

Návrh digitálneho osciloskopu pomocou monolitického mikropočítača

Vasil Ervín · Elektrotechnika, Študentské práce

03.11.2011



Architektúra monolitických mikropočítačov s množstvom integrovaných periférnych obvodov na čipe, umožňuje ich využitie pre rôzne aplikácie. Návrh meracích prístrojov sa tak stáva jednoduchší. Možno navrhovať lacnejšie verzie s prepracovanými vybranými funkciami v súvislosti s konkrétnou aplikáciou. Cieľom mojej práce bol návrh osciloskopu pomocou mikropočítača a PC. Zariadenie má umožňovať vzorkovanie signálu v reálnom aj ekvivalentnom čase.

1. Osciloskopy

V súčasnosti je osciloskop takmer neodmysliteľnou súčasťou každého laboratória, či už profesionálneho alebo amatérskeho. Osciloskop je prístroj na meranie a zobrazovanie priebehov signálu. Dnešné osciloskopy okrem týchto funkcií disponujú aj rôznymi inými funkciami, ako je meranie času nábehu a dobehu signálu, zobrazenie obálky a podobne.

Prvá generácia osciloskopov fungovala na analógovom princípe. Po úprave signálu vstupnými obvodmi sa signál privádza na vertikálne vychyľovacie platne CRT obrazovky. Na horizontálne vychyľovacie platne sa privádza signál časovej základne. Obmedzujúcim parametrom týchto osciloskopov bola zotrvačnosť luminoforu, ktorý slúžil ako „pamäť“ zobrazovaného signálu. Ak bola meraná frekvencia príliš vysoká, dochádzalo k takzvanému presvecovaniu. Pri nízkej meranej frekvencii bolo na obrazovke vidieť len bežiaci bod.

Ďalšou generáciou boli hybridné osciloskopy. Hybridný osciloskop vznikol ako kombinácia analógového a digitálneho. Meraný signál sa tu prevádza do digitálnej podoby, uloží sa do vyrovnávacej pamäte a potom sa opäť transformuje do analógovej formy, aby sa zobrazil na CRT obrazovkách. Jeho výhoda oproti analógovým osciloskopom bola tá, že meraný signál sa dal spätne zobraziť na obrazovke, hlavne pri jednorazových dejoch. Tieto typy osciloskopov boli nakoniec nahradené čisto digitálnymi.

Novším typom osciloskopov sú digitálne. Ich procesná architektúra bola sériová. Meraný signál sa transformoval do digitálnej podoby, uložil sa do vyrovnávacej pamäte a z nej sa zobrazil na displeji. Rozšírenie mikrokontrolérov do oblasti meracej techniky spôsobilo zdokonalenie týchto prístrojov. Osciloskop dokázal z nameraných dát

vypočítat dobu nábehu aj dobehu, dovoľoval uskutočňovať matematické operácie s dátami a vyhodnocovať rôzne parametre signálu.

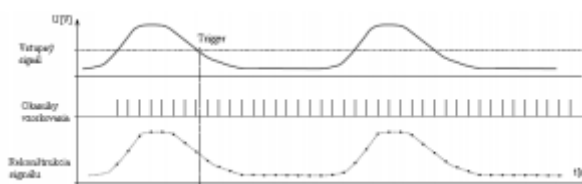
Poslednou generáciou sú digitálne fosforové osciloskopy. Na rozdiel od digitálnych osciloskopov, ich procesná architektúra je paralelná. Navzorkovaný signál sa zobrazuje hneď na monitore a zároveň sa z nich uskutočňujú výpočty, ktoré sú tiež súčasne zobrazované na displeji.

Špeciálnou skupinou sú tzv. vzorkovacie osciloskopy. Tie využívajú vzorkovanie v ekvivalentnom čase. Tým je kladený menší dôraz na rýchlosť analógovo-číslicového rozhrania, ktorá nelimituje veľkosť spracovateľných frekvencií. Vďaka tomu možno smerovať návrh pre aplikácie s vyššími frekvenciami pri väčšom vertikálnom rozlíšení.

2. Navrhované riešenie osciloskopu

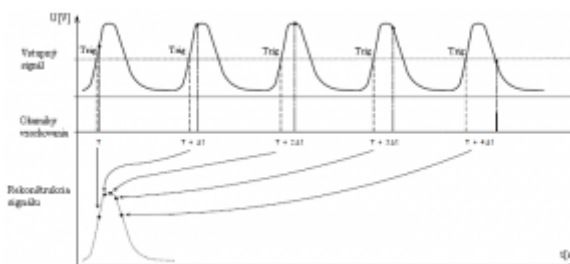
Navrhovaný osciloskop je digitálny so sériovou procesnou architektúrou. Namerané vzorky signálu sa ukladajú do vyrovnávacej pamäte o veľkosti 512 bajtov zvolenou vzorkovacou frekvenciou. Po ich uložení sa vzorky posielajú do počítača, kde sú zobrazené na monitore. V praxi sa používajú rôzne typy vzorkovania: vzorkovanie v reálnom čase; vzorkovanie v ekvivalentnom čase realizované ako sekvenčné, alebo náhodné. Vo navrhovanom osciloskope je využívané vzorkovanie v reálnom čase, ako aj sekvenčné vzorkovanie v ekvivalentnom čase.

Vzorkovanie v reálnom čase je vhodné na záznam periodických aj jednorazových dejov. Princíp funkcie je znázornený na uvedenom obr.č.1. Po vykonaní spúšťacej podmienky sa začne vzorkovanie v nekonečnom cykle a nezáleží ďalej na vyhodnocovaní spúšťacej podmienky. Vzorkovanie prebieha s rovnakou periódou T . Pre správnu rekonštrukciu signálu musí byť splnená Nyquistova podmienka, že vzorkovacia frekvencia sa rovná aspoň dvojnásobku vstupnej frekvencie. Inak môže nastať aliasing zobrazeného signálu.



Obr. 1. Princíp vzorkovania v reálnom čase.

Vzorkovanie v ekvivalentnom čase sa používa pri pomalých AD prevodníkoch, ktorými chceme vzorkovať rýchle signály. Vstupné obvody AD prevodníkov musia mať širokú analógovú šírku pásma. Je použiteľné len pre periodické signály. Princíp činnosti je naznačený na obr. č. 2.



Obr. 2. Princíp vzorkovania v ekvivalentnom čase.

Po detekcii spúšťacej podmienky sú jednotlivé vzorky odoberané v definovaných a postupne sa predlžujúcich intervaloch. Z každej periódy sa odoberie vzorka v čase $T + n\Delta t$, kde n je poradie periódy a Δt je časové oneskorenie od spustenia spúšťača. Vzorky sa nemusia odoberať z každej jednej periódy, ale sa môžu odoberať s odstupom, napr. každá desiatu perióda. Tým dosiahneme vysokú vstupnú frekvenciu. Implementačnou výhodou v porovnaní s náhodným vzorkovaním je jednoduchšie generovanie presných časových intervalov, ako aj ich presné meranie.

3. Opis obvodového riešenia

Celý obvod osciloskopu je teoreticky rozdelený do dvoch častí: analógovej a digitálnej. Analógovú časť tvorí vstupný obvod určený na úpravu analógového signálu. Jadro digitálnej časti tvorí monolitický mikro počítač AT90USB1287. Ten spracováva skonvertovaný analógový signál na digitálny, posiela namerané dáta do počítača a riadi periférne obvody.

Pri vstupe do osciloskopu prechádza meraný signál cez blokovací kondenzátor, ktorý pri pozitívnej AC väzby filtruje striedavú zložku. Paralelne k tomuto kondenzátoru je pripojený kontakt relé. V prípade, že je kontakt relé zopnutý, na vstup osciloskopu môžeme priviesť aj jednosmerný signál, keďže vstupná väzba je potom typu DC. Vtedy môže slúžiť osciloskop na meranie jednosmerného napätia. Vďaka vysokej prúdovej zaťažiteľnosti jednotlivých výstupov mikro počítača je relé priamo pripojené bez budiaceho člena.

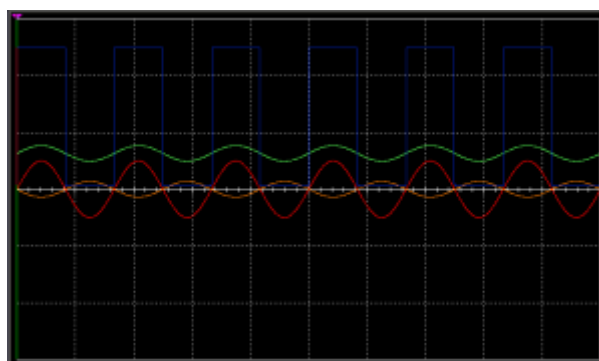
Z blokovacieho kondenzátora sa privádza signál na napäťový sledovač, ktorý prispôsobuje vstupnú impedanciu. Vysokým vstupným odporom sledovača sa zabezpečí malý prúdový odber z meraného obvodu a väčšia presnosť merania. Invertujúci zosilňovač slúži ako násobič vstupného signálu konštantou 0,275. Keďže je zosilňovač invertujúci, posúva fázu meraného signálu o 180° . Za zosilňovačom nasleduje rozdielový člen. Vstupný signál do AD prevodníka musí byť unipolárny (napätie z intervalu $<0, U_{ref} >$), preto sa musí výstupný signál zo zosilňovača upraviť v rozdielovom člene.

Tento člen posúva fázu meraného signálu späť o 180° a posúva amplitúdu o 1,27 V. Napätie bolo zvolené ako stred medzi nulou a referenčným napätím AD prevodníka. Potom nulovému napätiu meraného signálu zodpovedá napätie 1,27 V. Amplitúda signálu pred rozdielovým členom môže nadobúdať maximálne hodnotu $\pm 1,1$ V aj s rezervou (0,175 V) ponechanou na okrajoch rozsahu. Napäťový sledovač, invertujúci zosilňovač aj rozdielový člen je vytvorený pomocou rýchleho operačného zosilňovača.

Na jeho správnu funkciu je potrebné symetrické napájacie napätie. Prúdové zaťaženie osciloskopu nepresahuje 500 mA, preto je napájané z USB portu. Toto napätie je filtrované feritovou perličkou a keramickým kondenzátorom. Napájacie napätie operačného zosilňovača je symetrické a malo by byť aspoň o 2V vyššie, ako maximálne napätie privedené na vstup operačného zosilňovača. Kladné napájacie napätie operačného zosilňovača je privedené zo spínaného zdroja tvoreného integrovaným obvodom MC34063. Obvod je zapojený ako zvyšovací zdroj. Záporné napätie je vytvorené tiež integrovaným spínaným zdrojom ICL7660. Výstup z rozdielového člena nie je pripojený len na vstup AD prevodníka, ale aj na vstup spúšťacieho obvodu, ďalej

len triggra.

Trigger je tvorený komparátorom na jeho invertujúci vstup je privedený meraný signál a na neinvertujúci vstup porovnávací signál. Porovnávacie napätie je generované DA prevodníkom. Impulzne - šírko modulovaný signál je generovaný časovačom v mikrokontroléri a je privedený na vstup dolnopriepustného filtra. Na výstupe tohto filtra je potom stredná hodnota napätia impulzne - šírko modulovaného signálu. Zapojenie sa správa ako jednoduchý DA prevodník. Časová konštanta RC filtra nemôže byť príliš malá, aby výstupný signál nekmital, ale ani príliš veľká, aby sa napätie dalo rýchlo meniť. Priebehy signálov uvedenému opisu sú zobrazené na obr. č. 3.

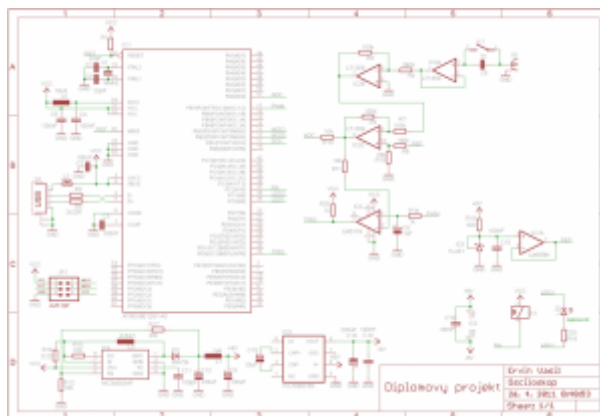


Obr. č. 3 Priebehy signálov výstupov jednotlivých častí obvodov.

Obrázok zobrazuje okno osciloskopu simulačného programu Multisim pri vstupnom signále s amplitúdou ± 1 V, frekvenciou 60 Hz. Použitá vertikálna mierka je 2V/dielik. Červenou farbou je znázornený vstupný signál, oranžový je výstup z invertujúceho zosilňovača, zelený je signál na vstupe AD prevodníka a modrý je výstup triggrovacieho signálu. Referenčné napätie je tvorené stabilizátorom na 2,56 V a je filtrované blokovacími kondenzátormi a delené podľa potreby odporovými deličmi.

Ako bolo spomenuté vyššie, digitálnu časť tvorí mikrokontrolér AT90USB1287 a periférne obvody. Mikrokontrolér zabezpečuje hlavne vzorkovanie a spúšťanie vzorkovania meraného signálu. V mikrokontroléri je implementovaný program (firmware), ktorý prijíma príkazy z počítača a dokáže vzorkovať signál s rôznou periódou vzorkovania v reálnom aj ekvivalentnom čase. Osciloskop je spojený s počítačom pomocou USB zbernice. Mikrokontrolér AT90USB1287 disponuje USB rozhraním na úrovni fyzickej vrstvy.

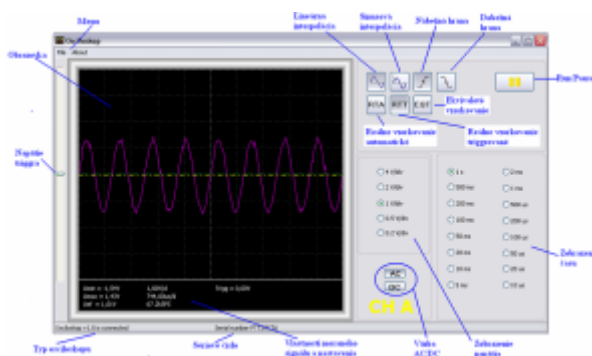
Na komunikáciu po USB zbernici bola použitá voľne dostupná knižnica, ktorú poskytuje výrobca. Osciloskop je zariadenie typu HID (Human interface device). Výhody HID zariadenia je, že nie je potrebné programovať žiadny ovládač. Každý operačný systém týmito ovládačmi disponuje. Po pripojení osciloskopu na USB port sa ovládač sám nainštaluje. Maximálna komunikačná rýchlosť je 64kB/s. Na doske je taktiež vyvedený konektor pre pripojenie ISP programátora. Na dvoch výstupoch mikrokontroléra je napojená dvojfarebná LED dióda, ktorá signalizuje stav osciloskopu. Celá schéma zapojenia je uvedená obrázku č.4.



Obr. 4. Schéma zapojenia

4. PC aplikácia

Počítačová aplikácia zabezpečuje ovládanie, načítanie vzoriek z osciloskopu, ich rekonštrukciu a následné zobrazenie. V programe je na rekonštrukciu použitá lineárna a sínusová interpolácia. Pri zobrazení je možné nastavovať horizontálnu aj vertikálnu mierku. Ukážka okna počítačovej aplikácie je na obr. č. 5.



Obr. 5. Ukážka PC aplikácie.

5. Záver

Cieľom práce bol návrh osciloskopu pomocou monolitického mikropočítača, ktorý by umožňoval vzorkovanie v reálnom aj ekvivalentnom čase. Navrhnutý osciloskop je funkčný a vzorkovaním v ekvivalentnom čase je možné zvýšiť maximálnu správne zobrazovanú frekvenčnú zložku signálu. Rekonštrukcia signálu zo vzoriek bola realizovaná v PC. Do budúcnosti sa budeme snažiť zvyšovať frekvenčný rozsah osciloskopu a zlepšovať jeho komunikačné funkcie.

6. Literatúra

1. AXELSON, J. 2009. USB Complete: The Developer's Guide, Fourth Edition. Lakeview Research LLC. 504 s. ISBN13 978-1-931448-08-6
2. Atmel, 2007. AVR276: USB Software Library for AT90USBxxx. atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7675.pdf
3. Atmel, 2008. USB PC Drivers Based on Generic HID Class. atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc7645.pdf
4. MATOUŠEK, D. 2006. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR ATmega16. Praha: BEN - technická literatúra. 320 s. ISBN 80-7300-174-8
5. MATOUŠEK, D. 2002. C++ Builder - vývojové prostredie - 1.díl. Praha: BEN - technická

literatúra. 688 s. ISBN 80-7300-064-4.

6. MATOUŠEK, D. 2003. C++ Builder - vývojové prostredí - 2.díl. Praha: BEN - technická literatúra. 576 s. ISBN 80-7300-117-9.

7. MATOUŠEK, D. 2003. C++ Builder - vývojové prostredí - 3.díl. Praha: BEN - technická literatúra. 616 s. ISBN 80-7300-063-6.

Spoluautorom článku je Ing. Miroslav Kamenský, PhD., Fakulta Elektrotechniky a Informatiky, Slovenská Technická Univerzita, Ilkovičova 3, Bratislava 812 19

Práca bola prezentovaná na Študentskej vedeckej a odbornej činnosti (ŠVOČ 2011) v sekcii Aplikovaná mechanika a získala Diplom dekana, ISBN 978-80-227-3508-7
