

Digitálny voltmeter pre automatizované merania

Fraňo Peter · Elektrotechnika, Študentské práce

14.09.2011



Tento príspevok pojednáva o meraní elektronických veličín (špeciálne napätia) pomocou automatizovaných meracích systémov. Je tu opísaný návrh koncepcie a následne aj realizácie digitálneho elektronického voltmetra, ktorý je možné použiť pri automatizovaných meraniach hlavne ako pomôcku pri výučbe.

1. Úvod

Neustálou snahou človeka je poznanie rôznych prírodných, fyzikálnych, chemických a ďalších zákonitostí. Získavanie a spracovávanie týchto poznatkov umožňuje spresňovať a skvalitňovať moderné technológie, zvlášť v oblasti elektroniky, ktorá ovplyvňuje ďalšie vedné odbory a pomáha človeku svojimi princípmi, technológiami a aplikáciami k ďalšiemu poznávaniu okolitého sveta.

K zisťovaniu informácií o stave okolitého sveta boli stanovené isté fyzikálne a chemické veličiny, ktorých hodnotu určujeme meraním – teda poznávacím procesom, ktorého cieľom je zistiť výskyt meranej veličiny a experimentálne porovnať hodnoty meranej veličiny so známymi hodnotami. Vzhľadom k tomu, že meranie základných elektrických veličín (napr. napätie a prúd) má mnoho výhod a zjednodušuje ďalšie spracovanie nameranej hodnoty, je elektrické meranie rozšírenou a neustále rozvíjajúcou sa oblasťou merania.

Najčastejšou výslednou fyzikálnou veličinou prevodníkov je elektrické napätie. V technickej praxi preto potrebujeme prístroje na meranie elektrického napätia – voltmetre. Číslicové voltmetre v porovnaní s analógovými (klasickými) predstavujú výrazný kvalitatívny pokrok vo viacerých parametroch. Dosahujú predovšetkým podstatne väčšiu presnosť merania (až tisíc násobnú), výrazne väčšiu rýchlosť merania (až desaťtisíc násobnú), majú podstatne väčší frekvenčný rozsah (asi stonásobne pri meraní amplitúdy a až milión násobne pri meraní frekvencie). Majú tiež výrazne väčšie pásmo rozsahov (hlavne malých striedavých hodnôt – až desaťtisíc násobne). Svojou koncepciou umožňujú automatizáciu merania.

Automatizácia procesu merania je jedným z nevyhnutných predpokladov napr. pre robotizáciu výroby, kde meranie predstavuje zdroj objektívnych informácií a tiež diagnostiku a testovanie vo výrobe alebo prevádzke. Prináša so sebou všeobecne známe výhody technického, ekonomického a sociálneho charakteru. Medzi nesporné výhody patrí možnosť vylúčenia nepriaznivých faktorov ľudskej obsluhy, ako únava,

stres, omyl a obmedzenie rýchlosti merania. K významným výhodám automatizovaných meracích systémov (ďalej len AMS) patrí aj možnosť spracovania výsledkov merania v reálnom čase a tiež umožňuje diaľkový prenos dát. Za nevýhody AMS možno považovať zvýšené nároky na investície do hardvéru a softvéru a tiež zvýšené nároky na kvalifikáciu projektantov AMS.

Pri AMS sa na prepojenie viacerých funkčných jednotiek používa spoločný prenosový kanál označovaný ako zbernica. Zbernica slúži na prenos adres, údajov a riadiacich príkazov. Medzi jej základné parametre patrí šírka, ktorá udáva počet vodičov a najvyššia prenosová rýchlosť. Voľba typu zbernice závisí od rozsiahlosti konfigurácie AMS, vyžadovanej rekonfigurovateľnosti, pružnosti pri rozširovaní, od jej zaťaženia objemom prenášaných údajov a podobne. Vývoj zberníc AMS rešpektuje zväčšujúcu sa dĺžku slova mikroprocesorov a ich rastúci výkon. Preto sa v súčasnosti stretávame s celým radom firemne a medzinárodne štandardizovaných zberníc orientovaných na všeobecné zostavy výpočtovej a meracej techniky, ako napr. IEEE 488 (GPIB), CAMAC, VME, CDS, VXI.

Taktiež zbernice, ktoré sa rozšírili a stali štandardom vo výpočtovej technike, ako napríklad sériová linka RS232, univerzálna sériová zbernica USB, alebo lokálna sieť LAN je možné použiť pri realizácii zariadení v oblasti AMS. Z dôvodu rozsiahlosti a množstva zberníc nie je v tomto článku priestor na ich podrobný opis. Pre aspoň stručný prehľad sú uvedené niektoré systémy s ich základnými parametrami (Tab. 1).

Tab. 1. Typické parametre systémov zložených z autonómnych prístrojov a modulov [4]

Použité rozhranie	Topológia	Počet prip. funkč. jednotiek	Max. rýchlosť prenosu (MB/s)	Max. dĺžka vodiča
IEEE488	zbernica	14	1	2m
RS-232	bod-bod	1	0,02	stovky m
RS-485	zbernica	31	10	1200m
prúdová smyčka	kruhová	10 (len príjem)	0.02	10 000m
USB	stromová	127	12/1,5	5/3m
IEEE1394	stromová	63	98, 196, 393	4,5m

Na trhu s meracími prístrojmi je dostatok prístrojov, ktoré majú podporu pre rôzne meracie zbernice a tým možnosť použitia v systémoch AMS. Zvyčajne však tieto prístroje zároveň umožňujú merať rôzne elektrické veličiny, majú vysokú presnosť a často krátko podporujú viacero zberníc. Samozrejme, sú to zaujímavé výhody, avšak značne zvyšujú cenu prístroja a podstatne komplikujú celé zariadenie. Ako ilustračný príklad uvádzam (Tab. 2) niektoré v súčasnosti dostupné meracie prístroje, s ich stručnou charakteristikou a orientačnou cenou.

Tab. 2. Vybraté typy meracích prístrojov v súčasnosti dostupných na trhu

Typ prístroja a výrobca	Meranie	Rozhrania	Orientačná cena (Eur)
-------------------------	---------	-----------	-----------------------

34411A - multimeter AGILENT TECHNOLOGIES	<ul style="list-style-type: none"> • napätia AC(100mV- 750V), DC (100mV-1000V) \pm (0.003%) • prúdu AC, DC (100uA - 3A) <ul style="list-style-type: none"> • odporu (100R - 1GR) • kapacita (1nF - 10uF) • frekvencie (3Hz - 300kHz) 	LAN, USB, GPIB	1600
DMM4050 Tektronix	<ul style="list-style-type: none"> • napätia AC(100mV- 1000V), DC(100mV-1000V) \pm (0.0024%) • prúdu AC, DC(100uA - 10A) <ul style="list-style-type: none"> • odporu (10R - 1GR) • kapacita, frekvencie 	RS232, LAN, USB, GPIB	1200
1906 - multimeter AIM-TTI INSTRUMENTS	<ul style="list-style-type: none"> • napätia AC(200mV- 750V), DC(200mV-1000V) \pm (0.012%) • prúdu AC, DC(200uA - 10A) <ul style="list-style-type: none"> • odporu (200R - 20MR) 	RS232, GPIB	490

Pre účely výučby AMS, aby si študenti mohli vyskúšať základné princípy AMS by postačovali omnoho jednoduchšie a nenáročnejšie prístroje (menej presné, menej meraných veličín a pod.), ktoré by boli zároveň cenovo dostupnejšie. Výsledkom tejto práce by mal byť práve takýto merací prístroj, ktorý by spĺňal základné požiadavky na použitie v AMS a zároveň by nebol zbytočne komplikovaný a tiež by umožnil pochopenie základnej koncepcie takéhoto meracieho prístroja. Vďaka takémuto prístupu sa výrazne zníži zriaďovacia cena takéhoto meracieho prístroja.

2. Návrh digitálneho voltmetra

Základná koncepcia návrhu digitálne riadeného voltmetra je tvorená niekoľkými blokmi, ktorých usporiadanie je zrejmé z blokovej schémy na Obr. 1. Jednotlivé bloky a prepojenia medzi nimi sú postupne samostatne opísané.



Obr. 1. Základná bloková schéma

Napájací zdroj zabezpečuje potrebné napätia jednotlivým blokom. Riadiaci mikroprocesor nastavuje vstupné obvody (merací rozsah), vyberá jeden zo vstupov a obojsmerne komunikuje s A/Č prevodníkom. Zároveň obsluhuje ovládacie tlačidlá a riadi zobrazovaciu jednotku, na ktorej sa zobrazuje nameraná hodnota a aktuálny rozsah. Taktiež umožňuje obojsmerne komunikovať cez interfejs s PC (alebo iným riadiacim zariadením), z ktorého môže prijímať ovládacie inštrukcie namiesto ovládacích tlačidiel a posielat do PC namerané hodnoty a aktuálne nastavenia rozsahu a vstupu. Ako je zrejmé z blokovej schémy, PC nie je nutnou súčasťou voltmetra a teda voltmeter je plne funkčný aj bez pripojenia k PC. Avšak pripojenie k PC značne rozširuje jeho možnosti použitia, hlavne v oblasti AMS.

2.1 Výber komponentov pre jednotlivé časti

Dôležitou časťou digitálne riadeného voltmetra je riadiaci mikroprocesor. Po prieskume v súčasnosti na trhu dostupných mikroprocesorov a zvážení požiadaviek som zvolil mikroprocesor AVR od firmy Atmel, konkrétne typ ATmega16 [5], ktorý je 8-bitový nízkopríkonový mikroprocesor založený na rozšírenej architektúre AVR RISC. Mikroprocesor Atmega16 síce obsahuje vnútorný 10 bitový A/Č prevodník, ale z dôvodu väčšej presnosti prevodu a menšieho šumu je použitý externý A/Č prevodník. Použitý A/Č prevodník je od firmy Microchip, konkrétne typ MCP3202 [6], ktorý je dvojkanálový 12-bitový aproximačný prevodník. Z dvoch meracích vstupov A a B sa pomocou prepínača vstupov zvolí jeden, z ktorého sa merané napätie následne spracúva ďalej.

Tento prepínač je realizovaný dvojitým prepínacím relé so spínacím napätím 5V. Relé je spínané mikroprocesorom cez tranzistor. Prepínanie rozsahov je realizované pomocou prepínateľného odporového deliča, ktorý je prepínaný pomocou dvoch samostatných relé. Každé relé je samostatne ovládané z mikroprocesora pomocou spínacieho tranzistora, obdobne ako pri prepínači vstupov. Meracie rozsahy tohto deliča zodpovedajú hodnotám: 0,4V ; 4V a 40V, kde aktuálny rozsah je indikovaný príslušnou LED. Ako vstupný obvod je použitý operačný zosilňovač LM358 [9] zapojený ako neinvertujúci zosilňovač so zosilnením daným odporovým deličom na zosilnenie 10, kde sa trimrom táto hodnota zosilnenia dá presne nastaviť.

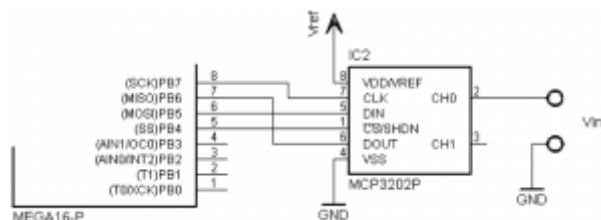
Aby bolo možné vyhodnocovať ovládacie tlačidlá cez externé prerušenie, sú tlačidlá pripojené aj na port C ale zároveň aj cez diódy na externé prerušenie mikroprocesora INT0. Teda po stlačení ktoréhokoľvek tlačidla sa vyvolá prerušenie. V obsluhu prerušenia sa testovaním portu C zistí, ktoré konkrétne tlačidlo je stlačené.

Ako zobrazovacia jednotka v návrhu digitálne riadeného voltmetra bol použitý štvormiestny sedem-segmentový displej v multiplexovom režime riadený obvodom 74LS247 a zároveň niekoľko indikačných LED. Ako pomocný obvod potrebný na komunikáciu s PC cez rozhranie USB bol zvolený obvod FT232BL [8] zapojený podľa katalógových údajov.

Pri návrhu bol ako napájací zdroj realizovaného voltmetra použitý transformátor s usmerňovačom a filtračnými kondenzátormi, napätie 5V pre mikroprocesor a relé je stabilizované obvodom 7805. Napájanie pre A/Č prevodník, ktoré slúži zároveň ako jeho referencia bolo realizované obvodom LM431 [7], ktorý bol nastavený na hodnotu 4,096V, z dôvodu zjednodušenia programu pri prepočte hodnoty z A/Č prevodníka.

2.2 Jadro zariadenia

Použitý A/Č prevodník sa konfiguruje a zároveň nameranú 12-bitovú hodnotu odosiela cez rozhranie kompatibilné s SPI. Vďaka tomu, že použitý mikroprocesor priamo podporuje komunikáciu cez SPI, stačí ho s A/Č prevodníkom prepojiť na príslušné piny, ktoré sú na porte B. (Obr. 2)

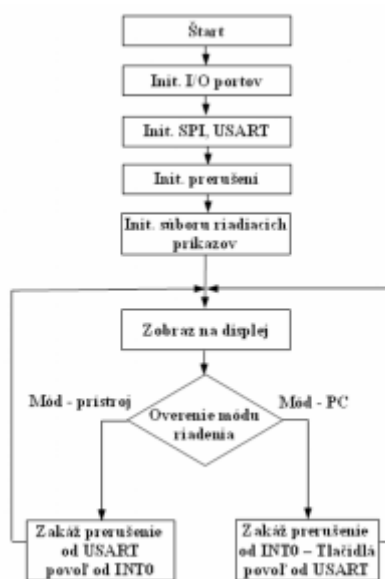


Obr. 2. Schéma prepovania mikroprocesora a A/Č prevodníka

Zjednodušený priebeh komunikácie medzi mikroprocesorom a A/Č prevodníkom je nasledovný: najprv sa po zbernici SPI vyšle z mikroprocesora Start bit a za ním tri konfiguračné bity, ktoré nastaví A/Č prevodník. Následne A/Č prevodník vyšle po zbernici 12 bitovú hodnotu, predstavujúcu veľkosť meraného napätia.

3. Riadiaci program pre mikroprocesor

Základnou myšlienkou riadiaceho programu pre mikroprocesor je, aby voltmeter dokázal prijať a identifikovať príkazy, na základe ktorých zmení svoje nastavenia alebo odošle či zobrazí požadované údaje. Tieto príkazy môžu byť zadané ovládacími tlačidlami, alebo cez sériovú linku z PC. Zoznam príkazov je realizovaný tabuľkou v programovej pamäti, ktorá je pri začiatku programu prekopírovaná do dátovej pamäte. Zároveň musí vedieť obsluhovať komunikáciu s A/Č prevodníkom, komunikáciu s PC cez rozhranie USB a zobrazovať aktuálnu meranú hodnotu na displej. Hlavný program je opísaný vývojovým diagramom na Obr.3.

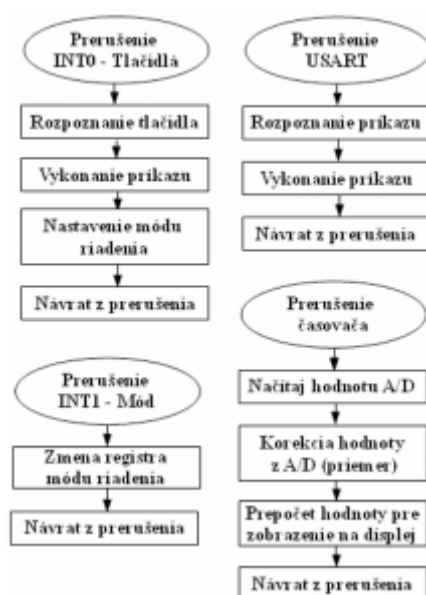


Obr. 3. Vývojový diagram pre hlavný program

Pri prvotnom zapnutí prístroja prebehne inicializácia vstupno/výstupných portov mikroprocesora pre sedem - segmentový displej, LED, tlačidlá a komunikačné porty. Následne prebehne inicializácia vnútorných blokov mikroprocesora SPI a USART a zdefinujú sa aj príslušné prerušenia pre obsluhu tlačidiel, komunikácie cez USART a SPI a vnútorného časovača.

Súbor riadiacich príkazov je zadaný v programovej pamäti, preto sa po štarte prekopírujú do dátovej pamäte, z ktorej sú prístupné na spracovanie pri porovnávaní s prijatými príkazmi. Hlavný program ďalej v slučke zobrazuje na displej a overuje mód

riadenia - teda či má byť voltmeter riadený z príkazmi z PC alebo tlačidlami na prístroji. Všetky ostatné programové operácie sú obsluhované cez prerušenia (Obr. 4.)

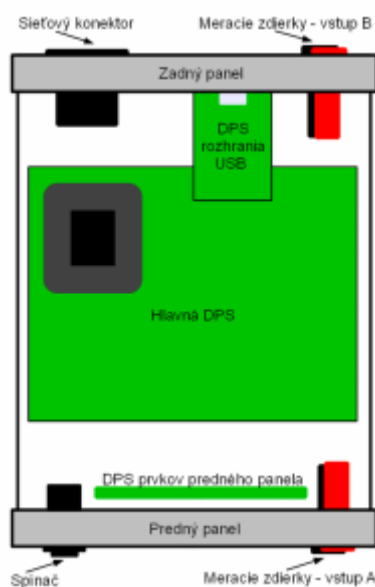


Obr. 4. Vývojové diagramy pre obsluhy prerušení

4. Realizácia digitálneho voltmetra

Po overení a otestovaní funkcie jednotlivých častí digitálneho voltmetra a následnom vyskúšaní ako celku na kontaktnom poli som pristúpil k finálnej realizácii. Jednotlivé súčiastky digitálneho voltmetra sa nachádzajú na troch plošných spojoch. Návrh plošných spojov som realizoval v návrhovom systéme Eagle. Hlavná DPS obsahuje stabilizovaný napájací zdroj s transformátorom, napäťovú referenciu, A/Č prevodník, mikroprocesor, vstupné obvody s prepínaním rozsahov a prepínanie vstupných meracích svoriek.

Na DPS predného panela sa nachádza štvormiestny sedem-segmentový displej, radič pre tento displej, ovládacie tlačidlá a indikačné LED. DPS rozhrania USB obsahuje prevodník sériovej linky na USB rozhranie s optickým oddelením. Návrh rozmiestnenia DPS v prístrojovom kryte je znázornený na Obr. 5.



Obr. 5. Rozmiestnenie DPS digitálneho voltmetra

V dobe písania tohto textu sa na vyrobenom prototypu navrhnutého digitálneho voltmetra uskutočňujú posledné úpravy a riešia drobné nedostatky, ktoré vznikli pri realizácii.

5. Záver

Cieľom práce bolo navrhnúť a realizovať digitálny voltmeter s možnosťou využitia v automatizovaných meracích systémoch s ohľadom na jednoduchosť, dostupnosť komponentov a finančnú nenáročnosť. Tento cieľ sa podarilo splniť s tým, že je možné ďalej rozšíriť možnosti tohto prístroja či už programovo alebo hardvérovo.

6. Odkazy na literatúru

1. BAJCSY, Július a kol.: Meranie elektrických veličín : Skriptum. Bratislava : STU, 1994. 273 s. ISBN 80-227-0669-8
2. HRÍBIK, Ján: Elektronické meranie : Skriptum. Bratislava : STU, 2002. 257 s. ISBN 80-227-1725-8
3. HRÍBIK, Ján - KRAJČUŠKOVÁ, Zuzana: Elektronické meranie : Návody na cvičenia. Bratislava : STU, 2005. 91 s. ISBN 80-227-2291-X
4. HAASZ, Vladimír - ROZTOČIL, Jaroslav - NOVÁK, Jiří: Číslicové měřicí systémy. Skriptum. Praha : ČVUT, 2000. 315 s. ISBN 80-01-02219-6
5. ATmega16 Datasheet. dostupné na internete:
http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8154.pdf
6. MCP3202 Datasheet. dostupné na internete:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21034D.pdf>
7. LM431 Datasheet. dostupné na internete:
www.national.com/ds/LM/LM431.pdf
8. FT232BL Datasheet. dostupné na internete:
http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232BL_BQ.pdf
9. LM358 Datasheet. dostupné na internete:
<http://www.national.com/ds/LM/LM158.pdf>

Spoluautorm článku je Ing. Anton Krammer, KMER, FEI STU Bratislava

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