

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Digitální osciloskop s jednočipovým mikropočítačem
ATXMEGA**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch KADLEC**
Osobní číslo: **E09B0282P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Digitální osciloskop s jednočipovým mikropočítačem ATX-MEGA**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se možnostmi, které nabízí jednočipové mikropočítače AVR ATXMEGA firmy Atmel.
2. Vyberte vhodný typ mikropočítače pro realizaci digitálního osciloskopu.
3. Navrhněte schéma zapojení, desku plošných spojů a realizujte funkční vzorek.
4. Proveďte srovnávací měření a diskutujte dosažené parametry.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Kubík


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na návrh a realizaci digitálního osciloskopu s jednočipovým mikročipem ATXmega. Vstupní signál bude upraven nejprve zesilovači s nastavitelnými rozsahy, pro digitalizaci dat pak bude použito A/D převodníků integrovaných v mikročipu. Naměřená data budou zobrazována na LCD displeji.

Výstupem bude zařízení schopné měřit průběhy nízkofrekvenčních signálů, například audio signál bez potřeby připojení počítače. Dále bude možno zařízení použít jako vývojovou platformu.

Klíčová slova

Osciloskop, ATXmega, jednočipový mikročip, A/D převod, LCD display, enkodér, vstupní zesilovač

Abstract

The master theses presents the development and realisation of the digital sampling oscilloscope based on ATXmega microcontroller. The input signal will be scaled or increased by input amplifier and sampled by integrated A/D converter of the microcontroller. Measured data will be displayed by LCD. Device will be able to measure low frequency signals such as audio signals and could be used as a development platform.

Key words

Oscilloscope, ATXmega, microcontroller, A/D converter, LCD display, encoder, input amplifier

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 5.6.2012

Vojtěch Kadlec

.....

Obsah

OBSAH	1
ÚVOD	2
SEZNAM SYMBOLŮ	3
1 TEORETICKÝ ROZBOR	4
1.1 JEDNOČIPOVÝ MIKROČÍTAČ ATXMEGA	4
1.2 ČÁSTI OSCIOSKOPU	5
1.2.1 Vstupní obvody osciloskopu	5
1.2.2 A/D převodník	6
1.2.3 RAM a DMA	7
1.2.4 Blok řízení a zpracování dat	8
1.2.5 LCD a ovládací prvky	8
2 HW PODOBA ZAŘÍZENÍ	9
2.1 KONCEPCE ZAŘÍZENÍ	9
2.2 DESKA MCU	9
2.3 DESKA ZESILOVAČŮ	10
3 SOFTWARE	12
3.1 OBSLUHA LCD	12
3.2 OBSLUHA A/D PŘEVODNÍKU	13
3.3 OVLÁDACÍ PRVKY	13
4 SROVNÁVACÍ MĚŘENÍ	15
ZÁVĚR	16
POUŽITÁ LITERATURA	17
PŘÍLOHY	1

Úvod

Předkládaná práce se zabývá návrhem a realizací digitálního osciloskopu s využitím mikroprocesoru ATXmega od firmy Atmel.

Současná řešení

Produkt Xprotolab vyráběný firmou Gabotronics je mixed-signal osciloskop. Cena zařízení je \$49. Obsahuje mikroprocesor ATXmega32A4, 0,96 palcový OLED display, čtyři ovládací tlačítka, PDI programovací konektor a micro USB konektor, ze kterého lze napájet.

Pro časté použití jako osciloskop je tento modul vysoce neergonomický. Použitý display je velmi malý a ovládání čtyřmi tlačítky poměrně složité. Navíc na desce nelze přepínat rozsahy vstupního zesilovače, takže při měření malých napětí je A/D převodník využíván dosti neefektivně.

Firma Gabotronics sice nabízí další řešení, například Xmegalab, vhodnější pro používání jako osciloskop, jsou však mnohem dražší. U zmiňovaného Xmegalabu je to \$249.00.

Kromě absence podobného zařízení na trhu byl dalším důvodem vzniku této práce také seznámení se s rodinou mikroprocesorů AVR ATXmega a jejich periferiemi.

Seznam symbolů

A [-].....	Zesílení (zisk) obecně
A_1, A_2 [-].....	Zesílení jednotlivých částí vstupního zesilovače
A_{MCU} [-].....	Zesílení A/D převodníku
MCU.....	Jednočipový mikročítač (Microcontroller unit)

1 Teoretický rozbor

1.1 Jednočipový mikročip ATXmega

Jednočipový mikročip ATXmega, dále nazývaný mikrokontroler či mikroprocesor spadá do rodiny AVR vyvinuté firmou Atmel. Jedná se o 8/16bit mikroprocesor. Skládá se z 8bitového jádra obohaceného o některé instrukce schopné pracovat s 16bitovými hodnotami. Může tak v některých situacích dosahovat až dvojnásobného výkonu oproti starším 8bitovým mikroprocesorům ATMega. Dále je čip vybaven velkým množstvím periférií jako například A/D převodníky, D/A převodníky, DMA řadičem, řadičem přerušení, čítači apod. Vše je ale propojeno společnou sběrnicí. Tato skutečnost částečně degraduje integrovaný DMA řadič, neboť při DMA přenosu je nutné zastavit čtení instrukcí a v některých případech i hodnoty přenášet nejdříve do dočasného registru a poté až do cílové periférie.

Dále mikroprocesory ATXmega jako dosud jediné disponují takzvaným event-systémem. Ten umožňuje propojit jednotlivé periférie zápisem do příslušných registrů. Různé periferní obvody pak mohou mezi sebou komunikovat bez jakékoli potřeby výpočetního výkonu procesoru. Pokud tedy není potřeba vykonávat jiné instrukce, může procesor přejít do jednoho z úsporných režimů. Z těch lze obvykle probudit prostřednictvím přerušení, která jsou u mikroprocesoru ATXmega rozdělena do třech úrovní podle priority a v některých případech si lze prioritu volit a navíc externí přerušení už není vyvoláváno pevně danými piny, ale lze si zvolit kterýkoli volný vstupně-výstupní pin. Řadič přerušení pak může sledovat náběžnou hranu, sestupnou hranou, či vyvolá přerušení při kterékoli změně na daném portu či pinu.

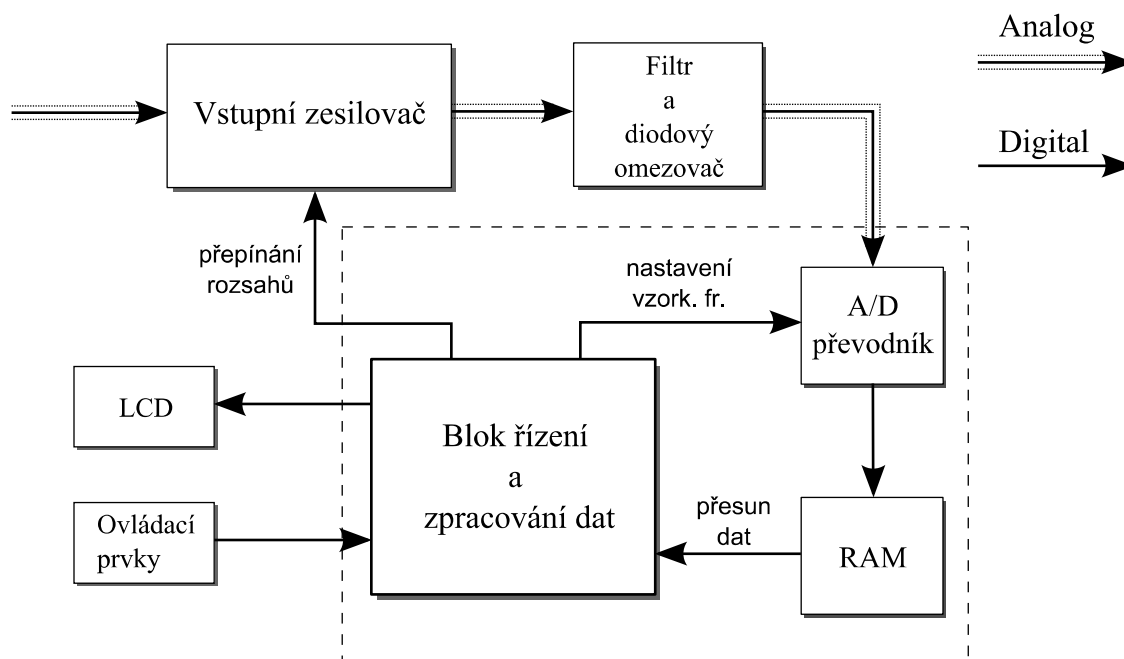
Vstupně-výstupní porty byly oproti ATMega také značně vylepšeny. Nejen že každý port disponuje registry pro zápis, čtení či určení směru, ale i každému jednotlivému pinu lze samostatným registrem nastavit pull-up rezistor, znegovat ho či ve spolupráci s dalšími realizovat logické funkce AND a OR.

Mikroprocesory ATXmega, podobně jako vyšší řady ATMega již nejsou vyráběny v provedení DIP, tedy pro THT montáž, ale pouze v pouzdrech TQFP, CBGA a VFBGA pro povrchovou montáž. Díky tomu je složitější vývoj (je potřeba vyrobit zkušební desku nebo zakoupit vývojovou platformu), zato na plošném spoji zabírá mnohem méně místa a v sériové výrobě představuje mnohem nižší náklady než při montáži s otvory.

Tato kapitola byla sepsána za použití informací z [2] a [3]

1.2 Části osciloskopu

Navržený osciloskop lze principiálně rozdělit do několika funkčních bloků: vstupní zesilovače s volbou rozsahu, A/D převodník, RAM paměť, blok řízení zpracování naměřených dat, display a ovládací prvky. Na blokovém schématu *obr 1.1* jsou tyto bloky zakresleny. Ohraničené bloky jsou realizovány uvnitř MCU ATXmega programem nebo periferiemi MCU.



Obr1.1 Blokové schéma osciloskopu

1.2.1 Vstupní obvody osciloskopu

Vstupní blok upravuje vstupní rozsah měřených napětí na takové napětí, které je A/D převodník schopen změřit. Rozsah napětí, které je A/D převodník schopen zpracovat je v tomto případě 0-1V. Pro měření kladných i záporných napětí je nutné nejen vstupní signál zesilovat či zeslabovat, ale i ho stejnosměrně posunout. Přesnost měření celého systému závisí hlavně na kvalitě vstupních obvodů. Zarušený signál převedený do digitální podoby lze sice dále upravovat, nikdy však nebude odpovídat realitě. Proto byly pro konstrukci vstupního zesilovače vybrány poměrně kvalitní operační zesilovače od firmy Analog Devices s velmi nízkým offsetem a malým zkreslením. Parametry OZ jsou uvedeny v tabulce *tab 1.1*.

Tab 1.1 Parametry operačního zesilovače, převzato z [4]

Noise:	1nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1kHz
Distortion:	-105dB THD @ 20kHz
Slew rate:	16V/ μs
Bandwidth:	10MHz
Offset voltage:	10 μV typice

1.2.2 A/D převodník

A/D převodník je jednou z nejdůležitějších částí digitálního osciloskopu určujících klíčové parametry celého přístroje. Jedná se o integrovaný obvod, v tomto případě integrovaný na čipu mikročítače, který převádí signál v čase i amplitudě spojité na jeho reprezentaci v diskretní oblasti. Protože kvantizačních hladin není z principu nekonečně mnoho, dochází k určité ztrátě informace, tzv. kvantizační šum, v časové oblasti pak zase nelze zaznamenat rychlé změny signálu.

Mikrokontrolér ATXmega128A1 obsahuje dle zdrojů [2] a [3] hned dva A/D převodníky. Jedná se o převodník typu piperine. Celý převod jednoho vzorku je tedy rozdělen na několik fází, kdy lze různé fáze převodu různých vzorků provádět současně. To umožňuje dosáhnout poměrně vysokých vzorkovacích rychlostí při kontinuálním provozu, ale při potřebě převodu pouze jednoho vzorku celá koncepce ztrácí smysl. V případě osciloskopu je potřeba kontinuálního běhu převodu a proto je v tomto případě konstrukce převodníku výhodou.

Oba A/D převodníky dosahují maximální vzorkovací frekvence až 2MHz. Dle Nyquist-Shanonova teorému je tedy možné vzorkovat signály o frekvencích do 1MHz. Oba převodníky jsou na sobě nezávislé a každý má své registry pro nastavení, je však možné oba celky vhodným nastavením propojit. Pak mohou převodníky pracovat synchronně, což je v případě osciloskopu opět žádoucí.

Na vstupu obou převodníků se nacházejí analogové multiplexery umožňující výběr z několika analogových vstupních pinů (nacházejí se na portu A a portu B) a několika interních vstupů. Dle nastavení lze na vstup převodníku připojit buďto jeden vstupní pin, pak je napětí měřeno proti zemi, nebo dva vstupní piny fungující jako rozdílové vstupy. A/D převodník pak měří rozdíl napětí mezi oběma vstupy a potlačuje napětí souhlasné. Pomocí interních vstupů je pak možno měřit teplotu pomocí teplotního čidla integrovaného na čipu, napětí na výstupu D/A převodníku či napájecí napětí mikročítače.

Kromě multiplexerů jsou však na vstupu A/D převodníku také zesilovače s nastavitelným zesílením. To lze nastavit pomocí příslušných registrů na 2,4,8,16,32 nebo 64. Nastavením vysokého zesílení A/D převodník sice změří i poměrně malá napětí, ale mnohem více se projeví rušení z digitálních obvodů mikro počítače. V navrženém osciloskopu je tedy této funkce využito, ale pouze se zesílením 2 a 4.

A/D převodníky mají rozlišení 12bitů, tedy 4096 kvantizačních hladin. Kvůli snížení propagation delay (čas od zahájení převodu vzorku po jeho předání ven z A/D převodníku) umožňuje xmega snížit rozlišení vzorků na 8bitů. Tento parametr však není pro navrhované zařízení kritický a je tedy výhodnější použít vyšší rozlišení.

Jako většina periférií mikro počítače xmega, i A/D převodník je propojen s řadičem přerušování, DMA i event systému, což velmi urychluje běh programu v mikro počítači a umožňuje většinu úkonů provádět hardwarově. Údaje výše uváděné pocházejí z [2] a [3].

1.2.3 RAM a DMA

Data navzorkovaná a převedená do digitální reprezentace jsou přes DMA kanál (přímý přístup do paměti) ukládána přímo do paměti RAM. Během měření je tedy zátěž MCU minimální a lze současně zpracovávat další instrukce, například sledování změny stavu ovládacích prvků. Paměť pro naměřená data je zvolena 1 000 vzorků, tedy 1000 x 16bitů na kanál.

DMA řadič MCU ATXmega128A1 umožňuje několik režimů. Opět čerpáno z [2] a [3] Umožňuje přenášet data z periférií do paměti, z paměti do periférií či z jedné části paměti do jiné. Zdrojovou i cílovou adresu registru lze inkrementovat, dekrementovat či použít statickou. V případě přenosu dat z A/D převodníku do bufferu v paměti RAM je použit mód periferie->paměť, kdy zdrojová adresa je statická a cílová adresa v RAM se inkrementuje. DMA u MCU Xmega sice nezatěžuje procesor, nemá však vlastní sběrnici a hlavní sběrnice procesoru. To znamená, že během přenosu dat může procesor provádět rozpracovanou instrukci, není však možné načítat další instrukce z paměti programu. Při přenosu většího bloku dat tedy dojde k zastavení programu. Z tohoto důvodu byl v programu použit postup, kdy po převodu jednoho vzorku A/D převodníku je spuštěn DMA přenos a je do paměti přesunut pouze jeden vzorek. Tímto způsobem nedochází k zastavení provádění programu při zachování rychlosti ukládání dat do paměti.

1.2.4 Blok řízení a zpracování dat

Blok řízení a zpracování dat je realizován programem a periferiemi řídicího jednočipového mikro počítače. Má za úkol sledovat změny stavů ovládacích prvků a podle nich zobrazovat data na LCD v příslušném měřítku, řídit hodinový signál A/D převodníku či přepínat rozsahy vstupních zesilovačů. Podrobněji je tento blok rozebrán v kapitole o softwaru.

1.2.5 LCD a ovládací prvky

Pro zobrazení dat byl zvolen LCD display EADOGL128 od firmy Electronic Assembly. Jeho parametry dále uváděné byly převzaty z [5] S rozlišením 128x64 bodů při rozměrech 6,7 x 2,6cm umožňuje dostatečně jemné zobrazení. Tyto displeje jsou navíc dostupné v mnoha provedeních jak samotných LCD zobrazovačů (pozitivní i negativní provedení, transmisivní), tak jejich podsvětlovacích polí. Všechny tyto části lze vzájemně kombinovat a lze tedy přizpůsobit vzhled podle potřeby bez jakýchkoli změn na plošném spoji. LCD od výroby obsahuje integrovaný řadič ST-7565R. Komunikace procesoru s řadičem probíhá přes standardní SPI sběrnici doplněnou o jeden vodič označený A0 pro rozlišení příkazu sloužícího k nastavení parametrů displeje a dat posílaných k zobrazení. Přenos dat je možný pouze jedním směrem. To znamená, že není možné data vyčítat zpět do procesoru nebo číst odezvy na příkazy. Je tedy nutné si obrazová data v procesoru ukládat do paměti. V porovnání s podobnými LCD ale není nutné čekat na provedení příkazů a je možné posílat data za sebou rychlostí až 20 Mbit/s bez jakýchkoli prodlev. Další velkou výhodou této zobrazovací jednotky je možnost nastavení kontrastu přímo prostřednictvím příkazu řadiči. Odpadá tedy potřeba připojovat trimr a vše lze pohodlně řídit programem v procesoru. Zobrazovací část je napájena napětím 3V až 3,3V. Měniče napětí jsou integrovány v řadiči, je pouze nutné připojit externí kondenzátory. Pro napájení podsvětlení je však vhodnější použít napětí 5V, neboť například bílé a modré LED diody vykazují úbytek napětí v propustném směru kolem 3,3V a nebylo by tedy možné je použít. Při použití 5V napájení pro podsvětlení je tedy možné zvolit jakoukoli z dostupných barev podsvětlovacích polí a pouze přidat příslušné odpory.

Pro ovládání byly zvoleny tři enkodéry a šestnáct tlačítkových mikrospínačů zapojených do matice. Čtyři z tlačítek jsou přímo u LCD. Jejich funkce se může měnit podle zobrazených informací na kraji displeje. Celkové rozložení ovládacích prvků tedy částečně kopíruje obvyklé provedení velkých osciloskopů.

2 HW podoba zařízení

2.1 Koncepce zařízení

Celé zařízení bylo navrženo tak aby ho bylo možné používat jako osciloskop, ale zároveň také jako vývojovou desku pro další zařízení s mikroprocesorem ATXmega. Z tohoto důvodu byla zvolena koncepce dvou desek spojených na sebe pomocí dvouřadých pinových konektorů s roztečí 2,54mm. Ty byly zvoleny z důvodu snadné dostupnosti. Vrchní deska slouží jako zmiňovaná vývojová deska. Kromě procesoru je na ní umístěn displej a ovládací prvky. Spodní deska plošných spojů obsahuje vstupní zesilovače a relé pro volbu rozsahů. Dále je možné připojit další rozšiřující desky a skládat je pod hlavní.

2.2 Deska MCU

Hlavní deska obsahuje MCU a slouží ke komunikaci s uživatelem. Na ní tedy umístěn LCD display, enkodéry pro ovládání vertikální i horizontální osy a kurzorů, tlačítka a diody LED. Levý dvouřadý konektor (SV1) slouží ke komunikaci s ostatními deskami připojenými pod desku hlavní. Jsou na něj připojeny jak digitální vstupně-výstupní piny, tak analogové piny procesoru. Některé tyto piny je možné využít také jako JTAG rozhraní. Pravý dvouřadý konektor (SV2) slouží pro rozvod napájení mezi deskami a programování přes rozhraní PDI. Nevyužité piny konektoru SV2 jsou připraveny pro komunikaci dalších desek mezi sebou.

Celá vrchní deska může fungovat bez rozšiřujících desek. Pro toto použití disponuje napájecím konektorem a stabilizátorem 3,3V pro napájení procesoru a display. Napětí pro podsvětlovací LED 5V je přivedeno přímo z napájecího konektoru. Pro napájení je tedy nutno použít 5V zdroj. Dále jsou na desce umístěny 10pin konektory pro připojení nejružnějších periférií.

Osciloskop také umožňuje naměřená data uložit na paměťovou kartu microSD. Jsou podporovány všechny typy karet microSD i microSDHC.

Tab 2.3 Rozpis vývodů konektoru SV1

Číslo pinu	Název pinu	Číslo pinu	Název pinu	Číslo pinu	Název pinu	Číslo pinu	Název pinu
1	PC4	11	PB2	21	PA0	31	PK2
2	PC3	12	PB1	22	PQ3	32	PK1
3	PC2	13	PB0	23	PQ2	33	PK0
4	PC1	14	PA7	24	PQ1	34	PJ7
5	PC0	15	PA6	25	PQ0	35	PJ6
6	PB7	16	PA5	26	PK7	36	PJ5
7	PB6	17	PA4	27	PK6	37	PJ4
8	PB5	18	PA3	28	PK5	38	PJ3
9	PB4	19	PA2	29	PK4	39	PJ2
10	PB3	20	PA1	30	PK3	40	PJ1

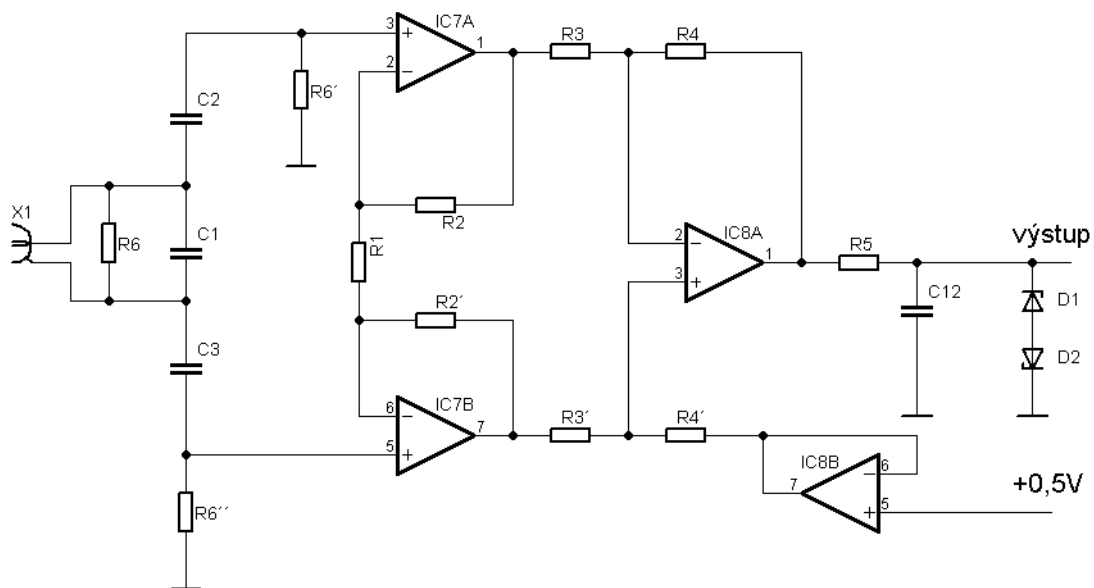
Při spodním okraji desky plošných spojů se nachází 10 pin konektory s roztečí 2,54mm pro připojení externích periférií při použití desky jako vývojová platforma. Pořadí zapojení pinů je u všech těchto konektorů stejné, pouze jsou propojeny s jiným portem mikro počítače. Jako příklad je v tabulce *tab 2.4* uvedeno zapojení konektoru portu K.

Tab 2.4 Rozpis vývodů 10 pin. konektoru PK

Číslo pinu	Název pinu	Číslo pinu	Název pinu
1	PK0	6	PK5
2	PK1	7	PK6
3	PK2	8	PK7
4	PK3	9	3,3V
5	PK4	10	GND

2.3 Deska zesilovačů

Deska zesilovačů je umístěna pod hlavní deskou. Jsou na ní umístěny operační zesilovače a nábojové pumpy pro výrobu záporného napětí potřebného pro napájení operačních zesilovačů. Ty jsou napájeny +- 5V. Prostřednictvím nábojové pumpy TC7660C [6]. Napájení +5V i -5V větve je filtrováno LC filtrem kvůli možnému rušení z digitální části.



Obr 2.1 Schéma zapojení zesilovače

Vstupní zesilovač pro osciloskop je řešen jako tzv. přístrojový zesilovač. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku *obr 2.1*. Jedná se o diferenční (rozdílový) zesilovač, který zesiluje rozdíl vstupních napětí přivedených na jeho vstupy a potlačuje souhlasné napětí. Jeho zapojení bylo převzato z [1]. To umožňuje měřit dva naprosto nezávislé signály. Oba vstupy pro sondy totiž nemají společnou zem. Vstupní rozsahy jsou přepínány pomocí malých relé na

5V. Na výstupu je připojen diodový omezovač chránící A/D převodník při nesprávném zvolení vstupního rozsahu. Ten tvoří Zeyerovy diody D1 a D1. Celý vstupní zesilovač lze rozdělit do dvou částí – neinvertující zesilovače a diferenční zesilovač. Obě části jsou na obrázku barevně rozlišeny. Zesílení části neinvertujících zesilovačů je dáno vztahem (2.1):

$$A_1 = 1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_1} \quad (2.1)$$

Je tedy jasné, že zesílení této části nemůže být nikdy menší než 1. Tato část se proto uplatňuje pouze při měření malých napětí, kdy je potřeba zesílení větší než jedna.

Zesílení druhé části, diferenčního zesilovače, je dáno vztahem (2.2):

$$A_2 = \frac{R_4}{R_3} \quad (2.2)$$

V tomto případě lze dosáhnout i menšího zesílení než jedna a uplatňuje se tedy při potřebě měřit vyšší vstupní napětí než je napětí referenční.

Pro přepínání rozsahů byla zvolena signálová relé pro napětí 5V obsahující dva přepínací kontakty, neboť analogové přepínače vnášejí do signálu různá zkreslení a nelineární jevy. Zesílení obou částí zesilovače pro jednotlivé rozsahy jsou uvedeny v tabulce *tab 2.1*. Byly tedy potřeba čtyři relé pro každý kanál. Dále je jedno relé použité pro přepínání stejnosměrné a střídavé vazby, kde při sepnutí pouze přemostí kondenzátor na *obr 2.1* označený jako C_2 a C_3 . Protože mají neinvertující zesilovače na vstupech velmi vysoký vstupní odpor, ideálně nekonečný, jsou na vstupech zapojeny odpory R_6 o hodnotě $1M\Omega$, které zajišťují vstupní odpor $1M\Omega$. To je potřeba pro impedanční přizpůsobení sondy osciloskopu a jeho vstupní části. Zapojení pasivních součástek na vstupu bylo převzato [8].

Zesílení obou částí předzesilovače pro jednotlivé vstupní napěťové rozsahy jsou uvedena v tabulce *tab 2.1*, odpovídající rezistory jsou pak v tabulce *tab 2.2*.

Tab 2.1 Tabulka rozsahů, zesílení a odpovídajících odporů

	Rozsah	A	A_1	A_2	A_{MCU}
1	4V	0,25	1	0,25	1
2	2V	0,5	1	0,5	1
3	0,8V	1,25	1,25	1	1
4	400mV	2,5	1,25	1	2
5	200mV	5	1,25	1	4
6	80mV	12,5	12,5	1	1
7	40mV	25	12,5	1	2
8	20mV	50	12,5	1	3

Tab 2.2 Tabulka odporů pro jednotlivá zesílení

A ₁	R ₁	R ₂	A ₂	R ₃	R ₄
1	12kΩ	0Ω	0,5	2kΩ	1kΩ
1,25	12kΩ	1,5kΩ	0,25	4kΩ	1kΩ
12,5	12kΩ	92kΩ	1	1kΩ	1kΩ

Přepínání odporů pak zajišťují signálová relátka s označením A-5W-K. Ta díky dvěma přepínacím kontaktům obsluhují vždy zrcadlovou dvojici odporů. Relé pro sepnutí potřebují napětí 5V, kdežto napájecí napětí mikroprocesoru je pouze 3,3V. Je proto nutné výstupy pinů procesoru posílit NPN tranzistory v zapojení se společným emitorem. Diody připojené paralelně k cívkám relé brání k průrazu tranzistoru vznikajícími napěťovými špičkami při odpojování cívek.

Dále jsou na desce umístěny výstupní operační zesilovače zapojeny jako tzv. sledovače. Ty jsou zde připraveny pro pozdější využití jako funkční generátor.

Vstupy zesilovačů a výstupy funkčních generátorů jsou připojeny na standardní úhlové BNC konektory, což dovoluje připojit osciloskopické sondy používané s běžnými osciloskopy, není nutné je jinak upravovat.

3 Software

Celé programové vybavení bylo vytvořeno v jazyce C ve vývojovém prostředí AVR Studiu 5 a zkompileováno pomocí překladače WinAVR.

Zdrojový kód je rozdělen do několika dílčích souborů podle jeho charakteru.

3.1 Obsluha LCD

Komunikace s LCD probíhá po SPI rozhraní. Data se posílají po osmi bitech, které reprezentují osm pixelů na LCD. Protože LCD neumožňuje číst zobrazená data zpět z display do procesoru, je nutné je ukládat v paměti RAM. To přináší jistá omezení, např. mohl být paměťový prostor použit k ukládání navzorkovaných dat, ale také výhody. Přesun dat do LCD může totiž zpomalovat procesor a při častých změnách malého množství bodů by se zbytečně posílaly i body, které není potřeba měnit, a program se zbytečně zpomaloval. Díky bufferu v paměti RAM procesoru je ale možné body nejprve připravit v paměti a až poté je všechny najednou zapsat do LCD. Všechny funkce vykreslující data na LCD mají proto jeden parametr umožňující zvolit, zda se data posílají pouze do bufferu nebo i do LCD. Dále mají všechny vykreslovací funkce parametr C (color), který určuje barvu, jakou se daný objekt vykreslí. Lze tedy jednoduše invertovat zobrazení. Dále následuje bližší popis hlavních funkcí, které jsou použity pro vykreslování dat na LCD.

lcd_printtext

Funkce umožňuje vypsat na LCD libovolný řetězec znaků. Je k dispozici ve dvou variantách – `lcd_printtext()` a `lcd_printtext_P`. První vypisuje řetězce znaků z paměti RAM, jedná se tedy většinou o naměřená data, druhá vypisuje řetězce uložení v paměti programu, jedná se tedy o konstantní řetězce. Řadič LCD ST-7565R neobsahuje znakovou sadu. Ta je realizována programově v souboru `lcd_charset.h`. Ten byl vygenerován skriptem dostupným z [7]. Znaková sada umožňuje definovat znaky různé šířky. Soubor `lcd_charset` tedy obsahuje dvě pole, jedno uchovávající začátky jednotlivých znaků, druhé uchovávající pixely znaků.

lcd_drawline

Funkce umožňuje vykreslit na LCD libovolnou úsečku. Pro vykreslování šikmých čar byl použit Brasenhamův algoritmus pro rozklad na jednotlivé pixely. Funkce je použita pro vykreslování grafiky menu, ale i při zobrazování naměřených průběhů. Při vykreslování jednotlivých bodů bez této funkce docházelo při rychlých změnách velikosti napětí, například u obdélníkového průběhu, k rozdělení průběhu na jednotlivé úseky stejně jako u analogových přístrojů s CRT obrazovkou.

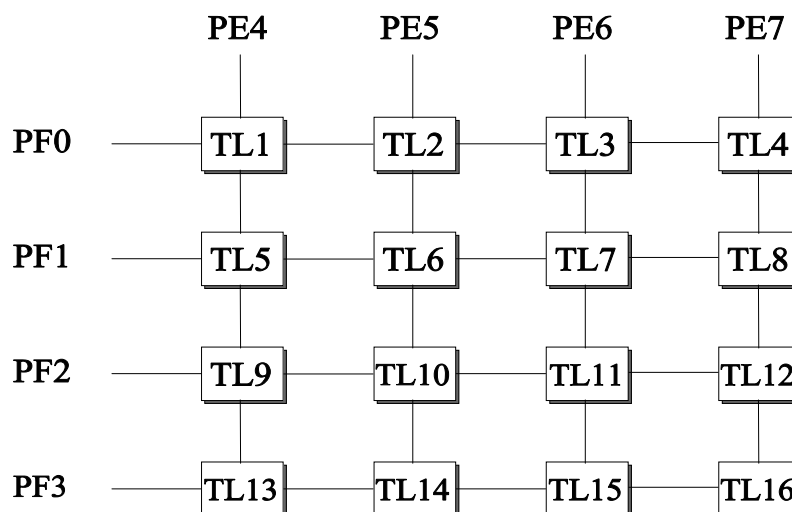
3.2 Obsluha A/D převodníku

Při spuštění měření je A/D převodník funkcí `adc_init()` nastaven pro kontinuální převod a povoleno přerušení. Při ukončení převodu každého vzorku je vyvolán DMA přenos do bufferu. Buffer v tomto případě představuje jednorozměrné pole typu `uint16_t`. Po dosažení koncové adresy bufferu je zastaven DMA přenos a nastaven příznak „display“. Ten testuje hlavní smyčka programu, která následně vykreslí navzorkovaná data. Vzorkovací frekvence je od frekvence hodinového signálu odvozena děličkou s nastavitelným poměrem pomocí registru. Změna měřítka časové osy je tedy realizována tímto registrem, případně změnou frekvence hodinového signálu periférií.

3.3 Ovládací prvky

Hlavní smyčka programu kromě zobrazování dat na LCD také cyklicky čte stav tlačítek spojených do matice a tří enkodérů. Protože jsou tlačítka zapojena do matice, nelze je nastavit pro vyvolávání přerušení. 16 tlačítek by ale u vývojové desky zabralo zbytečně příliš vstupně-výstupních pinů procesoru. Zapojení jednotlivých tlačítek je znázorněno na *obr 3.1*. Pro čtení stavu tlačítek byl zvolen následující postup. U všech vodičů (řádkových i sloupcových) jsou nastaveny pull-upy a do výstupního registru sloupcových vodičů zapsány nuly. Poté jsou postupně jednotlivé piny připojené k sloupcovým vodičům nastavovány jako výstup (na

výstupu se objeví logická „0“) a současně je čten stav řádkových vodičů. Postup s pull-upy byl zvolen z důvodu nebezpečí stisknutí více tlačítek současně. Pak by mohlo dojít ke zkratu výstupů ve stavu logické „0“ s logickou „1“ a tím k poškození výstupních obvodů daných pinů vlivem nadměrného proudu.



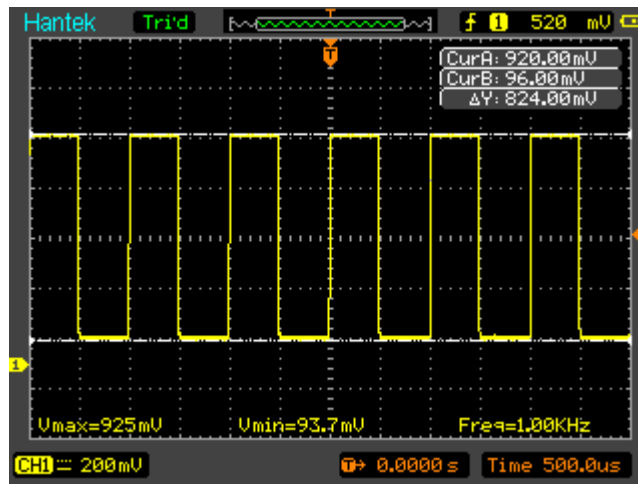
Obr 3.1 Zapojení tlačítek v matici

Stav enkodérů je snímán prostřednictvím event-systému . Ten mimo jiné dovoluje propojit jednotlivé periferie mezi sebou bez nutnosti vyvolávat přerušení, což v některých případech mnohonásobně zrychluje běh programu. Není totiž potřeba ukládat registry a stack-pointer. V tomto případě je ale kanál event-system-řadiče použit jako řadič enkodéru. Jeden kanál event-systemu pak spojuje dva vstupní piny připojené k enkodéru s jedním z 16bitových čítačů pomocí takzvaných událostí (events). Při každé detekované změně na vstupních pinech je vyvolán příslušná událost, která způsobí inkrementaci či dekrementaci registru čítače. Registry čítače přitom nejsou nijak zasaženy, díky čemuž lze jednoduše nastavit periodu čítání či vyvolání přerušení. V mém případě nebylo nutné použít přerušení a stav enkodéru se pouze zjišťuje čtením registru příslušného čítače.

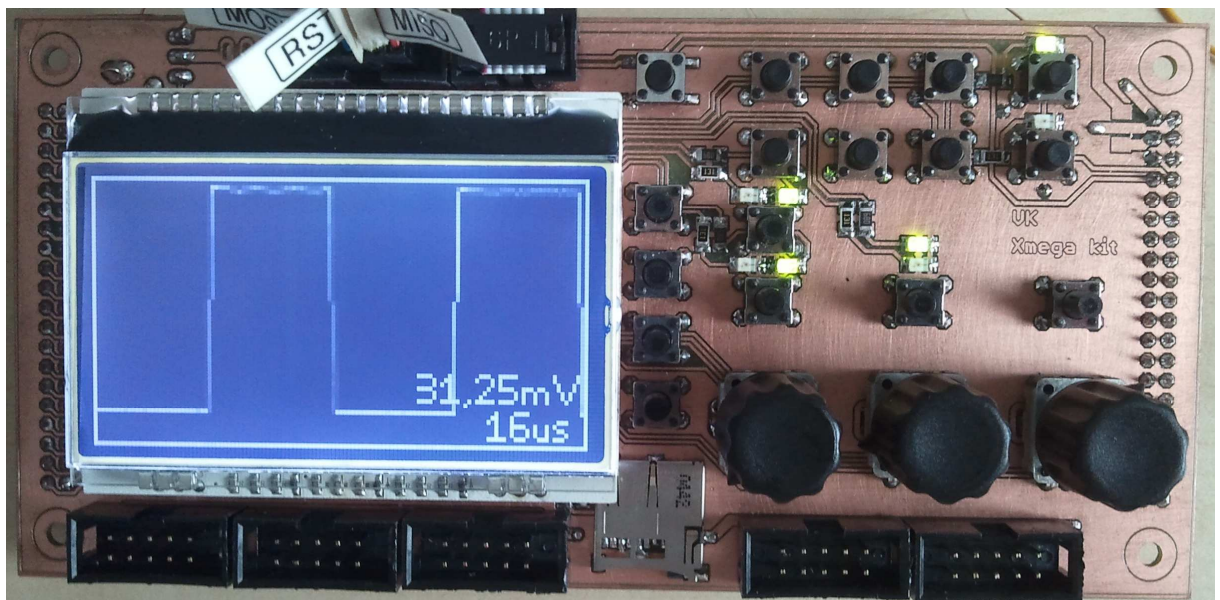
Dále je pro komunikaci s uživatelem umístěno a desce osm LED diod. Ty jsou přes odpory připojeny přímo na jednotlivé piny portu H. Tímto způsobem sice zabírají osm vstupních/výstupních pinů procesoru, je ale možné pohodlně ovládat každou LED diodu zvlášť bez nutnosti multiplexování. Výstupy mikročítače ATXmega mohou dodávat proud až 20mA proti zemi, není proto nutný posilovat výstupy tranzistory. LED diody jsou umístěny vedle tlačítek pro indikaci vybraného kanálu či určitého módu přepínaného vedlejším tlačítkem.

4 Srovnávací měření

Ověření činnosti zařízení bylo provedeno přivedením obdélníkového signálu o frekvenci 1kHz při amplitudě 96mV-920mV. Na obrázku *obr 4.1* je změřený signál běžným osciloskopem. Na fotografii *obr 4.2* je pak zachycen průběh naměřený sestaveným osciloskopem. V pravém dolním rohu je zobrazeno rozlišení napěťové a časové osy vztahované na pixel, neboť na displeji LCD nebyla zobrazena mřížka.



Obr 4.1 Signál měřený běžným osciloskopem



Obr 4.2 Signál sestaveným osciloskope

Závěr

Architektura mikročítače ATXmega byla částečně nastíněna v kapitole 1. Byly zde popsány především součásti potřebné pro realizaci osciloskopu. Dále byly popsány všechny hlavní součásti zvolené koncepce.

Postup návrhu a realizace zařízení byl popsán v kapitole 2. Navržené zařízení je bez problémů použitelné jako digitální osciloskop i vývojová platforma. Ukázalo se však, že zvolený způsob nastavení vzorkovací frekvence pouze pomocí předděličky hodinových impulzů pro A/D převodník umožňuje dosáhnout jen omezeného počtu rozsahů časové osy.

Na fotografii *obr 4.2* je také vidět stejnosměrný offset A/D převodníku, který je potřeba eliminovat vhodným nastavením kalibračního registru. Programu mikročítače je také rozpracována funkce kurzorů. Těmi lze bez problémů posouvat pomocí enkodéru a přepínat mezi kurzory tlačítkem nad enkodérem, ale není zatím možné zobrazit měřené napětí. K převodu byla použita knihovna obsažená v AVR Studiu, která nepodporuje převod hodnot v datovém typu float na řetězec potřebný pro zobrazování na LCD.

Návrhy pro další vývoj

V současnosti jsou funkční pouze základní funkce osciloskopu jako přepínání napětíových rozsahů a změna vzorkovací frekvence. Protože je ale vzorkovací frekvence nastavována pouze předděličkou A/D převodníku, nelze nastavit nižší vzorkovací frekvencí než 62,5kHz. Pro pomalejší průběhy by bylo lépe použít čítač spouštějící jednotlivé převody vzorků. Dále je možno doplnit programovou výbavu o FFT, matematické funkce či možnost ukládání dat na microSD nebo microSDHC paměťovou kartu s filesystémem FAT.

Použitá literatura

- [1] PINKER, Jiří a Václav KOUCKÝ. *Analogové elektronické systémy*. 2. vyd. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity, 1999, 2 sv. ISBN 80-7082-506-52.
- [2] ATMEL CORPORATION. *Xmega A manual* [online]. 2009 [cit. 2012-06-04]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8077.pdf>
- [3] ATMEL CORPORATION. *Application note: Using the Atmel XMEGA ADC* [online]. 2010 [cit. 2012-06-04]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8077.pdf>
- [4] ANALOG DEVICES, Inc. *AD8597_8599.pdf* [online]. 2009 [cit. 2012-06-04]. Dostupné z: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8597_8599.pdf
- [5] ELECTRONIC ASSEMBLY. *Dogm128e.pdf* [online]. 2007 [cit. 2012-06-04]. Dostupné z: http://www.soselectronic.cz/a_info/resource/d/ea/dogm128e.pdf
- [6] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *21465b.pdf* [online]. 2002 [cit. 2012-06-04]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21465b.pdf>
- [7] [online]. Dostupné z: <http://www.poempelfox.de/blog/2009/04/13/#lcdtest>
- [8] [online]. Dostupné z: http://www.enetsystems.com/~lorenzo/scope/dso_module_r3.pdf

Přílohy

Příloha A – Schéma desky s mikročítačem (CD)

Příloha B – Schéma desky zesilovačů (CD)

Příloha C – Motiv plošných spojů desky s mikročítačem TOP (CD)

Příloha D – Motiv plošných spojů desky s mikročítačem BOTTOM (CD)

Příloha E – Motiv plošných spojů desky zesilovačů TOP (CD)

Příloha F – Motiv plošných spojů desky zesilovačů BOTTOM (CD)

Příloha G – Zdrojové kódy programu (CD)