

Jednoduchý digitální osciloskop pro PC

Dušan Doležal

Osciloskop je přístroj, který by určitě ráda vlastnila většina elektroniků, ale pro mnoho amatérů je kvůli poměrně vysoké ceně nedostupný. Právě pro ně je určen následující přístroj, který sice neoplývá špičkovými parametry, ale pro mnoho měření je dostatečný a při tom je poměrně jednoduchý a levný - jeho cena by neměla překročit 1000 korun.

Základní technické údaje

Vzorkovací frekvence:

10 MHz pro periodické děje;
2,5 MHz pro jednorázové děje.

Šířka pásma: 1 MHz.

Rozlišení: 8 bitů.

Impedance vstupu: 1 M Ω /25 pF.

Citlivost: 20 mV až 10 V/dílek.

Časová základna: 3 μ s až 20 ms/dílek.

Osciloskop je bezesporu velmi užitečný přístroj, ale je také bohužel poměrně drahý. Proto se začaly vyrábět osciloskopické adaptéry (buď jako jako externí přístroje, nebo karty do rozšiřujících slotů), které umožňují sledovat průběhy signálů na osobním počítači. Vlastní přístroj potom pouze vzorkuje signál a vzorky odesílá přes vhodné rozhraní do počítače, kde se příslušný software stará o jejich zpracování a zobrazení. Zařízení může být díky této koncepci levnější než samostatný osciloskop, ale i tak je jeho cena dost vysoká; proto se objevilo mnoho amatérských konstrukcí podobných adaptérů. Když jsem se ovšem po nějakém vhodném návodu poohlížel, žádný mne bohužel neuspokojil. Buď se totiž jednalo o úplně primitivní zařízení (často jen převodník A/D připojený k sériovému portu) s nedostatečnými parametry (vzorkovací frekvence maximálně v řádu kHz), nebo naopak zařízení poměrně složitá a tím i dost nákladná. Navíc často s obtížně dostupnými součástkami (zejména převodníky A/D a rychlé paměti SRAM).

Protože poslední dobou dost pracuji s mikrokontroléry PIC řady 18, napadlo mne využít je pro konstrukci osciloskopu, ve kterém by velkou část funkcí realizoval samotný mikrokontrolér. PIC řady 18 jsou pro tento účel velmi vhodné - jsou poměrně bohatě vybaveny jak programovou, tak i datovou pamětí a především je možné je provozovat na frekvenci až 40 MHz. Jádro procesoru tak běží na frekvenci 10 MHz, a protože s použitým převodníkem A/D stačí pro přečtení jednoho vzorku napětí a jeho uložení do paměti pouhé 4 takty procesoru, získáváme tak nejvyšší vzorkovací frekvenci 2,5 MHz. U periodických signálů je navíc ještě možné postupně vzorkovat v několika periodách s různým posuvem od spouštěcího bodu (tzv. Equivalent Time Sampling), takže výsledek je potom ekvivalentní vyšší vzorkovací frekvenci. Protože jsem tuto funkci realizoval kvůli jednoduchosti čistě softwarově, nelze měnit posuv od spouštěcího bodu o kratší jednotku času, než trvá vykonání

jedné instrukce. Díky tomu je možné periodickým vzorkováním dosáhnout ekvivalentní rychlosti vzorkování maximálně 10 MHz. Za předpokladu, že pro rozumnou rekonstrukci signálu je potřeba alespoň 10 vzorků na periodu, dostáváme „digitální“ šířku pásma asi 250 kHz pro jednorázové a 1 MHz pro opakované děje. To sice ve srovnání s běžnými osciloskopy není mnoho, ale to je daň za jednoduchost a pro velkou část měření jsou to hodnoty dostačující.

Jinak přístroj disponuje standardními funkcemi osciloskopu, oproti analogovým přístrojům má navíc některé vlastnosti běžné u digitálních přístrojů - osciloskop je z principu „paměťový“, takže i jednorázové průběhy mohou být na obrazovce zobrazeny libovolnou dobu. Je možné pomocí kurzoru „měřit“ jak napětí, tak časové intervaly, případně uložit zobrazený průběh do souboru. S drobným omezením je realizována i funkce „pretrigger“, tedy zobrazení průběhu před spouštěcím bodem. Vzhledem k relativně malé paměti pro vzorky bylo potřeba vyřešit častý problém digitálních osciloskopů, kterým je velký pokles vzorkovací rychlosti u delších časových měříték. Pokud bychom totiž u těchto měříték vzorkovali plnou rychlostí, paměť by se velmi brzy zaplnila, a proto je nutné vzorkovací frekvenci snížit. Tím může vzniknout tzv. aliasing, kdy můžeme na obrazovce vidět i úplně jiný signál, než který přichází na vstup osciloskopu. Pro eliminaci toho jevu jsem zvolil metodu používanou i u některých továrních přístrojů - osciloskop vzorkuje stále plnou rychlostí, ale u delších časových měříték ukládá do paměti pouze nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotu. Na obrazovce se potom vykresluje jako signál průměr těchto dvou hodnot, ale zároveň také (odlišnou barvou) minimum a maximum. Díky tomu okamžitě poznáme, že signál má vyšší frekvenci, než kterou jsme schopni v daném rozsahu zobrazit, a že je nutné zvolit kratší časové měřítko. Jako interfejs pro komunikaci s PC je použit běžný sériový port. I když už se dnes využívá spíše rozhraní USB, je použití sériového portu výrazně jednodušší a levnější a navíc je možné pro zobrazení využít starší počítač, který není porty USB vybaven.

Popis zapojení

Na obr. 1 je schéma celého osciloskopu. Jak je vidět, jsou vstupní obvody řešeny poměrně jednoduše. Za vstupním

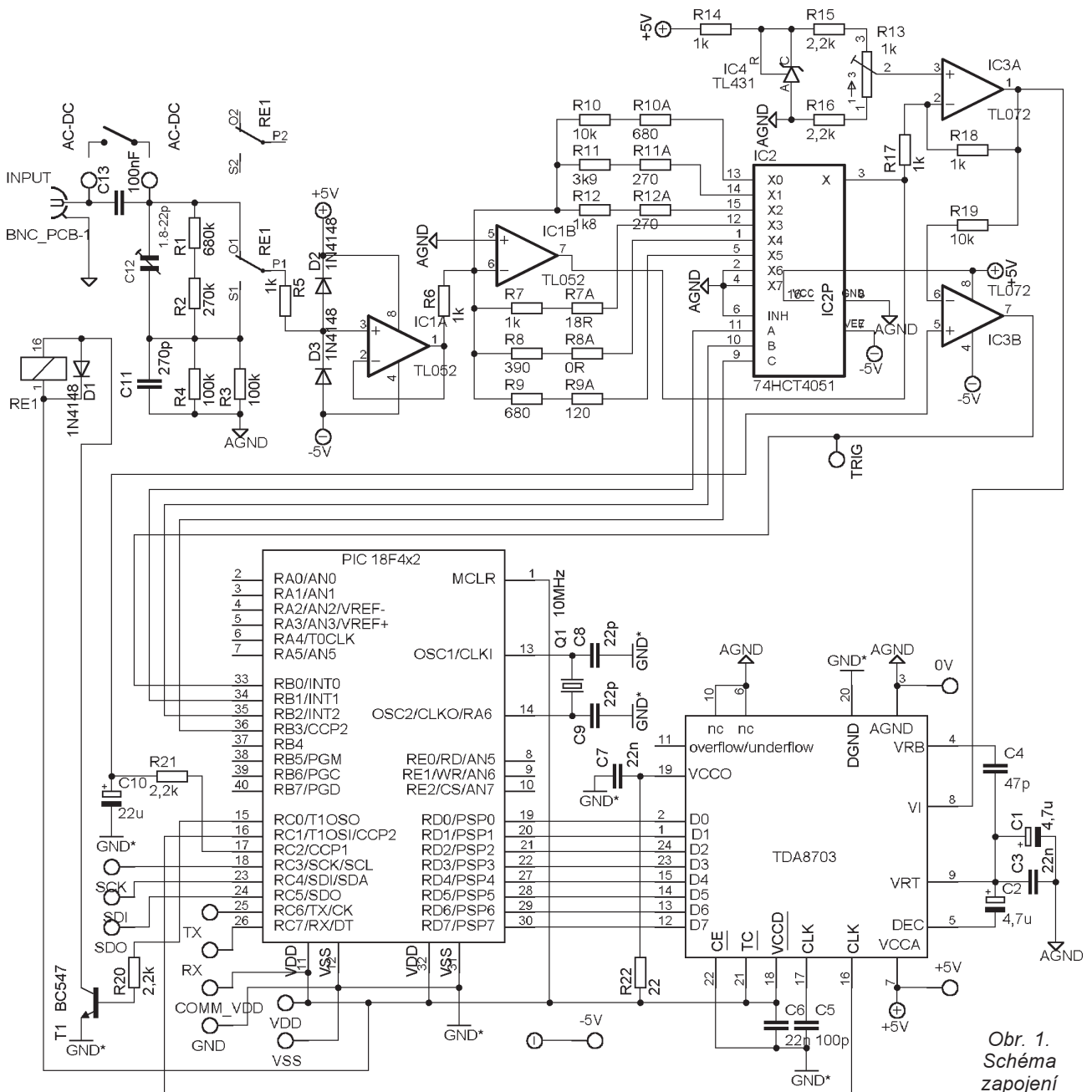


konektorem následuje kondenzátor C13 oddělující stejnosměrnou složku signálu (přepínačem AC-DC jej můžeme vyřadit) a dále vstupní dělič. Dělič je zapojen trochu netradičně v poměru 1 : 20, a to z toho důvodu, aby bylo možné přímo měřit v rozsahu 10 V na dílek, tedy bez použití sondy zpracovat napětí ± 50 V. S běžně používaným děličem 1 : 10 by totiž pro stejný rozsah bylo nutné použít na vstupu operační zesilovač s „rail-to-rail“ vstupem (vzhledem k napájení ± 5 V), který je dražší a hůře dostupný, nebo omezit napěťový rozsah na ± 25 V (5 V na dílek), což je poměrně málo.

Za děličem následuje impedanční převodník z IC1A a dále zesilovač s proměnným zesílením, tvořený IC1B a analogovým multiplexerem IC2. Ten přepíná rezistory ve zpětné vazbě IC1 a tím mění jeho zesílení. Pro jednotlivé rozsahy jsou použity vždy dva rezistory zapojené v sérii, pomocí kterých je vytvořen potřebný odpor. Hodnota je tak pouze přibližná, a proto i změřené napětí nebude zcela přesné; pro daný účel je ovšem přesnost měření zcela dostačující a díky pevným rezistorům není třeba žádné nastavování (v případě použití odporových trimrů by se také po nějaké době mohly změnit jejich nastavené odpory). V případě zařazení děliče odpovídají rozsahy 1 V, 2 V a 10 V/dílek rozsahům 50, 100 a 500 mV/dílek bez děliče, pro rozsah 5 V/dílek musela být použita další dvojice rezistorů, neboť kvůli děliču 1 : 20 by rozsah 200 mV/dílek odpovídal rozsah 4 V/dílek (0,2 V. 20), který není v řadě 1-2-5.

Protože použitý převodník zpracovává napětí v rozsahu 1,55 až 3,26 V, je nutné signál nakonec stejnosměrně posunout tak, aby při jeho nulové hodnotě (zkratovaný vstup) bylo na vstupu převodníku napětí 2,4 V (střed rozsahu). K tomu slouží IC3A spolu s odporovým děličem z rezistorů R15 a R16 a trimru R13. Aby nebyl posuv ovlivňován případným kolísáním napájecího napětí, je odporovému děliču předřazena napěťová reference IC4. Dále už je signál veden na vstup převodníku A/D a přes R19 také do komparátoru IC3B, který vytváří signály pro synchronizaci. Referenční napětí komparátoru je generováno PWM jednotkou v procesoru s výstupem vyfiltrovaným filtrem RC R21 a C10.

Jako převodník A/D jsem zvolil 8bitový TDA8703 od Philips Semiconductors. Přestože je původně určen pro zpracová-



Obr. 1. Schéma zapojení

ní videosignálu, bývá často používán v různých amatérských konstrukcích, a to zejména kvůli nízké ceně a dobré dostupnosti. Dokáže vzorkovat rychlostí až 40 MHz a má paralelní výstup, takže navzorkovanou hodnotu může procesor velmi rychle přečíst a přenést do paměti. Převodník je zapojen podle doporučení v „datasheetu“. Řízení celého přístroje a komunikaci s PC obstarává PIC18F452. Tento mikrokontrolér obsahuje 32 kB FLASH paměti programu a 1536 B datové RAM, která je z větší části využita jako paměť pro vzorky. Také mikrokontrolér je zapojen zcela standardně, vývody SDI, SDO a SCK jsou vyvedeny samostatně

kvůli případné možnosti rozšíření osciloskopu přes rozhraní SPI (například o druhý kanál).

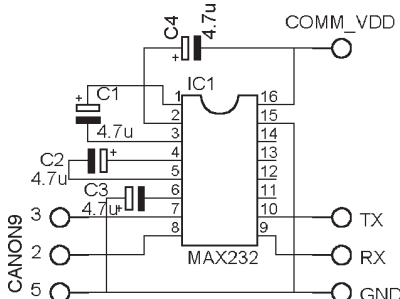
Jako převodník napětových úrovní mezi obvodem UART v mikrokontroléru a sérovým portem PC je použito běžné zapojení s obvodem MAX232. Obvody připojení k PC jsou umístěny na samostatné desce, takže není problém v případě potřeby použít jiné zapojení, například s galvanickým oddělením. Schéma obvodu připojení je na obr. 2.

Zdroj celého přístroje je na obr. 3, jedná se o celkem standardní zapojení. Protože jsem uvažoval o možnosti rozšíření

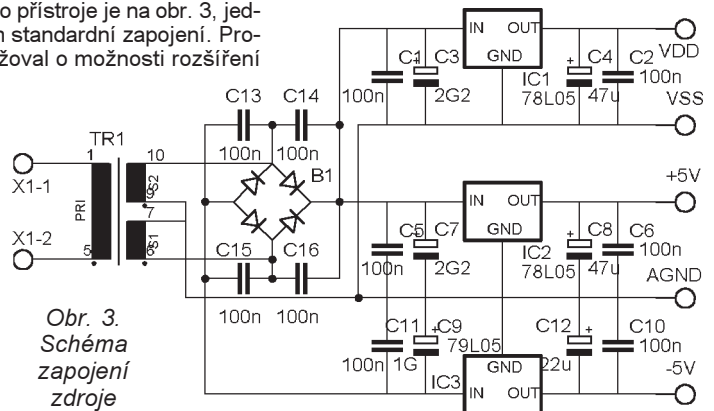
osciloskopu na dva kanály, je zdrojová část mírně předimenzovaná, aby z ní bylo případně možné napájet oba kanály.

Software mikrokontroléru

Celý program v mikrokontroléru byl napsán v assembleru a odlađen v prostředí MPLAB. PIC řady 18 sice disponují velmi slušným výkonem, ale díky použité koncepci, kdy většina funkcí je řešena



Obr. 2. Schéma převodníku



Obr. 3. Schéma zapojení zdroje

softwarově, je tento výkon využit takříkajíc „nadoraz“ a bylo nutné použít některé nepřilíh běžné programátorské techniky. Jako příklad je možné uvést vzorkování na nejvyšší rychlosti, kdy pro přečtení a uložení jednoho vzorku do paměti sice stačí čtyři jednocyklové instrukce, ale jejich volání ve smyčce by počet použitých cyklů téměř zdvojnásobilo a tím by se výrazně snížila vzorkovací frekvence. Protože mikrokontrolér je však poměrně bohatě vybaven programovou pamětí (32 kB), je možné odpovídající instrukce prostě zapsat mnohokrát za sebe. Pro přečtení 320 vzorků je tedy potřeba 1280 instrukcí, které zaberou více než 2,5 kB programové paměti, ale dosáhneme tak vzorkovací rychlosti 2,5 MHz; při čtení ve smyčce by byla nejvyšší vzorkovací rychlost pouze 1,5 MHz.

Mechanická konstrukce

Celý osciloskop (kromě zdroje a obvodů připojení k PC) je umístěn na jedné jednostranné desce s plošnými spoji (obr. 4). Kvůli tomu bylo nutné na desce použít několik drátových propojek. Jako vstupní konektor je použit typ BNC, aby bylo případně možné použít standardní osciloskopickou sondu. Pro osciloskop je možné použít v podstatě libovolnou krabičku, do které se vejdou všechny desky (osciloskop, připojení k PC, zdroj), já jsem použil krabičku KP6, která je sice zbytečně vysoká, ale jinak vcelku vyhovující a hlavně běžně dostupná. Na předním panelu je umístěn vstupní konektor, hlavní spínač, přepínač AC-DC a výstup kalibračního oscilátoru. Na zadním panelu je

pouze konektor Canon pro připojení sériového kabelu.

Stavba a oživení přístroje

Jako první osadíme desku zdroje (obr. 5) a po zapojení zkontrolujeme, zda je na výstupních pinech napětí 5 V pro digitální část a ± 5 V pro část analogovou. Dále osadíme desku osciloskopu a desku připojení k PC (obr. 6). Přestože spoje na desce osciloskopu nejsou nijak husté, doporučuji před osazením zkontrolovat zkrazy a případná přerušení spojů, vyhněte se tak problémům při ožívování.

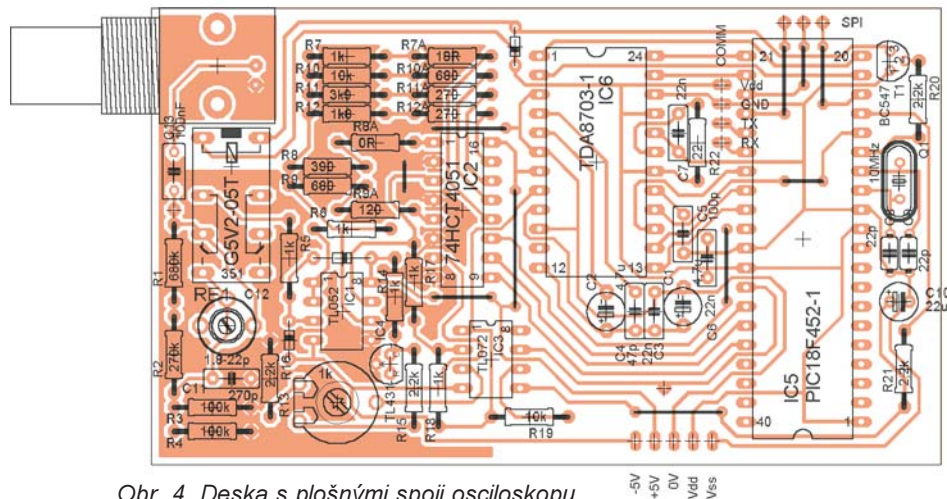
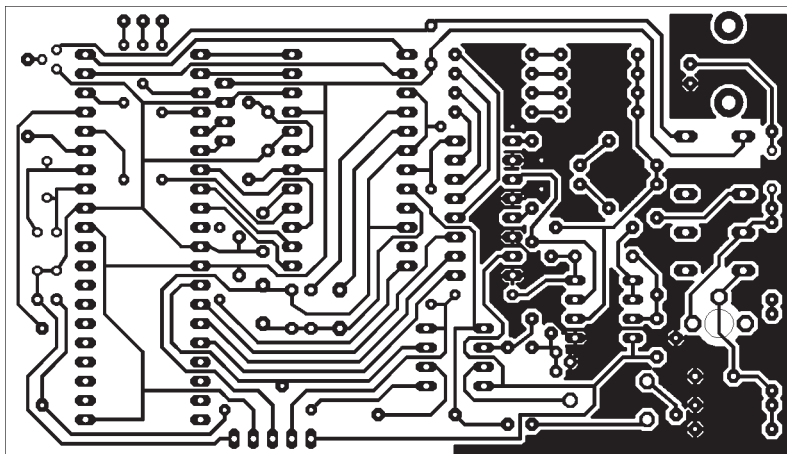
Integrované obvody doporučuji umístit do objímek, důležité je to zejména u mikrokontroléru kvůli možnosti jeho případného přeprogramování. Po vyvrtání otvorů osadíme nejprve drátové propojky (některé jsou umístěny pod pouzdry IO, proto musí být osazeny jako první) a dále ostatní součástky kromě multiplexeru 4051, převodníku A/D a mikrokontroléru, které zatím neosazujeme. Napájení operačních zesilovačů by mělo být zablokováno kondenzátory asi 100 nF proti zemi. Kondenzátory s pokud možno co nejkratšími vývody se připájejí zespodu desky přímo na vývody IO, a proto ani nejsou uvedeny ve schématu.

Jako první oživíme analogovou část osciloskopu. Desku připojíme ke zdroji a zkontrolujeme odběr analogové části, který by se měl pohybovat kolem 10 mA pro obě polarity napětí (odběr pro kladné napájecí napětí by měl být mírně větší). Rozsah vertikálního zesilovače nastavíme provizorně na 500 mV/dílek, a to tak, že propojíme drátovou propojkou vývody

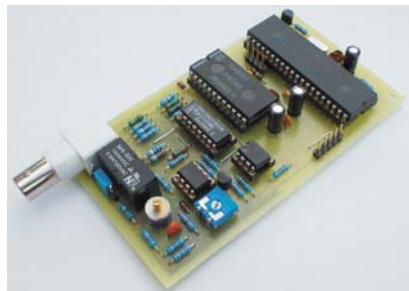
1 a 3 objímek pro IC2 (pokud nebudete umísťovat tento IO do objímky, spojte tyto vývody drátovou propojkou zespodu desky). Jestliže nyní zkratujeme vstup osciloskopu, měli bychom na vstupu 1 a výstupu 7 IC1 naměřit nulové napětí a na výstupu 1 IC3 by mělo jít pomocí odporového trimru R13 nastavit napětí 2,4 V. Dále přivedeme na vstup napětí 1 V, při kterém by se na výstupu 7 IC1 mělo objevit napětí 0,43 V a na výstupu 1 IC3 2,83 V. Po odstranění propojky vložíme všechny zbývající IO a můžeme otestovat kompletní osciloskop. Po připojení ke zdroji by měl odběr analogové části v kladné napájecí větvi (+5 V) stoupnout na asi 40 mA a odběr digitální části (Vdd) by měl být kolem 50 mA (případně 80 mA při sepnutém relé).

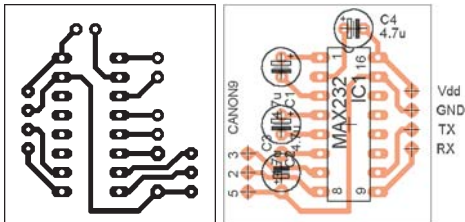
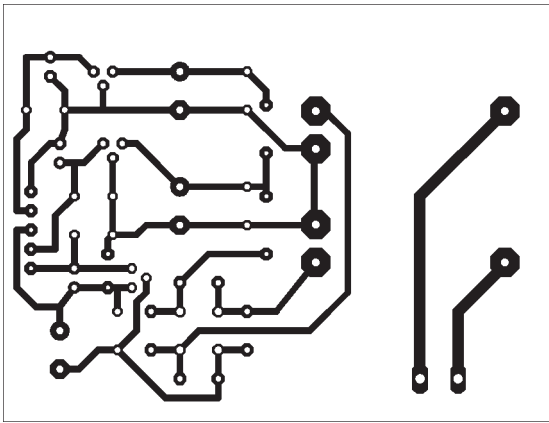
Na závěr pomocí desky připojení spojíme osciloskop sériovým kabelem s počítačem, spustíme ovládací program, v připojovacím dialogu vybereme použitý port a požadovanou rychlost připojení a zapneme napájení osciloskopu. Asi sekundu po zapnutí osciloskopu by mělo krátce sepnout relé, což slouží k otestování správné funkce mikrokontroléru. Jestliže relé „necvakne“, mikrokontrolér zřejmě nepracuje (může být ovšem chyba i v připojení relé). Poté se program pokusí navázat spojení s hardwarem osciloskopu, a pokud se mu to podaří, dialog připojení zmizí a na obrazovce by se měl začít vykreslovat průběh napětí na vstupu. Jestliže se komunikace nezdaří, doporučuji nejprve zkontrolovat, zda skutečně souhlasí zadané parametry (číslo portu), zda použitý port již není obsazen jinou aplikací (ovladač modemu, software pro jiné zařízení, jako např. PDA apod.), případně zkusit nastavit nižší rychlost připojení.

Pokud je vše v pořádku a detekce zařízení se stále nedaří, můžeme vyzkoušet test komunikace, který je v mikrokontroléru obsažen. Budeme ovšem potřebovat nějaký komunikační terminál, například aplikaci Hyperterminál, která je součástí systému Windows. Terminál spustíme, zvolíme přímé připojení na port (a zvolíme port, na který máme osciloskop připojen) a zadáme následující komunikační parametry: rychlost 9600 b/s, 8 bitů, parita žádná, 1 stop-bit, řízení toku žádné. Po zapnutí osciloskopu by se v okně terminálu měl vypsat řetězec „PC Scope“ a na dalším řádku několik dalších znaků. Jestliže nyní zadáme z klávesnice text „TEST“ (na velikosti písmen nezáleží), měl by osciloskop odpovědět „OK“. Pokud tento test není úspěšný, je chyba buď v obvodech připojení, nebo mikrokontrolér vůbec nepracuje. Jestliže test pracuje správně a detekce zařízení se přesto nedaří, mohl by být problém například v ne kvalitním nebo příliš dlouhém sériovém kabelu; zkuste nastavit nižší rychlosti komunikace, a pokud na ní spojení proběhne, doporučuji kabel vyměnit.



Obr. 4. Deska s plošnými spoji osciloskopu



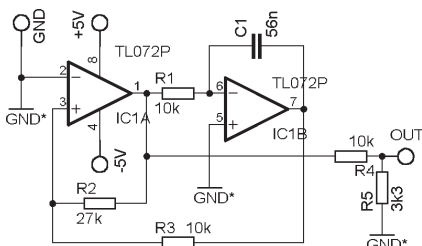


Obr. 6. Deska převodníku

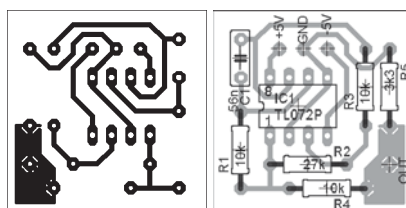
Nastavení

Protože časová osa je řízena digitálně a vertikální zesilovač má zesílení pro jednotlivé rozsahy nastavené „napevno“, je potřeba pouze nastavit nulovou polohu a vykompenzovat vstupní dělič. Nastavení nulové polohy je velmi jednoduché - zkratujeme vstup osciloskopu a pomocí trimru R13 posuneme zobrazovaný průběh na vodorovnou osu. Nastavení se může pro jednotlivé rozsahy vertikálního zesilovače nepatrně lišit; pokud tomu tak je, nastavíme polohu kompromisně.

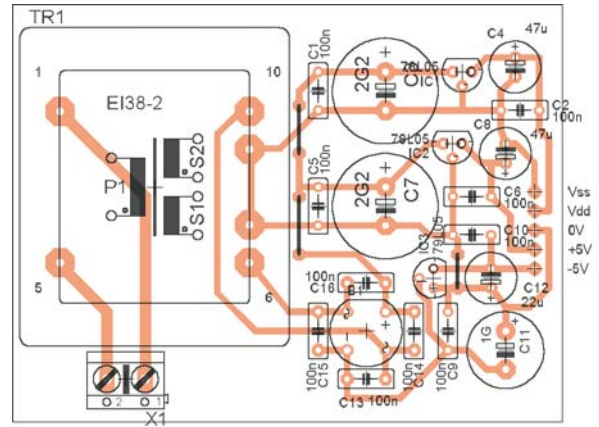
Pro kompenzaci vstupního děliče potřebujeme kalibrační oscilátor - generátor napětí s obdélníkovým průběhem o frekvenci zhruba 1 kHz a amplitudě přibližně 1 V. Vzhledem k tomu, že není třeba nastavovat vertikální ani horizontální zesilovač, nemusí být ani jedna z těchto hodnot nijak přesná, pouze je nutné, aby signál měl dostatečně strmé hrany. Jednoduchý generátor s operačním zesilovačem je na obr. 7. Výstup generátoru připojíme na vstup osciloskopu a pomocí kapacitního trimru C12 nastavíme dělič tak, aby byl obdélníkový signál správně zobrazen. Na obr. 9a je zobrazen průběh při správně vykompenzovaném děliči, na obr. 9b, c pak průběh při chybně vykompenzovaném děliči. Protože generátor je potřebný i pro případnou kompenzaci měřicí sondy, je výhodné jej vestavět přímo do osciloskopu. Proto jsem pro zapojení na obr. 7 navrhl desku s plošnými spoji (obr. 8), která je tak malá, že je možné ji připájet přímo na výstupní konektor a ten umístit



Obr. 7. Jednoduchý generátor



Obr. 8. Deska s plošnými spoji generátoru



Obr. 5. Deska s plošnými spoji zdroje

na přední stranu krabíčky. Vestavění generátoru ovšem není zcela nutné a je možné jej při kompenzaci pouze dočasně sestavit např. na kontaktním poli.

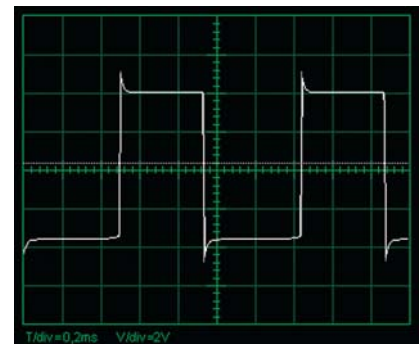
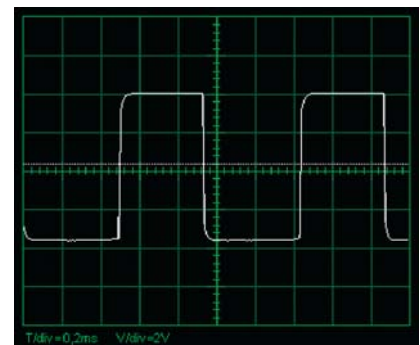
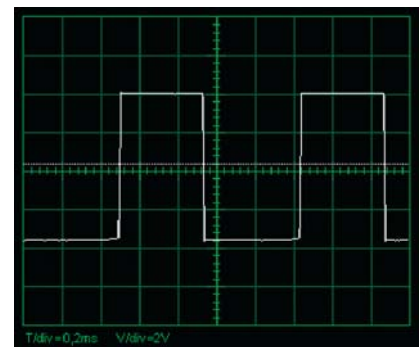
Ovládání a software pro PC

Kromě přepínače AC-DC se přístroj kompletně ovládá softwarově pomocí aplikace v PC, která je určena pro systém Microsoft Windows. Okno aplikace se snaží napodobit vzhled a ovládání běžného osciloskopu, a proto se i stejně ovládá (viz obr. 10). Všechny ovladače mají svůj ekvivalent v běžném osciloskopu, pod oknem s vykresleným průběhem je navíc několik tlačítek. Tlačítkem Hold je možné zobrazovaný průběh „zmrazit“ (po opětovném stisku zobrazování pokračuje), pomocí tlačítka Save je možné právě zobrazený průběh uložit do souboru (jako obrázek ve formátu GIF) a po stisku tlačítka Options je možné změnit chování programu a nastavit barvu jednotlivých prvků obrazovky.

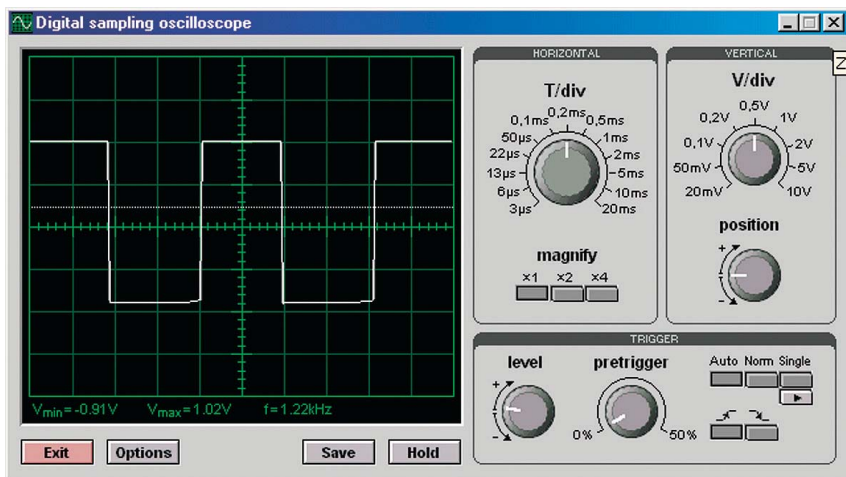
Po spuštění se program snaží rychlostí 9600 b/s navázat komunikaci s hardwarem osciloskopu pokud se spojení podaří, pošle software hardwaru informaci o nastavené komunikační rychlosti a obě části dále komunikují touto rychlostí. Komunikační rychlost by měla být alespoň 38 400 b/s, při nižších rychlostech už je překreslování obrazovky poměrně trhané. Vlastní průběh je vykreslen bílou barvou, minimální a maximální navzorkovaná hodnota je zobrazena tmavě šedou barvou (barvy lze v nastavení změnit).

Protože prakticky všechny funkce jsou řešeny čistě softwarově, vzniká při použití příkazu „pretrigger“ drobné omezení na nejvyšších samplovacích rychlostech. Po příchodu synchronizačního impulsu totiž mikrokontrolér potřebuje několik taktů pro zpracování této události a malou chvíli nemůže zpracovávat data z převodníku, takže se ztratí několik vzorků. Tato chybějící data jsou tedy dopočítána lineární interpolací a aby bylo na první pohled pat-

né, že se nejedná o skutečné vzorky, ale o interpolované hodnoty, je odpovídající část průběhu zobrazena červenou barvou. Stejným způsobem se postupuje v případě, kdy při ekvivalentním vzorkování rychlostí 5 nebo 10 MHz není signál správně synchronizován, a není tak možné provést opakované vzorkování v další periodě. V tomto případě se použijí pouze první navzorkovaná data, chybějící mezilehlé hodnoty jsou opět dopočítány interpolací a celý graf je zobrazen červenou barvou. Také v případě, že hodnota vzorku je 0 nebo 255 (signál je na kraji obrazovky a zřejmě se dostává mimo nastave-



Obr. 9a, b, c



Obr. 10. Okno ovládacího programu

ný rozsah), je průběh vykreslen červeně, aby bylo zřejmé, že zobrazený graf v tomto úseku (rovná čára na okraji obrazovky) nemusí odpovídat skutečnosti.

Protože pro ovládací prvky osciloskopu jsem použil zařité anglické názvy (používat v programu jejich české ekvivalenty mi připadalo spíše matoucí) a míchání českých a anglických popisů mi připadalo nesmyslné, ponechal jsem v angličtině celý program. Protože se jedná pouze o několik dialogů a tlačítek, předpokládám, že jejich zvládnutí nebude nikomu činit potíže. Pokud by přece jen někomu ovládání v angličtině vadilo, není problém vytvořit českou verzi programu.

Program byl vytvořen v prostředí Microsoft Visual C++ 6.0 a je tvořen jediným souborem EXE, který není třeba instalovat, stačí jej pouze zkopírovat na pevný disk a odsud spouštět; vytvořil jsem ovšem i standardní instalační verzi, která program nainstaluje do zvolené složky a vytvoří položku v menu Start.

Použité součástky

Všechny součástky pro stavbu osciloskopu by měly být dostupné v maloobchodě. Rezistory by až na pár výjimek (viz seznam součástek) měly být s přesností 1 %, případně je možné vybrat přesné hodnoty z běžných 5 % rezistorů. Použité relé sice není úplně nejmenší a navíc je využit jen jeden kontakt, ale je to jedno z mála běžně dostupných relé s vysokou citlivostí (snižuje spotřebu zařízení) a navíc se prodává za velmi příznivou cenu.

Seznam součástek

Deska osciloskopu:

R1	680 k Ω
R2	270 k Ω
R3, R4	100 k Ω
R5, R14	1 k Ω
R6, R7, R17, R18	1 k Ω , 1 %
R7A	18 Ω , 1 %
R8	390 Ω , 1 %
R8A	0 Ω (drátová propojka)
R9, R10A	680 Ω , 1 %
R9A	120 Ω , 1 %
R10	10 k Ω , 1 %
R11	3,9 k Ω , 1 %
R11A, R12A	270 Ω , 1 %
R12	1,8 k Ω , 1 %
R13	trimr 1 k Ω
R15, R16, R20, R21	2,2 k Ω

R19	10 k Ω
R22	22 Ω
C1, C2	4,7 μ F
C3, C6, C7	22 nF
C4	47 pF
C5	100 pF
C8, C9	22 pF
C10	22 μ F
C11	270 pF
C12	1,8 až 22 pF, trimr
C13	100 nF
IC1	TL052
IC2	74HCT4051
IC3	TL072
IC4	TL431
IC5	PIC18F452
IC6	TDA8703
T1	BC547
Q1	10 MHz
D1, D2, D3	1N4148
RE1	relé M4-05H
Konektor BNC female	50 Ω do desky 90°

Zdroj:

C1, C2, C5, C6, C10	
C11, C13 až C16	100 nF
C3, C7	2200 μ F/16 V
C4, C8	47 μ F/10 V

C9	1000 μ F/16 V
C12	22 μ F/10 V
IC1, IC2	78L05
IC3	79L05
B1	B250C1500
TR1 transformátor	2x 7,5 V (2x 9 V)/3,5 VA

Deska připojení k PC:

IC1	MAX232
C1 až C4	4,7 μ F
Konektor	Canon 9

Kalibrační generátor:

R1, R3, R4	10 k Ω
R2	27 k Ω
R5	3,3 k Ω
C1	56 nF
IC1	TL072

Ostatní součástky:

Krabička KP6 nebo podobná
Síťový spínač
Dvoupólový posuvný přepínač

Literatura

- [1] Malina, V.: Poznáváme elektroniku VII - Osciloskop a jeho využití.
- [2] Projekt Bitscope (www.bitscope.com).
- [3] Projekt DSOA Mk3 (<http://alternatzone.com/electronics/dsoamk3.htm>).
- [4] Katalogový list PIC18F452.
- [5] Katalogový list TDA8703.
- [6] Katalogové listy TL052 a TL072.
- [6] Tiny PIC bootloader (<http://www.etc.ugal.ro/cchiculita/software/picbootloader.htm>).

Závěr

I když hlavním kritériem při vývoji byla jednoduchost a nízká cena, věřím, že uvedená konstrukce najde mezi amatérskými elektroniky uplatnění.

Dotazy ohledně konstrukce můžete posílat na adresu duffa@inmail.cz. Případné aktualizace firmwaru a software a další informace budou k dispozici na stránce www.volny.cz/pscscope.

Firmware a program lze rovněž stáhnout na www.aradio.cz.

