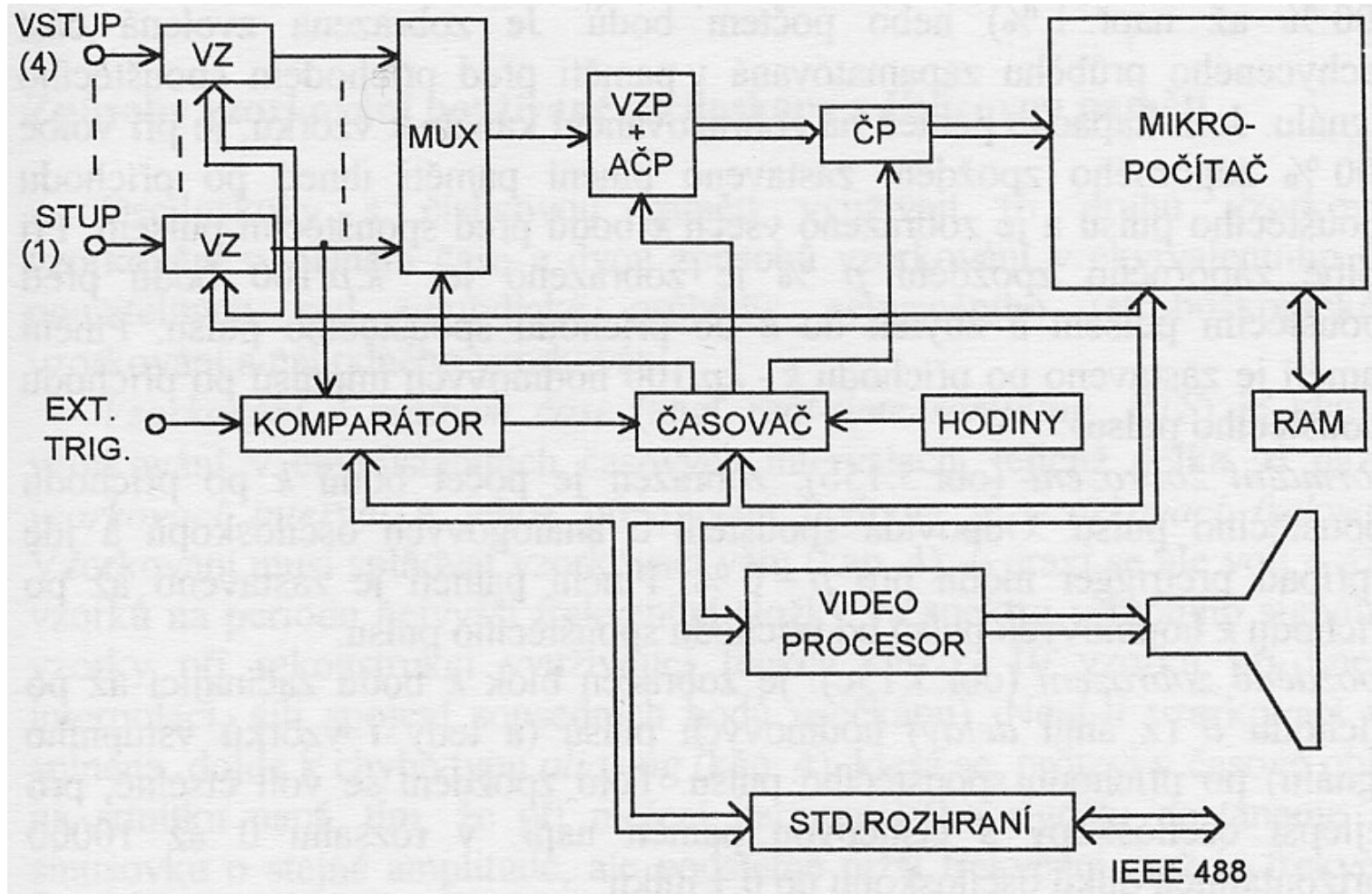
Paměť digitálních osciloskopů je tzv. paměť „FIFO“ (z angl. *first-in first-out*). Jde o paměť, která se po úplném naplnění přepisuje tak, že nejprve je přepsán nejdříve přijatý vzorek, poté vzorek zaznamenaný jako druhý atd. Paměť osciloskopu je po připojení signálů ke vstupu osciloskopu neustále plněna vzorky a po jejím naplnění je obsah kontinuálně přepisován. Po příchodu spouštěcího signálu je plnění buď ihned a nebo po zvoleném zpoždění zastaveno, a tak může být zobrazen zvolený úsek měřeného signálu.

Digitální osciloscipy

Současné digitální osciloscipy obsahují zabudovaný mikro počítač (často několik mikroprocesorů) a digitalizovaný signál nepřevádějí zpět do analogové formy, ale zpracovávají ho v zabudovaném počítači.



Digitální oscilokopy



Digitální osciloscropy

V některých digitálních osciloskopech se používá pouze jeden A/D převodník přepínaný do jednotlivých kanálů. Jde o časový multiplex stejný jako u analogových osciloskopů, nejčastěji využívaný v režimu přepínání pevnou frekvencí (CHOP MODE). Počet kanálů bývá zde i větší než dva, často jde o čtyři kanály. Je-li vzorkovací frekvence A/D převodníku f_s a multiplexuje-li osciloskop N kanálů, je každý z kanálů vzorkován frekvencí f_s/N . Zde nejsou vstupní signály vzorkovány ve stejných okamžicích, pokud nejsou na všech vstupech použity vzorkovače s pamětí.

Digitální osciloscropy umožňují roztažení detailů, někdy dokonce současné zobrazení celého průběhu a několika roztažených detailů.

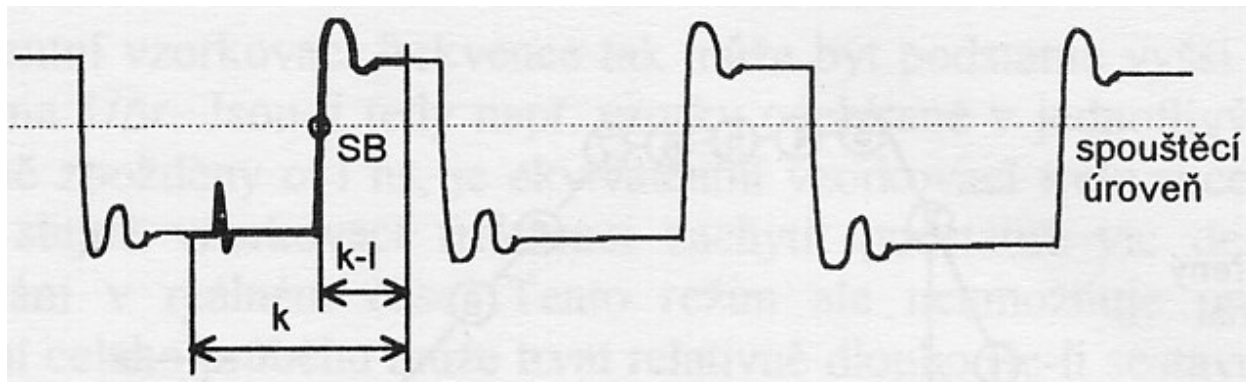
Digitální osciloskopy

Možnosti zapamatování a zobrazení zvoleného úseku signálu vzhledem ze spouštěcímu bodu

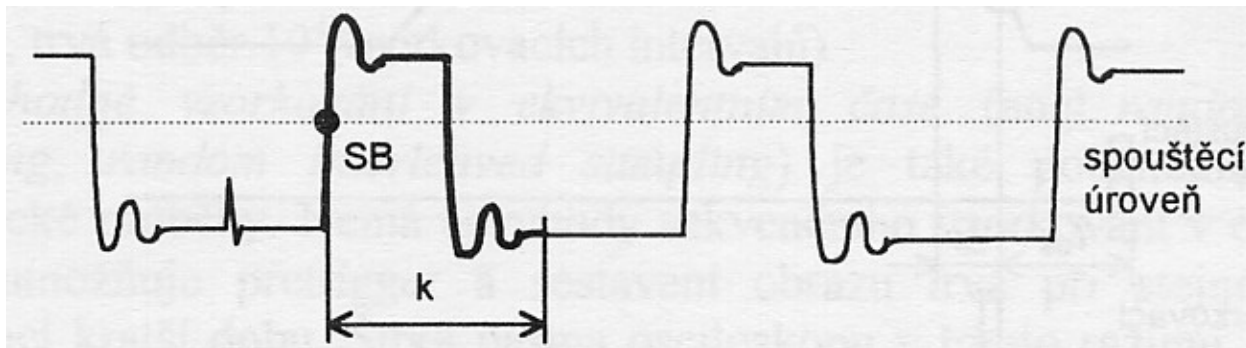
Digitální osciloskopy používají *tři druhy ukládání vybrané části průběhu do paměti (a tři druhy zobrazení) vzhledem k okamžiku spuštění:*

- Zobrazení před příchodem spouštěcího pulsu (*pretrigger mode*), využívá nastavitelného *záporného zpoždění*, zadaného v % nebo počtem bodů. Je zobrazena zvolená část zachyceného průběhu zapamatovaná v paměti před příchodem spouštěcího signálu. Je-li kapacita paměti na zobrazovaném kanálu k vzorků, je při volbě 100 % záporného zpoždění zastaveno plnění ihned po příchodu spouštěcího pulsu a je zobrazeno všech k bodů před spouštěcím pulsem. Při volbě záporného zpoždění p % je zobrazeno $k \cdot p/100$ bodů před spouštěcím pulsem a zbytek do k po příchodu spouštěcího pulsu. Plnění paměti je zastaveno po příchodu $k - kp/100$ hodinových impulsů po příchodu spouštěcího pulsu.

Digitální osciloscipy

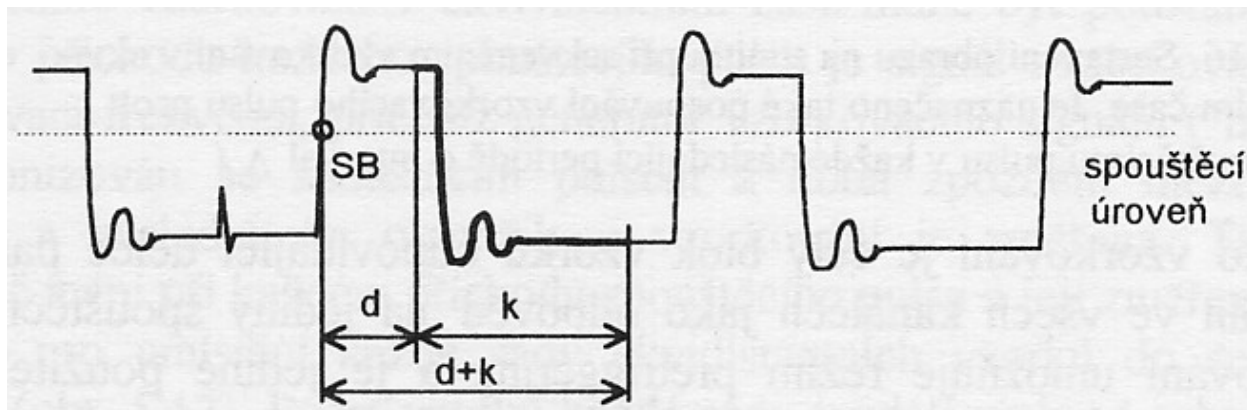


- *Normální zobrazení:* zobrazen je počet bodů k po příchodu spouštěcího pulsu. Odpovídá spouštění u analogových osciloskopů a jde o případ pretrigger módu pro $p = 0 \%$. Plnění paměti je zastaveno až po příchodu k hodinových pulsů od příchodu spouštěcího pulsu.



Digitální oscilokopy

- *Zpožděné zobrazení*: je zobrazen blok k bodů začínající až po příchodu d (*delay*) hodinových pulsů (a tedy i vzorků vstupního signálu) po příchodu spouštěcího pulsu. Toto zpoždění se volí číselně, pro nejlepší digitální oscilokopy např. v rozsahu 0 až 10000 horizontálních dílků oscilokopu po 0,1 dílku.



Digitální osciloskopy

Způsoby vzorkování používané digitálními osciloskopy

Digitální osciloskopy využívají tři druhů vzorkování: vzorkování v reálném čase a dvou způsobů vzorkování v ekvidistantním čase použitelných pro periodické průběhy: sekvenčního (stroboskopického) vzorkování a náhodného vzorkování:

Vzorkování v reálném čase (real-time sampling, RTS) je klasické vzorkování v ekvidistantních časových intervalech, jejich délka se nazývá *vzorkovací interval* a jehož převrácená hodnota je *vzorkovací frekvence*. Vzorkování musí splňovat vzorkovací teorém, v praxi se ale volí 4 až 10 vzorků na periodu nejvyšší frekvenční složky ve spektru vstupního signálu (4 vzorky při rekonstrukci využívající funkce $\sin x/x$, 10 vzorků při lineární interpolaci, čili spoje sousedních bodů úsečkami). Není-li vzorkovací teorém splněn, dojde k chybě typu *aliasing*, která se projeví v časové oblasti na stínítku např. tím že při měření harmonického signálu dostaneme sice sinusovku o stejné amplitudě, ale o podstatně nižší frekvenci, než je frekvence měřeného signálu.

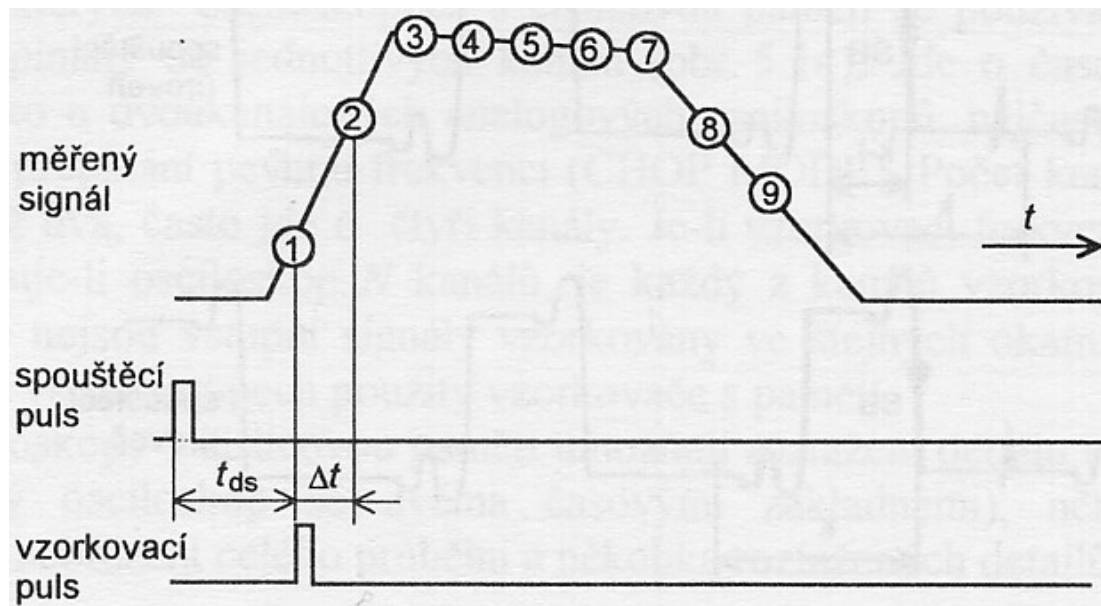
Digitální osciloskopy

Při tomto vzorkování je celý blok vzorků odpovídající délce paměti na kanál odebrán ve všech kanálech jako odpověď na jediný vzorkovací signál. Toto vzorkování umožňuje režim pretriggering a je jediné použitelné pro záznam jednorázových průběhů. Pro tento režim je výhodná co nejvyšší vzorkovací frekvence a co největší hloubka (délka) paměti.

Sekvenční vzorkování v ekvidistantním čase (stroboskopické vzorkování, *sequential repetitive sampling*) je způsob vzorkování převzatý z analogových vzorkovacích osciloskopů. Je použitelný pouze pro periodické průběhy měřeného signálu. Z každé periody signálu se odebere jeden vzorek, jehož odběr je inicializován spouštěcím pulsem, přičemž poloha vzorku vzhledem k začátku periody se u každého následující vzorku posune o pevný časový úsek Δt . Tento posuv zajišťuje časovací obvod. Jednotlivé vzorky jsou zobrazeny společně na stínítku a je z nich složen výsledný průběh. Je-li jich např. tisíc, vypadá průběh prakticky spojitě. Ekvidistantní vzorkovací frekvence tak může být

Digitální osciloskopy

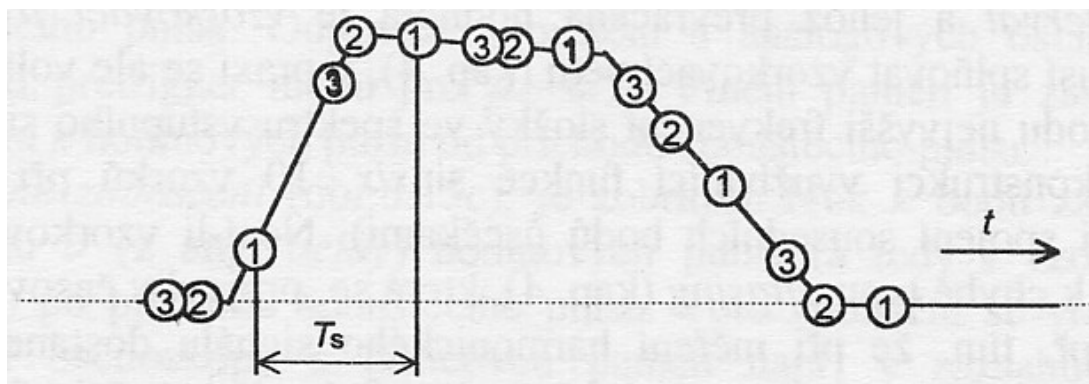
podstatně vyšší než skutečná a je rovna $1/\Delta t$. Jsou-li tedy např. vzorky odebírané v jednotlivých periodách vzájemně zpožděny o 1 ns, je ekvivalentní vzorkovací frekvence 1 GHz. Tak lze při stejné vzorkovací frekvenci zachytit podstatně více detailů než při vzorkování v reálném čase. Tento režim ale neumožňuje pretriggering a sestavení celého průběhu může trvat relativně dlouho (je-li sestavován z 10000 vzorků, trvá odběr 10^4 vzorkovacích intervalů).



Digitální osciloscipy

Náhodné vzorkování v ekvivalentním čase (random repetitive sampling, random interleaving sampling) je také použitelné pouze pro periodické průběhy. Nemá nevýhody sekvenčního vzorkování v ekvivalentním čase: umožňuje pretriggering a sestavení obrazu trvá při stejné vzorkovací frekvenci kratší dobu. Šířka pásma osciloskopu v tomto režimu stejně jako u sekvenčního vzorkování v ekvivalentním čase může být podstatně vyšší než $f_s/4$. Po příchodu každého spouštěcího pulsu je signál navzorkován maximální vzorkovací frekvencí, přičemž generátor vzorkovacího signálu („hodiny“) není synchronizován se spouštěcím pulsem a doba zpoždění mezi spouštěcím pulsem a následujícím okamžikem vzorkování je změřena. Tato doba se náhodně mění při každém příchodu spouštěcího pulsu a její změřená hodnota je použita pro umístění každé sady ekvidistantních vzorků do sestavovaného obrazu. Počet vzorků každé sady (vzdálených od sebe o T_s) může být malý, ale použitím většího množství sad dostaneme celý průběh.

Digitální osciloscipy



Současné digitální osciloscipy jsou optimalizovány buď pro měření periodických průběhů, nebo pro měření jednorázových průběhů. Některé digitální osciloscipy (ty, které využívají pouze vzorkování v ekvidistantním čase buď sekvenčního, nebo náhodného) nejsou schopny měřit jednorázové průběhy.

Speciální druhy spouštění u dig. osciloskopů

Jednou z výhod digitálních osciloskopů proti osciloskopům analogovým je podstatně větší výběr možností okamžiku spuštění časové základny. Na rozdíl od základních způsobů spouštění, které mají k dispozici prakticky všechny analogové osciloskopy, jsou možnosti spouštění digitálních osciloskopů odlišné podle výrobce a ceny osciloskopu. Digitální osciloskopy vyšších tříd kromě klasického spouštění při zvolené spouštěcí úrovni a zvolené hraně (vzestupná, sestupná) spouštěcího signálu, který vyhovuje pro většinu běžných měření, mají také speciální způsoby využitelné zejména při měřeních v mnohakanálových číslicových obvodech.

a) *Spouštění od jednoho zdroje spouštěcího signálu*

- *Základní spouštěcí režim.* Jako zdroj spouštěcího signálu lze zvolit jeden ze vstupních kanálů (K1, K2, K3 nebo K4 u čtyřkanálového osciloskopu), nebo vnější spouštěcí signál (EXT.TRIG., zkráceně EXT). Volba spouštěcí úrovně, spouštěcí hrany, způsobu (normální, automatické, jednorázové) a vazby spouštěcího signálu (DC, AC, LF

Speciální druhy spouštění u dig. osciloskopů

- reject, HF reject) jsou stejné jako u analogových osciloskopů.
- Spouštění s nastavitelným *zpožděním spouštěcího pulsu (hold-off time)* u digitálních osciloskopů umožňuje volit zpoždění číselně, jako délku časového intervalu nebo počet výskytů potenciálních spuštění. Používá se stejně jako u analogových osciloskopů pro získání stabilního obrazu signálu tvořeného opakujícími se skupinami nepravidelně rozložených pulsů, které obsahují řadu potenciálních okamžiků spuštění.
 - Spouštění s využitím *zvolené délky pulsu nebo délky intervalu*. Umožňuje spuštění osciloskopu při výskytu pulsu určité předvolené délky ve zvoleném spouštěcím kanálu nebo při předvolené časové vzdálenosti dvou po sobě následujících náběžných nebo sestupných hran („interval“). Zvoleno může být spuštění při výskytu pulsu nebo intervalu o délce menší než předvolená, větší než předvolená, případně mezi dvěma předvolenými hodnotami. Spouštění při výskytu pulsu kratšího než předvolená doba lze jednoduše spouštět osciloskop jednorázovými krátkými rušivými impulsy (*glitch*), kratšími než

Speciální druhy spouštění u dig. osciloskopů

půlperioda hodinového signálu. Tyto pulsy mohou být příčinou poruch v číslicových obvodech.

b) *Spouštění z několika zdrojů („logické spouštění“)*

- *Logické spouštění množinou logických stavů (pattern)*, je založeno na logických stavech několika vstupních kanálů – K1, K2, (K3, K4) a EXT, které jsou chápány jako logické signály. Tyto signály mohou být ve dvou stavech: H (vysoká úroveň *high*) nebo L (nízká úroveň *low*) podle toho zda jsou nad nebo pod nastavenou prahovou úrovní. Tato úroveň bývá volitelná zvláště pro jednotlivé kanály. Pokud na úrovni některého kanálu nezáleží označí se X. Uživatel definuje spouštěcí podmínkou jako množinu logických stavů vstupů, např. HXLL. Ke spuštění dojde, jakmile se tato kombinace objeví, nebo když skončí. Jde o logický součin zvolených stavů. Tento typ spouštění je možno kombinovat se spouštěním délkou impulsu tak, že ke spuštění dojde, pokud „pattern“ trvá předvolenou dobu.
- *Logické spouštění s kvalifikátorem stavů (state-qualified multisource trigger)*. Jde o spouštění z jednoho zdroje signálu (K1, K2 nebo EXT)

Speciální druhy spouštění u dig. osciloskopů

po dosažení zvolené logické podmínky na zbývajících vstupech. Uživatel zvolí logické úrovně dvou vstupů (např. K2: L, EXT: L, čili LL) a splnění této podmínky slouží pro aktivování třetího vstupního signálu jako použitelného pro spuštění. Logická podmínka přitom musí být splněna, dokud nedojde ke spuštění osciloskopu.

- *Logické spouštění s kvalifikátorem hrany (edge qualified multisource trigger, nebo prostě „state trigger“)*. Zde uživatel opět zvolí logické stavy na vstupních kanálech kromě jediného. Ke spuštění dojde při výskytu náběžné hrany nebo sestupné hrany v tomto zbývajícím kanálu po splnění předvolené podmínky. Zde (na rozdíl od předchozího případu) nemusí být logické podmínky splněny až do okamžiku spuštění osciloskopu, čili příchod zvolené hrany ve zbývajícím kanálu. Výskyt náběžné nebo sestupné hrany se někdy označuje šipkou: HL↓ např. znamená, že ke spuštění dojde při úrovni H v kanálu K1, úrovni L v kanálu K2 a při první sestupné hraně v kanálu vnějšího spouštění (EXT.) potom, co úrovně v kanálech K1 a K2 dosáhly zvolených úrovní.

Speciální druhy spouštění u dig. osciloskopů

c) *Spouštění osciloskopu logickým analyzátozem*

- Koncepce v logickém spouštění digitálních osciloskopů je využita v logických analyzátozech, které ale mají podstatně větší počet kanálů než osciloskop a podstatně větší výběr „kvalifikátorů“ (podmínek pro spouštění). Pokud složitost proměřovaného číslicového systému přesahuje možnosti spouštění digitálního osciloskopu, lze použít ke spuštění osciloskopu spouštěcí signál logického analyzátoru. (Existují také přístroje, které obsahují digitální osciloskop i logický analyzátor v jedné skříni. U nich je tento způsob spouštění standardní).

Parametry digitálních osciloskopů

Digitální osciloskopy mají téměř vždy 2 nebo 4 *vstupní kanály*.

Vzorkovací frekvence digitálních osciloskopů se většinou uvádí v MS/s (*megasamples per second*). V současných osciloskopech je vzorkovací frekvence nejčastěji stovky MS/s až desítky (stovky) GS/s pro vzorkování v reálném čase.

Šířka pásma digitálních osciloskopů bývá pro práci v reálném čase (*real time bandwidth*) 50 MHz až 2 GHz, pro činnost v ekvivalentním čase (pro periodické signály, *repetitive bandwidth*) 50 MHz až (u speciálních přístrojů) 50 GHz. Šířka pásma v reálném čase je určena nejen vzorkovací frekvencí, ale také frekvenční odezvou vertikálního zesilovače.

Hloubka paměti na kanál bývá od 4 kSa do 8 MSa (speciální osciloskopy i více). Čím větší je paměť, tím dražší je obvykle i osciloskop, ale tím víc rozsahů rychlostí časové základny lze využít s maximální vzorkovací frekvencí. S maximální frekvencí lze pak vzorkovat delší časový interval a tím zachytit i nepravidelné krátké pulsy. Celková paměť bývá někdy dělitelná mezi jednotlivé jednotlivé kanály;

Parametry digitálních osciloskopů

paměť na kanál pak závisí na zvoleném počtu použitých kanálů.

Rozlišovací schopnost (*resolution*) A/D převodníků se vyjadřuje počtem bitů použitého převodníku. Používají se A/D převodníky s paralelní komparací, případně jejich modifikace. Počet bitů bývá většinou 8, dodatečné softwarové zpracování (číslicová filtrace) umožňuje zvýšit počet bitů např. na 12.

Přesnost vertikálního kanálu (relativní chyba) bývá 3 % až 1 %, přesnost horizontálního kanálu (časové základny) bývá přibližně 0,1 % až 0,01 % (podstatně lepší než u analogových osciloskopů).

Rychlost obnovování průběhu na displeji (*display update rate*) je důležitá pro komfort obsluhy. opožděná reakce zobrazení na změnu měřeného signálu působí rušivě. Dnešní digitální osciloskopy se v tomto ohledu prakticky neliší od osciloskopů analogových.

Parametry digitálních osciloskopů

Výpočet parametrů zobrazovaného průběhu (např. maximální, minimální, střední efektivní hodnotu, frekvenci, délku pulsu, dobu náběhu a dobu doběhu, překmity) a jejich zobrazení na stínítku podstatně zvyšuje komfort obsluhy. Dokonalejší *číslicové zpracování změřeného signálu* umožňují výměnné moduly nebo doplňkové programové vybavení (např. frekvenční analýzu s využitím rychlé Fourierovy transformace – FFT, statistickou analýzu – výpočet základních statistických parametrů a nakreslení histogramu jednotlivých změn parametrů). Naměřené průběhy lze přenášet do připojeného osobního počítače většinou pomocí standardizovaných rozhraní (USB, GP-IB apod.).

Standardním je u digitálních osciloskopů režim *autoset* resp. *autoscale*, volitelný tlačítkem a umožňující samočinné nastavení vertikální citlivost, rychlosti časové základny a spouštěcího režimu.

Přivedení signálu ke vstupu osciloskopu

Obvyklá vstupní impedance osciloskopu (analogového i digitálního) je odpor $1 \text{ M}\Omega$ paralelně s kapacitou asi 30 pF . Ve většině případů je dominantní složkou vstupní impedance osciloskopu rezistor; obsahuje-li ale měřený průběh strmé hrany (a jim odpovídající vysokofrekvenční složky signálu), pak kapacitní složka vstupní impedance může způsobit změnu tvaru zobrazovaného průběhu.

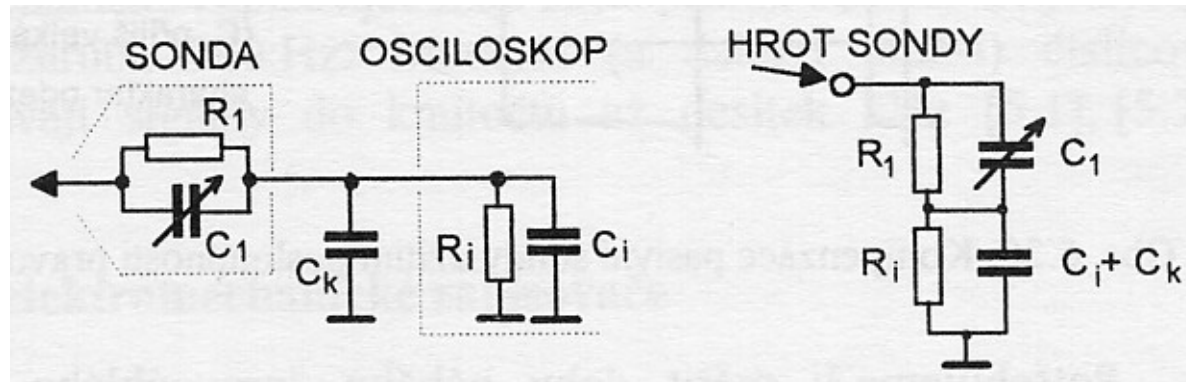
Pro přivedení signálu od měřeného zdroje ke vstupu osciloskopu je nutno použít *vedení* nezanedbatelné délky (obvykle 1 m). Takovéto vedení je většinou realizováno pomocí *koaxiálního kabelu*. Vnější válcový plášť koaxiálního kabelu je připojen k zemi (skříni osciloskopu) a zabraňuje vazbě vstupu osciloskopu se zdroji rušivého signálu. Obvykle se používají kabely s vlnovou (charakteristickou) impedancí 50Ω nebo 75Ω . Je-li takový kabel připojen ke vstupu osciloskopu s odporem $1 \text{ M}\Omega$, není vedení impedančně přizpůsobeno a na vstupu osciloskopu dochází k *odrazům* signálu, které mohou způsobit nezanedbatelné změny tvaru, pokud signál obsahuje vf složky.

Přivedení signálu ke vstupu osciloskopu

Pokud nelze dosáhnout impedančního přizpůsobení, může se zmenšením měřeného napětí dosáhnout zmenšení zatížení měřeného obvodu osciloskopem *zvýšení vstupní impedance osciloskopu*. Současně je vhodné zajistit určité stínění přívodu k osciloskopu. Oba tyto cíle splňují *napěťové sondy*.

Pasivní napěťová sonda obsahuje rezistor paralelně s proměnným kondenzátorem v tzv. hlavě sondy a přívodní koaxiální kabel. Živý vstup k osciloskopu je zakončen kovovým hrotem, kterým se obsluha dotkne výstupu měřeného signálu. Zem vstupu je obvykle připojena pomocí krátkého vodiče připojeného k plášti sondy a zakončeného krokosvorkou. Kombinace rezistoru R_1 a kapacitoru C_1 v hlavě sondy tvoří horní část frekvenčně kompenzovaného RC děliče napětí (impedanci Z_1), jehož spodní část je tvořena vstupní impedancí osciloskopu R_i , C_i paralelně připojenou k ekvivalentní kapacitě kabelu C_k (Z_2). Hlava sondy se umísťuje co nejbližší k měřenému signálu zdroji signálu, aby byla minimalizována parazitní kapacita. Výsledná vstupní impedance

Přivedení signálu ke vstupu osciloskopu

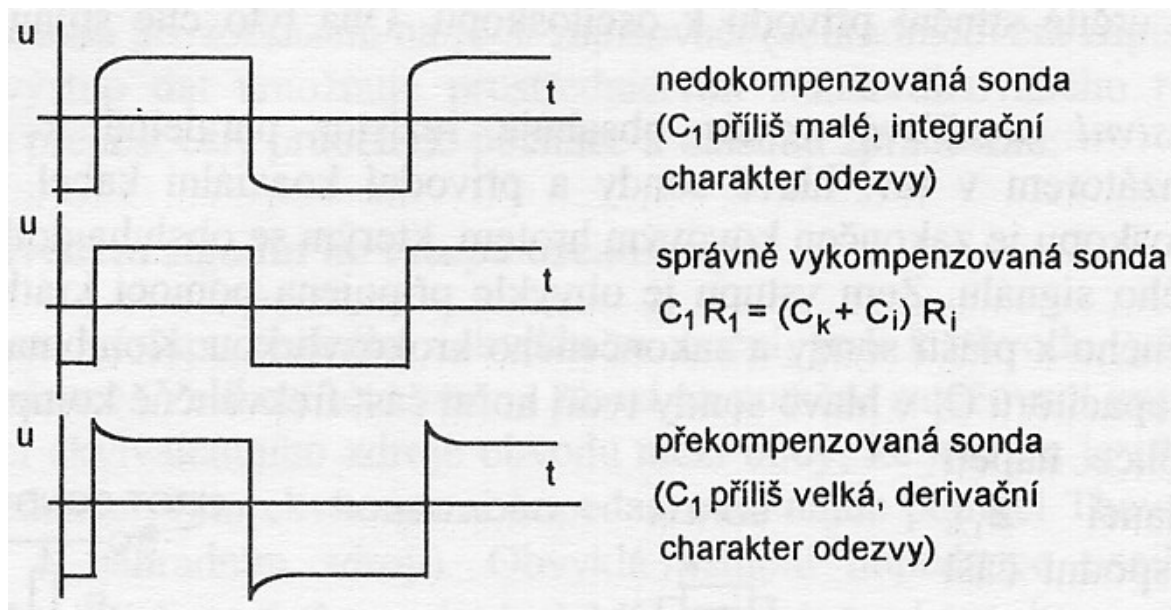


kombinace sonda-osciloskop je obvykle odpor $10\text{ M}\Omega$ nebo $100\text{ M}\Omega$ paralelně s kapacitou řádu jednotek pF. Nevýhodou pasivních sond je zeslabení amplitudy signálu na vstupu osciloskopu (nejčastěji 1:10 nebo 1:100).

Pasivní sondy musí být správně *vykompenzovány*, aby nepůsobily deformaci měřeného průběhu. Musí být dosaženo podmínky $C_1 R_1 = (C_i + C_k) R_i$, kde C_k je kapacita kabelu. Pak platí $Z_1 / (Z_1 + Z_2) = R_1 / (R_1 + R_i)$. Hodnotu kapacity C_1 lze obvykle nastavovat. Nejvhodnější způsob kompenzace sondy je použití pravoúhlé posloupnosti pulsů na vstupu sondy a pozorování zobrazeného průběhu.

Přivedení signálu ke vstupu osciloskopu

Při užití signálu o frekvenci 1 kHz (obvykle dostupného na panelu osciloskopu jako kalibrační signál pro kalibraci vertikálního a horizontálního kanálu osciloskopu) musí být zobrazený signál posloupnost dokonale pravoúhlých pulsů. Je-li signál deformovaný, je nutno dostavit kapacitu C_1 .



Přivedení signálu ke vstupu osciloskopu

Aktivní sondy obsahují aktivní prvky (FET tranzistor, zesilovač), zapojené jako napěťový sledovač. Mají větší vstupní impedanci a širší frekvenční pásmo než sondy pasivní a často ani nesnižují amplitudu (i když některé jsou také sondami 1:10). Jejich nevýhodou je vyšší ceny a nutnost zvláštního napájecího zdroje pro aktivní prvky uvnitř sondy.

Proudové sondy se používají k zobrazení průběhu proudu na stínítku osciloskopu. Jsou to převodníky proudu na napětí. Nejčastěji jde o malé měřicí transformátory proudu s rezistorem na vstupu a magnetickým jádrem tvořeným rozevíratelnými čelistmi. Vodič protékaný měřeným proudem tvoří primární vinutí transformátoru. Tyto sondy neměří stejnosměrnou složku proudu (jejich frekvenční pásmo je např. 120 Hz až 100 MHz). Kromě nich se používají také zpětnovazební sondy s Hallovým generátorem, které mají užší frekvenční pásmo (např. 0 Hz až 100 kHz), ale měří i stejnosměrný proud. Dnes se vyrábějí i kombinované proudové sondy, využívající obou principů a dosahují frekvenčního pásma od 0 Hz do stovek MHz.

Literatura

- [1] HAASZ, V., ROZTOČIL, J., NOVÁK, J., *Číslicové měřicí systémy*.
ČVUT, Praha 2000, ISBN 80-01-02219-6.
- [2] HAASZ, V. SEDLÁČEK, M., *Elektrická měření, Přístroje a metody*.
ČVUT, Praha 2005, ISBN 80-01-02731-7.

Děkuji Vám za pozornost

Úkol za extra 1 bod navíc (100+1):

Ve Vaší nové firmě se zabýváte vývojem koncových zesilovačů pro wifi sítě s kmitočtem 2,4 GHz. Aby jste ověřili linearitu Vašich zesilovačů chcete měřit potlačení a zkreslení nosného signálu až do **5-té harmonické**. Nalezněte pro to měření vhodný digitální osciloskop, osciloskop musí mít komunikační port splňující protokol SCPI?

Své odpovědi zašlete spolu s uvedením zdrojem informace (nejlépe [www odkaz](#)) na níže uvedený email do **pá 14. 3. 2008 do 12:00**. První email, který bude vyhodnocen musí být zaslán nejdříve v **út 11. 3. 2008 ve 20:00**. Hodnoceno bude prvních **8 různých odpovědí!!!!**

Ve své odpovědi dále uveďte, jakou má Vámi navrhovaný osciloskop maximální zpracovatelnou frekvenci a max. sample rate.



drino@feec.vutbr.cz