

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Dvoukanálový měřič úrovně

Radek Vagenknecht

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radek Vagenknecht**
Osobní číslo: **I13041**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Dvoukanálový měřič úrovně**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Vytvořte nízkofrekvenční dvoukanálový měřič úrovně na základě vhodného mikrokontroléru. Zařízení bude obsahovat kmitočtově vyvážený zesilovač/dělič pro volbu měřicího rozsahu. Naměřené hodnoty budou vyobrazeny na grafickém LCD s možností přepínání V/dB/dBm. Kmitočtový rozsah alespoň od 1 Hz do 20 kHz. Napěťový rozsah od 1 mV do 300 V. Napájení bude zajištěno běžným AC/DC adaptérem.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**Matoušek, David. Aplikace mikrokontrolérů ATmega644. 1. vyd. Praha: BEN -
technická literatura, 2013, ca 200 s. v různém stránkování. ISBN
978-80-7300-492-7.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. David Matoušek**
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2016**


prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan




Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2016

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 2.5. 2017

Radek Vagenknecht

PODĚKOVÁNÍ

Velice děkuji vedoucímu práce panu Ing. Bc. Davidu Matouškovi za jeho odbornou pomoc a rady při zpracování této bakalářské práce.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se věnuje návrhu nízkofrekvenčního dvoukanalového měřiče úrovně s použitím AVR mikroprocesoru. Teoretická část popisuje principy měření střídavého napětí pomocí analogových a digitálních měřicích přístrojů. Praktická část obsahuje samostatný návrh zařízení, popis programu a ověření funkčnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

měřič úrovně, mikroprocesor, mikrokontroler, AVR, RMS, digitálně analogový převodník, LCD

TITLE

Dual channel level meter

ANNOTATION

This bachelor thesis is dedicated to a design of dual-channel low-frequency level meter using AVR microcontroller. The theoretical part describes the principles of measuring alternating voltage through analog and digital measuring instruments. The practical part contains the design of device itself, the description of programme and verification of functionality.

KEYWORDS

level meter, microprocessor, microcontroller, AVR, RMS, digital to analog convertor, LCD

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	10
SEZNAM GRAFŮ	10
SEZNAM ZKRATEK	11
ÚVOD.....	12
1 MĚŘENÍ STŘÍDAVÝCH NAPĚTÍ.....	13
1.1 Analogové měřicí přístroje.....	14
1.2 Analogové převodníky efektivní hodnoty.....	15
1.2.1 Výpočtové převodníky.....	16
1.2.2 Tepelné převodníky	17
1.3 Číslicové měřicí přístroje	17
1.4 Číslicové měření efektivní hodnoty	19
2 HARDWARE	20
2.1 Mikroprocesor	20
2.1.1 A/D převodník	22
2.2 RMS/DC převodník	24
2.3 Displej	25
2.3.1 Řadič T6963C	27
2.4 Vstupní napěťový dělič	28
2.5 Tlačítko	28
3 SCHÉMA ZAPOJENÍ.....	29
3.1 Schéma zapojení napěťového děliče	31
3.2 Schéma zapojení RMS/DC převodníku	33
3.3 Schéma zapojení mikroprocesoru	34
3.4 Schéma zapojení zdroje záporného napětí	35

4	SOFTWARE.....	36
4.1	Vrstva ovládání displeje.....	36
4.1.1	Čtení stavu řadiče.....	37
4.1.2	Zápis dat.....	38
4.1.3	Inicializace displeje.....	39
4.2	Vrstva grafického režimu.....	40
4.2.1	Znaková sada	40
4.3	Hlavní část programu	41
5	VÝROBA A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI.....	42
	ZÁVĚR	46
	POUŽITÁ LITERATURA.....	47
	PŘÍLOHA A – CD	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Sinusový průběh napětí	13
Obrázek 2 – Analogový měřicí přístroj [3].....	14
Obrázek 3 – Blokové schéma explicitního převodníku [4]	16
Obrázek 4 – Blokové schéma implicitního převodníku [4].....	16
Obrázek 5 – Zpětnovazební tepelný převodník efektivní hodnoty [3]	17
Obrázek 6 – Blokové schéma číslicového měřicího přístroje [4].....	18
Obrázek 7 – Blokové schéma zařízení.....	20
Obrázek 8 – Mikroprocesor ATmega328 [5]	21
Obrázek 9 – Rozložení pinů mikroprocesoru ATmega328 [6].....	22
Obrázek 10 – RMS/DC převodník AD736 [8]	24
Obrázek 11 – Blokové schéma RMS-DC převodníku [7]	25
Obrázek 12 – LCD DEM 128064H SYH-PY [9]	25
Obrázek 13 – Blokové schéma displeje [10]	26
Obrázek 14 – Režim externí regulace kontrastu [10]	27
Obrázek 15 – Otočný přepínač DS2 [12].....	28
Obrázek 16 – Tlačítko P-PB303B WHITE [13].....	28
Obrázek 17 – Celkové schéma zapojení	29
Obrázek 18 – Schéma zapojení vstupního děliče	31
Obrázek 19 – Návrh frekvenčně vyváženého děliče	33
Obrázek 20 – Schéma zapojení převodníku	33
Obrázek 21 – Schéma zapojení mikroprocesoru	34
Obrázek 22 – Standartní programovací konektory [14]	34
Obrázek 23 – Schéma zapojení zdroje záporného napětí	35
Obrázek 24 – Schéma kontroly stavu	38
Obrázek 25 – Schéma zápisu dat	38
Obrázek 26 – Rozdělení RAM paměti.....	39
Obrázek 27 – Fotografie celého zařízení	42

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Základní parametry mikroprocesoru.....	21
Tabulka 2 – Parametry displeje	26
Tabulka 3 – Seznam součástek	30
Tabulka 4 – Nastavení sběrnice pro čtení stavu řadiče.....	37
Tabulka 5 – Formát stavového slova	37
Tabulka 6 – Význam jednotlivých bitů stavového slova	37
Tabulka 7 – Nastavení sběrnice pro zápis dat.....	38

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Porovnání frekvenčních charakteristik děličů	43
Graf 2 – Frekvenční charakteristika 200 mV rozsahu	43
Graf 3 – Frekvenční charakteristika 2 V rozsahu	44
Graf 4 – Frekvenční charakteristika 20 V rozsahu	44
Graf 5 – Frekvenční charakteristika 300 V rozsahu	45

SEZNAM ZKRATEK

LCD	Liquid Crystal Display
RMS	Root Mean Square
TRMS	True Root Mean Square
A/D	Analog/Digital
USB	Universal Serial Bus
DC	Direct Current
RISC	Reduced Instruction Set Computing
RAM	Random-access memory
FS	Full Scale
LSB	Least Significant Bit
FET	Field-Effect Transistors

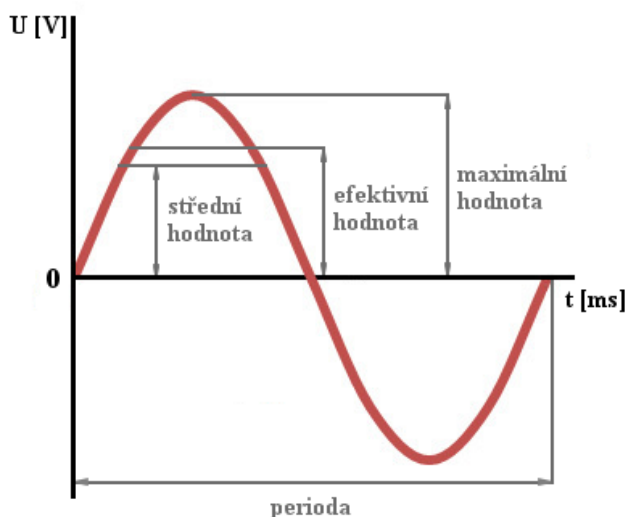
ÚVOD

Úkolem této bakalářské práce je vývoj nízkofrekvenčního dvoukanálového měřiče úrovně signálu řízeného mikrokontrolérem. Navrhované zařízení má obsahovat dělič pro volbu měřicího rozsahu a zobrazovat naměřené hodnoty na grafickém displeji s možností přepínání jednotek V/dB/dBm.

První kapitola teoreticky popisuje měření střídavého napětí. Obsahuje principy a porovnávání analogových přístrojů, které umožňují měření tohoto napětí, a analogové převodníky efektivní hodnoty. Dále obsahuje popis číslicového měření střídavého napětí. Druhá kapitola se zabývá již samotným návrhem zařízení, detailně je zde popsána volba a princip funkce vybraných komponentů měřiče. Následující kapitola obsahuje schéma zapojení, včetně seznamu součástek a výpočtu napěťových děličů. Čtvrtá kapitola se zabývá samotným programem – obsahuje popis jednotlivých souborů a nejdůležitějších funkcí a podrobněji přibližuje princip komunikace mezi mikroprocesorem a displejem. Poslední kapitola se zabývá především samostatnou výrobou zařízení a také ověřením funkčnosti a parametrů navrhovaného měřiče.

1 MĚŘENÍ STŘÍDAVÝCH NAPĚTÍ

Střídavým napětím označujeme napětí, které mění v čase svoji polaritu a velikost. Tvar průběhu napětí může být různý, ale nejčastěji se ale setkáváme se sinusovým průběhem, jak ukazuje obrázek 1. Velikost střídavých periodických napětí se s časem mění, a proto je charakterizujeme pomocí jejich efektivní, střední nebo maximální hodnoty, které jsou u ustáleného střídavého napětí konstantní [1].



Obrázek 1 – Sinusový průběh napětí

Maximální hodnota napětí je nejvyšší dosažené napětí během jedné periody. Bývá také označováno jako špičkové napětí. Sinusové střídavé veličiny dosahují maximální kladné hodnoty napětí v jedné čtvrtině trvání periody.

Střední hodnota napětí je průměr absolutních okamžitých hodnot napětí v průběhu jedné periody. Měří se pomocí jednocestných nebo dvoucestných usměrňovačů. Pokud je usměrňovač zabudován v přístroji, je údaj přístroje 1,1107násobkem střední hodnoty napětí, takže je pro harmonické průběhy roven efektivní hodnotě. Pro měření neharmonických průběhů je tento přístroj nevhodný, protože může docházet k velkým chybám. Matematická definice střední hodnoty veličiny $x(t)$ je definována vztahem (1).

$$X_S = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (1)$$

Veličina T je doba měření, v případě, že se jedná o periodický signál, je T perioda [2].

Nejdůležitější hodnotou z parametrů střídavých napětí a proudů je **efektivní hodnota**. Pokud není specifikováno jinak, vždy máme na mysli právě tuto hodnotu. Tato hodnota bývá často označována indexem RMS (Root Mean Square), což v překladu znamená kvadratický průměr. V elektrické síti nízkého napětí v České Republice má střídavé napětí efektivní hodnotu rovnu 230 V. Matematická definice efektivní hodnoty veličiny $x(t)$ je definována vztahem (2).

$$X_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (2)$$

1.1 Analogové měřicí přístroje

Analogové měřicí přístroje byly do šedesátých let 20. století jediné přístroje používané k měření stejnosměrných a střídavých proudů a napětí. Používají se dodnes, ale jsou postupně nahrazovány číslicovými přístroji. Analogové měřicí přístroje poskytují výstupní signál nebo údaj, který je spojitou funkcí měřené veličiny. Jedná se o elektromechanické měřicí přístroje, které měří různé fyzikální veličiny tím způsobem, že využívají tepelných, magnetických a dynamických účinků elektrického proudu. Příklad analogového měřicího přístroje je na obrázku 2.



Obrázek 2 – Analogový měřicí přístroj [3]

Základem těchto přístrojů je elektromechanické měřicí ústrojí, které převádí elektrickou veličinu na výchylku ukazatele. Výchylka je tedy analogovým údajem měřené veličiny, mění se spojitě a může nabývat nekonečného množství hodnot. Výchylku analogového přístroje převádí na číselnou hodnotu sám pozorovatel. Měřicí ústrojí přístroje se skládá z pevné a pohyblivé části. Na pohyblivé části je pevně umístěn ukazatel a tato část ústrojí je obvykle otočná. Působením sil vyvolaných měřenou veličinou se v ní vytváří pohybový moment ústrojí, který je přímo úměrný velikosti měřené veličiny. Proti této síle působí na otočné ústrojí ještě direktivní moment, jenž slouží k ustálení ručky ukazatele na určité výchylce. Direktivní moment je obvykle tvořen zkroucenými pásky, na nichž je otočná část zavěšena. Pokud součet pohybového a direktivního momentu bude nulový, dojde k ustálení výchylky a ručička ukáže velikost měřené veličiny [1, 2].

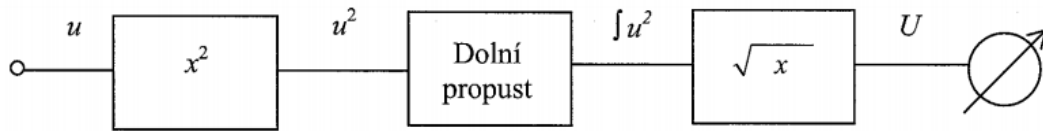
K analogovým měřicím přístrojům, které ukazují velikost efektivní hodnoty napětí, patří feromagnetické přístroje. Ty jsou velmi kmitočtově závislé a mají velkou spotřebu. Jejich výhodou ale je, že měří i nesinusová střídavá napětí. Stejnou vlastnost mají i elektrodynamické voltmetry. Jsou velmi přesné a používaly se především v laboratořích, ale v dnešní době se vzhledem ke své složitosti a také vysoké výrobní ceně téměř nevyrábějí. Elektrostatické voltmetry slouží k přímému měření vysokých napětí a jejich velkou výhodou je nezávislost výchylky na kmitočtu, proto je lze využít ve vysokofrekvenční technice. Posledním typem přístrojů pro měření střídavých napětí jsou elektromagnetické voltmetry s usměrňovačem. Jejich hlavní výhodou je malá spotřeba a možnost měření střídavých napětí i velmi nízkých hodnot. Naopak nevýhodou je, že neměří efektivní hodnotu napětí, ale střední hodnotu napětí. Jejich stupnice je pouze přepočítána na efektivní hodnoty, ale tento přepočet platí pouze pro sinusový průběh napětí [1].

1.2 Analogové převodníky efektivní hodnoty

Převodníky pro měření skutečné efektivní hodnoty napětí využívají matematickou definici efektivní hodnoty dle rovnice (2). Označují se jako true RMS nebo TRMS (True Root Mean Square). Tyto převodníky převádí na stejnosměrné napětí i signály zahrnující vyšší harmonické složky a jejich výstup nezávisí na fázových posuvech harmonických. Převodníky skutečné efektivní hodnoty lze rozdělit na výpočtové převodníky a tepelné převodníky [2].

1.2.1 Výpočtové převodníky

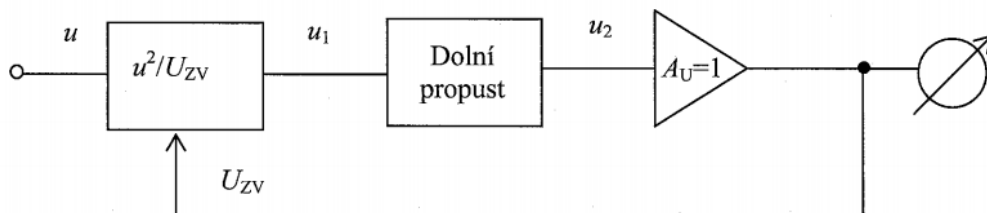
Mezi výpočtové převodníky patří **explicitní převodník efektivní hodnoty**. Blokové schéma tohoto typu převodníku je zobrazeno na obrázku 3.



Obrázek 3 – Blokové schéma explicitního převodníku [4]

Vstupní signál je nejdříve přiveden do kvadrátoru. Nejčastěji se jedná o násobičku nebo aproximační převodník. Blok dolní propusti slouží k nalezení stejnosměrné složky napětí a bývá realizován aktivní dolní propustí. Následující odmocninový člen slouží k výpočtu odmocniny napětí. Použit lze operační zesilovač, který má ve zpětné vazbě zapojen kvadrátor. Nevýhodou těchto převodníků je omezený dynamický rozsah vstupního napětí a značná nelinearita [2].

Druhým typem výpočtového převodníku skutečné efektivní hodnoty je **implicitní převodník efektivní hodnoty**. Blokové schéma tohoto typu převodníku ukazuje obrázek 4.



Obrázek 4 – Blokové schéma implicitního převodníku [4]

Tento převodník má lepší vlastnosti než převodník explicitní. První blok je násobička/dělička, která počítá výraz u^2/U_{ZV} a může být realizována pomocí exponenciálního nebo logaritmického funkčního měniče. Druhý blok tvoří dolní propust a poslední napěťový sledovač. Zpětnovazební napětí U_{ZV} je rovno efektivní hodnotě vstupního napětí podle rovnice (3) [2].

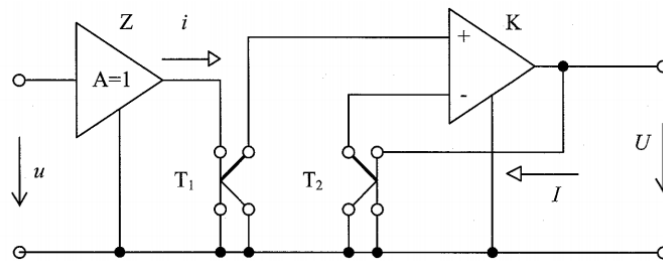
$$u_2 = \frac{1}{T} \int_0^T u_1 dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u^2}{U_{ZV}} dt = U_{ZV} \quad (3)$$

1.2.2 Tepelné převodníky

Tepelné převodníky využívají fyzikální definice efektivní hodnoty a teplotně citlivý prvek. Podle fyzikální definice dle rovnice (4) je efektivní hodnota I časově proměnného proudu $i(t)$ rovna stejnosměrnému proudu, který v daném odporu za dobu T vyvine stejné množství tepla Q_T jako proud $i(t)$.

$$Q_T = RI^2T = R \int_0^T i^2(t)dt \quad (4)$$

Typem tepelného převodníku je **zpětnovazební tepelný převodník efektivní hodnoty**, jehož schéma je na obrázku 5.



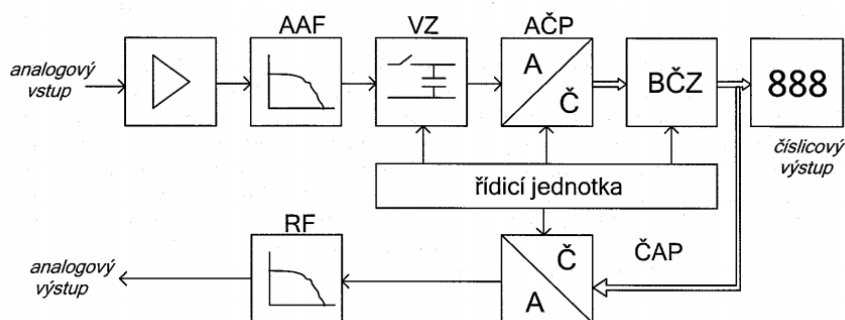
Obrázek 5 – Zpětnovazební tepelný převodník efektivní hodnoty [3]

Tento převodník využívá dvojici teplotně shodných, vzájemně izolovaných termočlánků T1 a T2. T1 je ohříván okamžitým proudem i úměrným měřenému časově proměnnému napětí u , T2 je ohříván stejnosměrným proudem I úměrným výstupnímu napětí U . Zpětnovazební smyčka s komparátorem K nastavuje napětí U tak, aby byl ohřev obou prvků stejný. Potom je výstupní napětí U rovno efektivní hodnotě napětí u [2].

1.3 Číslicové měřicí přístroje

Hlavními nevýhodami analogových měřicích přístrojů jsou malý vstupní odpor, kmitočtová závislost, a především složité odčítání naměřených údajů, a proto se postupně přešlo k používání digitálních přístrojů. To ale neznamená, že analogové přístroje nemají v dnešní době žádné uplatnění. V digitálních měřicích přístrojích dochází k převodu analogové veličiny na číslicovou zpravidla již na začátku řetězce signálové cesty a další zpracování se provádí číslicově. To je realizováno analogově-číslíkovým převodníkem, který převádí

okamžité hodnoty časově proměnného měřeného napětí na číslo. Na takto získanou posloupnost čísel jsou aplikovány algoritmy číslicového zpracování signálu, např. filtrace nebo Fourierova transformace, která se využívá např. u spektrálních analyzátorů. Pomocí číslicového zpracování lze také získat informace o vlastnostech původního signálu. Toho využívají moderní číslicové multimetry měřící TRMS. Na obrázku 6 je blokové schéma cesty signálu [2].



Obrázek 6 – Blokové schéma číslicového měřícího přístroje [4]

První blok slouží pro **vstupní úpravu signálu** na hodnotu zpracovatelnou dalšími obvody. Velikost signálu může být upravena zesilovačem nebo děličem. Druhý blok je **antialiasingový filtr (AAF)** – jedná se o dolní propust propouštějící pouze složky signálu s kmitočtem nižším než polovina vzorkovacího kmitočtu. Takto upravený signál následně pokračuje do **vzorkovacího obvodu (VZ)** umožňujícího odebrat pomocí vzorkovacích impulsů vzorky z analogového signálu v přesně definovaných okamžicích. V bloku **analogově-číslcového převodníku (AČP)** jsou hodnoty vzorků převedeny na čísla. Blok **číslcového zpracování (BČZ)** slouží pro číslicové zpracování, může být realizováno např. počítačem. Výsledek zpracovaného signálu pak může být zobrazen na displeji, nebo převeden zpět na analogovou veličinu. K převodu slouží blok **číslcově-analogového převodníku (ČAP)**. Posledním blokem je **rekonstrukční filtr (RF)**, který odstraňuje složky kmitočtového spektra ležící nad užitečným spektrem signálu, obvykle bývá realizován analogovou dolní propustí [2].

Mezi nejčastěji používané číslicové měřící přístroje patří **číslcový multimetr**. Ten dokáže měřit nejen základní veličiny, jako je napětí a proud, ale i odpor, frekvenci, kapacitu, indukčnost a další, a velikost dané měřené veličiny zobrazuje na displeji. Dražší přístroje mohou být propojeny s osobními počítači např. pomocí konektoru USB nebo RS-232.

Ke grafickému zobrazování časových průběhů napětí slouží číslicové osciloskopy. Ty také dokáží zobrazovat řadu dalších parametrů měřeného signálu, včetně jeho záznamu pro další zpracování. Vyrábějí se také vícekanálové osciloskopy s barevným displejem.

1.4 Číslicové měření efektivní hodnoty

Měřený analogový signál, ze kterého byla pomocí vzorkování, kvantování a kódování získána číselná posloupnost hodnot, může být dále zpracován. Lze jej zobrazit např. na číslicovém osciloskopu nebo zpracovat v počítači pomocí algoritmů.

Po úpravě definice efektivní hodnoty z rovnice (2) vznikne výraz (5) pro efektivní hodnotu číslicového signálu pro schodovitou aproximaci.

$$X_{ef}^S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n^2} \quad (5)$$

Schodovitou aproximací je předpokládána konstantní hodnota signálu rovná amplitudě vzorku až do okamžiku odebrání následujícího vzorku. Posloupnost vzorků je označena x_n , N je počet sejmutých vzorků za periodu signálu T .

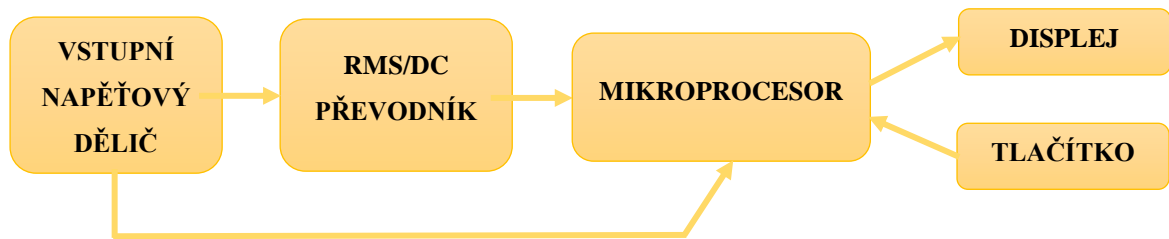
Přesnější určení parametrů umožňuje použití lineární interpolace (6), kde se hodnota funkce x_n prokládá mezi jednotlivými vzorky úsečkami.

$$X_{ef}^L = \sqrt{\frac{1}{3N} \sum_{n=0}^{N-1} (x_n^2 + x_n x_{n+1} + x_{n+1}^2)} \quad (6)$$

Pokud jsou tyto vztahy použity v bloku číslicového zpracování na obrázku 6 uvedeném výše, je možné takto realizovat např. spektrální analyzátor nebo číslicový wattmeter [2].

2 HARDWARE

V této kapitole jsou popsány jednotlivé komponenty navrhovaného dvoukanálového měřiče úrovně. To se skládá z několika částí. Pro jednoduchou orientaci slouží následující blokové schéma (obrázek 7) všech důležitých částí tohoto zařízení.



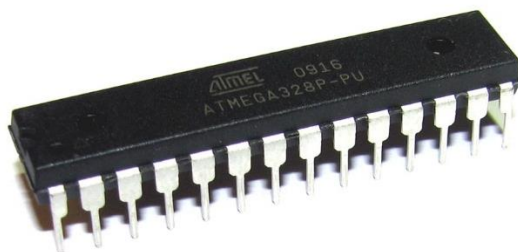
Obrázek 7 – Blokové schéma zařízení

Prvním blokem je **vstupní napěťový dělič**. Ten má za úkol zpracovat vstupní signál tak, aby mohl být přístroj používán v celém napěťovém rozsahu a mohl být také dále zpracován **RMS/DC převodníkem**. Ten slouží k převodu střídavého napětí vstupního signálu na efektivní hodnotu stejnosměrného napětí a je zde zařazen z toho důvodu, že mikroprocesor neumožňuje zpracovávat střídavé signály, a proto musí být tento signál nejdříve usměrněn. Hlavní částí celého zařízení je **mikroprocesor**. Ten má na starosti komunikaci s displejem a měření napětí ze vstupních děličů a RMS/DC převodníků. Také musí reagovat na stisk **tlačítka**, které slouží pro změnu jednotek měřeného signálu. **Displej** zobrazuje naměřené údaje. Všechny tyto bloky jsou podrobněji vysvětleny v následujících podkapitolách.

2.1 Mikroprocesor

Jedním z hlavních požadavků na mikroprocesor byla komunikace s displejem. Ten vyžaduje osm vývodů pro datovou sběrnici a šest vývodů pro řídicí signály. Dalším požadavkem byly čtyři A/D převodníky pro měření vstupních signálů a rozsahů, jeden vývod pro připojení tlačítka na možnost přepínání jednotek a piny pro zapojení SPI sběrnice pro komunikaci s programátorem. V neposlední řadě byla podmínkou také dostatečná paměť, a to hlavně pro znakovou sadu pro grafický displej.

Jako dostačující byl zvolen 8bitový mikroprocesor řady AVR s označením ATmega328 (obrázek 8) od firmy Atmel Corporation. Jedná se o vylepšený mikroprocesor ATmega8, který má především větší paměť, může pracovat na vyšší frekvenci a má programovatelné piny.



Obrázek 8 – Mikroprocesor ATmega328 [5]

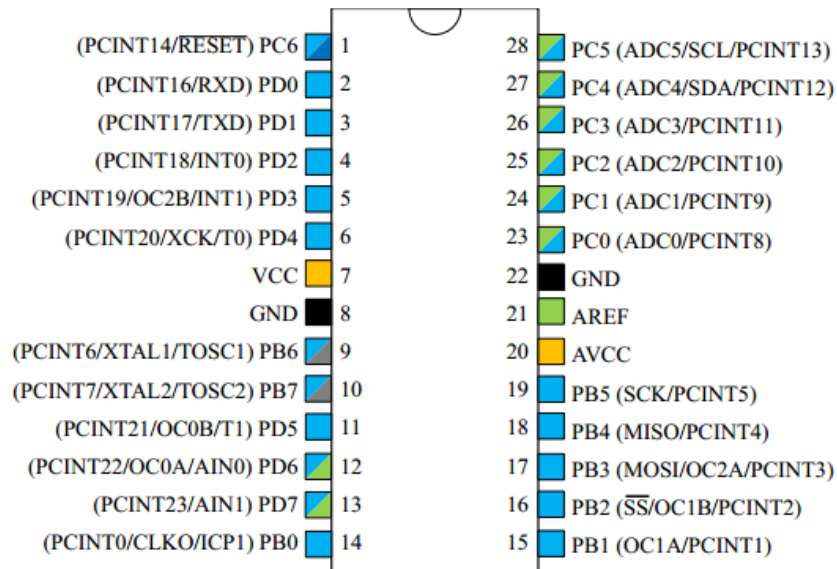
Zvolený mikroprocesor je založen na architektuře RISC, která má jednoduchou, ale vysoce optimalizovanou sadu strojových instrukcí. Díky tomu a také díky relativně vysoké taktovací frekvenci jsou mikroprocesory AVR jedny z nejvýkonnějších mikroprocesorů pro běžné použití. Zajímavá je rovněž jejich cena, která je u základních typů kolem 100 Kč.

V tabulce 1 je souhrn základních vlastností zvoleného mikroprocesoru. Další údaje a nezbytné informace potřebné k programování jsou dostupné v datasheetu obvodu [6].

Tabulka 1 – Základní parametry mikroprocesoru

Flash paměť	32 kB
SRAM paměť	2 kB
EEPROM paměť	1 kB
Napájecí napětí	1,8–5,5 V
Pracovní frekvence	0–20 MHz
I/O programovatelných pinů	23
A/D převodník	4x 10bit a 2x 8bit

ATmega328 má pouzdro s celkem 28 vývody. Pět vývodů slouží pro připojení napájení mikroprocesoru a zbylých 23 jako vstupně/výstupní vývody. Ty jsou rozděleny do dvou 8bitových portů označovaných jako PORTB a PORTD a jednoho 7bitového portu označeného jako PORTC. To je dobře viditelné na obrázku 9, na kterém je zobrazeno rozložení pinů.



Obrázek 9 – Rozložení pinů mikroprocesoru ATmega328 [6]

Pro potřeby konstrukce tohoto zařízení bylo zvoleno následující zapojení. Datová sběrnice displeje je s mikroprocesorem propojena na 8bitovém portu **PORTD**. Řídicí signály jsou připojeny na vývodech mikroprocesoru **PB0** až **PB5**. Pro měření velikosti napětí signálu z RMS/DC převodníku je použit vývod **PC0** pro první kanál a vývod **PC1** pro druhý kanál. Napětí z děličů rozsahů je přiváděno na porty mikroprocesoru **PC2** a **PC3**. Konektor pro ISP programátor, který zajišťuje komunikaci mezi mikroprocesorem a počítačem, je připojen na vývodech **PB2** až **PB5**. Tlačítko je zapojené na vývodu **PB6** mikroprocesoru.

2.1.1 A/D převodník

Mikroprocesor obsahuje A/D převodníky, které jsou nezbytné pro převod měřeného napětí do číslicové podoby. Použité vývody mikroprocesoru PC0 až PC3 disponují 10bitovým A/D převodníkem a díky tomu lze převést analogový signál na digitální a následně zobrazit jeho velikost na displeji. Mezi základní parametry A/D převodníků patří rozlišovací schopnost, rozsah převodníku, rychlost převodu, krok a chyba kvantování.

Rozlišovací schopnost je dána počtem rozlišitelných úrovní analogového signálu. Protože mikroprocesor ATmega328 má 10bitový A/D převodník, je jeho rozlišovací schopnost 2^{10} , tedy 1 024 úrovní. **Rozsah převodníku** se většinou označuje symbolem FS (Full Scale) a je dán minimální a maximální hodnotou analogové veličiny. Tento procesor má rozsah od 0 V až po velikost napájecího napětí. **Rychlost převodu** je dána počtem převodů, které převodník uskuteční za jednotku času. **Krok kvantování** nebo také citlivost A/D převodníku je nejmenší rozlišitelná velikost analogové veličiny. Označuje se anglickou zkratkou LSB (Least Significant Bit). **Chyba kvantování** je u všech lineárních převodníků stejná a její velikost je 0,5 LSB.

Základní vlastnosti A/D převodníku jsou:

- 10bitové rozlišení;
- integrální nelinearita 0,5 LSB;
- absolutní přesnost ± 2 LSB;
- čas převodu 13–260 μ s;
- rychlost převodu až 15 kSPS;
- šest multiplikovaných vstupních kanálů;
- vstupní rozsah 0 V až velikost napájecího napětí;
- volitelné interní referenční napětí 1,1 V;
- spínací režim, potlačení šumu;
- opakovací nebo jednorázový režim;
- přerušení po skončení převodu.

Výpočet výstupní digitální hodnoty pro A/D převodník je určen vztahem (7).

$$ADC = \frac{U_{in} \times 2^n}{U_{ref}} \quad (7)$$

U_{in} označuje velikost vstupního napětí, U_{ref} velikost referenčního napětí A/D převodníku a n rozlišení AD převodníku.

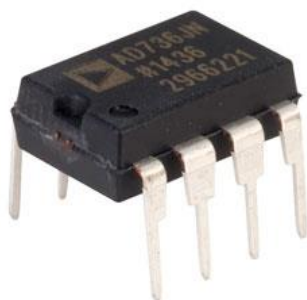
Výpočet citlivosti A/D převodníku probíhá dle vztahu (8).

$$LSB = \frac{U_{ref}}{2^n} \quad (8)$$

Při návrhu tohoto zařízení byla zvolena vnitřní reference A/D převodníku 1,1 V. Toto napětí je dostačující, protože maximální vstupní napětí RMS/DC převodníku může být 1 V. Z toho plyne, že citlivost A/D převodníku je v tomto případě 1,07 mV a chyba kvantování 0,535 mV.

2.2 RMS/DC převodník

Aby mohl být vstupní střídavý signál zpracován mikroprocesorem, je nutné jej usměrnit. Jako převodník efektivní hodnoty střídavého napětí na stejnosměrné napětí byl použit integrovaný obvod AD736 od firmy Analog Devices (obrázek 10).



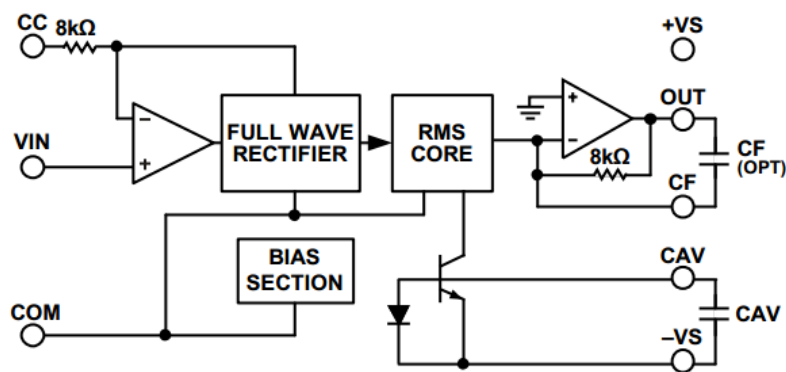
Obrázek 10 – RMS/DC převodník AD736 [8]

Tento obvod je vhodný pro měření různých typů střídavých vstupních signálů a dokáže změřit i efektivní hodnotu stejnosměrného napětí. Lze jej využít ke zlepšení vlastností usměrňovačů a vzhledem k jeho nízké spotřebě je vhodný k použití i v přenosných měřicích přístrojích, které mohou být napájeny baterií [7].

Vlastnosti obvodu:

- vstupní rozsah 0–1 V;
- vstupní impedance $10^{12} \Omega$;
- odebíraný proud maximálně 200 μA ;
- přesnost měření $\pm 0,3 \text{ mV} \pm 0,3 \%$;
- napájecí napětí + 2,8 a – 3,2 V až $\pm 16,5 \text{ V}$.

AD736 je osmivývodový integrovaný obvod, který pro svoji funkci potřebuje symetrické napájení. Na následujícím obrázku 11 je zobrazeno blokové schéma tohoto obvodu.

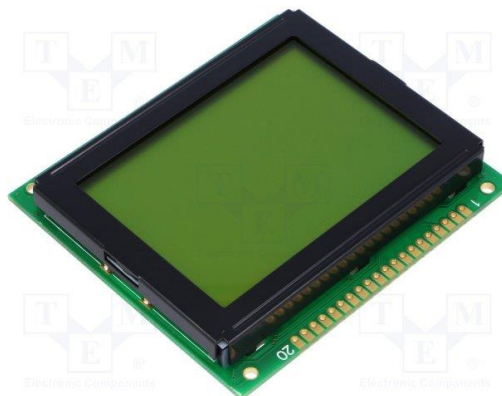


Obrázek 11 – Blokové schéma RMS-DC převodníku [7]

To se skládá z pěti hlavních sekcí. Jedná se o **vstupní zesilovač** (full wave rectifier), **můstkový zesilovač**, **výstupní zesilovač**, **RMS jádro** a **BIAS sekci**. Vstupní FET zesilovač poskytuje vysokou impedanci posílenému vstupu VIN a zároveň také nízkou impedanci širokému dynamickému rozsahu vstupu CC. Základní operace jako je mocnění a průměrování se provádí v RMS jádru, které využívá externí průměrovači kondenzátor CAV. BIAS sekce slouží k nastavení pracovního bodu. Poslední částí je výstupní zesilovač, který odděluje výstup z jádra a umožňuje volitelné filtrování dolní propustí pomocí externího kondenzátoru CF, který je připojen ve zpětné vazbě zesilovače.

2.3 Displej

Pro zobrazení hodnot napětí byl zvolen grafický LCD DEM 128064H SYH-PY od firmy DISPLAY ELEKTRONIK (obrázek 12).



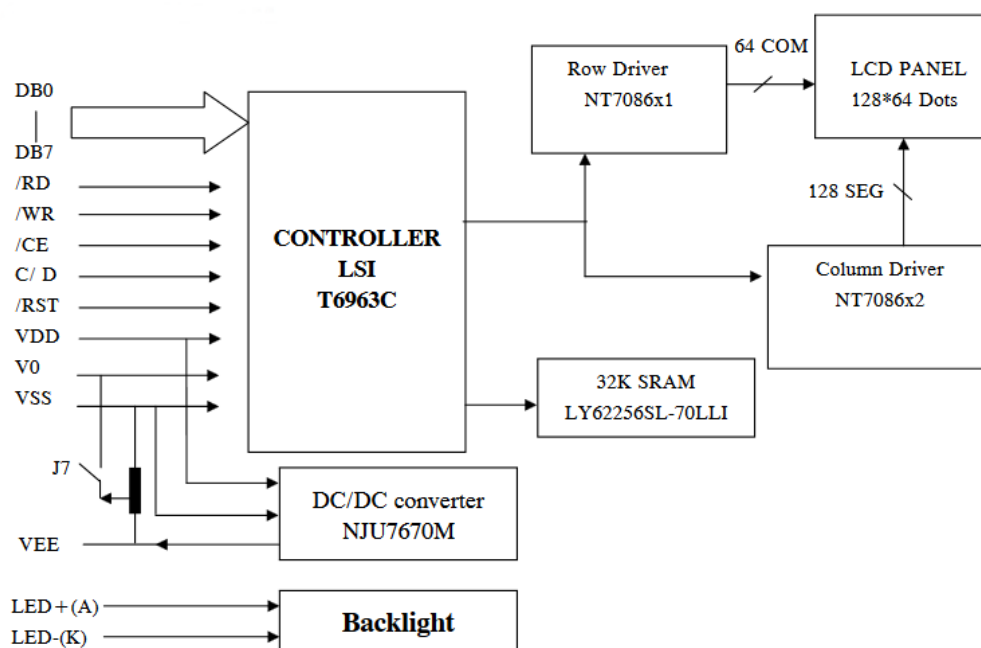
Obrázek 12 – LCD DEM 128064H SYH-PY [9]

Tento 2,7palcový monochromatický displej má rozlišení 128 x 64 pixelů a obsahuje řadič T6963C. Na desku je připojen pomocí dvacetipinové lišty, na kterou jsou vyvedeny vodiče pro datovou a řídicí sběrnici, ovládání kontrastu displeje a pro napájení pro žluto-zelené LED pod světlení. Další parametry displeje jsou v tabulce 2.

Tabulka 2 – Parametry displeje

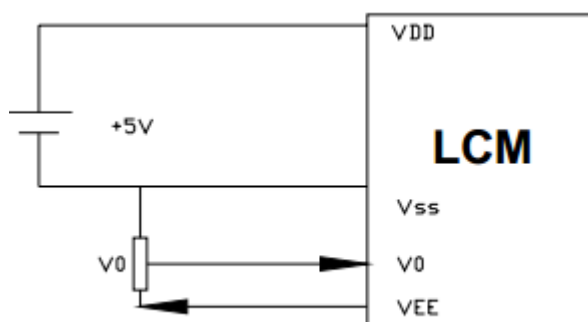
Technologie zobrazovače	STN Positive
Napájecí napětí	4,5-5,5V
Rozměry okénka	62 x 44 mm
Celkové rozměry	78 x 70 x 12,6 mm

Obrázek 13 zobrazuje blokové schéma displeje.



Obrázek 13 – Blokové schéma displeje [10]

Hlavní část tvoří řadič T6963c, který je podrobněji popsán v následující kapitole. Dále na schématu vidíme 8bitovou datovou sběrnici DB, která je připojena na PORTD mikroprocesoru. Nesmí také chybět pět řídicích signálů, které jsou také připojeny. Obvod NJU7670M je DC/DC konvertor, který vytváří záporné napájecí napětí pro displej. Jako externí paměť řadiče je zde použit obvod LY62256SL-70LLI s kapacitou 32 kB. Obvody NT7086 slouží jako řadiče pro ovládání řádků a sloupců. Blok pozadí (Backlight) slouží pro podsvícení displeje. Displej je zapojen v režimu externí regulace jasu, takže spínač J7 je rozpojen. Regulace jasu je realizována 500 k Ω trimrem, který je zapojen podle obrázku 14 na desce.



Obrázek 14 – Režim externí regulace kontrastu [10]

2.3.1 Řadič T6963C

Tento řadič vyráběný firmou Toshiba je navržen tak, aby mohl být připojen přímo na datovou 8bitovou sběrnici mikroprocesoru. Maximální rozlišení displeje je dáno velikostí externí paměti RAM a pracovní frekvencí řadiče 5,5 MHz. Externí paměť může mít velikost až 64 kB a jsou v ní uložena veškerá zobrazovaná data. Řadič dokáže pracovat s rozlišením od 128 x 64 bodů do 240 x 128 bodů; zároveň může pracovat ve třech různých režimech, a to v textovém, grafickém a kombinovaném. V textovém režimu lze použít interní generátor znakové sady o velikosti 128 znaků [11].

2.4 Vstupní napěťový dělič

Změna vstupního napěťového rozsahu tak, aby mohl být dále zpracován RMS/DC převodníkem, je realizována napěťovým děličem. Zařízení umožňuje měřit úroveň signálu v rozmezí 1 mV až 300 V. Jedná se o otočný přepínač typu DS2 (obrázek 15), na kterém jsou přímo připájeny odpory děliče.



Obrázek 15 – Otočný přepínač DS2 [12]

Ten může přepínat až 2 x 6 poloh. Protože zařízení má pouze čtyři rozsahy, je počet poloh mechanicky omezen. Přepínání dvou kontaktů paralelně umožňuje tento přepínač použít nejen na přepínání rozsahu vstupního signálu, ale zároveň na detekci rozsahu pomocí dalšího napěťového děliče.

2.5 Tlačítko

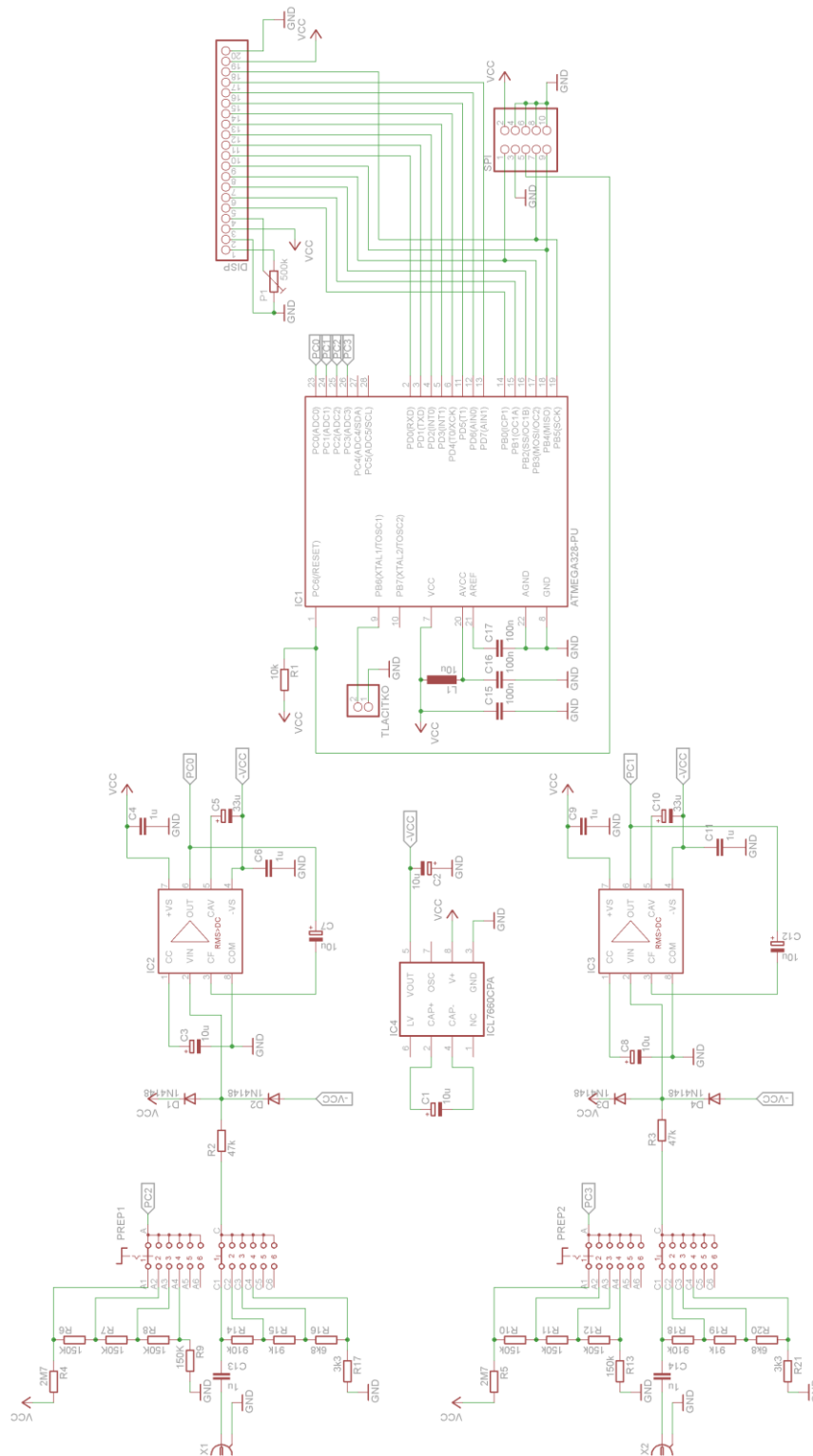
Tlačítko slouží k přepínání jednotek voltů, decibelů nebo decibel metrů, v nichž je měřeno napětí a které se zobrazují na displeji. Jedná se o jednopólový spínač typu ON-OFF s označením P-PB303B WHITE (obrázek 16), pomocí něhož mikroprocesor zaznamená požadavek o změnu jednotky, který je následně zpracován a poté zobrazen na displeji.



Obrázek 16 – Tlačítko P-PB303B WHITE [13]

3 SCHÉMA ZAPOJENÍ

Na obrázku 17 je celkové schéma zapojení.



Obrázek 17 – Celkové schéma zapojení

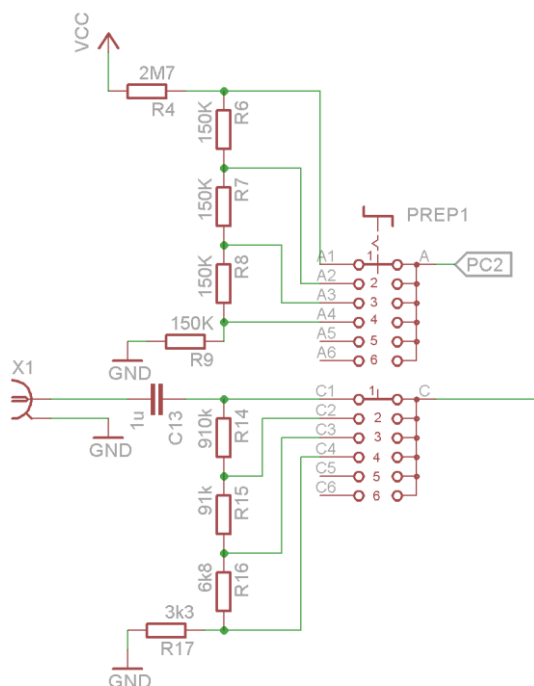
Pro lepší přehlednost jsou v následujících podkapitolách podrobněji popsány jednotlivé části tohoto obvodu. Seznam použitých součástek je uveden v tabulce 3.

Tabulka 3 – Seznam součástek

Označení	Název/hodnota
C1, C2, C3, C7, C8, C12	10 μ F / 25 V
C4, C6, C9, C11	1 μ F
C13, C14	10 nF / 500 V
C5, C10	33 μ F / 35 V
C15, C16, C17	100 nF
D1, D2, D3, D4	1N4148
DISP	ZL262-20SG
IC1	ATMEGA328-PU
IC2, IC3	AD736N
IC4	ICL7660CPA
L1	10 μ H
P1	500 k Ω
PREP1, PREP2	DS2
R1	10 k Ω
R2, R3	47 k Ω / 1 W
R4, R5	2,7 M Ω
R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13	150 k Ω
R14, R18	910 k Ω
R15, R19	91 k Ω
R16, R20	6,8 k Ω
R17, R21	3,3 k Ω
X1, X2	BNC-Z PAN

3.1 Schéma zapojení napěťového děliče

Navrhovaný měřič úrovně je dvoukanálový, takže umožňuje měřit nezávisle dva vstupní signály, a proto obsahuje dva stejné přepínače napěťových rozsahů. Tyto přepínače jsou umístěny přímo na panelu přístroje spolu s odporovými děliči a výstupní signál je přiváděn na desku pomocí koaxiálních kabelů. Pro ukázkou je zde popsán vstupní dělič prvního kanálu dle obrázku 18.



Obrázek 18 – Schéma zapojení vstupního děliče

Měřený signál vstupuje do obvodu pomocí BNC konektoru **X1**. Kondenzátor **C13** slouží pro případné blokování stejnosměrného napětí. Poté již signál vstupuje do napěťového děliče realizovaného rezistory **R14**, **R15**, **R16** a **R17**. Otočením rotačního přepínače je možné volit jednotlivé rozsahy měřeného signálu, a to 200 mV, 2 V, 20 V nebo 300 V. Napěťový dělič byl navržen vzhledem ke vstupnímu rozsahu RMS/DC převodníku. Ten dosahuje největší přesnosti do 200 mV, ale dokáže zpracovat signál až do 1 V. V děliči jsou použity odpory s 1 % přesností a jsou voleny tak, aby bylo vstupní napětí do převodníku maximálně 200 mV. Pouze pro rozsah 300 V je zvolen vstupní rozsah do 1 V.

V následujících rovnicích (9) a (10) je ukázán vzorový výpočet děliče napětí pro rozsah U_{2V} 2 V, pokud je na něj přived signál U_{VST} o velikosti 1 V:

$$U_{2V} = U_{vst} * \frac{R_{15} + R_{16} + R_{17}}{R_{14} + R_{15} + R_{16} + R_{17}} \quad (9)$$

$$U_{2V} = 1 * \frac{91000 + 6800 + 3300}{910000 + 91000 + 6800 + 3300} = 99,99 \text{ mV} \quad (10)$$

Pro vstupní napětí 1 V je na výstupu děliče 99,99 mV, tato hodnota je převedena v RMS/DC převodníku na efektivní hodnotu, následně zpracována v mikroprocesoru a výsledek zobrazen na displeji.

Při přepínání rozsahů se zároveň přepíná i druhý napěťový dělič, který slouží pro detekci zvoleného rozsahu. Ten je realizován odpory **R4**, **R6**, **R7**, **R8** a **R9**. Tento dělič byl zvolen s ohledem na napájecí napětí celého zařízení a také na referenční napětí A/D převodníku mikroprocesoru. K tomu bylo zapotřebí zvolit vhodné hodnoty odporů z odporové řady. Maximální napájecí napětí obvodu 5,5 V bylo sníženo děličem na 1 V dle vzorce (11) a (12).

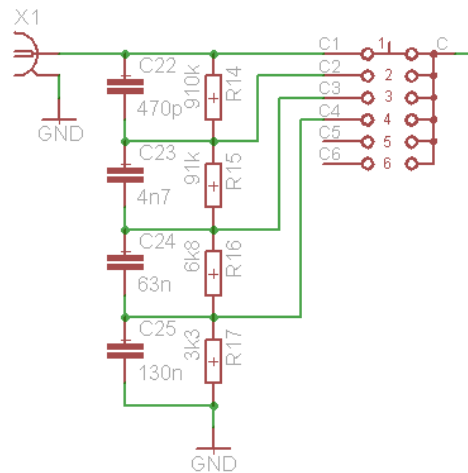
$$U_2 = U_1 * \frac{R_6 + R_7 + R_8 + R_9}{R_4 + R_6 + R_7 + R_8 + R_9} \quad (11)$$

$$U_2 = 5,5 * \frac{4 * 150 * 10^3}{2,7 * 10^6 + 4 * 150 * 10^3} = 1 \text{ V} \quad (12)$$

Toto napětí slouží pro detekci 200 mV rozsahu. Podobně byly pomocí děličů stanoveny napětí pro další rozsahy.

Při návrhu zařízení se počítalo s kmitočtovým vyvážením napěťových děličů rozsahů tak, aby výstupní napětí nebylo závislé na kmitočtu. Zapojení bylo simulováno v programu LTspice tak, aby byl dělič co nejlépe vyvážen. Bohužel se v praxi nepodařilo dosáhnout tak dobrých výsledků jako při simulaci, zřejmě kvůli nepřesnosti součástek. Proto byl

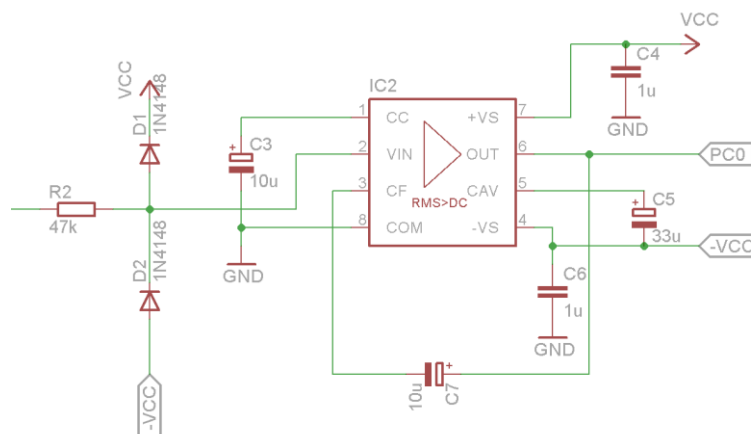
nakonec zvolen nevyvážený dělič, který dosahuje přesnějších výsledků. Schéma návrhu vyváženého děliče je na obrázku 19, porovnání naměřených hodnot pak v kapitole 5.



Obrázek 19 – Návrh frekvenčně vyváženého děliče

3.2 Schéma zapojení RMS/DC převodníku

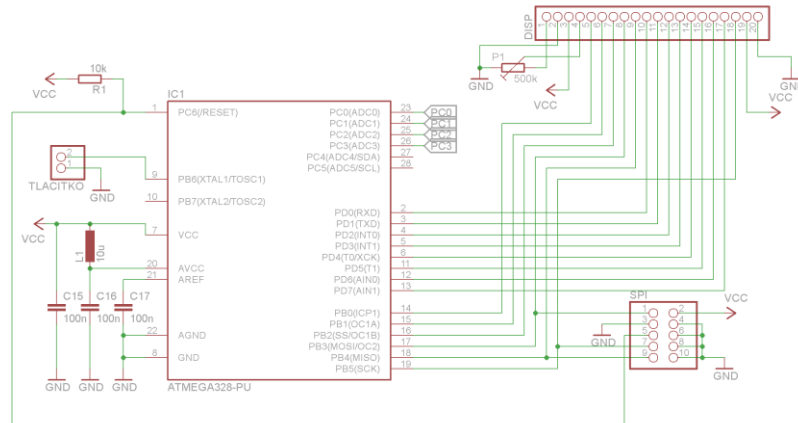
Na obrázku 20 je zobrazeno schéma zapojení převodníku. Signál z děliče pokračuje přes ochranný odpor **R2** a diody **D1** a **D2** na vstup RMS/DC převodníku. Ten je zapojen dle doporučeného zapojení popsaného v datasheetu obvodu [7], princip zapojení je popsán v kapitole 2.2. Kondenzátory **C4** a **C6** slouží pro filtraci napájecího napětí obvodu.



Obrázek 20 – Schéma zapojení převodníku

3.3 Schéma zapojení mikroprocesoru

Základní zapojení mikroprocesoru vyžaduje zapojit restartovací signál přes odpor **R1** na napájecí napětí. Pokud je na reset pinu připojena logická nula, mikroprocesor se restartuje. Kondenzátory **C15**, **C16** a **C17** a cívka **L1** slouží pro snížení rušení, a tím k dosažení lepších parametrů A/D převodu; všechny musejí být zapojeny co nejbližší k napájecímu pinu.



Obrázek 21 – Schéma zapojení mikroprocesoru

Mikroprocesor je programován přes sériové rozhraní SPI. To využívá čtyři piny mikroprocesoru – MOSI, MISO, SCK, RESET a společnou zem GND. Standardně se využívá šesti nebo desetipinový konektor. Rozložení pinů je patrné z obrázku 22.

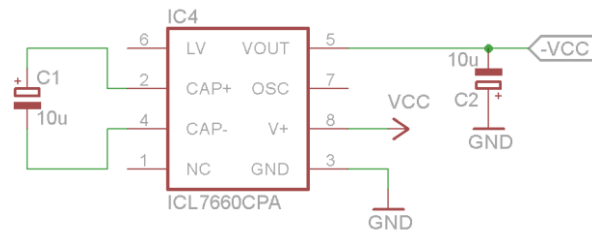


Obrázek 22 – Standardní programovací konektory [14]

Pro snadné propojení displeje s mikroprocesorem je použita dvacetipinová lišta. Jednotlivé rozložení těchto pinů je rozepsáno v datasheetu výrobce displeje [10]. Trimr **P1** slouží pro nastavení kontrastu displeje.

3.4 Schéma zapojení zdroje záporného napětí

Protože RMS/DC převodník potřebuje pro svoji funkčnost záporné napájecí napětí, bylo nutné realizovat zdroj záporného napětí. Pro tuto funkci byl zvolen integrovaný obvod **ICL7660**. Tento obvod umožňuje z kladného napětí vytvořit záporné napětí o stejné velikosti. Schéma zapojení ukazuje obrázek 23 – je převzato z doporučeného zapojení uvedeného v datasheetu výrobce [15].



Obrázek 23 – Schéma zapojení zdroje záporného napětí

4 SOFTWARE

Program dvoukanálového měřiče úrovně je naprogramován v jazyce C. Skládá se z hlavního programu a knihovny, která slouží pro ovládání displeje. Samostatná knihovna se skládá ze čtyř hlavičkových souborů. V prvním souboru **t6963c.h** jsou definovány všechny instrukce, které zvolený řadič T6963c podporuje. Tohoto souboru využívá nadřazená vrstva **DEM128064H.h**, která slouží pro základní ovládání displeje. Jsou zde definovány nezbytné parametry displeje a také funkce pro jeho obsluhu. Rovněž obsahuje velmi důležitou funkci pro vypsání obrazového prvku na displej. Tato funkce je nezbytná pro grafický režim displeje, kde je pixel nejmenším možným zobrazovacím prvkem. Tuto funkci dále využívá nejvyšší vrstva knihovny, a to soubor **graphic.h**, který slouží pro zobrazení grafických prvků na displeji. Posledním souborem této knihovny je **font.h**, který obsahuje znakové sady. Při vytváření knihovny bylo využito funkcí z volně dostupných knihoven [16, 17]. V následujících podkapitolách je podrobněji přiblížena funkce celého programu.

Všechny zdrojové kódy jsou nahrány na příloženém CD.

4.1 Vrstva ovládání displeje

K řízení displeje slouží hlavičkový soubor s názvem **DEM128064H.h**, který využívá seznamu podporovaných instrukcí řadiče ze souboru **t6963c.h**. Ten lze nalézt v datasheetu výrobce [11]. Jak již bylo napsáno v předchozích kapitolách, komunikace mezi displejem a mikroprocesorem probíhá prostřednictvím řídicí a datové sběrnice. Řídicí sběrnice je jednosměrná, a to směrem do LCD. Datová sběrnice umožňuje pracovat i v opačném směru. To umožňuje nejen číst data z displeje, ale také kontrolovat jeho stav. Nejdůležitější funkcí tohoto souboru je funkce **DISPLAY_SetPixel**:

```
void DISPLAY_SetPixel(short int x, short int y, unsigned char color)
```

Tato funkce slouží pro vykreslení bodu na displeji a je využita ve vyšší vrstvě knihovny. Parametry x a y určují souřadnice kresleného bodu na displeji. Poslední parametr $color$ určuje barvu vykresleného bodu. U monochromatického displeje označuje hodnota 1 vypsání bodu a hodnota 0 , že bod vypsán nebude. V následujících kapitolách je popsáno základní ovládání displeje, a to čtení stavu displeje, inicializace a také zápis dat.

4.1.1 Čtení stavu řadiče

Řadič nabízí celou sadu instrukcí, díky kterým lze ovládat celý displej. Kontrolu stavu řadiče je nezbytné provést před každým čtením nebo zápisem dat. K tomu slouží funkce **DISPLAY_StatusCheck**. Komunikace probíhá tak, že si celé časování řídí sám řadič. Kontrola stavu řadiče spočívá v nastavení řídicí sběrnice dle tabulky 4 a následného načtení 8bitového stavového slova ve formátu podle tabulky 5 z datové sběrnice, kde každý bit tohoto slova informuje o stavu řadiče dle tabulky 6. To je patrné z vývojového diagramu na obrázku 24. Pokud je řadič připraven můžeme zapsat data.

Tabulka 4 – Nastavení sběrnice pro čtení stavu řadiče

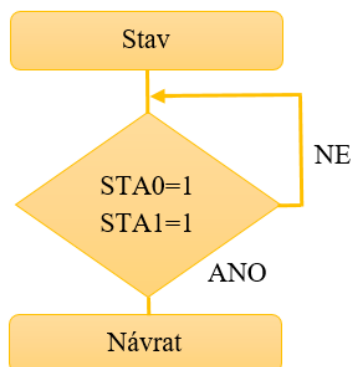
Pin	RD	WR	C/D
Logická úroveň	L	H	L

Tabulka 5 – Formát stavového slova

MSB				LSB			
STA7	STA6	STA5	STA4	STA3	STA2	STA1	STA0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Tabulka 6 – Význam jednotlivých bitů stavového slova

STA0	ověření schopnosti výkonu povelu	0: zakázáno, 1: povoleno
STA1	ověření schopnosti čtení/zápisu	0: zakázáno, 1: povoleno
STA2	ověření schopnosti čtení dat v režimu auto	0: zakázáno, 1: povoleno
STA3	ověření schopnosti zápisu dat v režimu auto	0: zakázáno, 1: povoleno
STA4	neužit	
STA5	ověření schopnosti práce řadiče	0: zakázáno, 1: povoleno
STA6	příznak chyby	0: bez chyby, 1: chyba
STA7	ověření podmínky blikání	0: vypnuto, 1: zapnuto



Obrázek 24 – Schéma kontroly stavu

4.1.2 Zápis dat

U řadiče T6963C je nutností poslat nejdříve data a až poté instrukci. Pro zápis dat slouží funkce **DISPLAY_WriteData** a pro zápis instrukce **DISPLAY_WriteCommand**. Pro zápis dat je nutné nejprve nastavit řídicí sběrnici do režimu zápisu dat dle tabulky 7.

Tabulka 7 – Nastavení sběrnice pro zápis dat

Pin	RD	WR	C/D
Logická úroveň	H	L	H

Následně je zapsán kód instrukce na datovou sběrnici a potvrzen zapsáním logické nuly na pin CE. Mezi jednotlivými zápisy dat a instrukcí je nutné provádět kontrolu statusu řadiče. Celkový proces zápisu dat je znázorněn vývojovém diagramu na obrázku 25.



Obrázek 25 – Schéma zápisu dat

4.1.3 Inicializace displeje

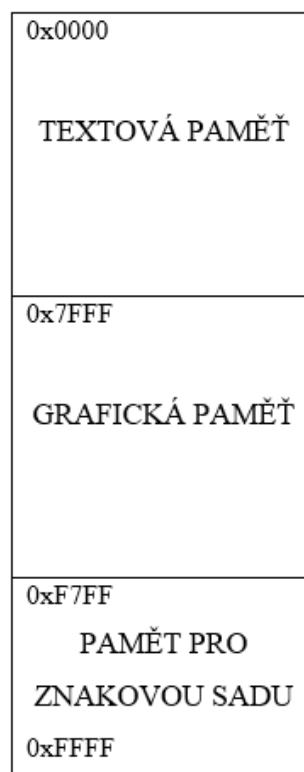
Inicializace displeje slouží k nastavení všech důležitých parametrů displeje tak, aby správně fungoval. Je nutné ji uskutečnit vždy před každým použitím displeje. K tomu slouží funkce **DISPLAY_Init**. Celá inicializace se skládá z několika kroků:

1. Restartování displeje

Po zapnutí je nezbytné provést reset displeje. Ten se provede přivedením logické nuly na pin s označením RESET na doporučenou dobu pěti hodinových taktů řadiče.

2. Nastavení grafické a textové paměti

Velmi důležitou částí inicializace displeje je vymezení místa pro grafický a textový režim paměti RAM. Vymezení paměti spočívá v nastavení adresy, od které má řadič číst data, které zobrazí na displeji. Tuto adresu je nutné nastavovat s ohledem na rozlišení displeje. Pokud je displej používán jen v grafickém režimu, není nutné nastavovat textovou paměť. Rozdělení externí paměti RAM je na obrázku 26.



Obrázek 26 – Rozdělení RAM paměti

3. Nastavení režimu zobrazení

Dále je nutné definovat, v jakém režimu zobrazení bude řadič používán, tedy v grafickém, textovém, nebo v kombinovaném zobrazení. Velmi důležitým krokem je aktivování zobrazování na LCD.

4. Vymazání paměti

Posledním krokem inicializace displeje je vymazání paměti. Řadič bohužel neobsahuje žádnou instrukci pro mazání displeje, proto je nutné ji vymazat zápisem nulové hodnoty na všechna paměťová místa v externí paměti RAM.

4.2 Vrstva grafického režimu

Řadič T6963c umožňuje pracovat v textovém, grafickém i kombinovaném režimu. Textový režim obsahuje generátor znakové sady o velikosti 128 znaků, která je uložena v interní paměti displeje. Velikost fontu znakové sady je ale pouze 5 x 8 bodů, což je v tomto případě nevyhovující. Na displeji je zapotřebí zobrazit mnohem větší znaky, a proto je displej používán pouze v grafickém režimu s vlastní vygenerovanou znakovou sadou. K vypsání textu slouží hlavičkový soubor **graphic.h**, který používá znakové sady uložené v souboru **font.h**. Nejdůležitější funkcí je funkce **draw_text**:

```
void draw_text(short int x, short int y, short int width, short int height, char* text, const
                unsigned char* font)
```

Ta slouží pro vykreslení libovolného textu do zvolené oblasti. Parametry *x*, *y*, *width* a *height* vymezují obdélníkovou oblast, kam se zadaný text vypíše. Další parametr *text* je ukazatelem na kreslený text a poslední parametr *font* slouží k výběru fontu vypisovaného textu.

4.2.1 Znaková sada

Pro potřeby této práce bylo nutné vytvoření vlastních znakových sad. Na displeji jsou zobrazovány jednotky a velikost signálu. Pro velikost signálu bylo zvoleno písmo Times New Roman o velikosti 32 bodů a pro jednotky stejné písmo, ale s velikostí 19 bodů. Obě znakové sady jsou uloženy ve FLASH paměti mikroprocesoru a musí být v přesně definovaném formátu. Tento formát vychází z knihovny [18].

Znaková sada je složena ze dvou částí. Hlavička má 255 bytů, kde první byte udává výšku fontu a ostatních 224 bytů určuje šířku jednotlivých znaků, a druhá část binárně prezentuje jednotlivé znaky. Protože tento formát dat nemá pevně stanovenou velikost znaku, je velikost datové části proměnlivá v závislosti na velikosti každého znaku. Celá znaková sada je kompatibilní s ASCII znakovou sadou.

4.3 Hlavní část programu

Hlavní program zpracovává měřené napětí a zobrazuje údaje na displeji. Nejdříve jsou nadefinovány všechny proměnné, nastavení převodníku a tlačítka, následuje inicializace displeje, která je nezbytná pro správnou funkčnost celého zařízení. Dalším krokem je načtení všech hodnot napětí na A/D převodníků pomocí funkce `NACTI_ADC` a jejich přepočítání na napětí v mV. Pro zvýšení přesnosti je z obou A/D převodníků, které měří signál, načteno padesát hodnot, které jsou následně zprůměrovány. Program pokračuje detekcí stisknutého tlačítka. Jako výchozí jednotky jsou nastaveny mV/V, při stisknutí tlačítka se změní jednotky na dB nebo dBm a velikost signálu je přepočítána na danou veličinu. Volba zvoleného rozsahu je vyřešena rozdělením napětí z děličů do čtyř napěťových intervalů. V následující ukázce okomentovaného zdrojového kódu je zpracováno napětí na prvním kanále při rozsahu 2 V.

```
if ((rozsahCH1<=875) && (rozsahCH1>=625)) // rozsah napětí na děličích pro 2 V rozsah
{
    if (stisk == 0) // jednotky mV/V
    {
        if (jednotkyCH1 == 1){neprepsaniCH1 = 5;} // přepsání jednotky při mV

        if (stisk != neprepsaniCH1) // nepřepíše již správně vypsanou jednotku
        {
            draw_text(18, 40, 42, 15, "V", font2); // vypsání jednotky
            neprepsaniCH1=0; // vypsány mV/V
        }
        vypocetCH1=napetiCH1/100; // výpočet napětí
        dtostrf(vypocetCH1, 1, 2, hodnotaCH1); // převod z double na char
        jednotkyCH1=2; // zvolená jednotka je V
    } ...
}
```

Obdobně jsou zpracovány i ostatní rozsahy a jednotky v obou měřených kanálech. Pokud jsou obě hodnoty vypočítány, dojde k jejich vypsání na displej. To je ještě ošetřeno proti větší hodnotě napětí, než je zvolený rozsah a také při nulovém napětí. Celý podrobněji okomentovaný zdrojový kód je k dispozici na přiloženém CD.

5 VÝROBA A OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI

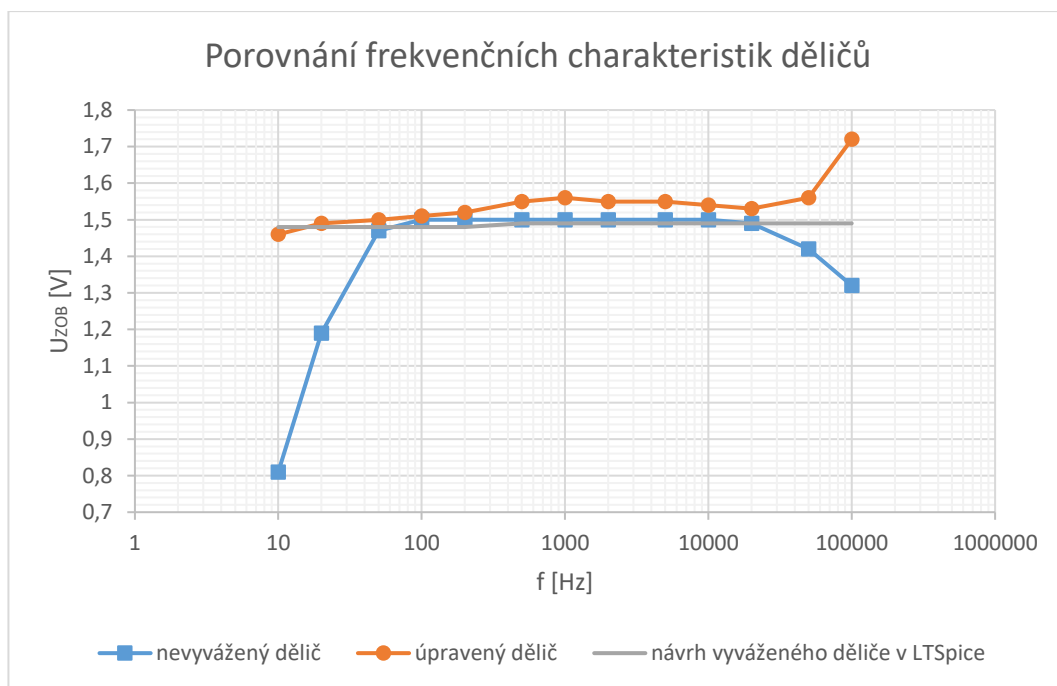
Na obrázku 27 je zobrazeno celé zařízení. To je umístěno na jedné jednostranné desce plošného spoje. Ta má rozměry 80 x 77 mm. Na vrchní straně desky jsou nezbytné drátové propojky. Veškeré součástky jsou osazeny na vrchní straně desky, pouze filtrační kondenzátory, které musí být co nejbližší k mikroprocesoru, jsou umístěny přímo na spodní straně desky. Všechny integrované obvody jsou umístěny v patičkách a je možné je jednoduše vyjmout. Displej je vzhledem k úspoře místa umístěn nad celou deskou a je odnímatelný. Celé zařízení je umístěno v černé plastové krabičce s označením G120. Jedná se o dvoudílnou krabičku o rozměrech 175 x 124 x 39 mm. Na přední část přístroje je nalepená PVC samolepka. Dle zadání je celé zařízení napájené externím 5 V zdrojem, který se připojuje pomocí konektoru umístěného na levém boku přístroje.



Obrázek 27 – Fotografie celého zařízení

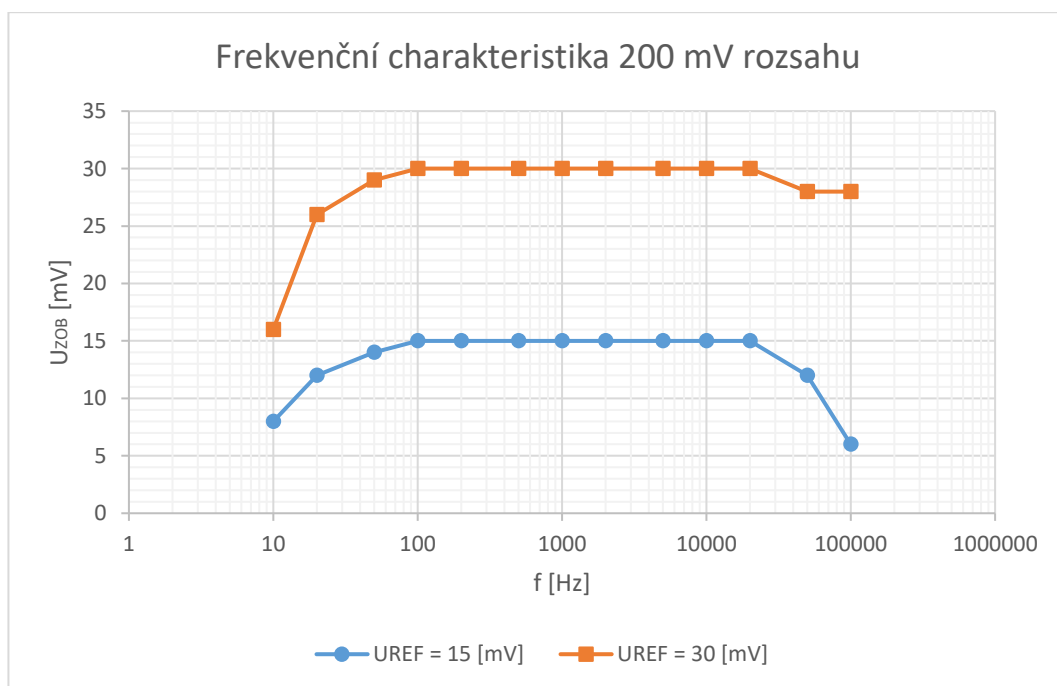
Funkčnost celého zařízení byla ověřena v laboratoři měření frekvenční charakteristiky. Jako referenční měřicí přístroj byl zvolen přesný analogový laboratorní milivoltmetr GVT-417B od firmy GW Instek s výrobním číslem EF882654. Pro každý rozsah byly změřeny dvě hodnoty sinusového signálu U_{REF} nastavené podle referenčního přístroje v rozsahu 10 Hz až 100 kHz. Velikost zobrazovaného napětí na displeji U_{ZOB} byla zaznamenávána do grafů. Pro přehlednější zobrazení byly hodnoty z obou kanálů zprůměrovány.

Na grafu 1 je zobrazeno porovnání frekvenční charakteristiky frekvenčně nevyváženého děliče, frekvenčně upraveného děliče a návrh vyvážení v programu LTSpice. Tyto charakteristiky byly měřeny na 2 V rozsahu při $U_{REF} = 1,5$ V.

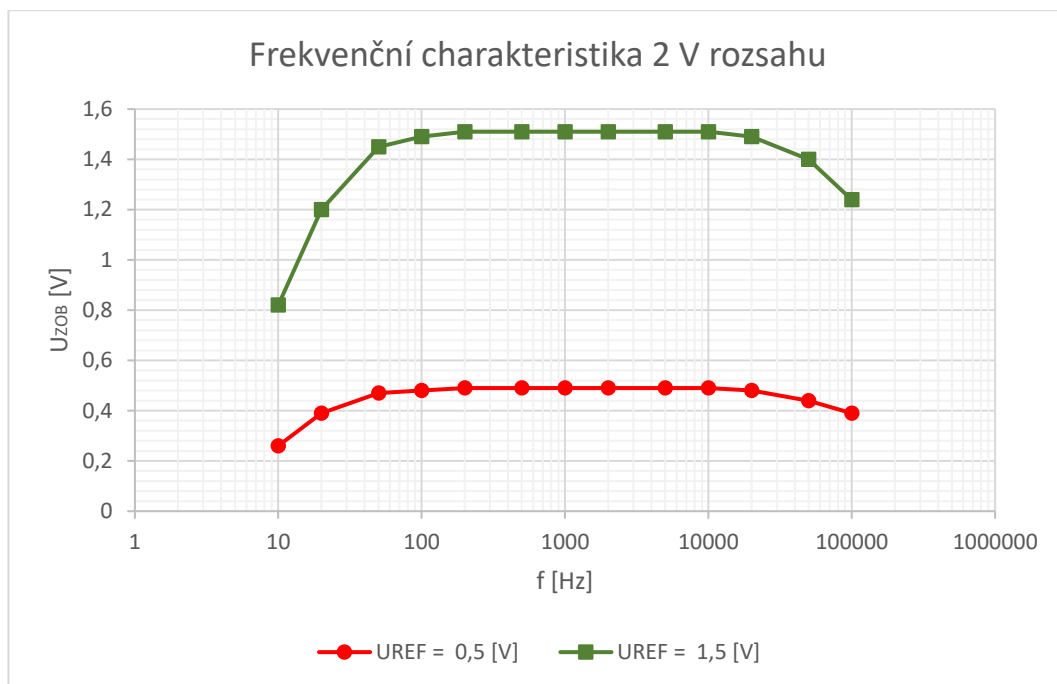


Graf 1 – Porovnání frekvenčních charakteristik děličů

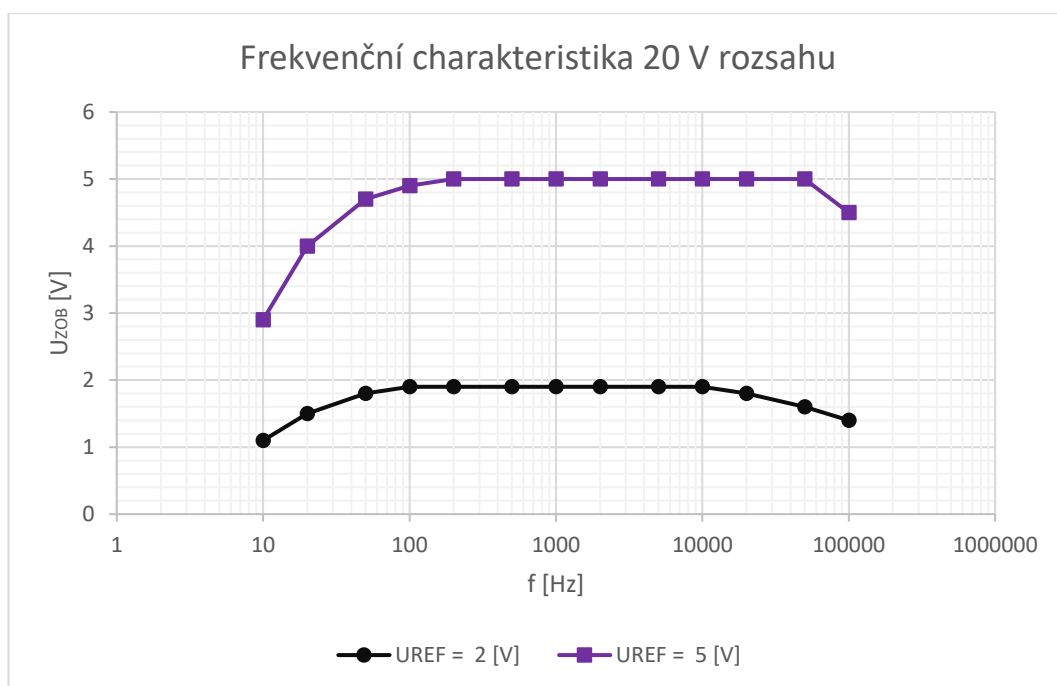
Na následujících grafech 2 až 5 jsou zobrazeny frekvenční charakteristiky jednotlivých rozsahů měřiče.



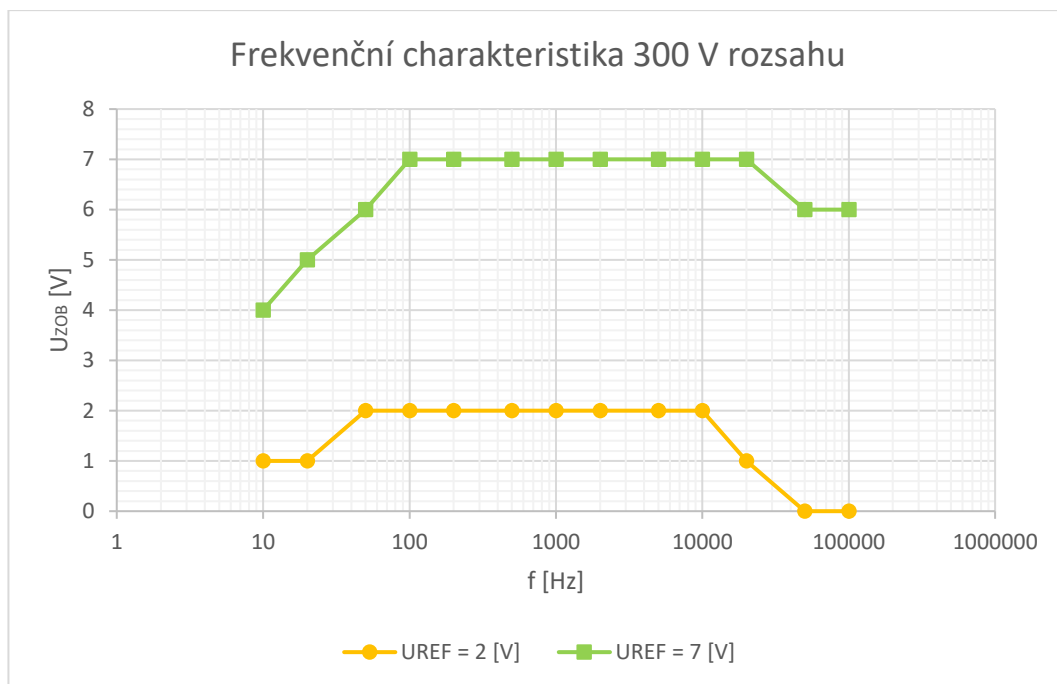
Graf 2 – Frekvenční charakteristika 200 mV rozsahu



Graf 3 – Frekvenční charakteristika 2 V rozsahu



Graf 4 – Frekvenční charakteristika 20 V rozsahu



Graf 5 – Frekvenční charakteristika 300 V rozsahu

Z vyhodnocených výsledků měření vyplývá, že lze měřit sinusový signál v kmitočtovém rozsahu od 100 Hz do 20 kHz téměř bezchybně, a to pro celý napěťový rozsah. Nejpřesněji měří základní rozsah 200 mV. Oba kanály měří napětí téměř identicky.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navržení nízkofrekvenčního dvoukanálového měřiče úrovně s použitím vhodného mikrokontroleru, který bude umožňovat přepínání jednotek a zobrazování naměřených hodnot na grafickém LCD, dalším požadavkem byl kmitočtový rozsah minimálně od 1 Hz do 20 kHz a napěťový rozsah 1 mV až 300 V.

Ve fázi návrhu byl nejdříve zvolen mikroprocesor ATmega8, který se ale vzhledem ke své malé vnitřní paměti později ukázal jako nedostačující. Proto byl vybrán mikroprocesor ATmega328, který je velice podobný předchozímu mikroprocesoru, a tak nebylo zapotřebí velké množství úprav. Zásadní volbou byl výběr integrovaného obvodu AD736 pro převod efektivní hodnoty napětí, který zjednodušil návrh celého zařízení. Displej byl vybrán tak, aby mohl být připojen přímo na datovou sběrnici mikroprocesoru a obsahoval vhodný řadič. Napěťový rozsah byl realizován děličem, který umožňuje volit měřicí rozsahy. Tento dělič se bohužel nepodařilo přesně frekvenčně vyvážit, a proto byl nakonec zvolen nevyvážený dělič, který i tak dosahuje poměrně přesných výsledků.

Možným vylepšením měřiče by mohlo být přesnější frekvenční vyvážení napěťového děliče, přidání měření frekvence signálu nebo zobrazení minimální, maximální a průměrné hodnoty měření, dále např. možnost uložení měřených dat nebo propojení s počítačem. Softwarovým zlepšením by mohlo být větší využití možností grafického displeje, např. zobrazení měřené veličiny na displeji pomocí grafické stupnice.

Cíl práce tímto považuji za splněný.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Elektrotechnická měření*. Praha: BEN – technická literatura, 2002. ISBN 978-80-7300-022-6.
- [2] HAASZ, Vladimír a Miloš SEDLÁČEK. *Elektrická měření: přístroje a metody*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01717-6.
- [3] Gme.cz: Analogový multimetr. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://www.gme.cz/data/product/480_480/pctdetail.723-003.1.jpg
- [4] BARTUŠEK, Karel. *Měření v elektrotechnice. 2., přeprac. a dopl. vyd.* Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-4160-6.
- [5] Homeautomationhub.com: ATmega328. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.homeautomationhub.com/sites/default/files/imagecache/product/328p.jpg>
- [6] Atmel: ATmega328. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf
- [7] Analog Devices: AD736. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD736.pdf>
- [8] Rapidonline.com: AD736. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://static.rapidonline.com/catalogueimages/Product/S82-0457P01WL.jpg>
- [9] Tme.eu: DEM 128064H SYH-PY. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://static4.tme.eu/products_pics/5/b/a/5bada04526cac8b1a96a3ba3ff0de1af/312903.jpg
- [10] Display Elektronik: DEM 128064H SYH-PY. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://www.display-elektronik.de/filter/DEM128064H_SYH-PY.pdf
- [11] Toshiba: T6963C. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.lcd-module.de/fileadmin/eng/pdf/zubehoer/t6963c.pdf>
- [12] Tme.eu: SR26NS1-2-6P-M10-38R6 [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://static3.tme.eu/products_pics/5/8/1/581cde0cf4f2dadea1b5d2488ec698af/371424.jpg
- [13] Gme.cz: P-PB303B WHITE [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://www.gme.cz/data/product/480_480/630-100.1.jpg
- [14] Dps-az.cz: ISP rozhraní [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/getFile/id:6177/Obr.%203%20Standardn%C3%AD%20rozhran%C3%AD%20ISP6%20a%20ISP10.jpg>
- [15] Intersil: ICL7660. [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/icl7/icl7660.pdf>
- [16] Interfacing Toshiba T6963C LCD to Atmel AVR microcontroller. *En.radzio.dxp.pl* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://en.radzio.dxp.pl/t6963/>

[17] SKOPAL, Miroslav. *Knihovna grafických prvků pro mikrokontrolery Atmel AVR a grafické displeje* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/15160>

PŘÍLOHA A – CD

Příložené CD obsahuje následující soubory:

- Textová podoba bakalářské práce v PDF
- Schéma zapojení a deska plošného spoje v programu EAGLE
- Zdrojový kód programu v jazyce C