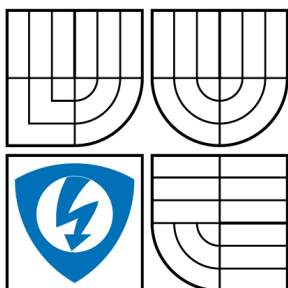


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

UNIVERZÁLNÍ MĚŘICÍ PŘÍPRAVEK PRO ROZHRANÍ USB

UNIVERSAL MEASURING DEVICE FOR USB INTERFACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

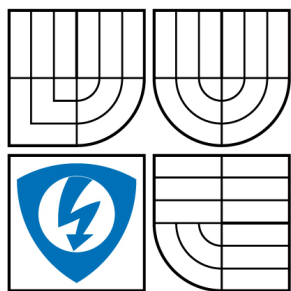
PETR NOSEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ KRAJSA

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Teleinformatika

Student: Nosek Petr

ID: 78637

Ročník: 3

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Univerzální měřicí přípravek pro rozhraní USB

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte měřicí přípravek připojitelný k PC přes rozhraní USB. Přípravek bude realizovat funkci 8-kanálového logického analyzátoru a osciloskopu. Dále vytvořte obslužný program na PC, který patřičným způsobem zobrazí měřené průběhy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MATOUŠEK, David. USB prakticky s obvody FTDI 1. díl. [s.l.] : BEN, 2003. 272 s. ISBN 80-7300-103-9

[2] BURKHARD , Kainka. USB - měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB. [s.l.] : BEN, 2002. 256 s. ISBN 80-7300-073-3

Termín zadání: 11.2.2008

Termín odevzdání: 4.6.2008

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Krajsa

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Petr Nosek
Bytem: Na Valtické 443/23, 69141, Břeclav
Narozen/a (datum a místo): 27.12.1985, Valtice

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Univerzální měřicí přípravek pro rozhraní USB

Vedoucí/školicel VŠKP: Ing. Ondřej Krajsa

Ústav: Ústav telekomunikací

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě - počet exemplářů 1
- ☒ elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

ANOTACE

NOSEK, P. *Univerzální měřicí přípravek pro rozhraní USB*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Krajsa.

Bakalářská práce se věnuje návrhu a následné realizaci Univerzální měřicí desky, spolupracující s PC přes rozhraní USB, z části zastupující funkci osciloskopu a logického analyzátoru. Obsahuje hardwarový návrh měřicí desky a také návrh obslužného software, jak pro mikrokontrolér osazený na měřicí desce, tak pro osobní počítač s operačním systémem MS Windows. Součástí práce je kompletní schéma měřicího přípravku, návrh tištěných spojů a finální fotografie přípravku. Samozřejmostí jsou také vývojové diagramy všech programů a jejich zdrojové kódy.

Klíčová slova:

ATMEL AVR, C, C++, DIGITÁLNÍ OSCILOSKOP, FTDI, I2C, LOGICKÝ ANALYZÁTOR, SPI, UART, USB

ABSTRACT

NOSEK, P. *Universal measuring device for USB interface*. Brno: Brno University of technology, The Faculty of Electrical Engineering and Communication, 2008. 50 p. Supervisor Ing. Ondřej Krajsa.

This bachelor's thesis deals with design and subsequent implementation of Universal measuring boards, cooperating with the PC via USB, representing the office of the oscilloscope and logic analyzer. It contains a proposal for a hardware measuring boards and the proposal of operating software for microcontroller mounted on the measuring board, as well as for personal computer operating system MS Windows. The work is complete chart measuring the preparation, design printed circuit and the final product photos. We are also diagrams of all development programmes and their source codes.

Keywords:

ATMEL AVR, C, C++, DIGITAL OSCILLOSCOPE, FTDI, I2C, LOGIC ANALYZER, SPI, UART, USB

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Universální měřicí přípravek pro rozhraní USB jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ondřeji Krajsovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Seznam zkratek

ADC (Analog Digital Converter) - analogově digitální převodník

CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) - polovodič s vrstvou kysličníku

DAC (Digital Analog Converter) - digitálně analogový převodník

DLL (Dynamic Link Library) - dynamicky linkovaná (připojovaná) knihovna

EEPROM (Electrically Erasable Programme Read Only Memory) - elektronicky smazatelná paměť

FLASH (Flash Erasable Programmable Memory) – rychle smazatelná a programovatelná paměť

FTDI (Future Technology Devices International)

I²C (Inter-Integrated Circuit) - multi-masterová sériová sběrnice

LSB (Least Significant Bit) - nejméně významný (řádově) - bit

TTL (Transistor Transistor logic) - tranzistorově tranzistorová logika křemíku

MIPS (Million Instructions Per Sekond) - milión instrukcí za vteřinu

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) - tranzistor řízený polem s hradlem izolovaným kysličníkem

MSB (Most Significant Bit) - nejvíce významný (řádově) - bit

OZ - Operační Zesilovač

PC (Personal Computer) - osobní počítač

RS232 (Recommended Standard 232) - definice rozhraní sériového portu

RXD (Receive Data) - přijímač dat

SPI (Serial Peripheral Interface) - sériové periferní rozhraní

SRAM (Static Random Access Memory) - statická paměť s přímým výběrem

TXD (Transmit Data) - vysílač dat

USB (Universal Serial Bus) - univerzální sériová sběrnice

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) - universální asynchronní přijímač/vysílač

WDM (Windows32 Driver Model) - model ovladačů pro 32 bitová Windows

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Charakteristika měřicí desky	11
2. 2 Blok převodníku USB/UART - základní vlastnosti obvodu FT232BM.....	12
2. 3 Charakteristika mikrokontroleru ATTiny2313	13
2. 4 Bloky logického analyzátoru	14
2. 4. 1 Blok expandoru.....	14
2. 4. 2 Posuvný registr se vstupem kompatibilním s TTL úrovněmi.....	14
2. 5 Bloky osciloskopu.....	15
2. 5. 1 Vstupní obvody.....	16
2. 5. 2 Blok Řídících obvodů	17
2. 5. 3 A/D převodník	17
2. 6 Blok napájecího a referenčního zdroje	19
3 Komunikační část a programová obsluha měřicí desky	20
3. 1. Komunikace mezi mikrokontrolérem ATMEL Tiny 2313 a ostatními obvody ..	21
3. 1. 1 Komunikace mikrokontroleru s USB konvertorem pomocí linky UART..	21
3. 1. 2 Aplikační program pro mikrokontrolér ATTiny2313.....	22
3. 1. 3. Komunikace mikrokontroleru s okolními bloky pomocí I ² C sběrnice	22
3. 1. 3. 1 Protokol komunikace mezi expandorem (umístěného ve vstupní části	
analyzátoru) a mikrokontrolerem.....	23
3. 1. 3. 2 Protokol mezi expandorem (umístěného ve vstupní části osciloskopu) a	
mikrokontrolerem	24
3. 1. 4 Komunikace mikrokontroleru s blokem osciloskopu pomocí sériového	
kanálu SPI.....	25
3. 2. Komunikace mezi PC a obvodem FT232BM.....	27
3. 2. 1. Obslužná aplikace	27
3. 2. 2. Klasické funkce.....	28
3. 2. 3. Architektura obslužného rozhraní.....	28
3. 2. 4. Komunikační protokol	29
5 Závěr	31
Seznam obrázků a příloh.....	32
Seznam obrázků.....	32
Seznam příloh	33
Literatura.....	34
Přílohy.....	36

1 Úvod

Úkolem bakalářské práce je navrhnout a realizovat zapojení měřiče průběhů signálů a to jak analogového tak číslicového, které jsou známé pod názvem osciloskop a logický analyzátor. Tyto hojně využívané a velmi nákladné přístroje jsou téměř nepostradatelné v každé elektrotechnické laboratoři. Spíše by se tento měřič dal charakterizovat jako zapisovač průběhu signálu, neoplývá totiž zdaleka tolika funkcemi jako skutečný osciloskop nebo analyzátor. Tyto nedostatky by se dali částečně řešit řadou vylepšení obslužného programu v PC.

V první části práce je podrobně rozebrán a popsán hardwarový návrh měřicí desky, obsahující také schéma jednotlivých částí. Druhá část práce se potom zabývá návrhem a popisem funkce obslužných programů na což pak navazuje návrh a popis komunikační struktury a komunikačních protokolů jednotlivých částí.

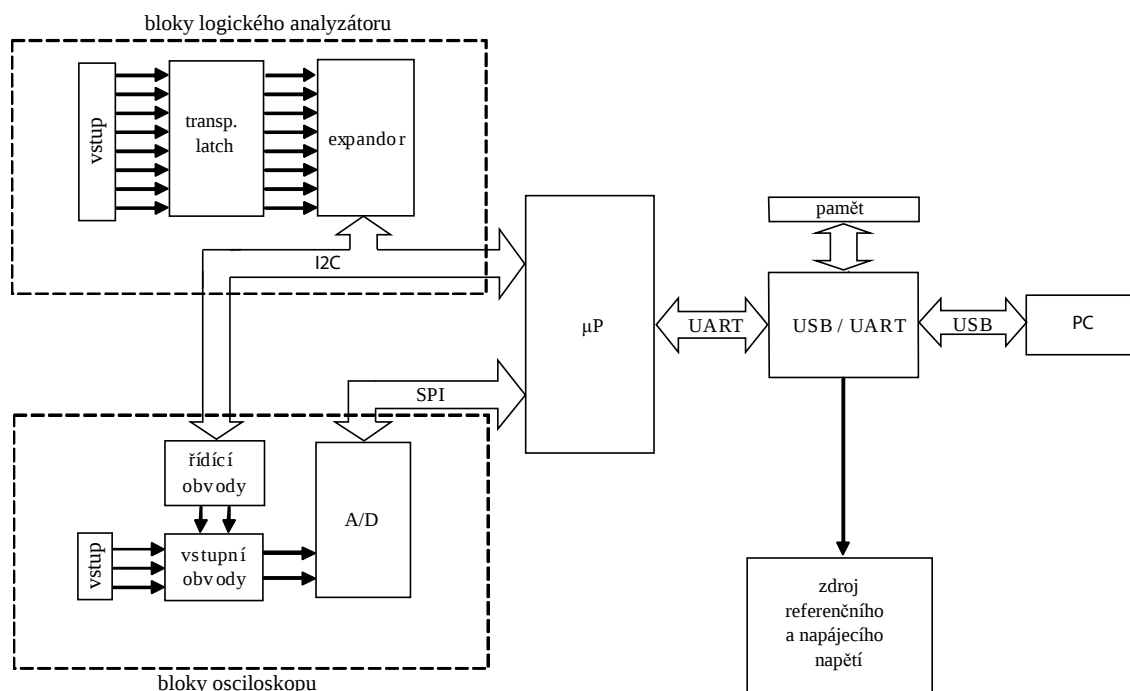
USB rozhraní se během několika posledních let stalo zcela běžnou součástí spotřební elektroniky připojitelné k počítači a již téměř vytlačilo klasický sériový a paralelní port. Implementaci USB rozhraní do vlastního hardware, obsahujícího alespoň jeden mikrokontrolér, lze provést buďto softwarově nebo hardwarově. Softwarová implementace je závislá na dokonalé znalosti použitého mikrokontroleru a programovacích schopnostech vývojáře.

Hardwarová implementace USB je v současné době častější a nemusí být ani příliš drahá. Jednou z možností je použít mikrokontrolér, který kromě řady periférií obsahuje hardwarově implementované USB. Příkladem mohou být výrobky Atmelu AT43USB320A a AT43USB355. Další možností je navrhnout si hardware komunikující s USB sami. Tyto postupy vyžadují ovšem téměř dokonalou znalost protokolu USB a nejsou rozhodně jednoduché. Existuje, ale i podstatně jednodušší možnost — využít některý z obvodů FTDI. Tento byl volen jako stěžejní komunikační prvek mezi počítačem a měřicí deskou.

2 Charakteristika měřicí desky

Celá měřicí deska je napájena přímo ze sběrnice USB a obsahuje osmi vstupů logický analyzátor umožňující měřit digitální obvody. Dále obsahuje dvoukanálový osciloskop, který má jeden nesymetrický vstup a druhý diferenční. Modul osciloskopu je také vybaven přepínáním zesílení či zeslabení vstupního signálu v určitém poměru, výběrem střídavého či stejnosměrného signálu a tlačítkem pro nastavení „nuly“. Blokové schéma zapojení desky je na obr. 1.

Hlavním blokem měřicí desky je mikrokontrolér ATTiny2313, který řídí práci obvodů logického analyzátoru, osciloskopu a komunikuje s USB/UART konvertorem. Protože mikrokontrolér má v sobě zabudovaný UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), tedy univerzální asynchronní přijímač a vysílač zajišťující komunikaci přes sériovou linku, je na desce jako úplně první blok (ze směru od PC) zařazen jednočipový převodník USB $\Leftrightarrow$ UART. Ten je reprezentovaný obvodem FT232BM, který spolupracuje s E²PROM pamětí.



Obr. 1: Blokové schéma měřicí desky

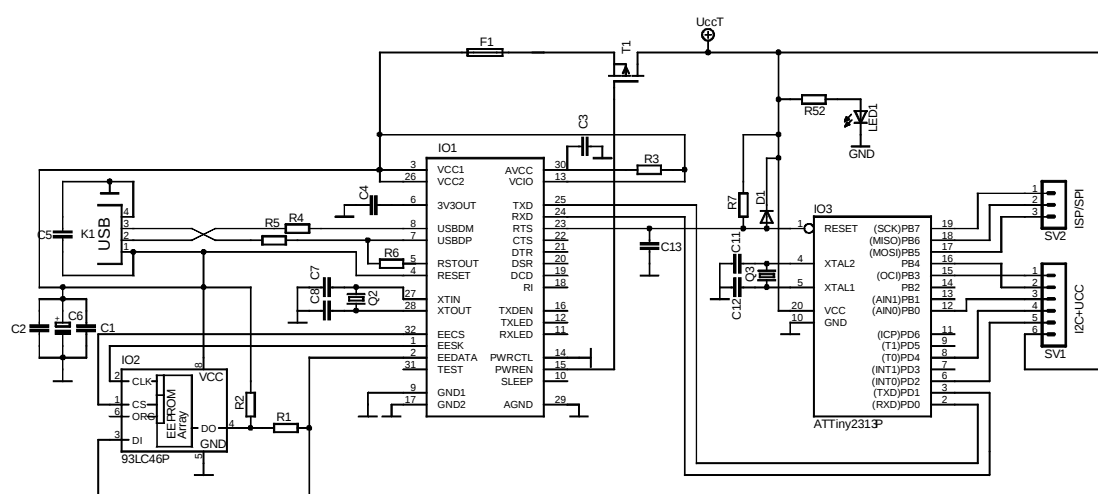
Blok logického analyzátor komunikuje s mikrokontrolerem přes I²C sběrnici. Přes SPI sběrnici komunikuje hlavní obvod osciloskopu, tedy A/D převodník a vstupní obvody osciloskopu jsou řízeny také přes sběrnici I²C .

2. 2 Blok převodníku USB/UART - základní vlastnosti obvodu FT232BM

Blok je realizován obvodem FT232BM, který pracuje jako konvertor USB ↔ UART, spojuje tedy sběrnici USB s vnějším zařízením komunikujícím přes sériový asynchronní kanál, komunikace přes něj je mnohem snazší než přes USB.

Obvod je napájen přímo se sběrnice USB pomocí vývodu na pouzdru VCC1 (pin 3) a VCC2 (pin26) samozřejmě jsou blokovací kondenzátory C1, C2, C6. Vývod VVCIO je na pouzdru pro napájení UART rozhraní, v našem případě je připojen na napájecí napětí (5V), takže vývody UART pracují s pěti voltovými úrovněmi. Na výstup zabudovaného generátoru 3V3OUT (pin 6) , který generuje referenční napětí 3,3V pro buzení USB vysílače, je připojen blokovací kondenzátor C4 (33nF). Přes odpor R3 je připojen k napájecímu napětí vývod AVCC (pin 30), který slouží k napájení zabudované násobičky hodin. Obvod je připojen k USB rozhraní pomocí vývodů USBDP (pin 7) a USBDM (pin8), kladný datový USB signál D+ vyžaduje 1,5kOhm pull-up směrem k 3,3 Voltům, je tedy ještě navíc připojen přes odpor R6 k vývodu RSTOUT (pin 5) . Obvod pracuje s 6 MHz hodinovým kmitočtem odvozeným od vnějšího kristalu připojeného na vývody XTIN (pin 27) A XTOUT (pin 28), oba dva vývody jsou přes zatěžovací kondenzátory C7 a C8 připojeny na zem.

Přes vývody EECS (pin 32), EESK (pin 1) a EEDATA (pin 2) je FT232BM připojen k paměti E2PROM, která slouží k uložení VID a PID identifikátorů, sériového čísla, řetězce popisu výrobku a hodnoty odebíraného proudu (asi 350mA na celou desku), tyto hodnoty jsou potřebné pro komunikaci přes USB rozhraní.



Obr. 2: Schéma zapojení obvodu FT232BM s EEPROM a ATtiny2313 s vyvedenými sběrnicemi

Součástky napájené s USB sběrnice musí být schopny snížit svůj odběr v režimu USB suspend pod $500\mu\text{A}$ (včetně vnějších obvodů), proto jsou ostatní obvody na desce napájeny přes transistor T1 (p-kanálový MOSFET) připojený na vývod PWREN# (pin 15), pomocí kterého může obvod FT232BM snížit odběr celé desky na minimum při její nečinnosti.

S mikrokontrolerem komunikuje pomocí sériové linky připojené na vývodech TXD (pin 25), RXD (pin 24) a RTS (pin23) [4].

2.3 Charakteristika mikrokontroleru ATTiny2313

Jak už bylo psáno výše mikrokontrolér je hlavní řídicí jednotka celé desky. Jedná se o mikrokontrolér od firmy ATMEL architektury AVR, tyto jsou charakteristické tím, že provádí výkonné instrukce v jediném hodinovém cyklu a proto dosahují výpočetního výkonu 1MIPS na 1MHz hodinového taktu. Instrukční soubor tohoto mikrokontroléru obsahuje 120 instrukci a 32 osmi bitových registrů. Paměť programu je tvořena zabudovanou FLASH a má velikost 2KB. Datová paměť je jak typu SRAM tak i EEPROM a obě mají kapacitu 128 B.

Mikrokontrolér je napájen na vývodech VCC (pin 20) přes tranzistor T1 s USB sběrnice. Na vývodech XTAL1 (pin 4) a XTAL2 (pin 5) je připojen krystal Q2 s kondenzátory C11 a C12 obstarávající vnitřní hodinovou frekvenci o taktu 10MHz. Jak už bylo uvedeno výše komunikuje mikrokontrolér s USB konvertorem pomocí plně duplexního sériového kanálu UART, který je připojena na vývody TXD (pin 3) a RXD (pin 2). Propojení resetování je přes vývod RESET (pin 1) [1].

2. 4 Bloky logického analyzátoru

Logický analyzátor se skládá ze vstupního konektoru, z integrovaného posuvného registru a expandoru - paralelně seriového převodníku s I²C sběrnici.

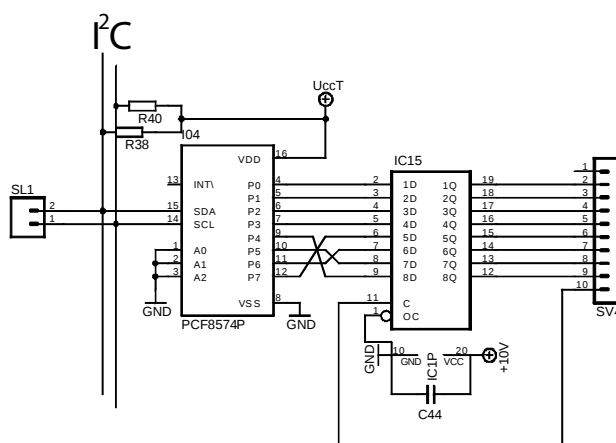
2. 4. 1 Blok expandoru

Expandor, reprezentovaný obvodem PCF8574A, má v tomto zapojení podobnou funkci jako paralelně sériový převodník. Převádí data z osmi vstupů na jeden výstup a řadí je za sebe v pořadí v jakém byly na jednotlivých vstupech.

Uživatel pomocí obslužného programu spustí v mikrokontroleru obslužnou rutinu, která vyšle po sběrnici I²C rámec, který obsahuje adresu daného zařízení (tedy expandoru - obvod PCF8574A) a informaci o tom, že od něho očekává data v podobě rámců specifických pro komunikaci přes sběrnici I²C viz. kapitola 3.1.3.1.

2. 4. 2 Posuvný registr se vstupem kompatibilním s TTL úrovní

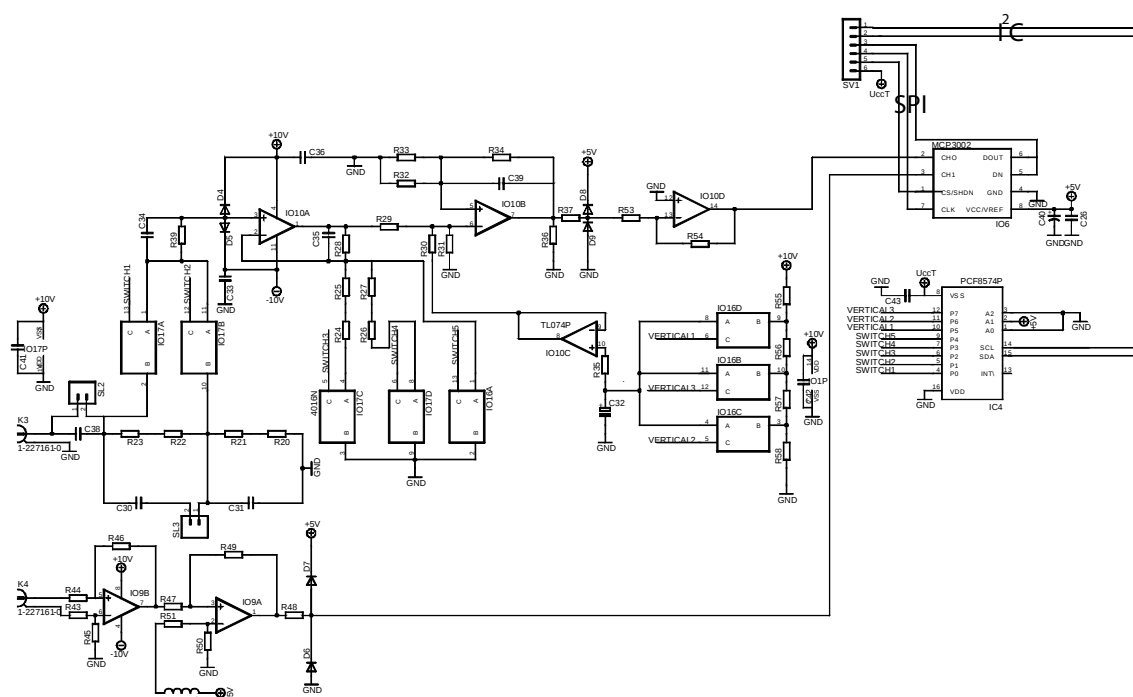
Tento blok je realizován integrovaným obvodem 74HCT573, což je vlastně posuvný registr typu PIPO, reprezentovaný klopnými obvody typu D. Do budoucna se zde počítá s tím, že by se místo tohoto obvodu mohl zasouvat modul, který by obsahoval integrovaný převodník úrovní z RS323 na TTL (např.: MAX232), umožňující měřit logické úrovně na lince RS232.



Obr. 3 Zapojení expandoru a posuvného registru

2.5 Bloky osciloskopu

Bloky osciloskopu se skládají ze vstupních obvodů, řídicích obvodů a A/D převodníku. Osciloskop je dvoukanálový, z toho jeden kanál je diferenční, což lépe eliminuje vstupní rušení (rušivé signály na diferenčních vstupech se navzájem odečítají). Na druhém kanálu je měření prováděno proti zemi. Ten je navíc vybaven přepínačem zesílení 1:5, 1:1, 10:1, 25:1 a vertikálním posunem. Přepínání a posun je řízen pomocí bloku řídicích obvodů.



Obr. 4 Schéma celého bloku osciloskopu

2. 5. 1 Vstupní obvody

Pokud by signál na vstupu osciloskopu byl příliš malý převod pomocí A/D převodníku by byl značně nepřesný, což by způsobilo velmi zkreslené zobrazení signálu. Taktéž by mohl signál zasahovat některou svou částí mimo rozsah A/D převodníků. Z tohoto důvodu obsahují vstupní obvody osciloskopu operační zesilovače s nastavitelným zesílením. Jedná se o klasická zapojení operačních zesilovačů. Dále vstupní obvody obsahují jeden atenuátor v poměru 1:5 a přepínač stejnosměrného a střídavého vstupního napětí.

Jako první člen na cestě vstupního signálu je kondenzátor přemostěný pin-lištou SL2. Jsou-li kontakty lišty nespojeny, kapacita má velmi vysokou impedanci pro nízké kmitočty řádově v jednotkách Hz a velmi nízkou impedanci pro vyšší kmitočty. Chceme-li tedy měřit velmi nízké kmitočty tyto kontakty musí být spojeny. Dále následují integrované spínače IO17A a IO17B a odporový dělič. Je-li sepnut spínač IO17A a IO17B rozepnut je tento dělič vyřazen a signál pokračuje dále v nezměněné podobě. Je-li tomu naopak (IO17A rozepnutý a IO17B sepnutý) je do cesty signálu vložen odporový dělič (R20 a R23), na jehož výstupu je signál pětkrát zeslabený.

Následuje neinvertující zapojení operačního zesilovače IO10A (TL074D) jehož vstup chrání diody D1 a D2 (1N4148). Přepínače IO17C a IO17D reprezentované částí integrovaného obvodu 4016 přepínají zesílení tohoto obvodu následovně:

- IO17C a IO17D rozepnut a IO16A sepnut, zesílení operačního zesilovače je rovno jedné a signál je nezměněn oproti původnímu
- IO17C sepnut, IO17D rozepnut a IO16A rozepnut, jsou do zapojení OZ zařazeny odpory R24 (470Ω) a R25 (56 Ω) a vstupní signál je 10krát zesílen oproti své původní úrovni
- IO17C rozepnut, IO17D sepnut a IO16A rozepnut, jsou do zapojení OZ zařazeny odpory R26 (180Ω) a R27 (15 Ω) a vstupní signál je 25krát zesílen oproti své původní úrovni.

Tato úvaha vychází ze základního vztahu pro výpočet zesílení neinvertujícího zapojení operačního zesilovače:

$$A = 1 + \frac{R_{\text{výstupní}}}{R_{\text{vstupní}}} . \quad (2.1)$$

Například pro zesílení signálu v poměru 10:1 musí být podíl výstupního odporu ku vstupnímu roven 9:

$$A = 1 + \frac{R_{28}}{R_{24} + R_{25}} = 1 + \frac{4700}{470 + 56} = 1 + 8,94 \cong 10. \quad (2.2)$$

Jako poslední člen na cestě vstupního signálu je sumační zapojení operačního zesilovače, které přičítá ke vstupnímu signálu stejnosměrné kladné napětí, zvolené uživatelem v obslužném programu běžícím na připojeném PC. Napětí je na vstup sumátoru přivedeno z odporového děliče R55-R59, na kterém je ve stejném poměru rozděleno napětí 10V.

2. 5. 2 Blok Řídících obvodů

Funkci přepínání zesílení měřeného vstupního signálu obstarává taktéž expandor PCF8574 (podobně jako v části logického analyzátoru) řízený přes I²C sběrnici. Do něho vstupuje osmibitová informace z mikrokontroleru o tom, které z pěti spínačů pro nastavení zesílení a který ze tří spínačů pro nastavení vertikálního posunu, mají být sepnuty. Spínání je realizováno pomocí integrovaných obvodů 74HCT4016.

V tomto případě má expandor funkci sérioparalelního převodníku, kdy vstupní informaci z mikrokontroleru převádí na paralelní a ta je k dispozici na jeho osmi vývodech P0 – P7. (Případná komunikace je naznačena na obrázku v kapitole 3.1.1.3.)

Adresa pro komunikaci přes I²C sběrnici toho expandoru je 0111010, znamená to, že vývody A0 a A2 jsou spojené se zemí a vývod A1 je připojen na U_{ref2} (5V).

Výstupy expandoru P0 až P7 jsou připojeny na řídicí vstupy C0 – C3 dvou spínacích integrovaných obvodů 4016.

2. 5. 3 A/D převodník

Tento blok obsahuje integrovaný obvod MCP3002. Jedná se o dvoukanálový 10bitový A/D převodník s SPI rozhraním. Obvod pracuje jako sériový aproximační registr spojený s D/A převodníkem. V této architektuře je vzorek vstupního napětí uložen na kondenzátoru v zabudovaném obvodu S/H. Vzorkování probíhá po dobu 1,5 hodinového cyklu CLK po příjmu start-bitu. Následně se spínač rozpojí a produkuje se 10bitový výstupní kód. Vývody CH0 a CH1 jsou analogové vstupy jednotlivých kanálů. Pro zahájení převodu a pro synchronizaci vysílaných respektive přijímaných dat slouží

vývod CLK. D_{in} slouží pro příjem vstupních konfiguračních dat, které stanovují aktivní kanál, jeho režim a způsob vysílání dat. Pro vysílání výsledku převodu slouží vývod D_{out} , jehož bity se mění se sestupnou hranou CLK.

Výstupní digitální kód produkovaný na výstupu D_{out} je závislý na velikosti vstupního napětí a na velikosti připojeného referenčního napětí U_{ref} . V případě že je výstupní napětí menší než nula je vrácen kód \$000, naopak je-li vyšší než $U_{ref} - 1\text{LSB}$ je vrácen výstupní kód \$3FF. Platí to i v diferenčním režimu, kde se ale napětí uvažuje mezi vstupy.

Výstupní digitální kód (MSB – LSB) je dán vztahem:

$$\text{výstupní kód} = \frac{1024}{U_{ref}} U_{vst} \quad (\text{MBS} \dots \text{LSB}). \quad (2.3)$$

Bude-li tedy vstupní napětí například 2,5 Voltu a referenční napětí 5 Voltů, bude převod pomocí předchozího vztahu vypadat následovně:

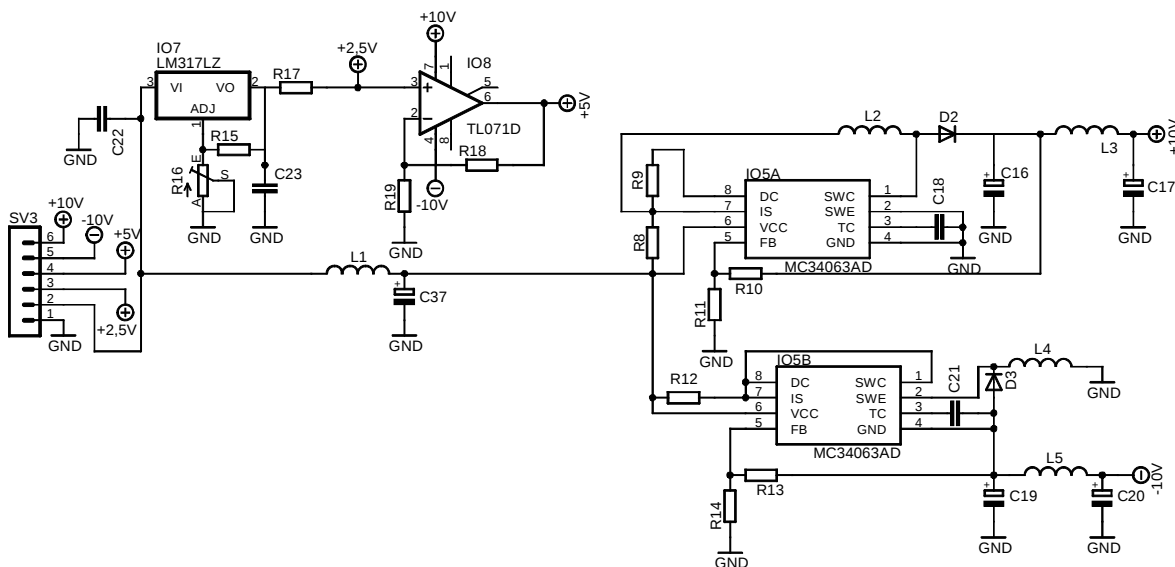
$$\text{Výstupní kód} = \frac{1024}{5} 2,5 = 512_D \Rightarrow 1000000000_b \quad (\text{MBS} \dots \text{LSB}). \quad (2.4)$$

Binární slovo vypočtené výše bude odesílat D/A převodník mikrokontroleru pomocí níže popsaného přenosu SPI standardu.[8]

Obvod MCP3002 byl vybrán z důvodu jeho přesnosti, také kvůli možnosti komunikace přes rychlý kanál SPI a jeho přijatelné ceně.

2. 6 Blok napájecího a referenčního zdroje

Celá deska je napájena přes rozhraní USB z počítače, aby nebyl překročen maximální stanovený proud USB sběrnice je na začátku napájecího bloku součástka typu polyswitch hodnoty 500mA, která je v obr. 12 označená jako F1.



Obr. 5 Schéma zapojení napájecího a referenčního zdroje

Operační zesilovače typu TL071, TL072, TL074 potřebují ke své správné funkci symetrické napájecí napětí +10V a -10V. Proto je napětí ze sběrnice USB vedeno na integrované DC/DC měniče IO5A a IO5B (MC34062), kde je na tyto potřebné hodnoty konvertováno.

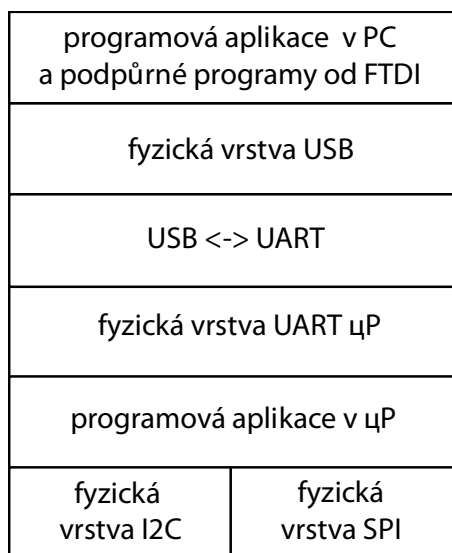
Obvod MC34063 obsahuje vnitřní teplotně kompenzovaný referenční zdroj, komparátor, oscilátor s šířkovou modulací a obvodem proudového omezení, budič a výstupní spínač pro vysoké proudy.

D/A převodník IO6 (MCP3002) potřebuje k převádění napětí na číselnou referenční napětí +5V, které zajišťují obvody IO7 a IO8, kde je napětí ze sběrnice USB nejprve stabilizováno na přesnou hodnotu 2,5V pomocí integrovaného stabilizátoru LM317L a poté pomocí neinvertujícího zapojení operačního zesilovače TL071 násobeno dvakrát na referenční hodnotu 5V.

Kvůli odstranění vzniku rušivých napětí produkovaných do počítače jsou v bloku napájecího a referenčního zdroje zařazeny tlumivky L1 až L5.

3 Komunikační část a programová obsluha měřící desky

Celková komunikace probíhá podle zjednodušeného vrstevného komunikačního modelu uvedeného na obr. 6, z něhož je vidět, že byla potřeba vlastnoručně napsaným programem ošetit dvě vrstvy – programovou aplikaci v PC a programovou aplikaci v μ P.



Obr. 6 Vrstvový komunikační model

Před konkrétní použitím obvodu FT232BM ve vlastním programu bylo zapotřebí naprogramovat přídatnou paměť EEPROM. Programování bylo provedeno utilitou FTD2XXST.EXE, která je obsahem programové podpory firmy FTDI.

3. 1. Komunikace mezi mikrokontrolérem ATMEL Tiny 2313 a ostatními obvody

3. 1. 1 Komunikace mikrokontroleru s USB konvertorem pomocí linky UART

Vysílání nebo přijímání znaku po lince UART u mikrokontroleru AVR ATTiny2313 zabezpečují čtyři registry: UCSRA, UCSRB, UCSRC, UBRR. Nejdůležitější je správné nastavení komunikační rychlosti (musí být stejné jako na straně obvodu FT232BM). Nastavení jednotlivých registrů je vidět ve zdrojovém kódu, vypsaném v příloze 3a. Vysílání znaku, po načtení souboru stdio.h, obsahující standardní i/o funkce, lze poté zabezpečit příkazem zapsaným v jazyku C:

getchar (x),

kde *k* je znak který se bude vysílat. Naopak pro příjem znaku slouží příkaz:

x=putchar().

Vysílání nebo přijímání znaku na straně obvodu FT232BM je také otázkou jednořádkového příkazu, pro odeslání znaku :

FT_Write(ftHandle,&x, &o,&d)

a

FT_Read(ftHandle,&x, &o,&d)

pro příjem znaku. Vysílaný nebo přijímaný znak je uložen v proměnné *x*, *o* označuje počet přenášených bajtů a *d* vrací skutečný počet přenesených bajtů.

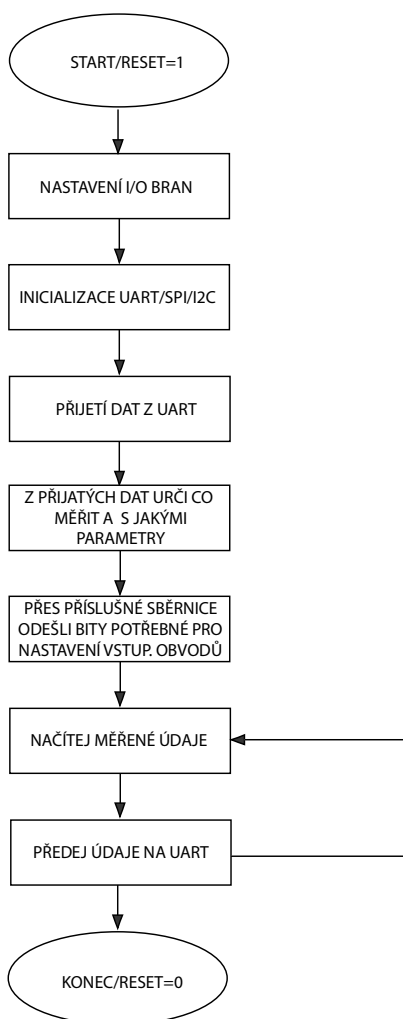
Zde je ale předtím také nutné správně nastavit přenosovou rychlost a to příkazem:

FT_SetBaudRate(ftHandle,57200)

[3], [14].

3. 1. 2. Aplikační program pro mikrokontrolér ATTiny2313

Při spuštění procesu měření, zasílá počítačová aplikace požadavek měřící desce o naměřené hodnoty. Obslužný program v mikrokontroleru zahájí měření podle vývojového diagramu.



Obr. 7 Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér ATTiny2313

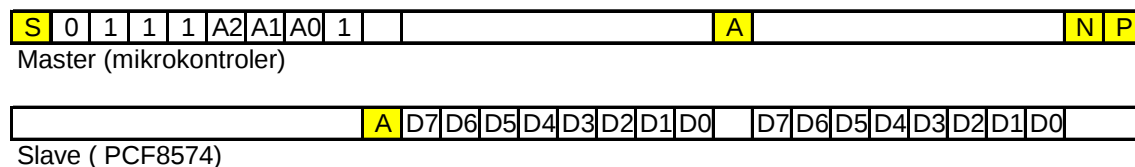
Program byl napsaný v jazyku C a přeložený do assembleru pomocí software CodeVisionAVR C, kompletní zdrojový kód je uveden v příloze 3a.

3. 1. 3. Komunikace mikrokontroleru s okolními bloky pomocí I²C sběrnice

Na vývody PB3 a PB4 jsou připojeny linky SDA a SCL sběrnice I²C, pomocí které mikrokontrolér komunikuje s blokem logického analyzátoru a s částí vstupních obvodů osciloskopu.

I²C sběrnice je dvou vodičová obousměrná sériová sběrnice vytvořená firmou Philips Semiconductors určena pro komunikaci jednočipových procesorů s podřízenými obvody. Linka SDA slouží pro přenos sériových dat a SCL představuje hodinový signál. Pokud je na sběrnici I2C připojeno více než jedno zařízení musí být obě linky SDA a SCL připojeny pomocí pull-up rezistorů (tzv. zvyšovacích rezistorů) ke kladnému pólu napájecího napětí. V průběhu jednoho hodinového cyklu je přenesen právě jeden datový bit. K označení začátku a konce přenosu slouží STAR (S) a STOP (P) bit. Každých přijatých osm bitů musí být přijímačem potvrzeno ACK bitem, což představuje log. 0 na lince SDA přijímače při potvrzovacím hodinovém impulzu [8].

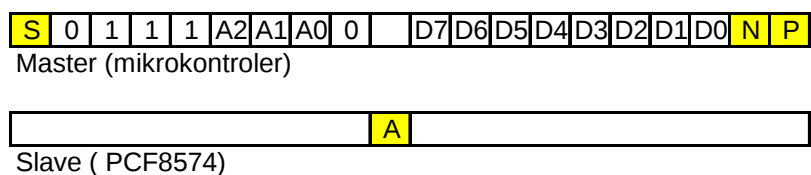
3. 1. 3. 1 Protokol komunikace mezi expandorem (umístěného ve vstupní části analyzátoru) a mikrokontrolerem



Obr. 8 Protokol komunikace zařízení přes I₂C sběrnici při načítání dat z expandoru do mikrokontroleru

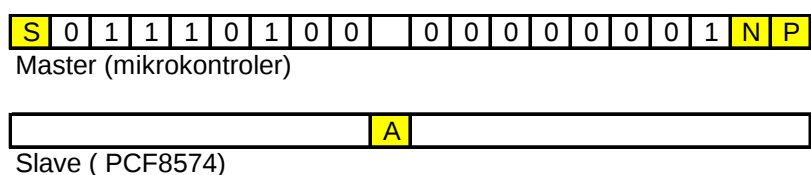
Na obr. 5 je ukázka rámců vysílaných při komunikaci po sběrnici I2C mezi zařízením master (v našem případě mikrokontrolér ATtiny2313) a slave (expandor PCF8574A). Zařízení typu master vyšle START bit za kterým následuje adresa obvodu, ta je částečně daná výrobcem a částečně volitelná. Bity A2 A1 A0 na obr. 5 jsou volitelné pomocí vývodů jedna až tři na pouzdru obvodu PCF8514A. Tyto vývody jsou uzemněny, adresa expandoru je tedy 01110001. Poslední adresní bit (log. 1) značí, že jde pouze o vysílač, nyní tedy mikrokontroler pouze naslouchá na sběrnici a stahuje data. Slave tuto adresu potvrdí ACK bitem a následně začne odesílat datový bajt jehož jednotlivé bity D7 – D0 představují konkrétní logickou úroveň na daném vstupu logického analyzátoru v daný okamžik. Master každý přijatý datový bajt potvrdí signálem ACK. Odesílání datových rámců se opakuje do doby dokud master nezastaví komunikaci na základě podnětu z obslužného programu, běžícího na připojeném PC. Komunikaci master ukončí vysláním N bitu a následně příkazem STOP (P bitem).

3. 1. 3. 2 Protokol mezi expandorem (umístěného ve vstupní části osciloskopu) a mikrokontrolerem



Obr. 9 Protokol komunikace zařízení přes I²C sběrnici při zápisu dat z mikrokontroleru (master) do expandoru (slave)

Komunikace je obdobná jako v případě bloku logického analyzátoru, s tím rozdílem, že zde se chová expandor jako výstupní člen což mu mikrokontroler přikazuje v posledním bitu prvního rámce obr. 10, tedy logická nula za volitelnou částí adresy (A2 – A0). Platnou adresu expandor potvrdí bitem ACK a za ním začne master vysílat jednotlivé výstupní bity. Bit D7 pak odpovídá vývodu P7 na pouzdru PCF8574, D6 vývodu P6 atd. Obr. 11 zobrazuje konkrétní příklad pro sepnutí prvního ze čtyř spínačů vstupního zesílení osciloskopu) [12].



Obr. 10 Protokol komunikace zařízení přes I²C sběrnici při zápisu konkrétních dat z mikrokontroleru (master) do expandoru (slave)

Část programu, obsluhující I2C sběrnici pro mikrokontroler využívá již vytvořených funkcí, jejichž prototypy jsou zapsány v souboru *i2c.h*. Tento soubor byl načten do celkového kódu obslužného programu, pomocí příkazu `#include <i2c.h>`. Před načtením této hlavičky bylo ale ještě potřeba deklarovat, na kterých portech mikrokontroleru bude I2C sběrnice přístupna.

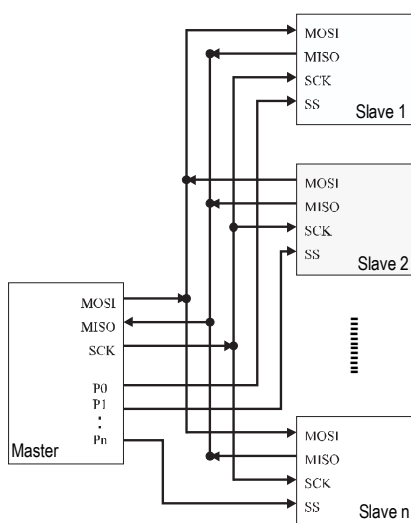
Celkem bylo použito všech pět funkcí, pro obsluhu I2C sběrnice: [14]

- funkce pro inicializaci sběrnice: `void i2c_init(void)`
- funkce generující START komunikace: `unsigned char i2c_start(void)`
- funkce generující STOP komunikace: `void i2c_stop(void)`
- funkce pro čtení se sběrnice: `unsigned char i2c_read(ack)`
- funkce pro zápis dat: `unsigned char i2c_write(unsigned char data)`

Konkrétní použití těchto funkcí, např. podle obr. 17, je k vidění v příloze 3.

3. 1. 4 Komunikace mikrokontroleru s blokem osciloskopu pomocí sériového kanálu SPI

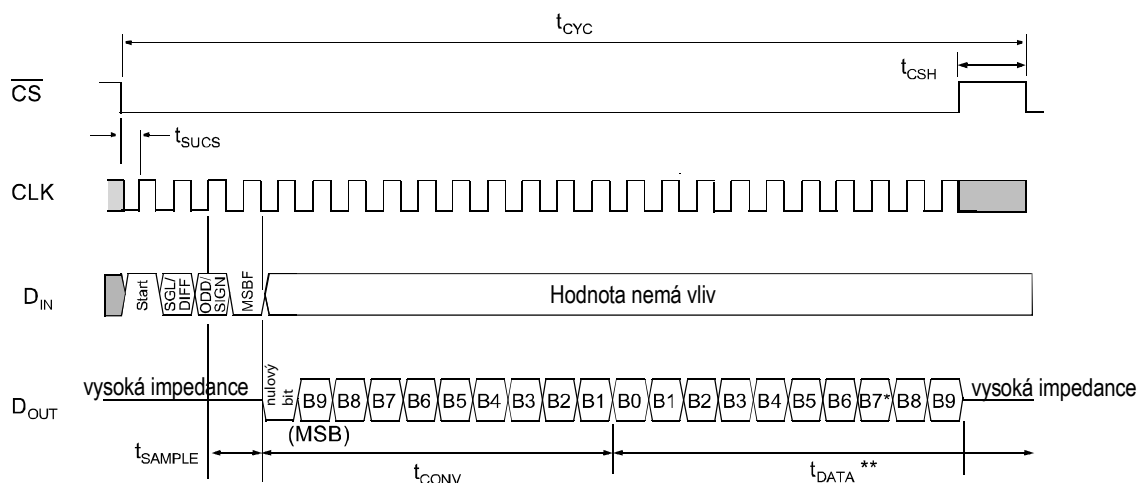
Jednoduchou seriovou sběrnici SPI (Seriál Peripheral Interface), kterou vytvořila firma Motorola, zajišťuje plně duplexní vysokorychlostní přenos dat mezi mikrokontrolerem a periferním zařízením, u mikrokontroleru ATtiny2313 se používá hlavně pro sériový download. Velkou předností SPI je přenosová rychlost, která může dosahovat až 2Mb/s.



Obr. 11: Bloky master a slave v zapojení dle standardu SPI

Komunikace probíhá vždy mezi Masterem a jedním ze zařízení Slave. Signálové linky MISO a MOSI jsou pro všechny zařízení společné s tím, že každý obvod Slave má vstup SS (Slave Select) pro výběr obvodu. Je-li SS v neaktivní úrovni, je rozhraní SPI daného obvodu neaktivní a jeho výstup MISO je ve vysokoimpedančním stavu. Vstupy SS jednotlivých obvodů jsou samostatnými vodiči propojeny s obvodem Master.

Na portech mikrokontroleru PB5, PB6, PB7 a PB0 je připojen A/D převodník MCP3002. Přenos začíná sestupnou hranou hodinového sigálu CS*/SHDN. START bit představuje první jedničkový bit na vodiči D_{in} synchronizovaný impulsem CLK. Dále následuje SGL/DIFF (určuje režim vstupu) a ODD/SING (vybírání kanál v SE režimu nebo určuje polaritu pseudodiferenčním režimu). Poslední je bit MSBF, jelí v logické jedničce je přenos dat na D_{out} vysílán od MSB bitu, je-li v logické nule vyšlou se data ve formátu MSB až LSB a pak LSB až MSB. Tento konfigurační bajt je zobrazen na obr. 17 v následující kapitole a lze ho i vypočítat z níže uvedeného diagramu.



Obr. 12 Komunikace obvodu MCP3002 dle standardu SPI s použitím formátu MSBF=0

Pro obsluhu SPI sběrnice je také v CodeVisionAVR příslušná knihovna, obsahující definici funkce `unsigned char spi(unsigned char data)`, která vysílá byte a současně byte přijímá od zařízení slave. Tato knihovna obsahovala pro použitý mikrokontroler značné chyby, proto nahrazena funkční alternativou přímo pro mikrokontroler ATtiny2313 [17]. Byl tedy vytvořen nový hlavičkový soubor `spi_attiny2313.h` obsahující tělo této funkce. Komunikaci po sběrnici SPI tedy zabezpečují následující příkazy:

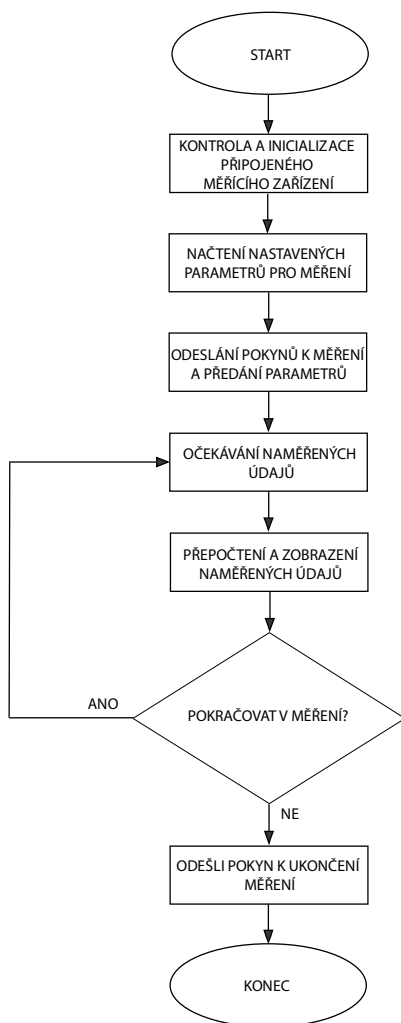
```
PORTB.0 = 0;
fromslave1 = spi_master(0xf0);
PORTB.0 = 1;
putchar(fromslave1);,
```

kde, první a třetí řádek zabezpečuje aktivaci a deaktivaci A/D převodníku MCP3002 (Slave Select), druhý řádek využívá již zmíněné funkce pro SPI sběrnici a poslední řádek odesílá načtený byte přes linku UART.

3. 2. Komunikace mezi PC a obvodem FT232BM

3. 2. 1. Obslužná aplikace

Počítačová aplikace, pracující podle níže uvedeného vývojového diagramu na obr.13, komunikuje s přístrojem přes rozhraní USB a provádí vyhodnocování a zobrazování naměřených údajů. Aplikace byla vytvářena ve vývojovém prostředí Turbo C++.

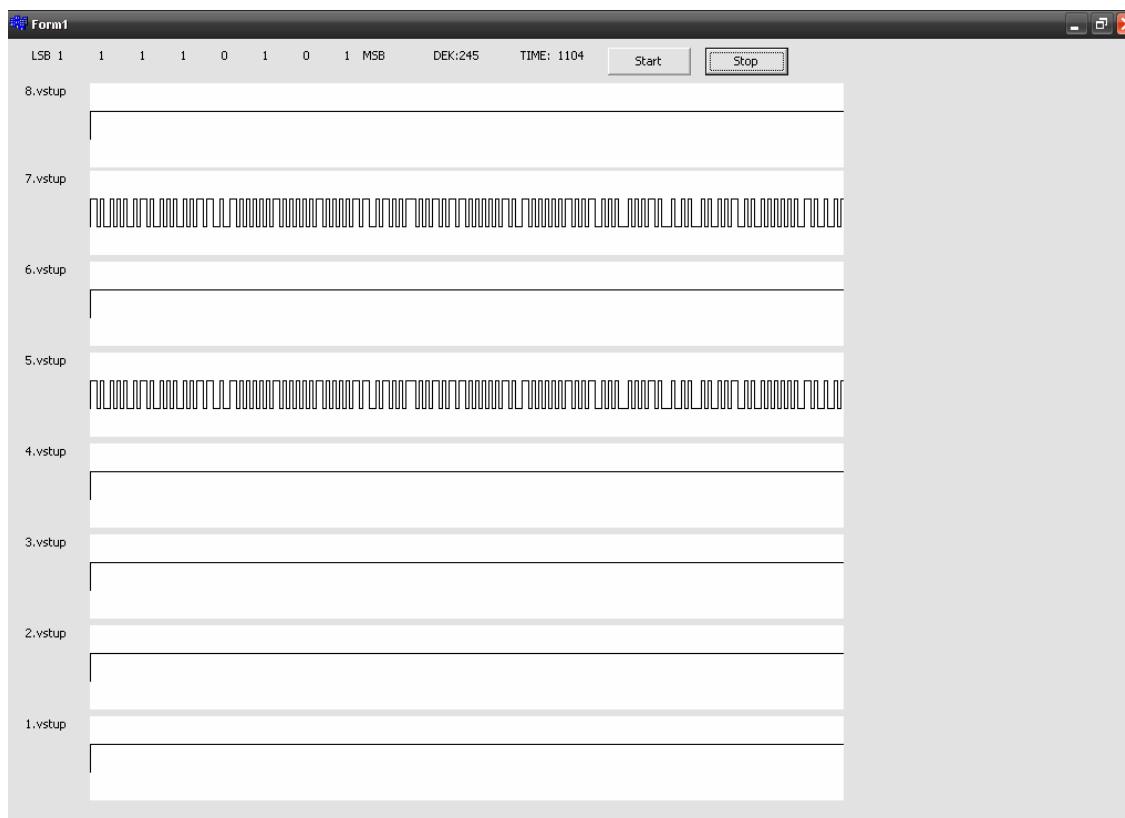


Obr. 13: Vývojový diagram obslužné aplikace pro PC

Program umožňuje dvě základní funkce:

- měření analogových signálů
- měření číslicových signálů (obr. 14).

Zdrojový kód v jazyku C++ je uveden v příloze.

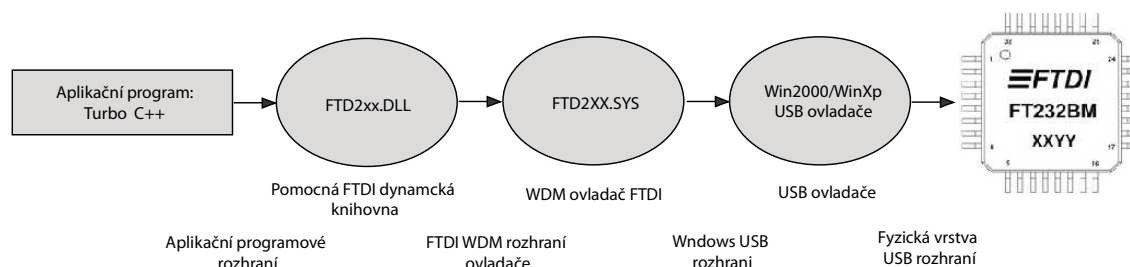


Obr. 14 Program při zobrazování logického signálu přivedeného na 5. a 7. vstup LA

3. 2. 2. Klasické funkce

Základní možnosti přístupu k obvodu FT232BM zajišťují funkce zapsané v jazyku C++ Pomocí funkcí FT_OPEN a FT_OPENx se získá jako první handle¹ zařízení. Poté je možno zasílat a číst data funkcemi FT_Write a FT_Read. Po dokončení operací se zařízením se používá funkce FT_Close [3]. Použití těchto funkcí lze vidět ve zdrojovém kódu obslužného programu v příloze 3b.

3. 2. 3. Architektura obslužného rozhraní



Obr. 15: Struktura komunikace mezi PC a obvodem FT232BM

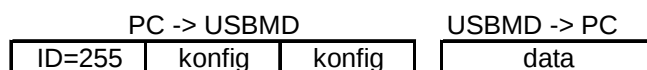
¹ v programování označuje pomocný objekt bez známé vnitřní struktury, který reprezentuje nějaký složitější objekt spravovaný cizím kódem

Zde je použit přímý ovládač D2XX pro Windows, který umožňuje aplikačnímu programu komunikovat s FT232BM pomocí kódu uloženého v dynamické knihovně (DLL). D2XX obsahuje WDM ovladač (FTD2XX.SYS), který komunikuje s zařízením přes Windows USB zásobník a DLL (FTD2XX.DLL), která je rozhraním pro obslužný aplikační program. Tento programový celek je součástí softwarové podpory společnosti FTDI.

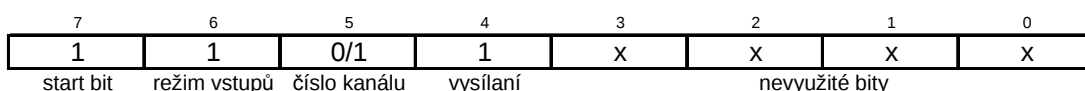
3. 2. 4. Komunikační protokol

Komunikace mezi počítačem a měřicí kartou probíhá pomocí dvou příkazů. Jedná se o jedno bajtové a tři-bajtové rámce dat obsahující identifikační znak příkazu a data pro jeho provedení.

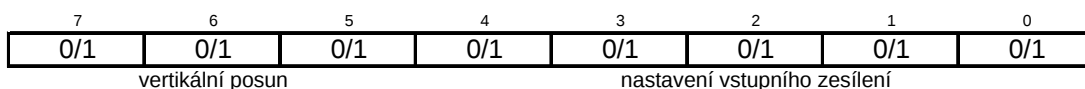
Pro měření pomocí osciloskopu se nejdříve vyšle první bajt obsahující číslo příkazu (ID=255), druhý a třetí bajt obsahuje konfigurační bity uložené ve dvou proměnných (význam první proměnné na Obr. 17 je popsán v kapitole 3.1.4, význam druhé proměnné na obr. 18 popisuje tab.1 pomocí nichž se určuje kanál osciloskopu, v případě použití kanálu, měřicího signál proti zemi, obsahuje i třetí-bajt nastavení vstupního zesílení a hodnotu stejnosměrného napětí, sloužící k vertikálnímu posunu měřeného signálu (viz obr.18 a tab. 1). Mikrokontrolér cyklicky vrací zpět jeden bajt převodu napětí z A/D převodníku.



Obr. 16: Reprezentace příkazu ID=255 a jedno-bajtové skupiny dat



Obr. 17: První konfigurační bajt příkazu ID=255



Obr. 18: Druhy konfigurační bajt příkazu ID=255

Tab. 1: Poměry vstupního zesílení a jejich binární zastoupení

čísla bitů rámce = čísla spínaču					poměr zesílení
4	3	2	1	0	
1	0	0	0	1	1:1
1	0	0	1	0	10:1
0	0	1	0	1	1:10
0	1	0	1	0	1:25
0	1	0	0	1	1:2,5

Tab. 2 Hodnoty vertikálních posunů a jejich binární zastoupení

čísla bitů rámce			vertikální posun [V]
7	6	5	
0	0	1	2,5
0	1	0	5
1	0	0	7,5

Komunikace při měření logickým analyzátozem probíhá obdobným způsobem. Nyní příkaz sekvenčně snímá data z osmi vstupů expandoru PCF8574. Opět se tedy vyšle kód příkazu (ID=127) a očekávají se datové bajty.



Obr. 19 Reprezentace příkazu ID=127 a bajtové skupiny dat

5 Závěr

Návrh měřicí desky obsahující osmi-kanálový logický analyzátor a dvou-kanálový osciloskop je pouze jedním z mnoha hardwarových řešení těchto nepostradatelných laboratorních měřidel.

Nejdříve bylo vytvořeno blokové schéma s konkrétním upřesněním funkcí jednotlivých funkčních celků (bloků), poté bylo potřeba vybrat vhodné součástky, které by tyto bloky realizovaly a byly spolu navzájem kompatibilní. Následovala realizace tištěných spojů, osazení a oživení jednotlivých větších blokových celků a dále pak návrh obslužných programů a formy komunikace mezi jednotlivými bloky.

Podářilo se mi zprovoznit jednotlivé blokové celky a komunikaci mezi nimi. Postupně byly vytvořeny menší programy pro PC a pro ATTiny2313 pomocí nichž byla testována komunikace mezi jednotlivými bloky. Na základě poznatků z tohoto testování byl vytvořen kompletní program pro ATTiny2313 a část programu pro PC, zaznamenávající digitální signál na vstupech expandoru PCF8574. Z důvodu velké časové náročnosti této práce se mi nepodařilo návrh zprovoznit jako celek. Zbývalo dopsat kompletní program pro PC (ovládací a načítací část pro osciloskop) a oživit poslední desku se vstupními obvody.

Pokud by se tento návrh povedlo zcela realizovat a plně zprovoznit, jeho velkými přednostmi by byly nízké výrobní náklady (asi 800Kč) a kompatibilita s velmi rozšířenou sběrnici USB.

Seznam obrázků a příloh

Seznam obrázků

Obr. 1: Blokové schéma měřící desky	11
Obr. 2: Schéma zapojení obvodu FT232BM s EEPROM a ATtiny2313 s vyvedenými sběrnicemi	12
Obr. 3 Zapojení expandoru a posuvného registru	14
Obr. 4 Schéma celého bloku osciloskopu	15
Obr. 5 Schéma zapojení napájecího a referenčního zdroje	19
Obr. 6 Vrstvový komunikační model	20
Obr. 7 Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér ATtiny2313	22
Obr. 8 Protokol komunikace zařízení přes I ² C sběrnici při načítání dat z expandoru do mikrokontroleru	23
Obr. 9 Protokol komunikace zařízení přes I ² C sběrnici při zápisu dat z mikrokontroleru (master) do expandoru (slave)	24
Obr. 10 Protokol komunikace zařízení přes I ² C sběrnici při zápisu konkrétních dat z mikrokontroleru (master) do expandoru (slave)	24
Obr. 11: Bloky master a slave v zapojení dle standardu SPI	25
Obr. 12 Komunikace obvodu MCP3002 dle standardu SPI s použitím formátu MSBF=0	26
Obr. 13: Vývojový diagram obslužné aplikace pro PC	27
Obr. 14 Program při zobrazování logického signálu přivedeného na 5. a 7. vstup LA..	28
Obr. 15: Struktura komunikace mezi PC a obvodem FT232BM	28
Obr. 16: Reprezentace příkazu ID=255 a jedno-bajtové skupiny dat	29
Obr. 17: První konfigurační bajt příkazu ID=255	29
Obr. 18: Druhy konfigurační bajt příkazu ID=255	29
Obr. 19 Reprezentace příkazu ID=127 a bajtové skupiny dat	30
Obr. 20: Deska plošných spojů řídicí části měřící desky – pohled zezadu (ze strany SMD součástek)	38
Obr. 21: Deska plošných spojů řídicí části měřící desky – pohled ze předu	38
Obr. 22: Deska plošných spojů řídicí části měřící desky – osazení SMD součástek	38
Obr. 23: Deska plošných spojů řídicí části měřící desky – osazení součástek v klasických pouzdrech	39

Obr. 24: Deska plošných spojů napájecího zdroje desky	40
Obr. 25: Deska plošných spojů napájecího zdroje desky – osazení SMD součástek	40
Obr. 26: Deska plošných spojů napájecího zdroje desky – osazení součástek v klasických pouzdrech.....	40
Obr. 27: Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicí desky – pohled zepředu	41
Obr. 28: Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicí desky – pohled zezadu.....	41
Obr. 29: Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicí desky – pohled ze strany SMD součástek.....	42
Obr. 30: Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicí desky – pohled ze strany součástek v klasických pouzdrech	42
Obr. 31 Foto osazené desky řídicí části měřicí desky.....	50
Obr. 32 Foto osazené desky napájecího zdroje.....	50
Obr. 33 Foto osazené desky vstupních periférii	50

Seznam příloh

Příloha 1: Výkresová dokumentace	37
P.1.1 Kompletní schéma zapojení měřicí desky	37
P.1.2 Deska plošných spojů řídicí části měřicí desky	38
P.1.3 Deska plošných spojů napájecího zdroje měřicího přípravku	40
P.1.4 Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicího přípravku.....	41
Příloha 2: Seznam použitých součástek.....	43
Příloha 3a: Zdrojový text programu pro ATtiny2312 v jazyku C	45
Příloha 3b: Zdrojový text prototypu programu pro obsluhu analyzátoru PC v jazyku C++	47
Příloha 4: Poznámky k hardwarové realizaci a foto osazených desek	50

Literatura

- [1] ATTiny2313 – Atmel Data Sheets, Atmel Corporation, U.S.A. URL: <http://atmel.com>
- [2] BURKHARD, Kalinka. *USB - měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2002. 248 s., CD ROM. ISBN 80-7300-073-3.
- [3] D2XX Programmer's Guide. *Programming Guides* [online]. 2006. Dostupný z WWW:
<<http://www.ftdichip.com/Documents/ProgramGuides/D2XXPG34.pdf>>.
- [4] FT232BM – FTDI Data Sheets, Future Technology Devices International, U.K. [on-line], 2005, [cit 10.4.2008]. Dostupné na www: <http://www.ftdichip.com>
- [5] LOSÍK, Václav. *Poznáváme elektroniku VII : Osciloskopy*. 1. české vyd. České Budějovice : KOPP, 2002. 288 s.
- [6] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontrolery : ATMEL AVR*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2003. 376 s., CD ROM. ISBN 80-7300-088-1.
- [7] MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontrolery : ATmega16*. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 320 s., CD ROM. ISBN 80-7300-174-8.
- [8] MATOUŠEK, David. *Udělejte si z PC... 1. díl : Měření, řízení a regulace pomocí sériového portu PC a sběrnice I2C*. 1. vyd. Praha : KOPP, 2002. 176 s. ISBN 80-7300-036-9.
- [9] MATOUŠEK, David. *USB PRAKTICKY s obvody FTDI - 1.díl*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2003. 272 s., CD ROM. ISBN 80-7300-103-9.
- [10] MC34063A – Semiconductor Data Sheet, Semiconductor Components Industrie. [on-line], 2005, [cit 10.4.2008]. Dostupné na www: <http://onsemi.com>

- [11] MCP3002, 93LC46B – Microchip Data Sheets, Microchip Technologay, U.S.A. [on-line], 2007, [cit 10.4.2008]. Dostupné na www: <http://www.microchip.com>
- [12] TDA8444S, PCF8572AT, 4016 – NXP Data Sheets, NXP founded by Philips. [on-line], 2006, [cit 10.4.2008]. Dostupné na www: <http://www.nxp.com/>
- [13] TL071, TL072, TL074, MC34063AD – Texas Instruments Data Sheets, Texas Instruments, U.S.A. [on-line], 2003, [cit 10.4.2008]. Dostupné na www: <http://www.ti.com>
- [14] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontrolery Atmel AVR : Programování v jazyce C*. Praha : BEN-technická literatura, 2006. 216 s., CD-ROM. ISBN 80-7300-102-0.
- [15] VRBA, Kamil, et al. *Analogová technika. Elektronické skriptum*. VUT Brno, 2006. 107 s.
- [16] VRBA, Radimír, et al. *Digitální obvody a mikroprocesory. Elektronické skriptum*. VUT Brno, 2003. 237 s.
- [17] *MCU portál : Diskuze o mikroprocesorech* [online]. 2005 , 26.1.2008 [cit. 2008-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.mcu.cz/news.php?extend.1029.3>>.

Přílohy

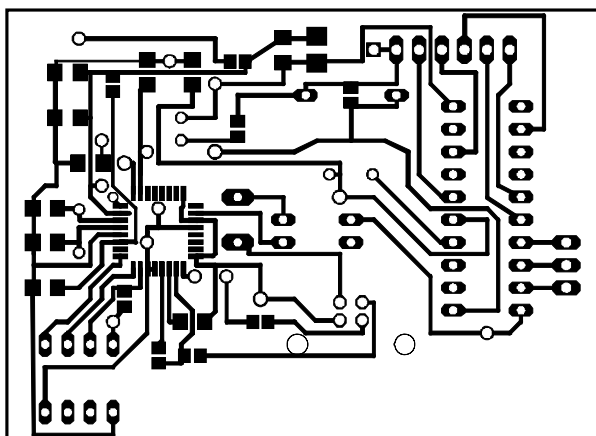
V následujících přílohách jsou uvedena schéma zapojení, desky plošných spojů a foto osazených desek součástkami všech tří částí, ze kterých se hardwarová část měřícího přípravku skládá. Dále je zde soupiska použitých součástek a pár doplňujících poznámek o použitých nástrojích.

Zdrojové soubory vytvořených programů, datasheety použitých integrovaných obvodu, stejně tak jako text bakalářské práce a soubory potřebné pro výrobu matic desek plošných spojů jsou nahrány na přiloženém CD. Obsahuje také fotky vystihující ožívování jednotlivých částí, měření správnosti komunikace komunikačních protokolů, pomoci osciloskopu.

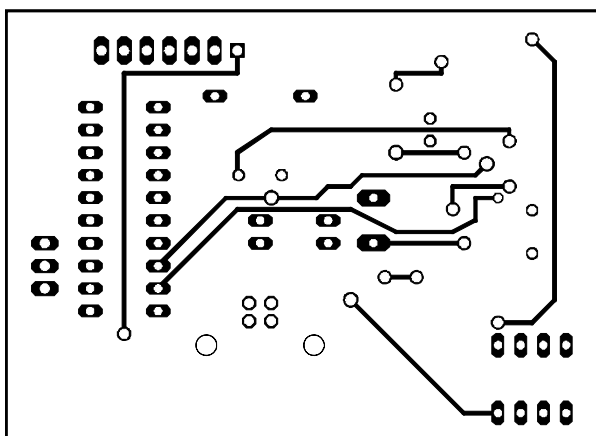
P.1.1 Kompletní schéma zapojení měřící desky



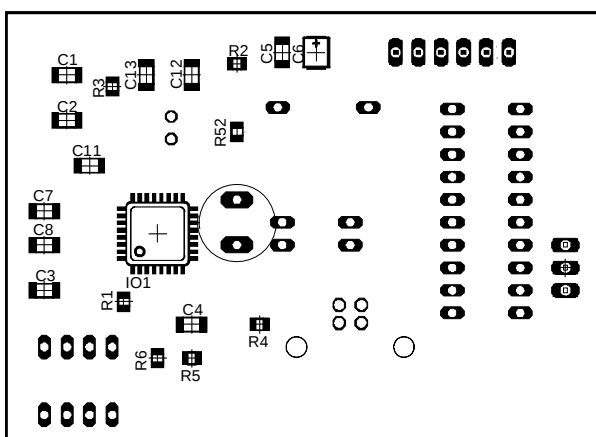
P.1.2 Deska plošných spojů řídicí části měřicí desky



Obr. 20: Deska plošných spojů řídicí části měřicí desky – pohled zezadu (ze strany SMD součástek)

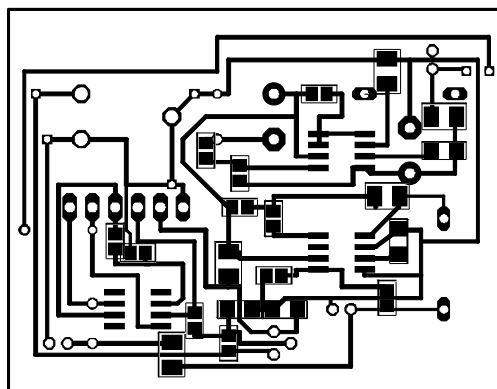


Obr. 21: Deska plošných spojů řídicí části měřicí desky – pohled ze předu

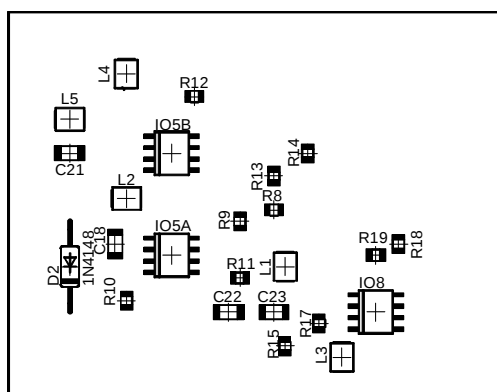


Obr. 22: Deska plošných spojů řídicí části měřicí desky – osazení SMD součástek

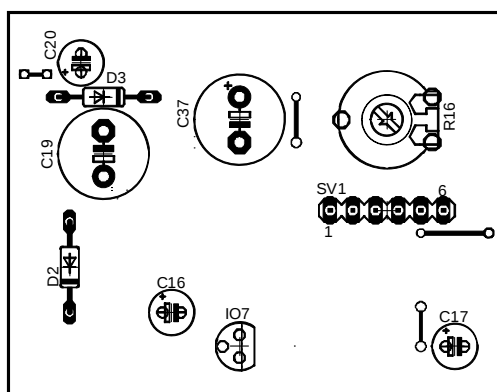
P.1.3 Deska plošných spojů napájecího zdroje měřícího přípravku



Obr. 24: Deska plošných spojů napájecího zdroje desky

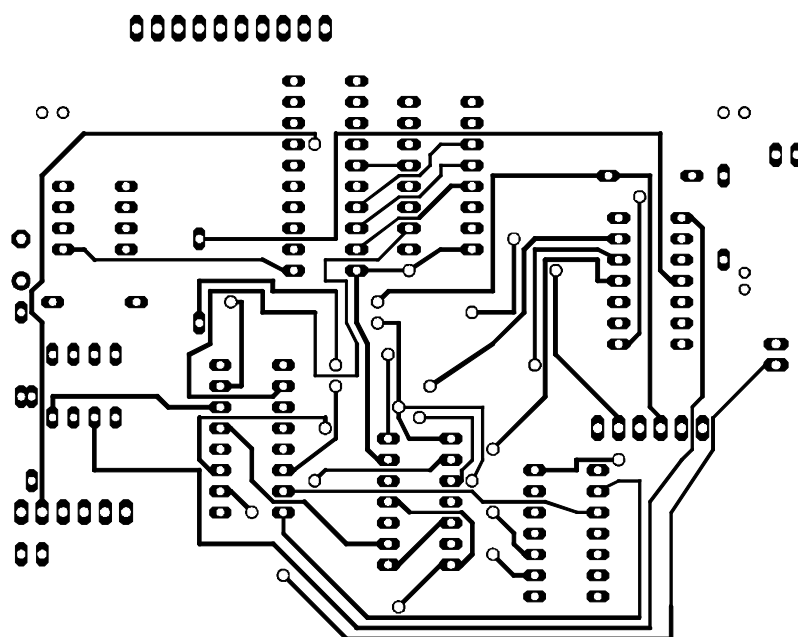


Obr. 25: Deska plošných spojů napájecího zdroje desky – osazení SMD součástek

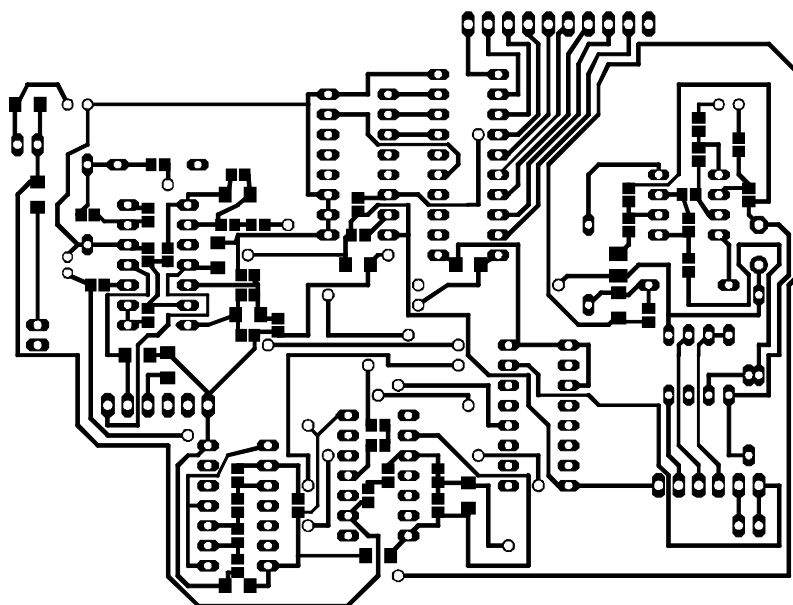


Obr. 26: Deska plošných spojů napájecího zdroje desky – osazení součástek v klasických pouzdech

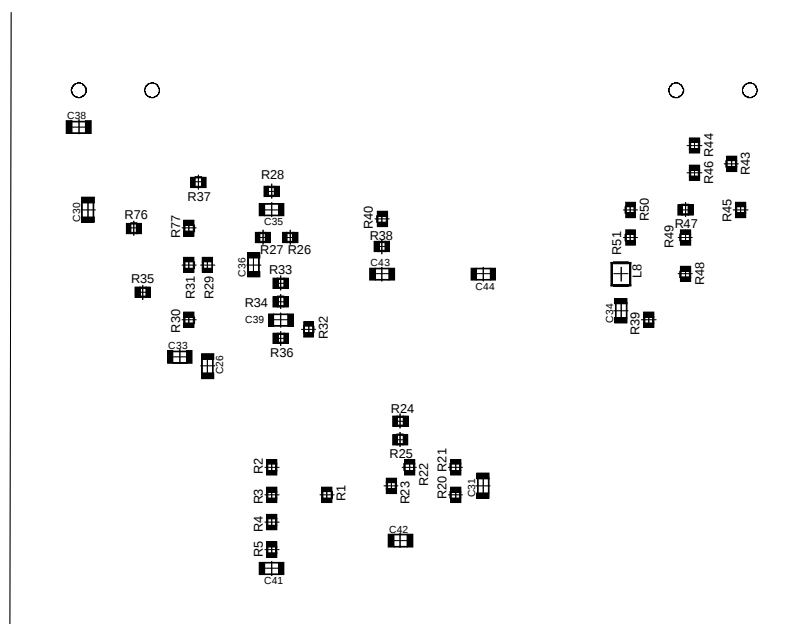
P.1.4 Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicího přípravku



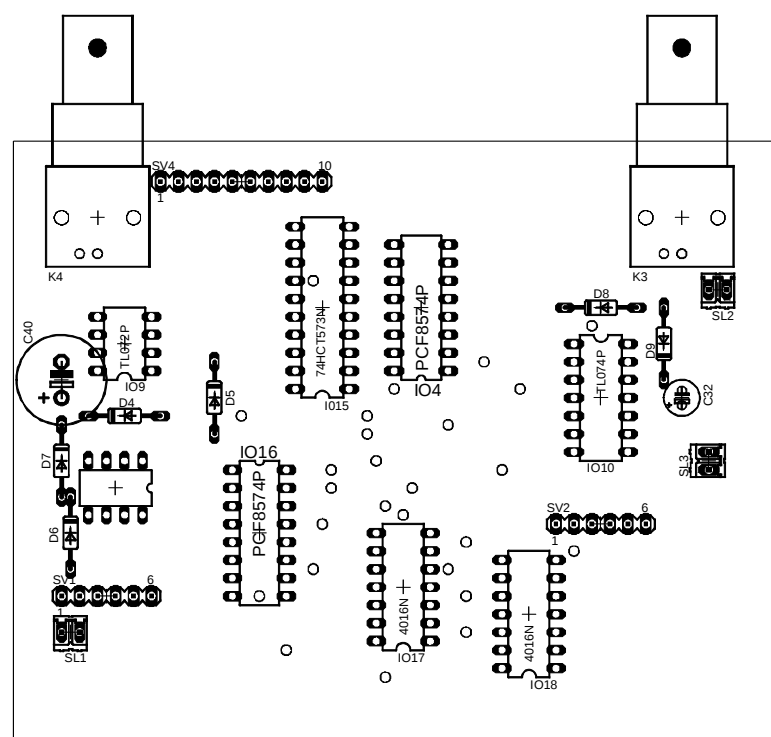
Obr. 27: Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicí desky – pohled zepředu



Obr. 28: Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicí desky – pohled zezadu



Obr. 29: Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicí desky – pohled ze strany SMD součástek



Obr. 30: Deska plošných spojů vstupních obvodů měřicí desky – pohled ze strany součástek v klasických pouzdrech

Příloha 2: Seznam použitých součástek

Tab. 3: Výpis součástek (1. část)

Rezistory			
označení ve schématu	hodnota [Ω]	pouzdro	typ (podle katalogu GM)
R1	2k2	SMD 0805	RR+2k2 SMD
R2, R10, R14	10k	SMD 0805	RR+10k SMD
R3	470	SMD 0805	RR+470 SMD
R4, R5	27	SMD 0805	RR+27 SMD
R6, R11, R13	1k5	SMD 0805	RR+1k5 SMD
R7	100k	SMD 0805	RR+100k SMD
R8, R12	1	SMD 0805	RR+1 SMD
R9	180	SMD 0805	RR+180 SMD
R15, R48, R52	1k5	SMD 0805	RR+1k5 SMD
R16	2K5	-	PT10VK002.5
R17, R43 - R46, R49	100k	SMD 0805	RR+100k SMD
R18, R19, R47, R51	200k	SMD 0805	RR+200kSMD
R20, R21	100k	SMD 0805	RR+100k SMD
R22	120k	SMD 0805	RR+120k SMD
R23	680k	SMD 0805	RR+680k SMD
R24	470	SMD 0805	RR+470 SMD
R25	56	SMD 0805	RR+56 SMD
R25	180	SMD 0805	RR+180 SMD
R27	15	SMD 0805	RR+15 SMD
R28 - R34	4k7	SMD 0805	RR+4k7 SMD
R35, R36	10k	SMD 0805	RR+10k SMD
R37	1k	SMD 0805	RR+1k SMD
R50, R55 - R59	100k	SMD 0805	RR+100k SMD
R38, R40	2k	SMD 0805	RR+2k SMD
Kapacity			
označení ve schématu	hodnota [F]	pouzdro	typ (podle katalogu GM)
C1 - C3, C13 - C15, C33	100n	SMD 1206	CK+100n X7R
C4	33n	SMD 1206	CK+33n X7R
C5	10n	SMD 1206	CK+10n X7R
C6	6 μ 8	-	CK+6 μ 8 X7R
C7, C8, C11, C12	27P	SMD 1206	CK+27P NPO
C41 - C44	100n	SMD 1206	CK+100n X7R
C10, C15, C17, C20	100 μ	-	E 100 μ /10V
C18, C21	1n5	SMD 1206	CK+1n5 X7R
C19, C37, C40	470 μ	-	E 470 μ /16V
C22 - C29	100n	SMD 1206	CK+100n X7R
C30	12P	SMD 1206	CK+12P X7R
C31	47P	SMD 1206	CK+47P X7R
C32	22 μ	-	E 22 μ /10V
C34	100p	SMD 1206	CK+100p X7R
C35, C39	22P	SMD 1206	CK+22P X7R
C36, C38	100n	SMD 1206	CK+100n X7R
Tlumičky			
označení ve schématu	Hodnota [μ H]	pouzdro	typ (podle katalogu GM)
L1, L2, L4	100	-	TL.100 μ H
L3, L5	33	-	TL.33 μ H

Tab. 4: Výpis součástek (2. část)

Diody			
označení ve schématu	Označení	pouzdro	typ (podle katalogu GM)
D1, D4 - D9	1N4148	DO35-10	1N4148
D2, D3	1N5819	DO35-10	1N5819
Tranzistor			
označení ve schématu	Označení	pouzdro	typ (podle katalogu GM)
T1	IRFD9120	TO90	IRFD9120
Integrované obvody			
označení ve schématu	označení	pouzdro	typ (podle katalogu GM)
IO1	FT232BM	QFP-32	FT232BM
IO2	93LC46B	DIL8	93LC46B
IO3	ATTiny2313	DIL20	ATTiny2313
IO4, IO18	PCF8574AT	SO16W	PCF8574AT
IO5A, IO5B	MC34063AD	SO8	MC34063AD
IO6	MPC3002-I/P	DIL8	MPC3002-I/P
IO7	LM317L	TO92	LM317L
IO8	TL071	SO8	TL071
IO9	TL072	DIL8	TL072
IO10	TL074	DIL14	TL074
IO15	74HCT573N	DIL16	74HCT573N
IO16, IO17	74HC4016	SO14	4016
Rezonátory			
označení ve schématu	Hodnota [MHz]	pouzdro	typ (podle katalogu GM)
X1	6	HC 49/S	QM 6.000 HMZ
X2	10	HC 49/S	QM 10.000 HMZ
Konektory			
označení ve schématu	Typ	pouzdro	typ (podle katalogu GM)
K1	USB typu B	-	USB - 1X90B PCB
K2	10ti pinová lišta	-	CAN 15 V 90
K3, K4	BNC do DPS	-	BNC - Z50 RWM
Pojistka			
označení ve schématu	Typ	pouzdro	typ (podle katalogu GM)
F1	RXE050		RXE050

Příloha 3a: Zdrojový text programu pro ATtiny2312 v jazyku C

```
/******  
This program was produced by the  
CodeWizardAVR V1.25.8a Evaluation  
Automatic Program Generator  
© Copyright 1998-2007 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.  
http://www.hpinfotech.com  
  
Project : Universal measuring device for USB interface  
Version : 1.0  
Date   : 20.3.2008  
Author  : Petr Nosek  
Company : Brno University of technology, The Faculty of Electrical Engineering and Communication  
  
Chip type      : ATtiny2313  
Clock frequency : 10,000000 MHz  
Memory model   : Tiny  
External SRAM size : 0  
Data Stack size : 32  
*****/  
  
#include <tiny2313.h>  
#asm  
    .equ __i2c_port=0x18 ;PORTB  
    .equ __sda_bit=3  
    .equ __scl_bit=4  
#endasm  
#include <i2c.h>           //definice funkce pro obsluhu I2C  
#include <stdio.h>         //definice funkce pro obsluhu UART  
#include <delay.h>         //definice funkcí realizujících zpoždění  
#include <spi_attiny2313.h> //definice funkce pro obsluhu SPI  
  
void osc(void);  
void anlz(void);  
  
void main(void)           //tělo hlavní funkce  
{  
    unsigned char m;       //deklarace proměnné pro výběr měřícího celku  
    // Inicializace UARTU:  
    // Parametry komunikace: 8 Data, 1 Stop, Bez parity  
    // Přijímač a vysílač: zapnut  
    // Rychlost: 57600 Baud  
    UCSRA=0x00;  
    UCSRB=0x18;  
    UCSRC=0x06;  
    UBRRH=0x00;  
    UBRRL=0x0A;  
  
    ACSR=0x80;             // nastavení analog. komparatoru: vypnuto  
  
    //Cim se bude merit? m=255-osciloskop, m=127-analyzator  
    m=getchar();  
    switch(m)  
    {  
        case 255: osc();break;  
        case 127: anlz();break;  
    }  
}  
void osc(void)  
{  
    unsigned int x;  
    float fromslave1,toslave1;  
    spi_init();  
    x=getchar();           //promenná pro konfiguraci vstup. obvodu osc  
    toslave1=getchar();    //promenna pro konfiguraci A/D  
        i2c_init();  
        i2c_start();       //vyšle start bit I2C sběrnice  
        i2c_write(0x40);   //zapisuje řídící slovo s adresou 40(pcf8574) s 0 na konci --> zápis  
        i2c_write(x);      //zapisuje slovo určující hodnoty výstupů na pcf8574  
        i2c_stop();        //vyšle stop bit I2C sběrnice
```

```

while (1)
{
    PORTB.0 = 0;           //SS_Enable Low
    fromslave1 = spi_master(toslave1); //zápis a čtení se sběrnice SPI
    PORTB.0 = 1;           //SS_Enable High
    putchar(fromslave1);    //předání načtených dat na UART
    //delay_us(50);        //časová prodleva
};
}
void anlz(void)
{
    unsigned char data1;
    i2c_init();
    while (1)
    {
        i2c_start();       //vyšle start bit I2C sběrnice
        i2c_write(0x71);    //zapisuje řídící slovo s adresou 70(pcf8574A) s 1 na konci --> čtení
        data=i2c_read(1);   //čtení z i2c a uložení do proměnné, vrací ack(1)
        putchar(data);      //odeslání načtených bitů přes UART
        i2c_stop();         //vyšle stop bit I2C sběrnice
    };
}

```

Příloha 3b: Zdrojový text prototypu programu pro obsluhu analyzátoru PC v jazyku C++

```
//-----
#include <vcl.h>
#include<time.h>
#include <stdio.h>
#pragma hdrstop
#include "Ftd2xx.h"
#include "testpetr.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
//deklarace použitých proměnných:
    unsigned char data;
    int a[7];
DWORD d;
DWORD x, y=50, y1=50, y2=50, y3=50, y4=50, y5=50, y6=50, y7=50;
//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
    //získání HANDLE zařízení:
    DWORD ftStatus=FT_OpenEx("Measure Card",FT_OPEN_BY_DESCRIPTION,&ftHandle);
    if(ftStatus!=FT_OK)

        throw Exception("Měřicí karta není připojena!");
    //přenosová rychlost UART 57600 Bd:
    FT_SetBaudRate(ftHandle,57600);
    // nastavení formátu dat na UARTU: 8bitů, 1 stop bit, bez parity
    FT_SetDataCharacteristics(ftHandle, FT_BITS_8, FT_STOP_BITS_1, FT_PARITY_NONE);
    FT_SetRts(ftHandle);//uvedení mikrokontroleru do stavu RESET
    Image1->Canvas->MoveTo(0,y); //umístění pera do středu
    Image2->Canvas->MoveTo(0,y1); //umístění pera do středu
    Image3->Canvas->MoveTo(0,y2); //umístění pera do středu
    Image4->Canvas->MoveTo(0,y3); //umístění pera do středu
    Image5->Canvas->MoveTo(0,y4); //umístění pera do středu
    Image6->Canvas->MoveTo(0,y5); //umístění pera do středu
    Image7->Canvas->MoveTo(0,y6); //umístění pera do středu
    Image8->Canvas->MoveTo(0,y7); //umístění pera do středu
}
//-----
__fastcall TForm1::~TForm1()
{
    FT_Close(ftHandle); //zavření programu-konec komunikace přes USB
}
//-----
void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender)
{
    Casovac->Enabled=false; //zastavení načítání dat
}
//-----
void __fastcall TForm1::CasovacTimer(TObject *Sender)
{
    Casovac->Enabled=false;
    {
        //odblokování RESETu mikrokontroleru
        FT_ClrRts(ftHandle);
        //poslání ID měření analyzátořem:
        FT_Write(ftHandle,127,1,&d);
        {
            FT_ResetDevice(ftHandle);
            FT_Read(ftHandle,&data,1,&d); //ctení z UARTU
        }
    }
}
```

```

//tabulka pro převod dekadické hodnoty na binární:
switch(data) {
case 255: (a[0]=1, a[1]=1, a[2]=1, a[3]=1, a[4]=1, a[5]=1, a[6]=1, a[7]=1);break;;
case 254: (a[0]=1, a[1]=1, a[2]=1, a[3]=1, a[4]=1, a[5]=1, a[6]=1, a[7]=0);break;;
case 253: (a[0]=1, a[1]=1, a[2]=1, a[3]=1, a[4]=1, a[5]=1, a[6]=0, a[7]=1);break;;
case 252: (a[0]=1, a[1]=1, a[2]=1, a[3]=1, a[4]=1, a[5]=1, a[6]=0, a[7]=0);break;;
case 251: (a[0]=1, a[1]=1, a[2]=1, a[3]=1, a[4]=1, a[5]=0, a[6]=1, a[7]=1);break;;
...
...
...
case 0: (a[0]=0, a[1]=0, a[2]=0, a[3]=0, a[4]=0, a[5]=0, a[6]=0, a[7]=0);break;;
default: (a[0]=0, a[1]=0, a[2]=0, a[3]=0, a[4]=0, a[5]=0, a[6]=0, a[7]=0);
}

//výpis okamžitých hodnot binárního slova:
Label2->Caption=data;
Label3->Caption=a[0];
Label4->Caption=a[1];
Label5->Caption=a[2];
Label6->Caption=a[3];
Label7->Caption=a[4];
Label8->Caption=a[5];
Label9->Caption=a[6];
Label10->Caption=a[7];

//delka kroku vykreslovaného impulsu impulsu
x=x+3;
//podmínky pro vykreslování logických stavu do jednotlivých oken:
if(a[7]==1){
    //log_1
    if (y==50) {
        y=y-25;
        Image1->Canvas->LineTo(x-3,y);}
        Image1->Canvas->LineTo(x,y);
    }

//log0
else {
    if (y==25) {
        y=y+25;
        Image1->Canvas->LineTo(x-3,y);}
        Image1->Canvas->LineTo(x,y);
    }
    if(a[6]==1){
        //log_1
        if (y1==50) {
            y1=y1-25;
            Image2->Canvas->LineTo(x-3,y1);}
            Image2->Canvas->LineTo(x,y1);
        }

    else {
        if (y1==25) {
            y1=y1+25;
            Image2->Canvas->LineTo(x-3,y1);}
            Image2->Canvas->LineTo(x,y1);
        }

        if(a[5]==1){
            //log_1
            if (y2==50) {
                y2=y2-25;
                Image3->Canvas->LineTo(x-3,y2);}
                Image3->Canvas->LineTo(x,y2);
            }

//log0
else {
        if (y2==25) {
            y2=y2+25;
            Image3->Canvas->LineTo(x-3,y2);}
            Image3->Canvas->LineTo(x,y2);
        }
    }
    if(a[4]==1){
        //log_1
        if (y3==50) {
            y3=y3-25;
            Image4->Canvas->LineTo(x-3,y3);}
            Image4->Canvas->LineTo(x,y3);
        }
    }
}

```

```

//log0
else {
    if (y3==25) {
        y3=y3+25;
        Image4->Canvas->LineTo(x-3,y3);}
        Image4->Canvas->LineTo(x,y3);
    }
    if(a[3]==1){
        //log_1
        if (y4==50) {
            y4=y4-25;
            Image5->Canvas->LineTo(x-3,y4);}
            Image5->Canvas->LineTo(x,y4);
        }

//log0
else {
    if (y4==25) {
        y4=y4+25;
        Image5->Canvas->LineTo(x-3,y4);}
        Image5->Canvas->LineTo(x,y4);
    }
    if(a[2]==1){
        //log_1
        if (y5==50) {
            y5=y5-25;
            Image6->Canvas->LineTo(x-3,y5);}
            Image6->Canvas->LineTo(x,y5);
        }

    else {
        if (y5==25) {
            y5=y5+25;
            Image6->Canvas->LineTo(x-3,y5);}
            Image6->Canvas->LineTo(x,y5);
        }
        if(a[1]==1){
            //log_1
            if (y6==50) {
                y6=y6-25;
                Image7->Canvas->LineTo(x-3,y6);}
                Image7->Canvas->LineTo(x,y6);
            }

//log0
else {
    if (y6==25) {
        y6=y6+25;
        Image7->Canvas->LineTo(x-3,y6);}
        Image7->Canvas->LineTo(x,y6);
    }
    if(a[0]==1){
        //log_1
        if (y7==50) {
            y7=y7-25;
            Image8->Canvas->LineTo(x-3,y7);}
            Image8->Canvas->LineTo(x,y7);
        }

//log0
else {
    if (y7==25) {
        y7=y7+25;
        Image8->Canvas->LineTo(x-3,y7);}
        Image8->Canvas->LineTo(x,y7);
    }
}

Label11->Caption=x;
Casovac->Enabled=true;

}
//-----
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
    Casovac->Enabled=true; //spuštění načítání dat
}
//-----

```

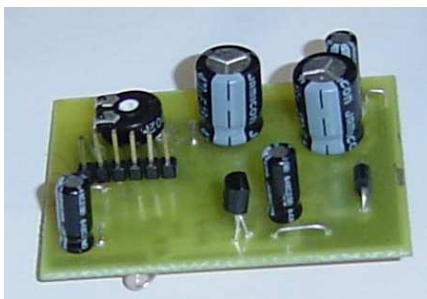
Příloha 4: Poznámky k hardwarové realizaci a foto osazených desek

Modulární struktura měřicí desky byla volena z důvodu postupného vývoje jednotlivých částí. Celý přípravek se tedy skládá ze tří desek tištěných spojů. První byla vyhotovena část tvořící řídicí obvody - FT232BM a ATtiny2313 spolu s pomocnými součástkami a konektory. Druhou část tvoří veškeré vstupní měřicí obvody spolu s pomocnými pasivními součástkami a konektory. Pomocnou a třetí desku tvoří napájecí zdroj.

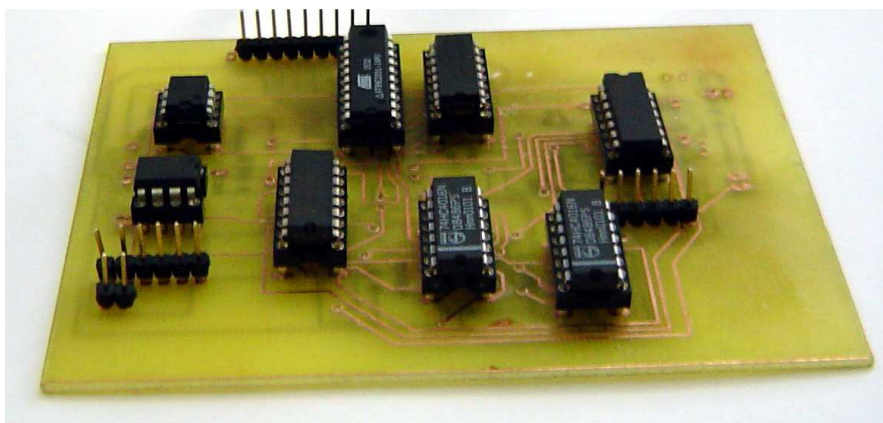
Všechny desky plošných spojů jsou navrženy pomocí editoru plošných spojů EAGLE LIGHT 4.11.



Obr. 31 Foto osazené desky řídicí části měřicí desky



Obr. 32 Foto osazené desky napájecího zdroje



Obr. 33 Foto osazené desky vstupních periférií