

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Multimetr s USB rozhraním

Bohumil Lotz

Bakalářská práce
2022

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bohumil Lotz**
Osobní číslo: **I19031**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Multimetr s USB rozhraním**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace konstrukčního řešení univerzálního měřicího přístroje s rozhraním USB. Měřicí přístroj bude určen k měření vybraných elektrických a neelektrických veličin. Bude disponovat stejnými (obvyklými) funkcemi, jako komerčně vyráběné přístroje této kategorie. Mechanická konstrukce přístroje bude navržena v podobě 3D modelu vybraného CAD software a realizována s využitím možností 3D tisku. Základem elektronické jednotky bude mikro počítač typu ATmega, nebo vývojový kit s tímto typem mikro počítače (např. Arduino UNO, Mega atp.). Firmware mikro počítače bude realizován v jazyce C (případně jeho klonu) a ovládací a vizualizační software bude realizován v jazyce C#. Součástí práce bude podrobný konstrukční a uživatelský manuál, včetně firmware mikro počítače a uživatelského software osobního počítače.

Rozsah pracovní zprávy: **40**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4
MATOUŠEK, D., Aplikace ATmega644, BEN – technická literatura, 2013, ISBN 978-80-7300-492-7
ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **17. prosince 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2022**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 7. ledna 2022

Prohlášení:

Prohlašuji:

Tuto práci jsem 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., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 31. 01. 2022

Bohumil Lotz

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D za odborné vedení mé bakalářské práce, cenné rady a věcné připomínky, které mi pomohly práci dokončit.

ANOTACE

Tato bakalářská práce je věnována návrhu digitálního multimetru, který bude automaticky přepínat rozsahy, aby nedocházelo k přepětí na mikroprocesoru. Též je k multimetru vytvořena aplikace, do které se automaticky po připojení přístroje budou posílat naměřená data.

KLÍČOVÁ SLOVA

Digitální multimetr, USB rozhraní, Aplikace pro přenos dat

TITLE

MULTIMETER WITH USB INTERFACE

ANNOTATION

This bachelor thesis is devoted to the design of a digital multimeter that will automatically switch ranges to avoid overvoltage on the microprocessor. An application is also created for the multimeter, to which the measured data will be sent automatically after connecting the device.

KEYWORDS

Digital multimeter, USB interface, Application for data transmission

OBSAH

Seznam zkratk a značek.....	9
Seznam ilustrací a tabulek.....	10
Úvod.....	12
1. Multimetr.....	13
1.1. Analogový multimetr.....	13
1.1.1. VOLTCRAFT VC-13A.....	14
1.1.2. VOLTCRAFT VC-2030A.....	14
1.1.3. VOLTCRAFT VC-5080.....	14
1.1.4. Metrix MX1.....	14
1.1.5. Porovnání analogových multimetrů.....	15
1.2. Digitální multimetr.....	15
1.2.1. UNI-T UT131B.....	16
1.2.2. Emos MD-420.....	16
1.2.3. UNI-T UT195DS.....	16
1.2.4. UNI-T UT181A.....	17
1.2.5. Porovnání digitálních multimetrů.....	17
1.2.6. Závěr rešerše multimetrů.....	17
2. Principy měření elektrických a neelektrických veličin.....	18
2.1. Měření stejnosměrného napětí.....	18
2.2. Měření stejnosměrného proudu.....	19
2.3. Měření střídavého signálu – napětí, proudu.....	21
2.4. Měření odporu.....	24
2.5. Měření frekvence.....	25
2.6. Měření kapacity.....	27
3. Sériová komunikace.....	29
3.1. Synchronní komunikace.....	29
3.2. Asynchronní komunikace.....	29
3.3. UART.....	29
3.4. USB.....	30
4. Návrh multimetru.....	32
4.1. Mikrokontroler.....	33
4.2. AD převodník.....	33
4.2.1. Paralelní převodník.....	34

4.2.2.	Převodník s postupnou aproximací.....	35
4.2.3.	Integrační převodník	36
4.3.	Napájení	36
4.3.1.	Záporný zdroj	37
4.3.2.	USB ↔ UART převodník s CP2102	38
4.3.3.	Step-up měnič s MT3608	38
4.3.4.	Step-down měnič s LM2576HV	39
4.4.	Display	39
4.5.	Volba rozsahů	40
4.6.	Volba módů	41
4.7.	Schéma zapojení	43
4.8.	Testovací zapojení	44
4.9.	Naměřená data	45
4.10.	Kalibrace měření.....	47
5.	Softwarový návrh	48
5.1.	Program multimetru	48
5.2.	Program aplikace	49
6.	Konstrukční návrh.....	50
7.	Závěr.....	53
	Literatura.....	55
	Přílohy.....	56

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

USB	Universal Serial Bus – Univerzální sériová sběrnice
ADC	Analog Digital Converter – Analogově digitální převodník
MCU	Micro Controller Unit – Mikrokontroler
RISC	Reduced instruction Set Computer – Omezená znaková sada
EEPROM	Electrical Erasable Programmable Read Only Memory
MSB	Master Significant Bit – Bit s nejvyšší vahou
LSB	Last Significant Bit – Bit s nejmenší vahou
DPS	Deska plošných spojů
RMS	Root Mean Square – Efektivní hodnota

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1.1 - Analogový multimetr AX-7020.....	13
Obrázek 1.2 – Digitální multimetr UNI-T UT131B (UNI-T, 2020).....	16
Obrázek 2.1 – Blokové schéma číslicového multimetru (Filip Albert, 2008).....	18
Obrázek 2.2 – Schéma napěťového děliče	19
Obrázek 2.3 – Schéma převodníku I/U	20
Obrázek 2.4 – Schéma zapojení aktivního usměrňovače (ELLIOT, 2005).....	22
Obrázek 2.5 – Průběh signálu na osciloskopu	23
Obrázek 2.6 – Schéma zapojení aktivního detektoru špiček (ELLIOT, 2006).....	23
Obrázek 2.7 – Vyhlazený průběh na osciloskopu.....	24
Obrázek 2.8 – Schéma pro měření odporu (Vlček, 2004).....	25
Obrázek 2.9 – Schéma zapojení LM331 měniče frekvence/napětí (TI, nedatováno).....	26
Obrázek 2.10 – Schéma zapojení převodníku f/U s NE555	26
Obrázek 2.11 – Schéma zapojení RC článku.....	27
Obrázek 2.12 – Schéma zapojení převodníku C/f s NE555	28
Obrázek 3.1 – UART packet (Campbell, 2016).....	30
Obrázek 4.1 – Blokové schéma zapojení.....	32
Obrázek 4.2 – Atmega32 (GME, nedatováno)	33
Obrázek 4.3 – Schéma zapojení paralelního ADC (Filip Albert, 2009)	35
Obrázek 4.4 – Schéma převodníku s postupnou aproximací (Filip Albert, 2009).....	35
Obrázek 4.5 – Schéma zapojení integračního ADC (Filip Albert, 2009)	36
Obrázek 4.6 – Blokové schéma napájení.....	36
Obrázek 4.7 – Schéma zapojení generátoru záporného napětí	37
Obrázek 4.8 – Převodník USB-UART (GME, nedatováno)	38
Obrázek 4.9 – Step-up měnič s MT3608 (laskakit, nedatováno).....	38
Obrázek 4.10 – Step-down měnič s LM2579HV (laskakit, nedatováno).....	39
Obrázek 4.11 – Schéma zapojení displeje	40
Obrázek 4.12 – Schéma napěťového děliče s přidaným multiplexorem.....	40
Obrázek 4.13 – Schéma zapojení tlačítek.....	41
Obrázek 4.14 – Schéma zapojení Quad-Switchů.....	42
Obrázek 4.15 – Kompletní schéma zapojení	43
Obrázek 4.16 – Testovací zapojení 1	44
Obrázek 4.17 – Testovací zapojení 2	44

Obrázek 4.18 – Graf odchylek napětí od údaje panelového měřicího přístroje zdroje	45
Obrázek 4.19 – Graf odchylky hodnot multimetru od Steinbergu.....	46
Obrázek 4.20 – Graf odchylek hodnot odporu.....	46
Obrázek 4.21 – Graf odchylek proudu od hodnoty vypočtené	47
Obrázek 5.1 – Blokové schéma programu multimetru.....	48
Obrázek 5.2 – Aplikace pro příjem dat z Multimetru	49
Obrázek 6.2 – Přední část krabičky.....	50
Obrázek 6.1 – Schéma přední části krabičky.....	50
Obrázek 6.4 – Sestava krabičky.....	51
Obrázek 6.3 – Zadní část krabičky.....	51
Obrázek 6.6 – Návrh DPS 2.....	52
Obrázek 6.5 – Návrh DPS	52
Obrázek 7.1 – Konečná podoba multimetru	53
Tabulka 1.1 – Porovnání analogových multimetrů.....	15
Tabulka 1.2 – Porovnání Digitálních multimetrů.....	17
Tabulka 7.1 – Parametry multimetru.....	53

ÚVOD

V současné době je multimetr jeden z nejlepších společníků každého v oboru elektrotechniky. Od techniků, pohybujících se v drsném a náročném prostředí, elektrikářů, dělajících různé elektroinstalace, až po domácí kutily, kteří si něco staví. Avšak i tyto měřicí přístroje mají své limity. Tenhle umí tohle, tenhle umí tamto. Tenhle se hodí na tohle, tenhle na tamto. Takřka koukáme jenom na cenu a parametry, ale co zkusit, jak něco takového vytvořit.

Cílem této práce byl návrh a konstrukce digitálního multimetru s možností měření všech obvyklých veličin multimetru. Dále s možností připojení k počítači přes USB, kde by aplikace vytvořená v Microsoft Visual Studiu mohla přijímat a zobrazovat data zaslaná multimetrem, a navíc, by mohla multimetr ovládat.

1. MULTIMETR

Multimetr je v této době i v době nadcházející nedílná součást každé elektrotechnické dílny, každého elektrikáře, elektrotechnika či každého člověka, co se zajímá o elektrotechniku. Multimetr je měřicí přístroj používaný v elektronice, který je určen k provádění úkonů hned několika měřicích přístrojů. Může jim být například měření napětí - Voltmetr, proudu - Ampérmetr a odporu – Ohmmetr, a to vše v jednom společném multimetru. U dražších a pokročilejších modelů lze také měřit kapacitu a indukčnost, frekvenci a lze je použít k určení vývodů polovodičových prvků, jako jsou tranzistory a diody. Kromě veličin je ovšem důležitá přesnost multimetru, měřicí rozsah, rozlišovací schopnost, časová a teplotní stálost (Vlček, 2003).

1.1. ANALOGOVÝ MULTIMETR

Analogový multimetr je starší typ multimetru a je to vlastně ampérmetr. Jeho provoz je založen na pružinovém mechanismu pohyblivé cívky umístěném uvnitř magnetu. Když proud protéká cívkou, tak vzájemné působení mezi indukovaným magnetickým polem a magnetem vytváří sílu, která hýbe s cívkou. Jehla připojená k cívce se pohybuje přímo úměrně s vyprodukovanou silou a ta je zase úměrná proudu protékající cívkou. Jehla poté ukazuje na stupnici, což označuje množství proudu procházejícího cívkou.



Obrázek 1.1 - Analogový multimetr AX-7020

Pro měření napětí a odporu je vnitřní obvod připojen k dalším obvodům, takže proud protékající cívkou poté představuje napětí nebo odpor. Proto na multimetru najdeme povětšinou více stupnic, kde každá je pro jinou veličinu. Nevýhodou analogových měřičů je chyba

paralaxy, tj. chyba perspektivy. Je dána tím, že pokud odečítáte hodnoty z jiné dálky nebo z jiného úhlu, tak se vám může hodnota na číselníku jevit jinak, než ve skutečnosti je.

1.1.1. VOLTCRAFT VC-13A

Tento analogový multimetr spadá do nižší cenové kategorie a do měřicí kategorie CAT III, tj. jmenovité měření napětí do 300 V. Dokáže měřit napětí jak střídavé, tak stejnosměrné do, jak bylo zmíněno, 300 V. Proud do maxima 250 mA, avšak pouze stejnosměrný. Dále může měřit elektrický odpor, útlum a testování baterií. Výrobce udává přesnost se pohybuje kolem 4 %.

1.1.2. VOLTCRAFT VC-2030A

Tento multimetr spadá již do vyšší cenové kategorie, ale také patří do měřicí kategorie CAT III, avšak jeho maximální jmenovité napětí je 500 V. Na rozdíl od předchozího VOLTCRAFTU VC-13A, tento multimetr již dokáže měřit jak střídavý, tak stejnosměrný proud. Stejnosměrný proud do maxima 10 A, avšak střídavý do maxima 500 mA. Dále též dokáže měřit elektrický odpor s rozlišením 10 M Ω a též disponuje funkcí testeru baterií. Výrobce udává přesnost se také pohybuje kolem 4 %.

1.1.3. VOLTCRAFT VC-5080

Další multimetr je v ještě vyšší cenové kategorii, ale ještě ne v té nejvyšší. Jako VOLTCRAFT VC-2030A spadá do měřicí kategorie CAT III s maximem 500 V. Opět se od předchozího VC-2030A odlišuje a to tím, že stejně jako VC-13A nedokáže měřit střídavý proud, pouze stejnosměrný, a to do maxima 10 A. Co především odlišuje tento multimetr od VC-2030A je to, že dokáže měřit frekvenci a to od 0,01 kHz – 25 kHz. Výrobce udává přesnost se pohybuje do 3 %.

1.1.4. Metrix MX1

Jedná se o multimetr ve vysoké cenové kategorii. Spadá do dvou měřicích kategorií. Pro napětí do 1000 V spadá do CAT II a pro hodnoty do 600 V spadá do CAT III, avšak jeho maximální měřitelné napětí je 1500 V. Pro střídavé i stejnosměrné je maximální proud 10 A. Tento multimetr se vrátil na měření pouze tří základních veličin, a to kompenzuje svou přesností, která je uváděna do 2 %.

1.1.5. Porovnání analogových multimetrů

Porovnáním výše zmíněných multimetrů zjistíme, že vyšší cena nezaručuje větší množství funkcí, ale většinou spíše větší přesnost, což je jedna z nejdůležitějších vlastností, ale ne vždycky potřebujeme přesnou hodnotu a stačí nám pouze odhad veličiny.

Tabulka 1.1 – Porovnání analogových multimetrů

Název	Cena, Kč	Kategorie	Množství funkcí	Přesnost
VOLTCRAFT VC-13A	579	CAT III 300 V	6	4%
VOLTCRAFT VC-2030A	1009	CAT III 500 V	6	4%
VOLTCRAFT VC-5080	2090	CAT III 500 V	8	3%
METRIX MX1	7290	CAT II, CATIII	5	2%

1.2. DIGITÁLNÍ MULTIMETR

Digitální multimetr je hráč dnešní doby. Celá jeho funkce je založena pouze na elektronických součástkách. Digitální multimetr používá napětí k detekci všech vstupních veličin, ať už jde o proud, odpor, frekvenci apod. To znamená, že musíme danou veličinu převést na napětí a k tomu slouží obvody uvedené níže. Dnešní číslicové multimetry často obsahují jeden nebo více mikroprocesorů a obvody rozhraní, umožňující připojení do dalších zařízení – propojení s počítačem. Základní charakteristiky číslicových voltmetrů a multimetrů jsou následující:

- Počet míst číslicového zobrazovače – měl by odpovídat přesnosti přístroje, aby bylo možno využít plný rozsah pro srovnávací měření.
- Počet a hodnoty vstupních rozsahů – přístroje mají obvykle čtyři až šest měřicích rozsahů pro veličiny jako jsou napětí, proud, odpor.
- Přesnost – chyby číslicových multimetrů jsou specifikovány samostatně pro všechny měřené veličiny, měřicí rozsahy a jednotlivá frekvenční pásma.
- Časová stálost – specifikuje přesnost přístroje po kalibraci (24 h, 3 měsíce, rok).
- Rozlišovací schopnost, rozlišení – vyjadřuje nejmenší změnu napětí indikovanou multimetrem.



Obrázek 1.2 – Digitální multimetr UNI-T UT131B (UNI-T, 2020)

1.2.1. UNI-T UT131B

Tento multimetr opět spadá do úplně nejnižší cenové kategorie, dá se pořídit levněji než analogový multimetr z této cenové kategorie. Je zařazen do kategorie bezpečnosti CAT II do 250 V jak střídavých, tak stejnosměrných. Proud stejnosměrný do 10 A. Dále má funkce jako testování spojitosti, test diod, baterií, či detekce polarity. Navíc je možno uchovat výsledky měření. Jak už to u digitálních multimetrů bývá, tak přesnost/chybovost je již uváděna pro každý rozsah hodnot, ale v datovém listu se vše pohybovalo v řádu do 2 %.

1.2.2. Emos MD-420

Tento multimetr se stále pohybuje v nízké cenové kategorii. Od předchozího multimetru se liší maximální hodnotou měřitelného napětí, nyní 300 V s automatickou volbou rozsahu, dále možností měřit i střídavý proud, testování diod, tranzistorů a také měření teploty, až do 1000 °C.

1.2.3. UNI-T UT195DS

Tento multimetr je kvalitativně výše vzhledem k již uvedeným. Maximální měřitelné napětí je již 1000 V \pm 0,5 % stejnosměrné a 750 V \pm 0,7 % střídavé a multimetr též umí měřit i nesymetrické střídavé napětí a proud do 20 A \pm 0,8 % pro stejnosměrný a 20 A \pm 1 % pro střídavý. Dále dokáže měřit odpor až do 60 M Ω s přesností \pm 2,5 %, kapacitu, frekvenci,

testování diod, prozvánění. Má též automatický či manuální rozsah. Též je voděodolný a prachu odolný. Výhodou je, že má dva LCD displeje, na kterém můžeme zobrazovat střídavou a stejnosměrnou složku signálu.

1.2.4. UNI-T UT181A

Multimetr UT181A je kategorie CAT III s automatickým přepínáním rozsahů, který měří *RMS*, maximální, minimální nebo průměrné hodnoty. Přístroj můžeme využít jako miniaturní osciloskop, může vytvořit záznam dat v počtu až 20 000 údajů a vytvořit z něj grafické znázornění průběhu veličiny. Lze též propojit s PC.

1.2.5. Porovnání digitálních multimetrů

Na rozdíl od analogových zde nemůžeme porovnávat přesnost přístroje, protože pro každý rozsah je jiný a přístroje mají jiné rozsahy, avšak můžeme vidět, že zde již cena hraje obrovskou roli v tom, kolik funkcí a předností daný multimetr bude mít.

Tabulka 1.2 – Porovnání Digitálních multimetrů

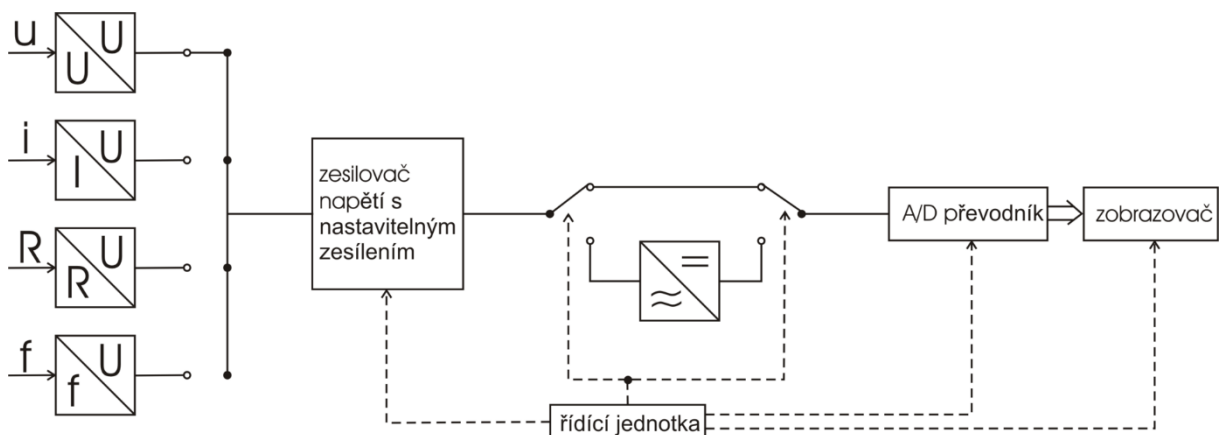
Název	Cena, Kč	Kategorie	Množství funkcí
UNI-T UT131B	299	CAT II 300V	8
Emos MD-420	879	CAT III	10
UNI-T UT195DS	4489	CAT III, CAT IV	13
UNI-T UT181A	9989	GATDI, CAT IV	21

1.2.6. Závěr řešerše multimetrů

Z této řešerše je vidět, že pro návrh multimetru, by bylo vhodné aplikovat několik funkcí, aby odpovídal standardům dnešní doby. Za prvé, multimetr bude digitální. Měl by umět měřit napětí a proud jak střídavý, tak stejnosměrný. Dále měřit odpor a kapacitu a měření frekvence. Další užitečnou vlastností by mohlo být automatické přepínání rozsahů.

2. PRINCIPY MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH A NEELEKTRICKÝCH VELIČIN

U digitálního multimetru je analogový signál převeden na digitální pomocí analogově-digitálního převodníku ADC. Ten získává vzorky napětí na vstupu, se kterými poté mikrokontroler pracuje. Multimetry získají během chvilky desítky vzorků a ty zprůměrují. Výsledek má pak větší přesnost. Tento zprůměrovaný výsledek se poté programově převede zpět na hodnotu měřené veličiny a tu zobrazí na display. U digitálního multimetru díky tomu zaniká chyba paralaxy, protože se na display zobrazí pouze jedno číslo. ale naopak přibývá převodu díky ADC. Díky rozlišení a typu ADC můžeme zvyšovat nebo snižovat přesnost multimetru. Rozlišení multimetru je rozlišovací schopnost rozlišit množství úrovní napětí. Třeba multimetr s 12-bitovým rozlišením dokáže rozlišit 4096 úrovní napětí, při rozsahu do 5 V to dává rozlišovací schopnost v rámci cca 1,22 mV.



Obrázek 2.1 – Blokové schéma číslicového multimetru (Filip Albert, 2008)

2.1. MĚŘENÍ STEJNOSMĚRNÉHO NAPĚTÍ

U měření stejnosměrného napětí se multimetr připojuje paralelně, tak aby co nejméně ovlivňoval připojený obvod. To se zaručuje tím, že multimetr má co největší možnou impedanci, tj. proud tekoucí do multimetru bude minimální oproti tomu, co teče v obvodu.

Jelikož se jedná o veličinu, se kterou AD převodník pracuje, tak jí stačí dostat na požadovanou úroveň, což je v našem případě do rozsahu 5 V. Takže stačí vytvořit jednoduchý napěťový dělič, který nám vstupní napětí na požadovanou hodnotu dostane. Abychom změřili napětí dostatečně přesně, je nutné zajistit, aby napětí na děliči bylo dostatečně velké. Tím je

myšleno, že při vstupním napětí 100 V na děliči nesmí být 0,002 V. Převodník by nejspíše toto napětí zaokrouhlil dolů, čili na 0 V. Toto je více popsáno v kapitole 4.2. Výstupní napětí jednoduchého napěťového děliče získáme ze vztahu

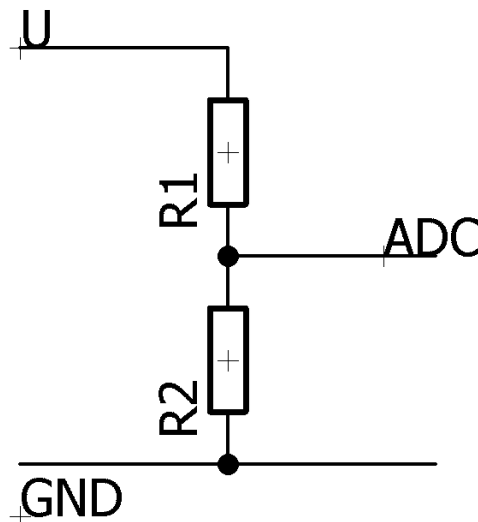
$$ADC = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad (2.1)$$

kde ADC – výstupní napětí na děliči, V,

U – vstupní napětí, V,

R_1 – odpor mezi vstupním a výstupním napětím, Ω ,

R_2 – odpor mezi výstupním napětím a zemí, Ω .



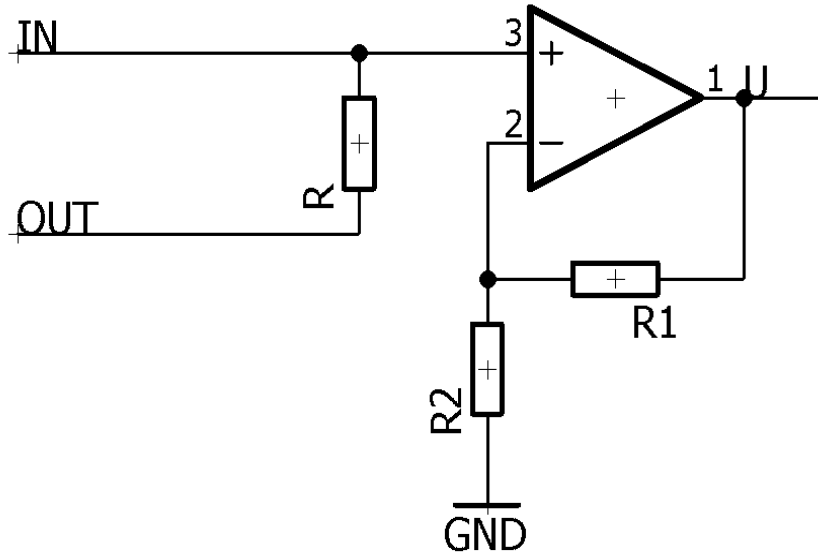
Obrázek 2.2 – Schéma napěťového děliče

2.2. MĚŘENÍ STEJNOSMĚRNÉHO PROUDU

Na rozdíl od měření napětí se u měření proudu multimetr připojuje do série v obvodu, aby veškerý proud protékající obvodem protékal multimetrem. To znamená, že multimetr musí mít co nejmenší impedanci.

Jelikož se nejedná o veličinu, se kterou multimetr pracuje, je nutno tuto veličinu převést na tu, se kterou pracuje, tj. na napětí. To lze udělat jednoduše za pomoci převodníku proud/napětí, viz obrázek 2.3.

Na obrázku 2.3 je převodník I/U, který nám převádí vstupní proud na napětí za pomoci odporu R a poměru odporů R_1 a R_2 . Aby se zajistilo, že multimetr má v módu ampérmetru malý vstupní odpor, tak odpor R má velmi malou hodnotu v jednotkách ohmů. Takřka veškerý proud procházející obvodem půjde přes odpor R , protože u operačních zesilovačů platí, že v ideálním případě mají vstupní impedanci nekonečnou, v reálném případě v jednotkách $M\Omega$ či $G\Omega$.



Obrázek 2.3 – Schéma převodníku I/U

Procházející proud vytvoří na odporu R úbytek napětí. U operačních zesilovačů platí, že se „snaží“, aby na invertujícím i na neinvertujícím vstupu byly stejné potenciály. Takže operační zesilovač vytvoří na svém výstupu takové napětí, aby výsledný potenciál na odporu R_2 byl stejný jako na R . Pro tento obvod můžeme též odvodit vztah, podle nějž dopočítáme výstupní napětí

$$U = R \cdot I_{IN} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right), \quad (2.2)$$

kde U – výstupní napětí, V,

R – vstupní odpor, Ω ,

I_{IN} – vstupní proud, A,

R_1 – odpor ve zpětné vazbě výstupem a invertujícím vstupem, Ω ,

R_2 – odpor ve zpětné vazbě mezi zemí a invertujícím vstupem, Ω .

Tento výsledný vztah je použit v programu při zpětném přepočtu na proud, který zobrazíme na display.

2.3. MĚŘENÍ STŘÍDAVÉHO SIGNÁLU – NAPĚTÍ, PROUDU

Pro měření střídavého napětí či proudu je v elektrotechnice používána efektivní hodnota. Ta je rovna hodnotě stejnosměrného proudu, který na zátěži R vykoná stejnou práci za stejnou periodu – stejný výkon, jako proud střídavý. Z této definice lze udělat definici matematickou. Pro vykonanou práci ve stejnosměrném obvodu platí

$$W = U \cdot I \cdot t = \frac{U^2}{R} t, \quad (2.3)$$

kde W – práce, J,
 U – stejnosměrné napětí, V,
 I – stejnosměrný proud, A,
 R – odpor, Ω ,
 t – čas, s.

Pro hodnotu okamžitého výkonu použijeme

$$p = \frac{u^2(t)}{R}, \quad (2.4)$$

kde p – okamžitá hodnota výkonu, W,
 $u(t)$ – okamžitá hodnota napětí v čase t , V,
 R – odpor, Ω ,
 t – čas, s.

Z definice efektivní hodnoty tedy platí

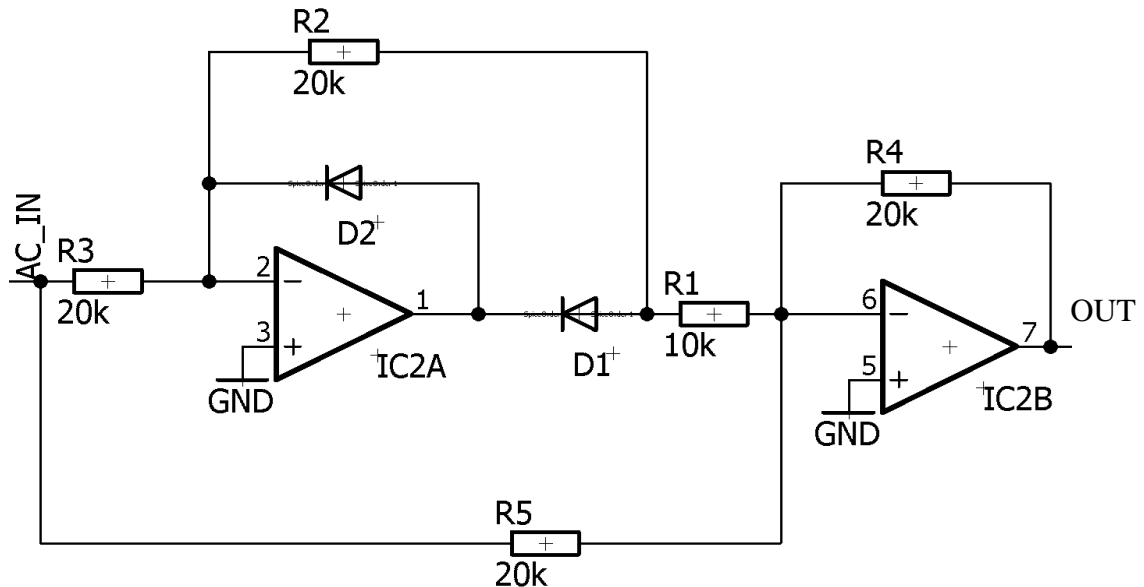
$$W = \int_0^T p dt = \frac{U^2}{R} t \rightarrow \frac{1}{R} \int_0^T u^2(t) dt = \frac{U^2}{R} T \rightarrow U = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (2.5)$$

Toto je obecná definice efektivního napětí. Totéž lze udělat i pro efektivní proud. Jelikož pro střídavý proud a napětí obecně platí, že jsou harmonické, tak musíme tuto obecnou definici upravit pro harmonický signál, tj. za u dosadíme obecnou rovnici jakéhokoliv harmonického signálu (sinus, cosinus, komplexní exponenciála) a vyjde nám rovnice

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T U_{max}^2 \sin^2(\omega t) dt} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}, \quad (2.6)$$

kde U_{max} – špičkové napětí, V,
 ω – úhlová rychlost, rad/s,
 t – čas, s,
 T – perioda, s.

Z výpočtu je vidět, že pro změření efektivní hodnoty harmonického střídavého signálu stačí znát jeho amplitudu. Je tedy nutno navrhnout obvod, který změří amplitudu střídavého signálu a tu pak software přepočte na efektivní hodnotu, kterou zobrazí na display.



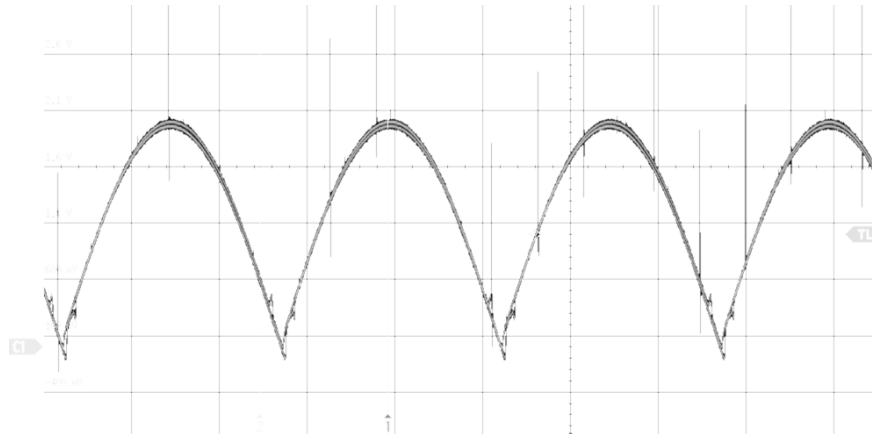
Obrázek 2.4 – Schéma zapojení aktivního usměrňovače (ELLIOT, 2005)

První částí obvodu, který měří amplitudu střídavého signálu, musí být usměrňovač. Jelikož multimetr pracuje v nízkých napětích, tak klasický Gratzewův můstek nelze použít, kvůli úbytku napětí na diodách. Je nutno použít můstek aktivní čili můstek, který na výstupu „dorovná“ úbytek napětí na diodách. Takový vidíme na obrázku 2.4. Skládá se vlastně ze dvou částí. První částí je operační zesilovač v invertujícím zapojení, ovšem pouze pro kladnou polaritu vstupního napětí. Při záporné půlplně proud z výstupu operačního zesilovače projde přes diodu D_2 rovnou na invertující vstup operačního zesilovače. Druhou částí obvodu je operační zesilovač v zapojení jako sumátor, tudíž výstupem je

$$U_{OUT} = -R_4 \left(\frac{U_{INV}}{R_1} + \frac{U_{AC}}{R_5} \right), \quad (2.7)$$

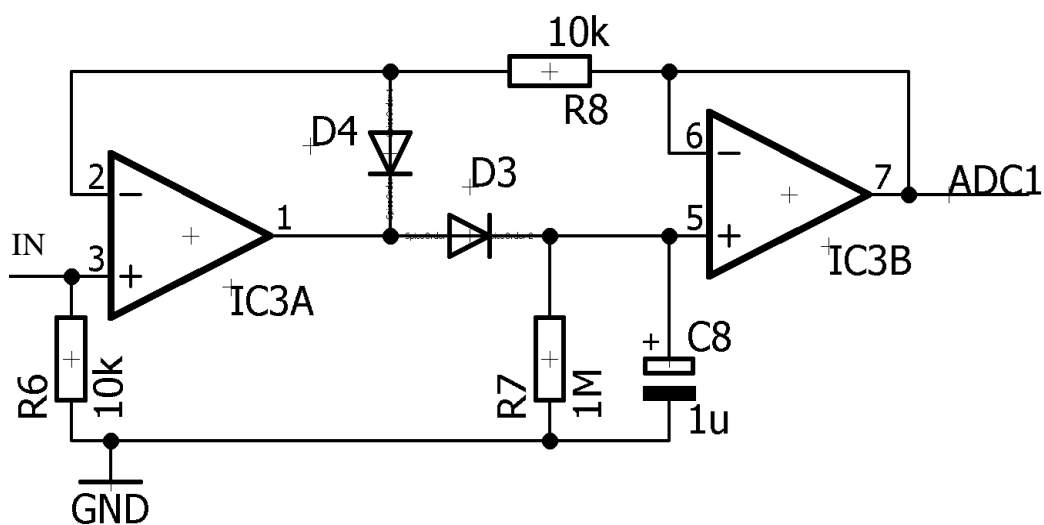
kde , U_{AC} – vstupní napětí (AC_IN), V,
 U_{INV} – výstupní napětí OZ IC2A, V,
 R – odpor, Ω .

Výstupem tohoto obvodu poté bude usměrněný střídavý signál, což znamená, že obě půlvlny signálu budou kladné.



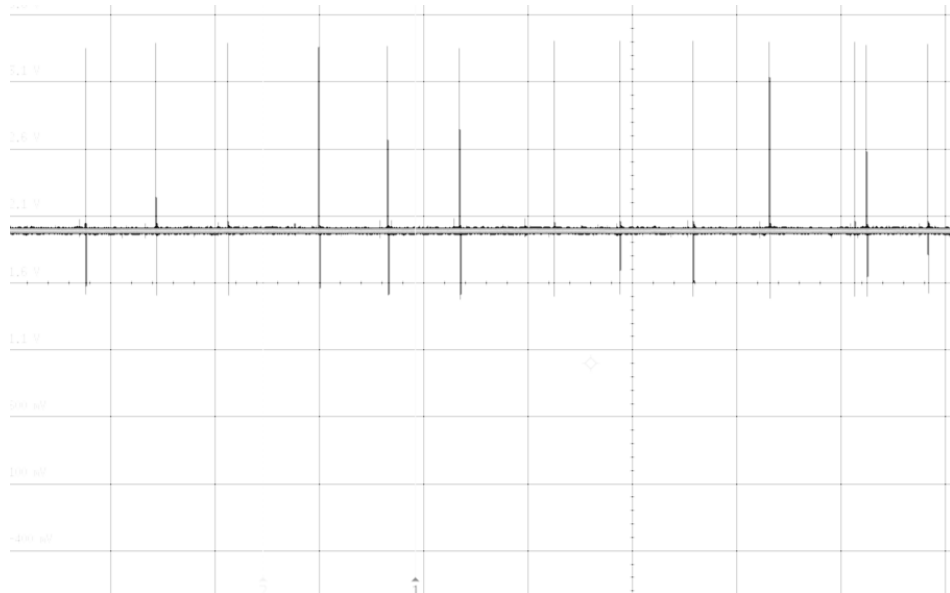
Obrázek 2.5 – Průběh signálu na osciloskopu

Signál pak pokračuje do OZ IC_{3A} na obrázku 2.6. Rezistor R₆ je zde volitelný a je zde pouze kvůli vysoké impedanci zdroje. Jedná se o zapojení aktivního detektoru špiček. Jde o to, že pokud bude na výstupu IC_{3A} proud, tak poteče diodou D₃. Na té se vytvoří úbytek a zbytek začne nabíjet kondenzátor C₈ a ten se pomalu bude vybíjet přes rezistor R₇. Napětí na kondenzátoru C₈ bude i na výstupu ADC1. Přes zpětnou vazbu, až do prvního OZ ve schématu operační zesilovač zjistí, že výstupní napětí není dostačující o úbytek na diodě D₃, a tak výstupní napětí navýší. Tím vyrovná úbytek a na výstupu ADC1 poté bude moct být přesná hodnota maximálního napětí.



Obrázek 2.6 – Schéma zapojení aktivního detektoru špiček (ELLIOT, 2006)

Tímto způsobem se převádí střídavé napětí na stejnosměrné „špičkové“ napětí, které se poté připojí k ADC. Ten změří hodnotu a MCU ji programově upraví na efektivní, kterou poté vypíše na display přístroje.



Obrázek 2.7 – Vyhlazený průběh na osciloskopu

2.4. MĚŘENÍ ODPORU

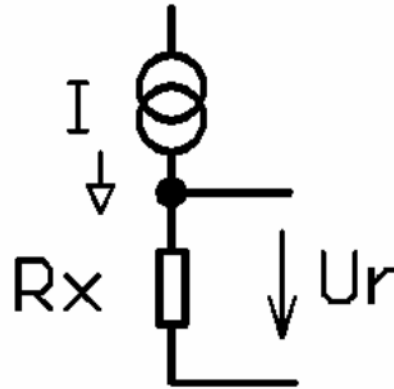
U měření hodnot elektrického odporu lze postupovat obdobně jako u měření napětí, a to s využitím obyčejného napěťového děliče, avšak nyní jeden z odporů bude měřený odpor a vstupní napětí bude konstantní. Pro zjednodušení použijeme obrázek 2.2, jako u měření napětí. Vstupní napětí U bude, jak bylo již zmíněno, konstantní a rezistor R_1 bude měřeným rezistorem. Ze vztahu 2.1 víme vztah pro ADC. Z tohoto vztahu můžeme vyjádřit R_1 a máme výsledný vztah

$$R_1 = \left(\frac{U}{ADC} - 1 \right) \cdot R_2. \quad (2.8)$$

Takto by se, při odpojeném měřeném rezistoru, měřilo pouze šumové napětí. Také by šlo udělat, že neznámý rezistor bude R_2 . Ze vztahu (2.8) již lze jednoduše vyjádřit

$$R_2 = \frac{R_1}{\left(\frac{U}{ADC} - 1 \right)} \quad (2.9)$$

U multimetrů se obecně používá metoda, která se dá považovat za obdobu první, a tj., že se do obvodu přivede zdroj konstantního proudu a měří se napětí na rezistoru R_X . Poté by stačilo změřit napětí a vypočítat z Ohmova zákona rezistor R_X .



Obrázek 2.8 – Schéma pro měření odporu (Vlček, 2004)

2.5. MĚŘENÍ FREKVENCE

Pro měření frekvence signálu jde opět využít několika způsobů. Jedním je, že se využije čas, tedy bude se měřit počet impulzů za definovaný časový úsek. Tím se může dostatečně přesně změřit hodnota frekvence. Aby se vstupní signál normalizoval, tak jsou před čítačem tvarovací obvody, které upraví vstupní signál na sled impulzů, které se poté čítají. Počet impulzů za daný časový interval poté odpovídá frekvenci (Haasz, 2019).

V obvodu na obrázku 2.9 se jedná o zapojení s obvodem LM331, který slouží jako převodník frekvence napětí. Frekvence na C_1 spolu s R_{35} způsobí, na jak dlouho se spustí časovač obvodu, který na výstupu vygeneruje proud podle vztahu

$$I = I_{ref} \cdot (1,1 \cdot R_{38} \cdot C_3) \cdot F_{IN}, \quad (2.10)$$

kde I – výstupní proud, A,

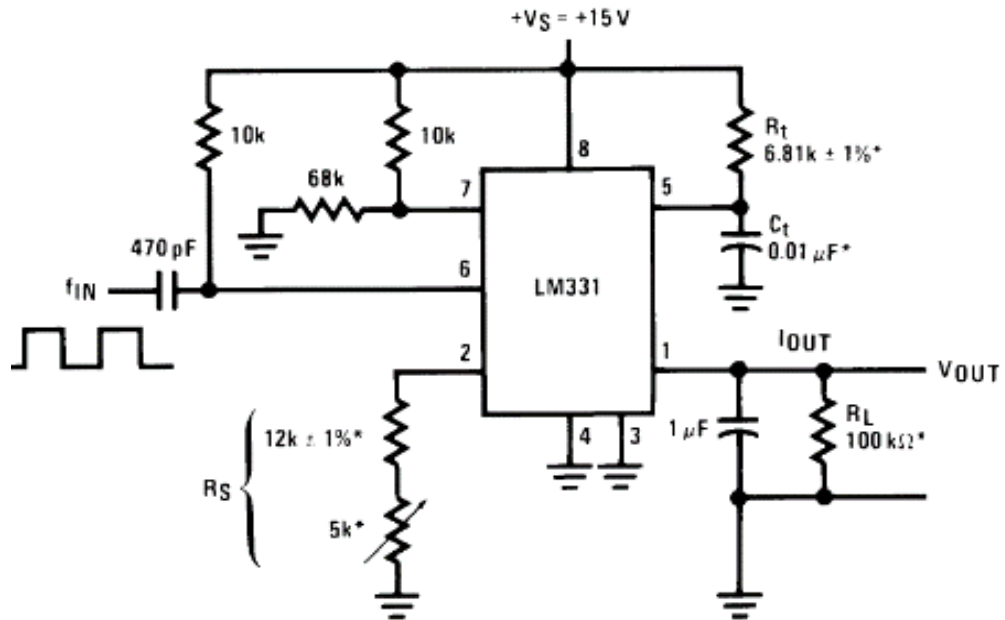
I_{ref} – referenční proud, A,

R_{38} – odpor, Ω ,

C_3 – kapacita, F,

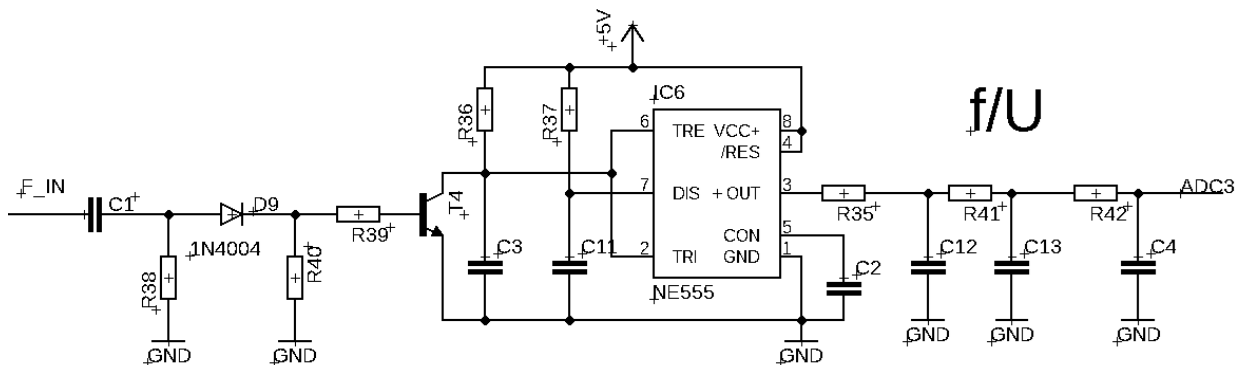
F_{IN} – frekvence vstupního signálu, Hz.

Výstupní proud na výstupu „vygeneruje“ napětí na R_{41} , a to se přes C_2 vyfiltruje, tudíž výstupní napětí bude přesnější, bez možných napěťových špiček. Toto napětí pak přivedeme do mikrokontroleru, kde se softwarově převede na frekvenci, potažmo kapacitu, jak je uvedeno níže.



Obrázek 2.9 – Schéma zapojení LM331 měniče frekvence/napětí (TI, nedatováno)

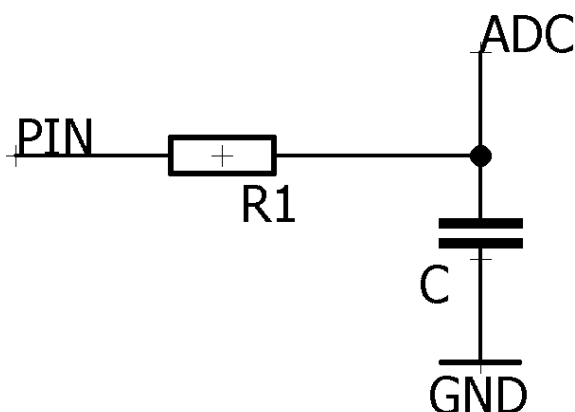
Aby se do obvodu nezapojovalo příliš velké množství obvodů, tak se využije převodníku frekvence/střída s obyčejným 555 časovačem (obrázek 2.10). Ten je zapojen jako monostabilní klopný obvod. Na vstup se přivede frekvence, která se „vyfiltruje“ přes kondenzátor, diodu a odpory, tak aby otevírala a zavírala bázi tranzistoru T_4 , přes který se vybíjí kondenzátor C_3 . Parametry kondenzátoru C_3 a rezistoru R_{36} nám určují rozsah frekvencí, ve kterých se bude měnit střída na výstupu. Na výstupu je umístěn 3násobný RC článek pro vyhlazení výstupního signálu. Pro měření je potřeba stabilní signál a na výstupu je obdélník s proměnnou střídou.



Obrázek 2.10 – Schéma zapojení převodníku f/U s NE555

2.6. MĚŘENÍ KAPACITY

Je zde několik možností, jak měřit kapacitu. Je možno kondenzátor zapojit do obvodu střídavého proudu, v něm změřit efektivní hodnotu proudu a napětí a z Ohmova zákona dopočítat impedanci kondenzátoru a z ní kapacitu. Tato metoda by byla dost nepraktická obzvláště, když multimetr pracuje s napětím stejnosměrným. Další možností je měřit dobu



Obrázek 2.11 – Schéma zapojení RC článku

nabíjení a vybíjení kondenzátoru. Po připojení kondenzátoru C nastavíme na PIN hodnotu 5 V. Kondenzátor se začne nabíjet přes odpor R_1 . Poté, co napětí překročí hodnotu například 2τ daného RC článku (můžeme si zvolit jinou), tak logickou úroveň na PIN nastavíme na zem, aby se kondenzátor mohl opět vybit. Výsledkem je doba, za jakou se kondenzátor nabije/vybije. Z této doby lze dopočítat, za pomoci τ , hodnotu kondenzátoru.

Jak již bylo řečeno u měření frekvence, tak nebudeme využívat dalších různých komponent. Proto i zde pro měření frekvence využijeme časovač NE555 v zapojení astabilního multivibrátoru. Zapojení zde je jednodušší, jelikož na výstupu nám jde o frekvenci generovaného obdélníku, tak budeme měnit kapacitu na pinu C_{IN} . Jelikož se jedná o dosti časté zapojení, tak vzorec pro výpočet výstupní frekvence je v každém datovém listu.

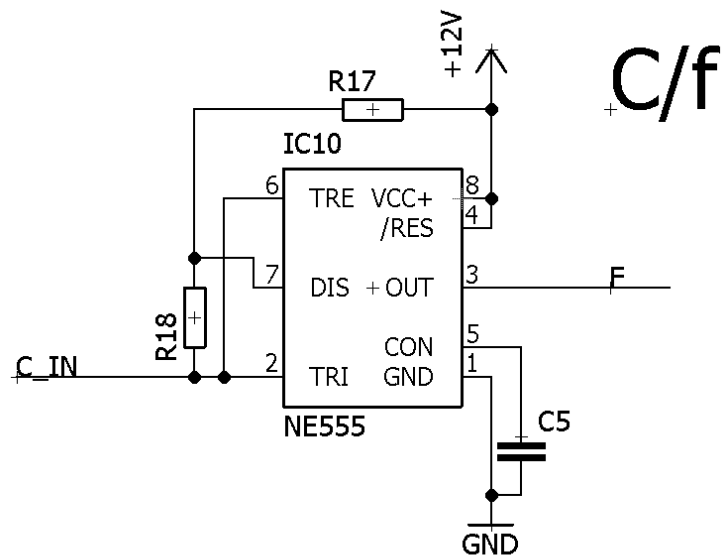
$$f = \frac{1.44}{(R_{17} + 2 * R_{18})C_{IN}} \quad (2.11)$$

kde f – frekvence výstupního signálu, Hz,

R – elektrický odpor, Ω ,

C – elektrická kapacita, F.

To znamená, že je nutné vhodně zvolit odpory, aby na výstupu generovaly frekvenci v rozsahu, který dokáže změřit převodník f/U na obrázku 2.10.



Obrázek 2.12 – Schéma zapojení převodníku C/f s NE555

3. SÉRIOVÁ KOMUNIKACE

Sériová komunikace je proces přenosu dat, kdy data posíláme postupně po jednotlivých bitech pomocí komunikační sběrnice. Tento typ komunikace je v dnešní době nejvyžívanější obzvláště u komunikací na dlouhou vzdálenost a bezdrátovou komunikaci. Sériovou komunikaci můžeme rozdělit na dva typy. Na synchronní a asynchronní.

3.1. SYNCHRONNÍ KOMUNIKACE

U synchronní komunikace se vyžaduje, aby hodiny vysílače a přijímače byly jednotné a běžely stejnou rychlostí. To je zajištěno několika způsoby. Buďto je veden vodič čistě jen pro synchronizaci nebo je synchronizace provedena ze samotných dat. Příjemce využije hran dat. Problém nastane, když za sebou následuje posloupnost samých nul či jedniček. To je ošetřeno tak, že se do dat vloží jednička či nula, tzv. synchronizační bit, díky kterému se přijímač zase synchronizuje s vysílačem (Peterka, 1996). Jelikož se nevyžaduje, aby byly linky jakkoli řízeny, tak se nepoužívají start ani stop bity. To zvyšuje přenosovou rychlost synchronní komunikace oproti asynchronní.

3.2. ASYNCHRONNÍ KOMUNIKACE

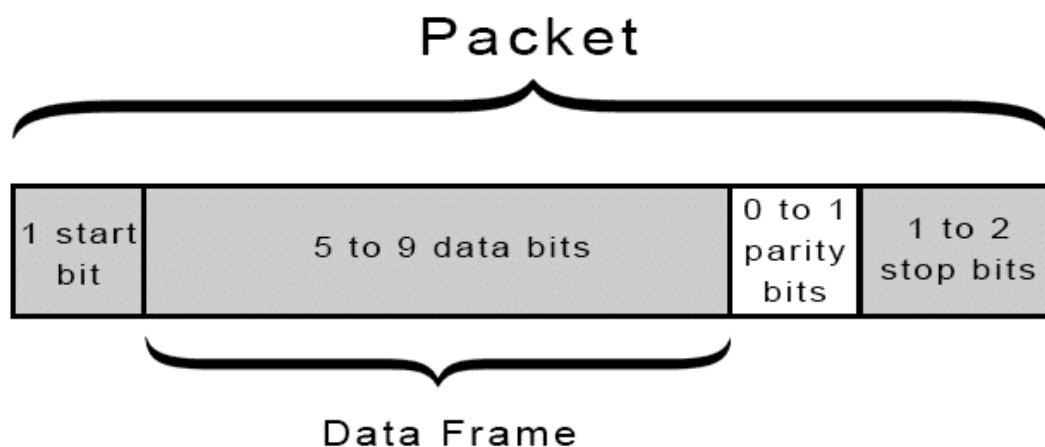
U asynchronní komunikace, též arytmičké, vysílač a přijímač nemají jednotné frekvence, avšak pro přenos je potřeba hodiny pravidelně synchronizovat. Synchronizace probíhá před přenosem každého znaku. Komunikace probíhá po 8 bitech. Prvnímu bitu předchází start bit a za posledním je stop bit. Dále se může přidat před stop bit tzv. paritní bit, který zkontroluje, zda data došla v pořádku či ne. Pokud ne, tak přijímač může požádat o znovu odeslání dat.

Existuje mnoho druhů sériové komunikace. Za jednu z nejstarších se dá považovat Morseova abeceda, kde se vysílaly buďto dlouhé nebo krátké znaky a poté za pomoci tabulky jsme mohli dešifrovat vzkaz, avšak novější sériové komunikace jsou určeny výhradně pro počítač, který s daty pracuje. Jedny z nejznámějších jsou UART, SPI, USB, PCI.

3.3. UART

Univerzálně asynchronní přijímač/vysílač je sériové komunikační rozhraní, které poskytuje datový převod z paralelního na sériové a naopak. Je univerzální proto, že parametry jako přenosová rychlost, datová rychlost atd. jsou nastavitelné (Campbell, 2016.)

V UART rozhraní jsou data organizována do framu/paketu. Potom co rozhraní dostane paralelní data, tak k nim přidá start bit, paritní bit a 1-2 stop bity a vytvoří tak datový packet, který je poté převeden na sériová data. Ta jsou poté poslána bit po bitu od vysílače z pinu T_X. Příjímač data přijme na pinu R_X. Převede data zpět na paralelní, odebere bity „navíc“ a data předá.



Obrázek 3.1 – UART packet (Campbell, 2016)

Ve chvíli, kdy přijímající zařízení rozezná start bit, tak začne číst příchozí bity s určitou frekvencí, která je nazývána jako baud rate. Jedná se o jednotku přenosové rychlosti, vyjadřující počet přenesených bitů za sekundu (bit/s). Obě zařízení musí pracovat se stejnou přenosovou rychlostí.

3.4. USB

Univerzální sériová sběrnice neboli USB, nahradila zastaralý typ připojení, jakým byl sériový port (RS-232), PS/2 apod. Jedná se o velmi podařený standard s obrovskou přenosovou rychlostí. Původní myšlenkou bylo, aby se nahradilo nesčetné množství portů a nahradilo se to jedním, což se povedlo (Ajay Bhatt, 2019). Nyní se drtivá většina rozhraní pohybuje přes USB, ať už od klávesnic, myši po tiskárny, kamery...

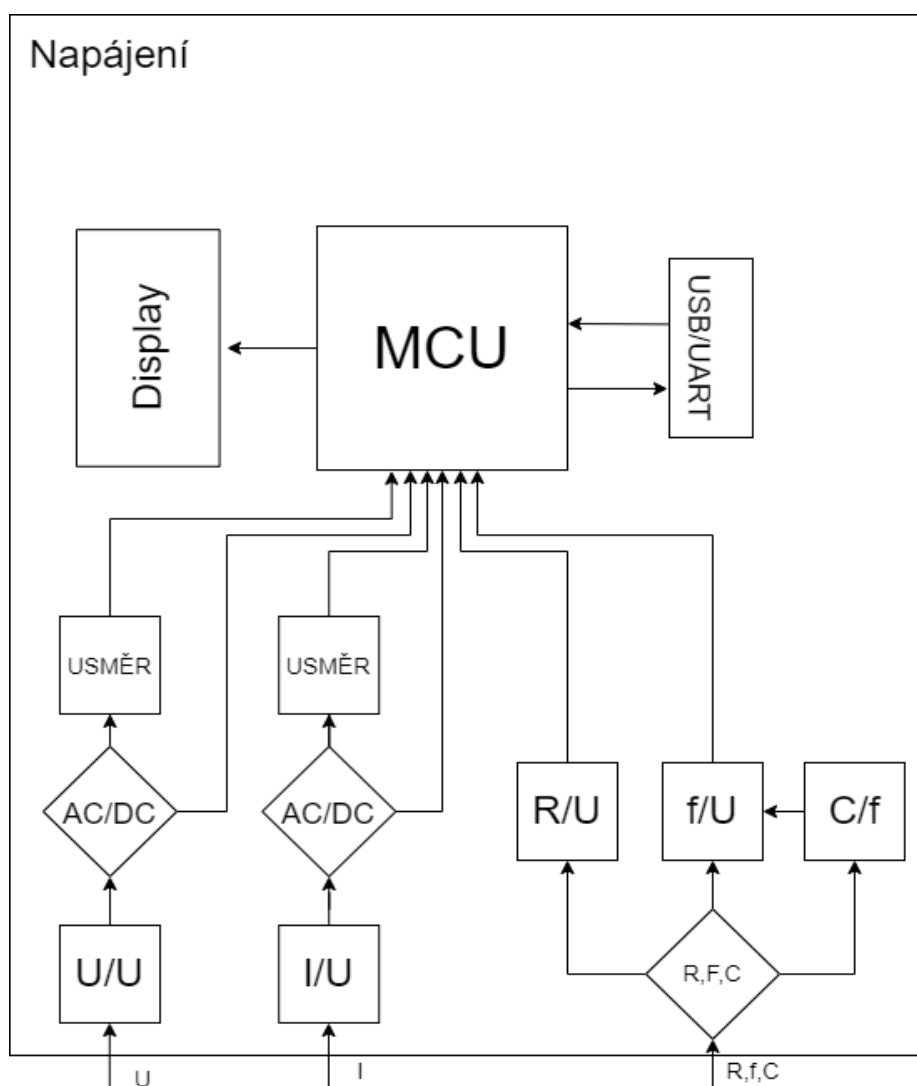
Obrovskou výhodou je možnost připojování Plug & Play, to znamená bez nutnosti restartování počítače nebo ručního instalování ovladačů. Ohromnou výhodou USB je i zpětná kompatibilita. Pokud máte zařízení s USB 3.0 a připojíte ho k zařízení s USB 2.0, tak bude fungovat. Dále můžeme na jeden řadič připojit až 127 zařízení. Nevýhodou je však jeho maximální možná délka kabelu mezi dvěma zařízeními, která činí 5 m. To je délka, při níž ještě bude USB správně fungovat, při delším kabelu již nemusí fungovat správně.

Na rozdíl od UART, které obvykle propojí dva vysílače/přijímače mezi sebou, tak USB posílá data v datových framech, které ještě rozlišují, do kterého/ze kterého zařízení data směřují. Proto musí mezi rozhraními UART/USB převodník, který strukturu dat UART převede na USB a naopak.

4. NÁVRH MULTIMETRU

V druhé kapitole bylo rozebráno měření jednotlivých typů veličin. Uvedená zapojení budou využita i při návrhu, avšak pro doplnění „volby rozsahů“ jednotlivých veličin budou přidány analogové switche, které budou měnit rozsahy.

Dále je nutno vybrat typ mikrokontroleru, který bude vyhovovat potřebám multimetru. Poté zvolit display, na kterém budou zobrazovány výsledky a když bude vše připravené, tak je nutné k danému obvodu vytvořit napájecí obvod.



Obrázek 4.1 – Blokové schéma zapojení

4.1. MIKROKONTROLER

Do multimetru byl instalován 40ti pinový mikrokontroler ATmega32 od rodiny AVR. Obsahuje 32 nastavitelných vstupně/výstupních pinů umístěných na portech A, B, C a D. Dále pak 32 kB programovatelné paměti FLASH, 1 kB EEPROM. Dále 2×8-bitové a jeden 16-ti bitový časovač, který budeme používat pro čtení vzorků na převodníku. AD převodník je na mikrokontroleru umístěn na portu A. Pracuje multiplexně, takže nemůžeme číst ze všech pinů najednou. Vždy převedeme hodnotu na jednom pinu a poté přepneme na pin další, aby se hodnota mohla převést. Dále mikrokontroler obsahuje komunikační rozhraní I2C, USART, SPI, JTAG. Mikrokontroler tedy obsahuje vše, co budeme potřebovat, což je velké množství I/O pinů, alespoň 7 ADC pinů, USART rozhraní a časovače.



Obrázek 4.2 – Atmega32 (GME, nedatováno)

4.2. AD PŘEVODNÍK

Analogově digitální převodník je periferie určená pro převod analogového signálu na diskretní, aby signál mohl být dále zpracováván číslicovými obvody. Pro vzorkovací frekvenci platí, že musí být minimálně 2krát větší, než je frekvence vzorkovaného signálu – tomuto se říká Nyquistův teorém. To proto, aby nedocházelo k aliasingu – čili zkreslení signálu kvůli nedostatku vzorků.

Princip převodu signálu spočívá ve třech fázích. První fáze je vzorkování – signál odebere vzorky za pomoci vzorkovací funkce. V ideálním případě je to Diracova funkce

(Diracův impulz). Ten je matematicky definován jako derivace jednotkového (Heavisova) skoku

$$\delta(t) = \frac{h(t)}{dt}, \quad (3.1)$$

a je definován pouze v jednom časovém okamžiku a obecně musí platit

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x) dx = 1, \quad (3.2)$$

kde δ – Diracův impulz,

h – Heavisova funkce (jednotkový skok),

t – čas, s.

Nejlepší na Diracově impulzu je fakt, že konvoluce funkce s Diracovým impulzem je rovna hodnotě funkce, proto je Diracův impulz považován za ideální vzorkovací funkci. Ta je ovšem díky své nulové šířce nerealizovatelná, proto se v praxi používá vzorkování obdélníkovým signálem.

$$f(x) * \delta(x - a) = f(x - a), \quad (3.3)$$

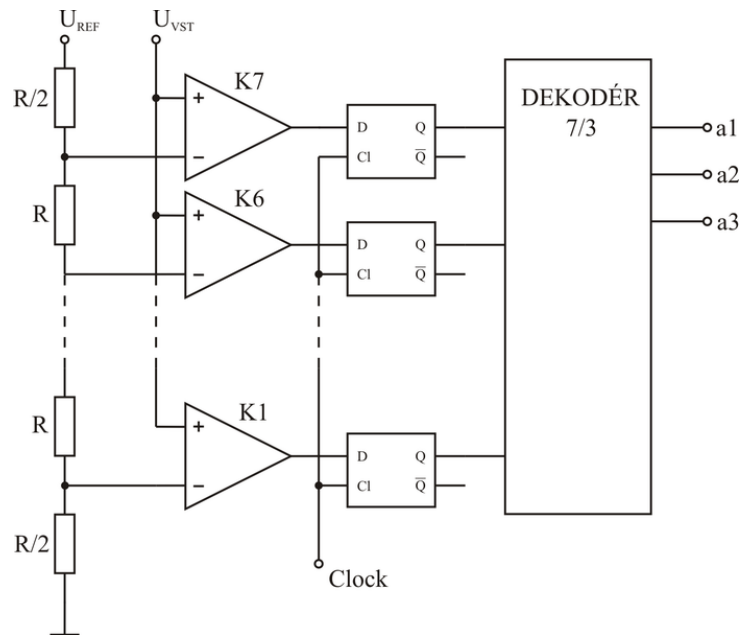
kde $f(x)$ – libovolná spojitá funkce,

$\delta(x - a)$ – Diracův impulz v čase a .

Druhou fází je kvantování. Jedná se o rozdělení napěťového rozsahu na tolik dílů, kolik má daný převodník rozlišení. U ATmega32 je 10bitový AD převodník, což dává 2^{10} dílů. Rozsah převodníku je maximálně 5 V, tudíž tento rozsah rozdělíme na 1024 dílů. Pokud je vstupní signál mezi dvěma kvantizačními úrovněmi, tak ho převodník jednoduše přiřadí k nejbližší úrovni. To pak nazýváme chybou kvantování. V ideálním případě je chyba mezi $\frac{1}{2}$ LSB a $-\frac{1}{2}$ LSB (WIKIJII, 2018). Třetí fází je kódování signálu, tj. že ke každé kvantizační úrovni je přiřazen binární kód, se kterým mikrokontroler dále pracuje.

4.2.1. Paralelní převodník

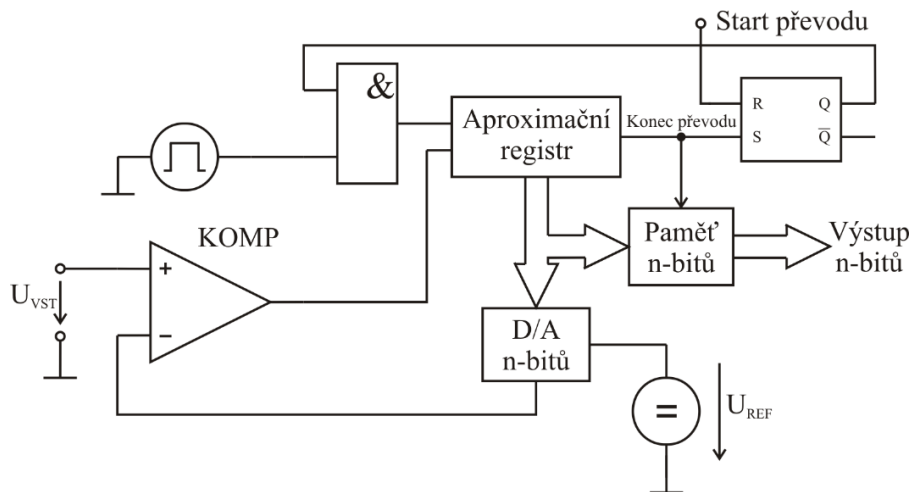
Jedná se o nejrychlejší typ AD převodníku. Převod probíhá v jednom časovém okamžiku. Kvantování signálu je vyjádřeno v komparátorech. Jednotlivé kvantizační úrovně jsou vždy na jednom komparátoru. Čím větší má převodník rozlišení, tím více komparátorů se v převodníku nachází. Počet komparátorů je dán vztahem $2^N - 1$, tj. pro 8 bitů bude potřeba 255 komparátorů, tudíž paralelní převod je sice velmi rychlý, ale také velice nákladný.



Obrázek 4.3 – Schéma zapojení paralelního ADC (Filip Albert, 2009)

4.2.2. Převodník s postupnou aproximací

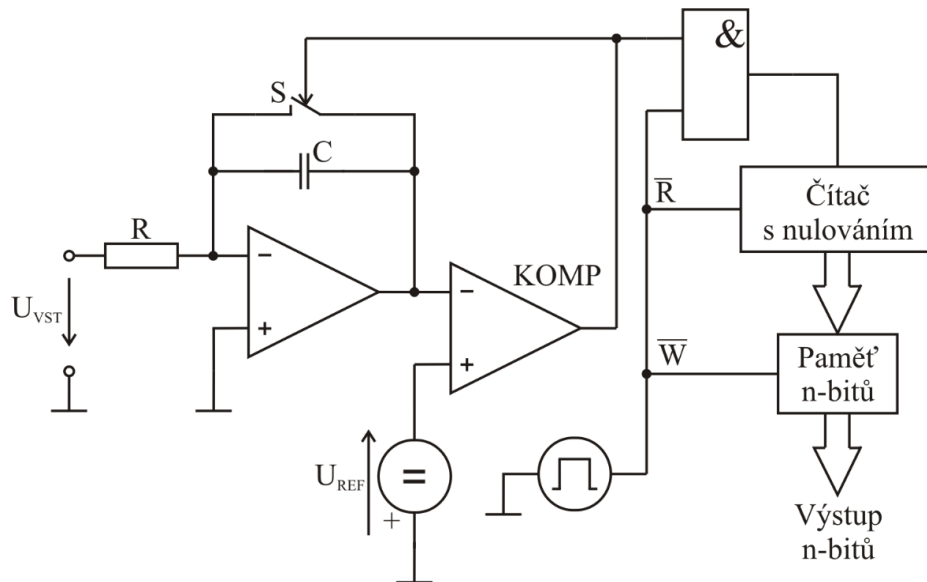
Na rozdíl od paralelního, u převodníku s postupnou aproximací neprobíhá převod v jednom časovém okamžiku. Převod probíhá tak, že se při začátku převodu zkusmo nastaví váhový bit s hodnotou $\frac{1}{2}$ reference, což je MSB, na hodnotu log. 1 (1000) a poté se porovnává se vstupní hodnotou. Pokud je hodnota na vstupu vyšší, tak se přidá další váhový bit a aktuální zůstane na log. 1 (1100). Pokud je menší, tak se nejvyšší bit nastaví na log. 0 a na log. 1 se nastaví další váhový bit (0100). Takhle převodník postupuje dále, dokud nedojde ke změně LSB. Ten je také použit v ATmega32 mikrokontroleru, se kterým pracujeme.



Obrázek 4.4 – Schéma převodníku s postupnou aproximací (Filip Albert, 2009)

4.2.3. Integrační převodník

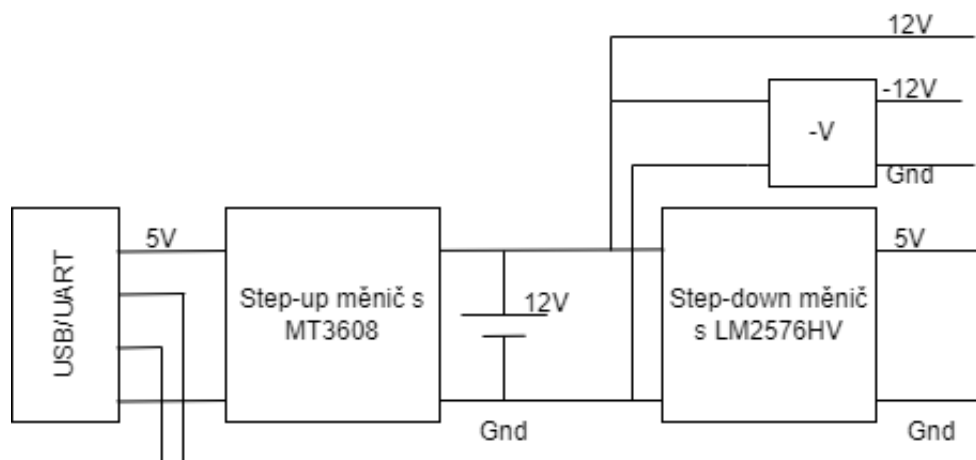
Základem je integrátor C. Měří se vlastně doba, za jakou se C nabije na napětí U_{vst} . Poté co bude napětí U_C shodné s U_{REF} , tak se komparátor přepne a kondenzátor se vybijí přes switch S a resetuje čítač. Doba, po kterou se kondenzátor nabíjel, je „změřena“ čítačem, který data předává do paměti.



Obrázek 4.5 – Schéma zapojení integračního ADC (Filip Albert, 2009)

4.3. NAPÁJENÍ

Jako každý elektronický obvod, tak i tento potřebuje napájení. Jelikož se jedná o multimetr, tak by každopádně měl být mobilní. Tudiž přichází v úvahu akumulátory. Je nutno podotknout, že v obvodu budeme potřebovat více jak 5 V.

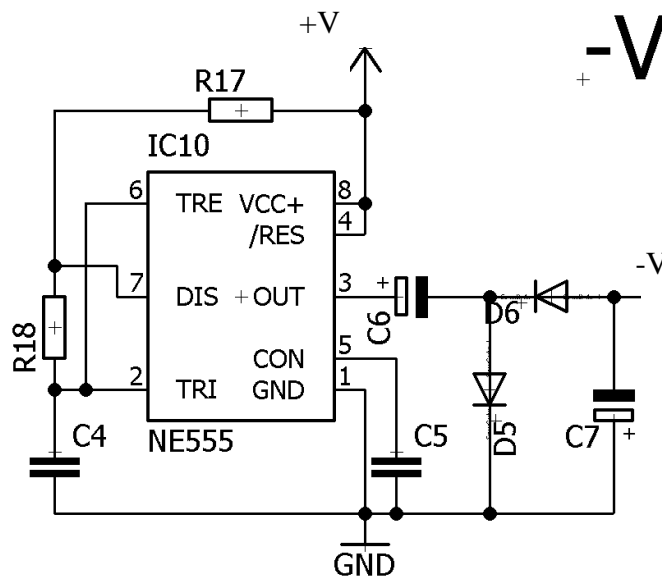


Obrázek 4.6 – Blokové schéma napájení

4.3.1. Záporný zdroj

Jelikož je u aktivních usměrňovačů potřeba i záporné napájecí napětí, tak musíme vytvořit obvod, který nám dopomůže získat toto napětí. Jednoduchým zdrojem tohoto napětí bude obvod za použití NE555, viz na obrázek 4.7.

V tomto zapojení je NE555 zapojen jako astabilní multivibrátor. Kondenzátor C_4 se nabíjí přes odpory R_{17} a R_{18} z kladného napájecího napětí tak dlouho, až je dosaženo horního prahového napětí (pin Threshold). Pak se multivibrátor překlápí, tranzistor na pinu Discharge se otevře a kondenzátor C_4 se vybíjí přes odpor R_{18} , dokud není dosaženo dolního prahového napětí (pin Trigger). To generuje na výstupu obdélníkový signál se střídou, která je určena velikostí R_{17} , R_{18} a C_4 . V zapojení jsou užity hodnoty $R_{17} = 4,7 \text{ k}\Omega$, $R_{18} = 30 \text{ k}\Omega$ a $C_4 = 22 \text{ nF}$. To generuje na výstupu frekvenci přibližně 1012 Hz a střidu 53,63 %.



Obrázek 4.7 – Schéma zapojení generátoru záporného napětí

Aby mohl protékat proud, tak musí dioda D_5 být v propustném směru. Tím, že protéká proud, tak se kondenzátor nabíjí na vstupní napětí. V době, kdy je výstup 555 ve stavu log. 0, tak je kondenzátor C_6 zdrojem napětí pro zbytek obvodu. Protože nyní je na kondenzátoru vůči zbytku obvodu (vpravo) záporný potenciál, tak proud nemůže procházet diodou D_5 . Nyní bude procházet diodou D_6 a bude nabíjet kondenzátor C_7 , na němž posléze bude záporné napětí napájecí.

4.3.2. USB ↔ UART převodník s CP2102

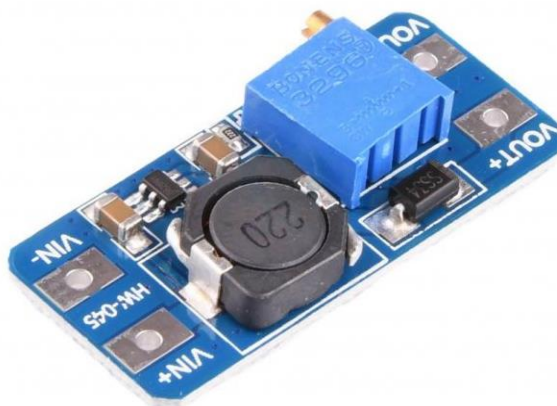
Pro komunikovat mezi aplikací a mikrokontrolerem je nutno převést signál přes rozhraní UART na USB a naopak. Na to je využit tento modul. Převod je uskutečněn řadičem CP2102. V datasheetu řadiče vidíme, že je určen pouze k převodu USB na UART nebo jiné externí RS-232 obvody. Funguje obousměrně, takže USB portem se budou vysílat i přijímat data. USB se také bude využívat pro nabíjení baterie multimetru.



Obrázek 4.8 – Převodník USB-UART (GME, nedatováno)

4.3.3. Step-up měnič s MT3608

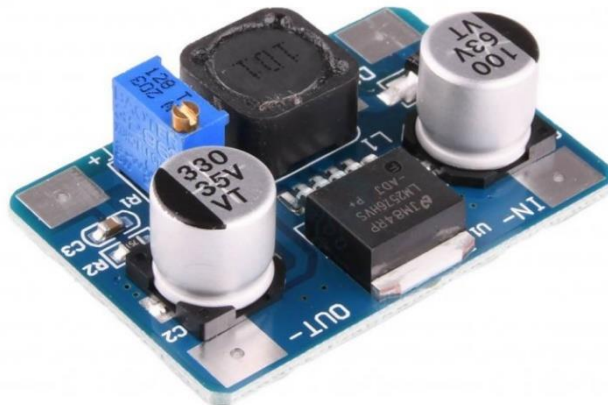
Dle blokového schématu na obrázku 4.6 je nutný step-up měnič, který převede 5 V z „USB modulu“ na 12 V, aby mohl nabíjet zdroj (baterii). Jedná se o jednoduchý step-up měnič, u kterého je klasický switch (MOSFET) nahrazen tímto „spínačem.“ Obsahuje ochranu proti podpětí, také proudové omezení a také ochranu proti tepelnému přetížení, aby se zabránilo poškození v případě přetížení výstupu. (datasheet MT3608).



Obrázek 4.9 – Step-up měnič s MT3608 (laskakit, nedatováno)

4.3.4. Step-down měnič s LM2576HV

Též zpětně budeme potřebovat převodník z 12 V (baterie) na 5 V, kterým budeme napájet zbytek obvodu. Pro multimetr byl zvolen měnič s LM2576HV integrovaným obvodem. Dle dostupnosti, ceny, a hlavně účinnosti se jedná o velmi kvalitní obvod. Podle zapojení se jedná o step-down (buck) měnič se zpětnovazebními ochrannými obvody, aby mohl do zátěže dát až 3 A.



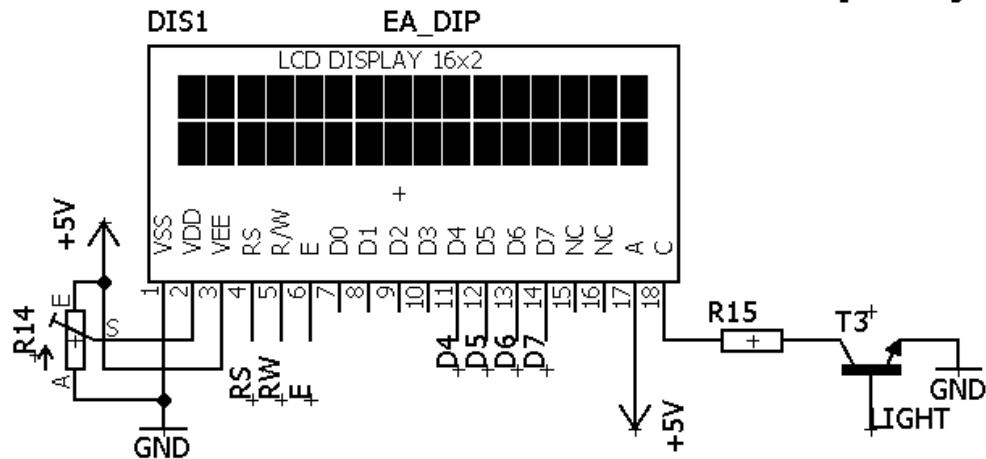
Obrázek 4.10 – Step-down měnič s LM2579HV (laskakit, nedatováno)

4.4. DISPLAY

Pro tento projekt byl použit LCD display 20×4. Obsahuje řadič HD44780U, který je obsažen ve většině těchto displejů. Řadič obsahuje celou znakovou sadu, což dost usnadňuje práci se softwarem a také, protože je hodně rozšířen, tak je vytvořeno celé množství softwarových knihoven.

Display obsahuje 16 pinů, z nichž jsou 3 k napájení, 2 k podsvícení displeje a 11 ke komunikaci, kde jsou 3 piny řídicí RS (Reset), R/W (Read/Write), E (Enable) a zbytek jsou piny datové. Pro komunikaci existují dva módy. Je možno využít všech 8 datových nebo stačí používat pouze 4 datové. To, který z těchto módů budeme využívat, zajistíme prvním příkazem vyslaným do HD44780U.

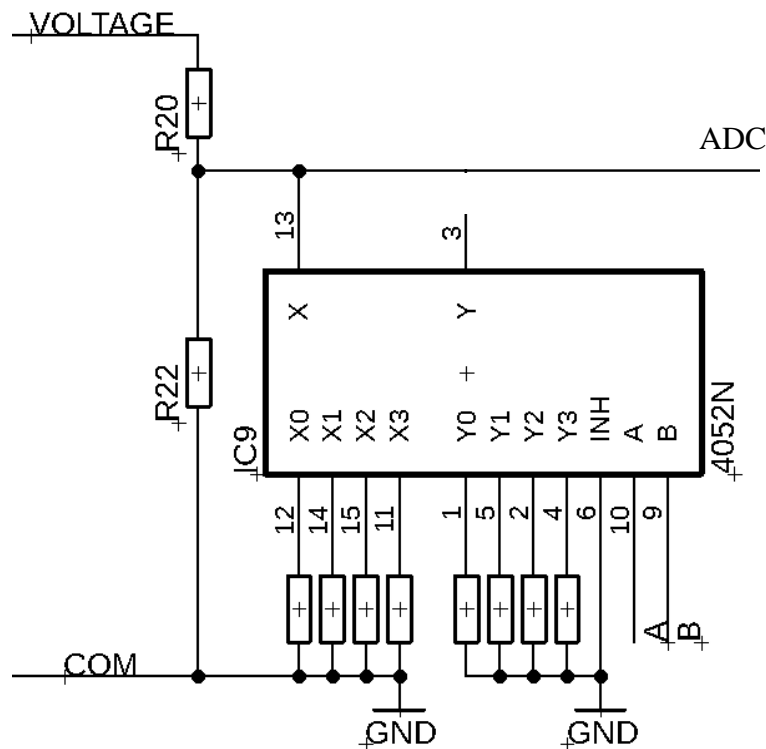
Display



Obrázek 4.11 – Schéma zapojení displeje

4.5. VOLBA ROZSAHŮ

Aby bylo možno, jako u klasických multimetrů, měnit rozsahy, tak je zapotřebí měnit dělicí poměr rezistorů, tím se změní protékající proud a na rezistorech budou jiné úbytky. Toho je docíleno přidáním analogových multiplexorů do obvodu. Tím, jaké hodnoty rezistorů jsou zvoleny, tak jsou nastaveny i rozsahy.

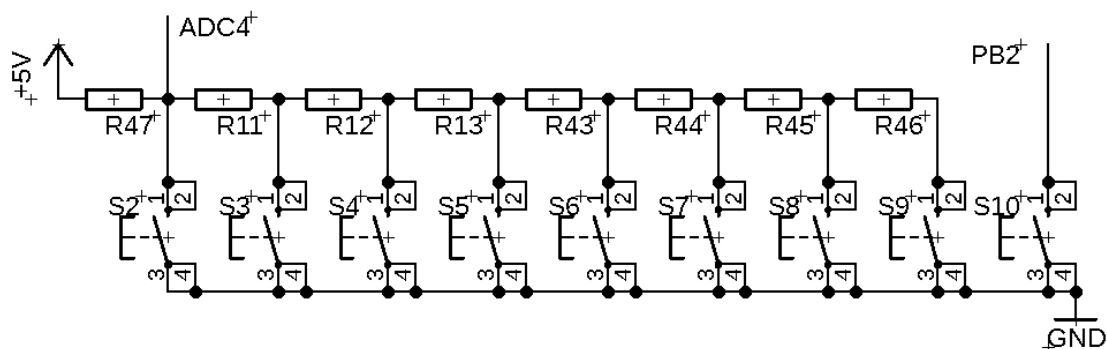


Obrázek 4.12 – Schéma napěťového děliče s přidáním multiplexorem

Pro napětí jsou zvoleny hodnoty R_{20} a $R_{22} = 1 \text{ M}\Omega$ kvůli vysoké impedanci voltmetru. Pak dělicí odpory jsou zvoleny $500 \text{ k}\Omega$, $150 \text{ k}\Omega$, $47 \text{ k}\Omega$ a $14,7 \text{ k}\Omega$. To nám dává rozsahy přibližně $0 - 20 \text{ V}$, $20 - 40 \text{ V}$, $40 - 100 \text{ V}$ a $100 - 350 \text{ V}$. Hodnoty jsou zvoleny tak, aby s paralelně připojeným R_{22} daly takové hodnoty, které výsledně „vytvoří“ tyto rozsahy. Pokud bych měřil na OUT, tak bych vždy měřil hodnoty v rozsahu $0 - 5 \text{ V}$. Rozsahy se díky programu automaticky přepínají. Pro proud platí totéž, avšak když do obrázku 2.3 dosadíme za R_2 multiplexor, tak hodnoty budou jiné. Pro proud byly zvoleny za R_1 hodnota $47 \text{ k}\Omega$ a za R_2 hodnoty $10 \text{ k}\Omega$, $1 \text{ k}\Omega$, 100Ω a 10Ω . Hodnota se bude dekadicky snižovat a přepočet bude jednoduchý. Další multiplexor je v obvodu kvůli měření odporu. Tam je užito obrázku 2.2. Multiplexor je dosazen za R_1 a neznámou zde je R_2 , tudíž v programu je využita rovnice 2.9. Hodnoty odporů zde jsou $1 \text{ k}\Omega$, $4,7 \text{ k}\Omega$, $20 \text{ k}\Omega$ a $100 \text{ k}\Omega$.

4.6. VOLBA MÓDŮ

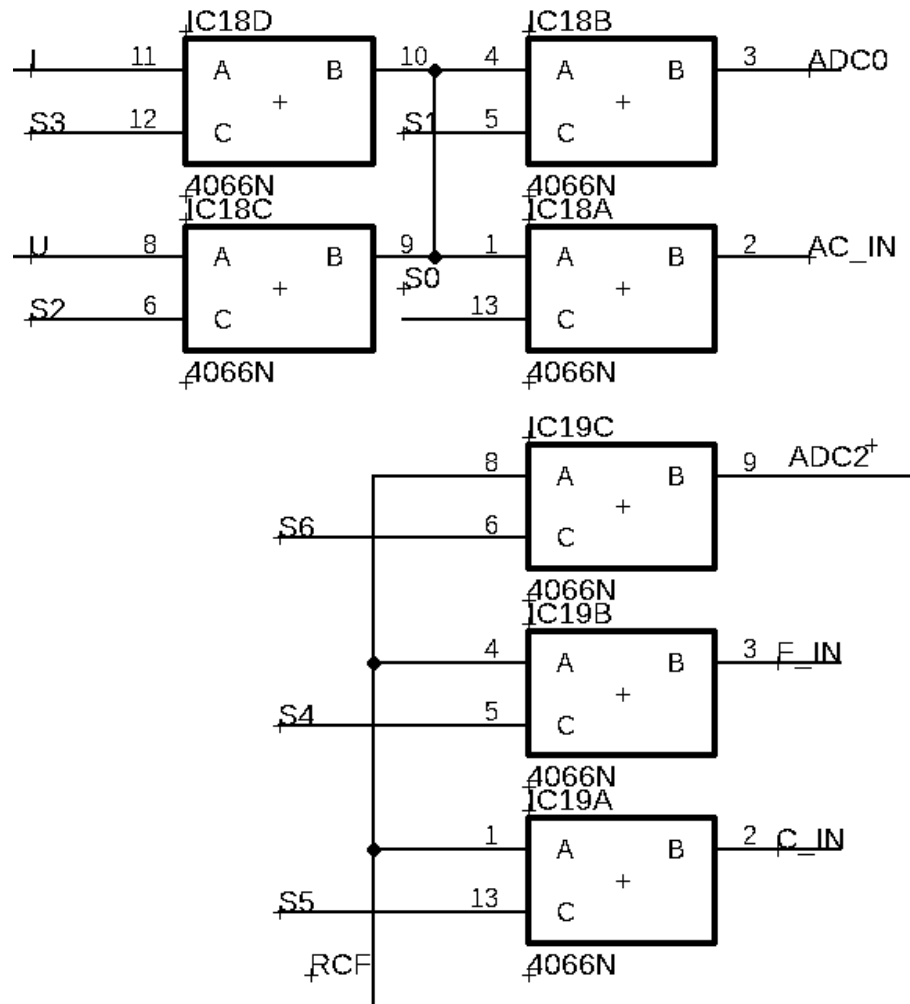
Volbu módu je provedena jednoduše, a to za pomoci několika tlačítek a analogových switchů. Tlačítka budou připojena paralelně přes řadu rezistorů, jejichž hodnoty se budou zvyšovat, aby vytvořily dostatečný úbytek, aby byl při měření dostatečně rozeznatelný od předchozího tlačítka. Tlačítek bude celkově 9, ale pouze 8 jich připojíme na AD převodník. Poslední tlačítko bude sloužit k vypínání/zapínání obvodu (Power).



Obrázek 4.13 – Schéma zapojení tlačítek

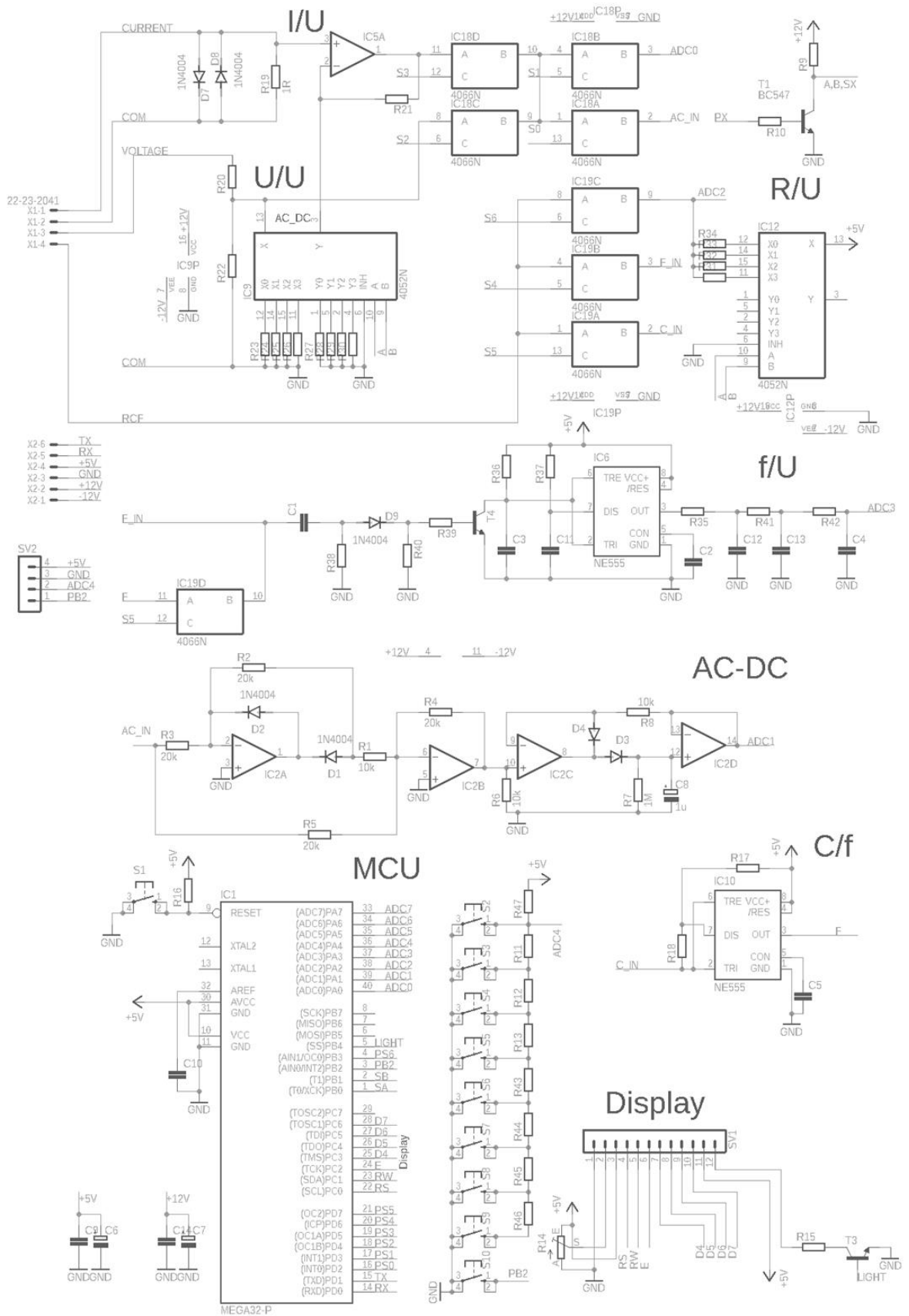
Čtení tlačítek bude probíhat v každém cyklu čtení vstupů (přetečení Č/Č). Pokud bude stisknuté tlačítko (hodnota na vstupu nebude V_{CC}), tak se přepne mód multimetru. Nejen, že multimetr začne měřit na jiném pinu AD převodníku, ale také se přepnou obvody 4066 (Quad-Switch), které ovládají pomocné obvody.

Na obrázku 4.14 je vidět, že switche jsou sestaveny tak, aby multimetr měl, jak už multimetry mívají, 4 vstupní kontakty (I, U, RCL, COM). Pokud bych například chtěl měření AC napětí, tak se otevře switch IC18c a IC18A.



Obrázek 4.14 – Schéma zapojení Quad-Switchů

4.7. SCHÉMA ZAPOJENÍ



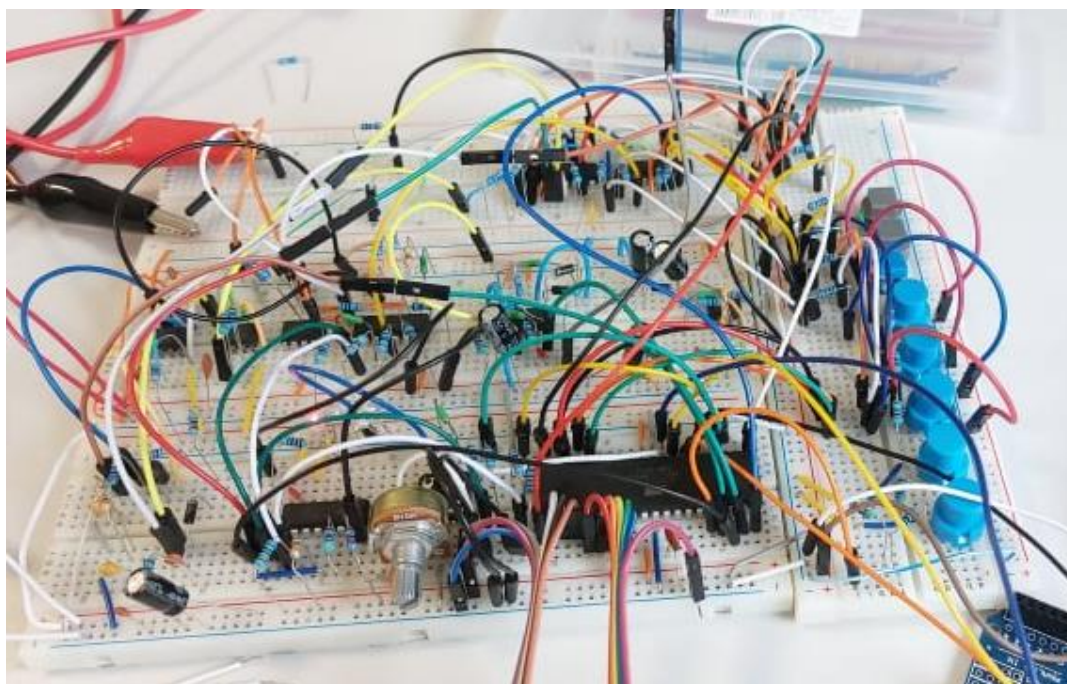
Obrázek 4.15 – Kompletní schéma zapojení

4.8. TESTOVACÍ ZAPOJENÍ

Na tomto zapojení byly odladovány veškeré chyby, které byly v průběhu práce nalezeny a to i přes fakt, že spoustu chyb způsobily špatné kontakty na nepájecích polích. Byla použita 4 nepájivá pole. Arduino UNO zde bylo použito pouze jako ISP programátor, v konečném zapojení již není.



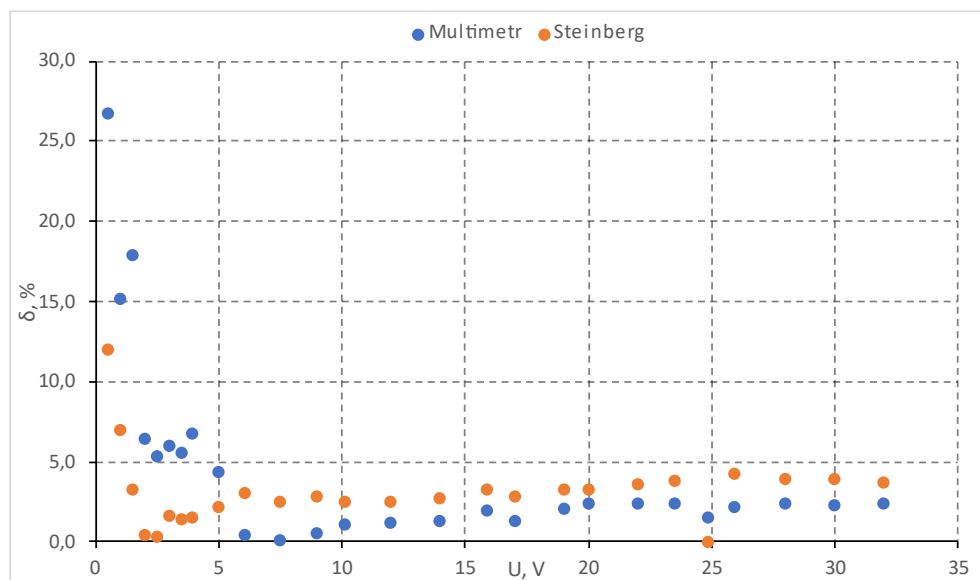
Obrázek 4.16 – Testovací zapojení 1



Obrázek 4.17 – Testovací zapojení 2

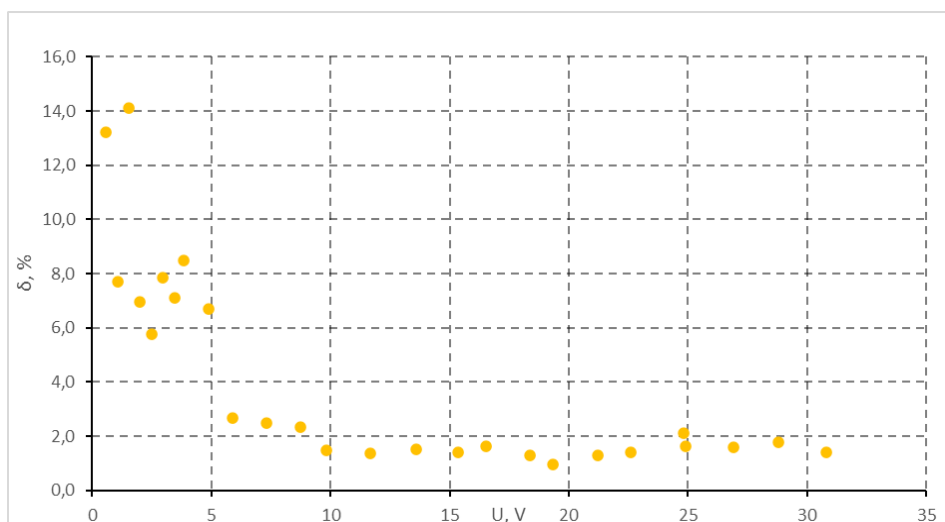
4.9. NAMĚŘENÁ DATA

U multimetru byla provedena základní měření. Byly změřeny základní veličiny – napětí U , proud I , odpor R a výsledky byly porovnány s naměřenými hodnotami multimetru Steinberg SBS-DM-1000. U měření napětí byly porovnány naměřené hodnoty multimetru s hodnotou napětí na zdroji. Odchylka na obrázku 4.18 je tedy vztažena ke zdroji, kterým byl UNI-T UPT3303. Jak je vidno z obrázku, tak u nízkých napětí odchylka jde přes 10 % u obou multimetrů. Možná je zde zavádějící porovnávat naměřené hodnoty vzhledem ke zdroji, jelikož Steinberg by měl mít v celém rozsahu odchylku do 0,5 %. Pokud bych tak porovnal hodnoty, tak na obrázku 4.19 je vidět, že odchylka našeho multimetru se od 10 V liší přibližně pouze o 2 %.

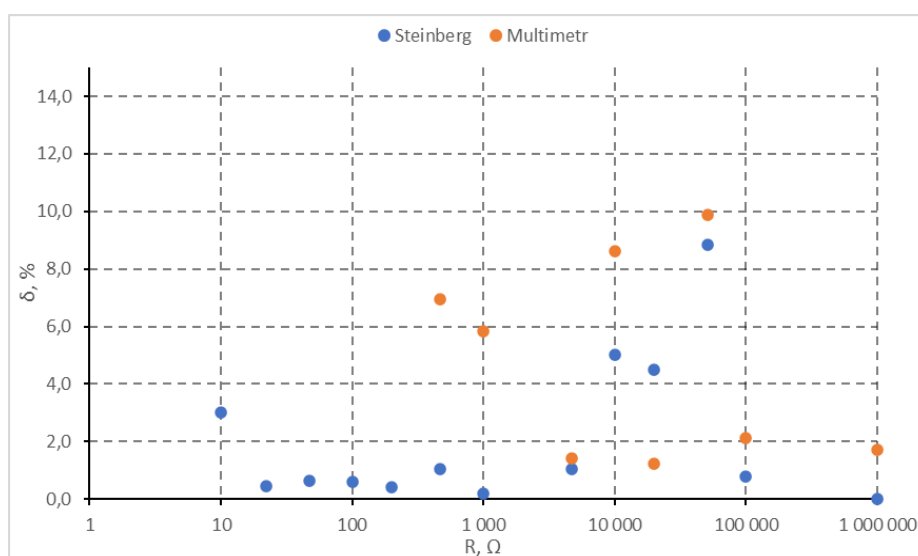


Obrázek 4.18 – Graf odchylek napětí od údaje panelového měřicího přístroje zdroje

U měření hodnot odporu jsou porovnávány naměřené hodnoty s hodnotami barevného kódu na rezistorech. U Steinbergu se odchylky pohybovaly něco kolem 1 %, avšak některé hodnoty šly i přes 5 %. U měření multimetrem je vidět, že první dekády hodnot úplně chybí a to proto, že odchylka je hodně, hodně vysoko. To je zapříčiněno tím, že nízké hodnoty odporů se při našem zapojení těžko měří. Při vyšším proudu (nižším odporu) se mění odpor multiplexoru a 4066, která nám ovlivňuje naměřenou hodnotu. To znamená, že multimetr je pro měření nízkých hodnot nepoužitelný.

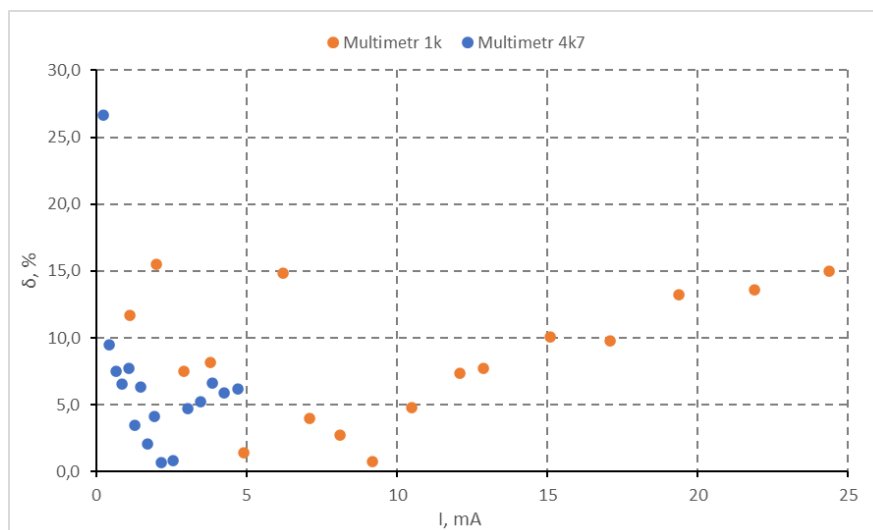


Obrázek 4.19 – Graf odchyly hodnot multimetru od Steinbergu



Obrázek 4.20 – Graf odchylek hodnot odporu

U měření proudu byly provedeny pouze dvě řady měření a vzhledem k tomu, že Steinberg měl přepálenou pojistku, tak nemohl být použit. Naměřené hodnoty jsou vztažené k vypočtené ideální hodnotě. Hodnoty jsou měřené s předřadnými odpory, které by případně zabránily zkratu.



Obrázek 4.21 – Graf odchylek proudu od hodnoty vypočtené

4.10. KALIBRACE MĚŘENÍ

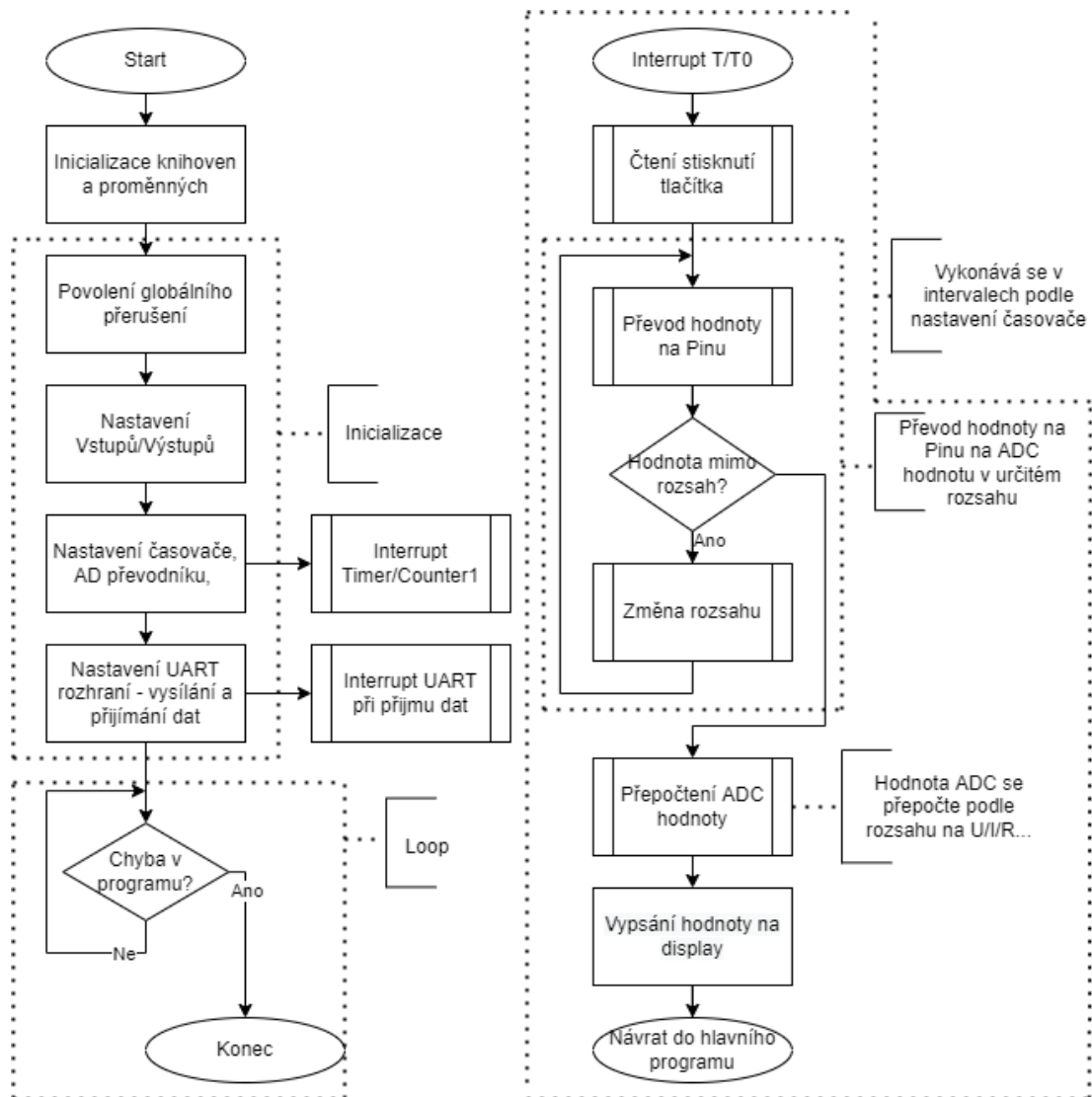
Jako pro každé měřicí zařízení, tak i pro toto, je potřeba provést kalibrace. Ta se provede pro všechny veličiny a všechny rozsahy měřicího přístroje řadou měření známých prvků (etalonů), které poté můžeme ještě porovnat s výsledky již kalibrovaného zařízení. Analýzou dat poté můžeme snížit odchylku měření přidáním koeficientů do výpočtů.

5. SOFTWAREVÝ NÁVRH

Návrh softwaru je rozdělen na dvě části. První je návrh programu, určený do multimetru a druhý je návrh aplikace určené do počítače, která bude následně s prvním komunikovat. Program multimetru bude psán v Microchip Studiu v jazyce C a program aplikace ve Visual Studiu v jazyce C#.

5.1. PROGRAM MULTIMETRU

Do programu multimetru je potřeba zakomponovat obsluhu ADC, časovačů a také sériového rozhraní UART. Tyto periferie jsou zabudovány v MCU a je potřeba je nastavit. Dále bude potřeba přepínat multiplexory u měření napětí, proudu a odporu. Je také potřeba zajistit, aby program kontroloval, zda není stisknuté některé tlačítko (změna měření, vypnutí...)

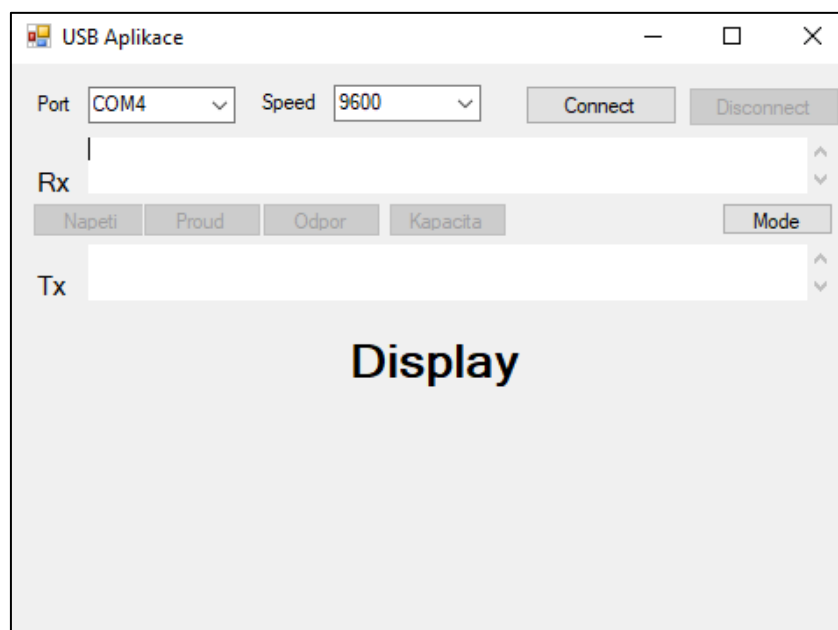


Obrázek 5.1 – Blokové schéma programu multimetru

Program multimetru je v celku jednoduchý. Po základní inicializaci, tj. nastavení vstupů a výstupů a nastavení všech potřebných periférií, bude stačit pouze čekat. Až nastane přerušení T/T0, tak se zkontroluje stav tlačítek. Podle hodnoty ADC se zjistí, zda je některé stisknuté. Podle toho se změní nebo nezmění mód multimetru (měření napětí, proudu...). Podle módu se poté přepnou multiplexory a též se nastaví AD převodník, aby měřil hodnotu na pinu odpovídající dané veličině. Poté se změří hodnota ADC, pokud je nižší než 20 %, tak se sníží rozsah a pokud je vyšší než 80 %, tak naopak zvýší. Abychom zabránili tomu, že hodnota na AD pinu bude moc vysoká, tak budeme vždy začínat na nejvyšším rozsahu. Pokud je již na nejvyšším/nejnižším rozsahu, tak již nebude přepínat a hodnotu zpracuje. Pro každou veličinu je jiný přepočítání podle zapojení. Po přepočtu bude výslednou hodnotu vypisovat na display. Pro display je v programu užita knihovna určenou pro HD44780U řadič.

5.2. PROGRAM APLIKACE

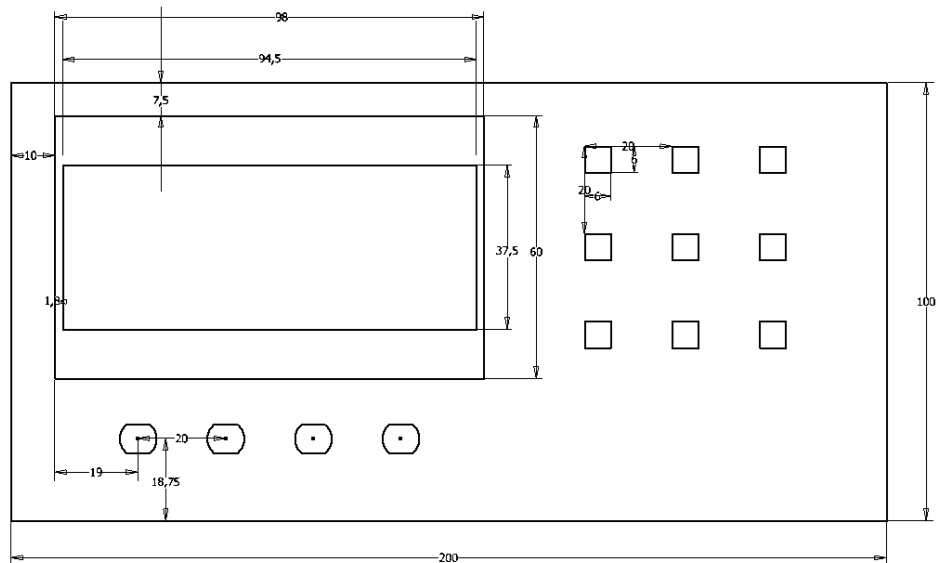
Program aplikace je vytvořen ve Visual Studiu ve Windows Forms v jazyce C#. Pro funkčnost je do programu implementována knihovna obsluhující vstupní a výstupní porty System.IO.Ports. To proto, aby program mohl zjistit na jakém portu (COM) je multimetr připojený. Do projektu je nainstalována přes správce balíčku NuGet, který je součástí studia. Aplikace bude obsahovat dva comboBoxy pro výběr přenosové rychlosti (Baud Rate) a druhý pro sken dostupných portů v počítači. Po navázání spojení začneme přijímat bajty z multimetru a při výběru módu budeme vysílat bajty pro změnu.



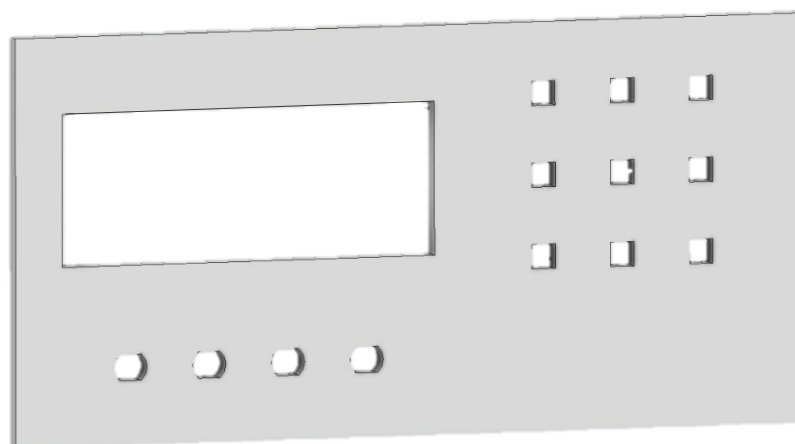
Obrázek 5.2 – Aplikace pro příjem dat z Multimetru

6. KONSTRUKČNÍ NÁVRH

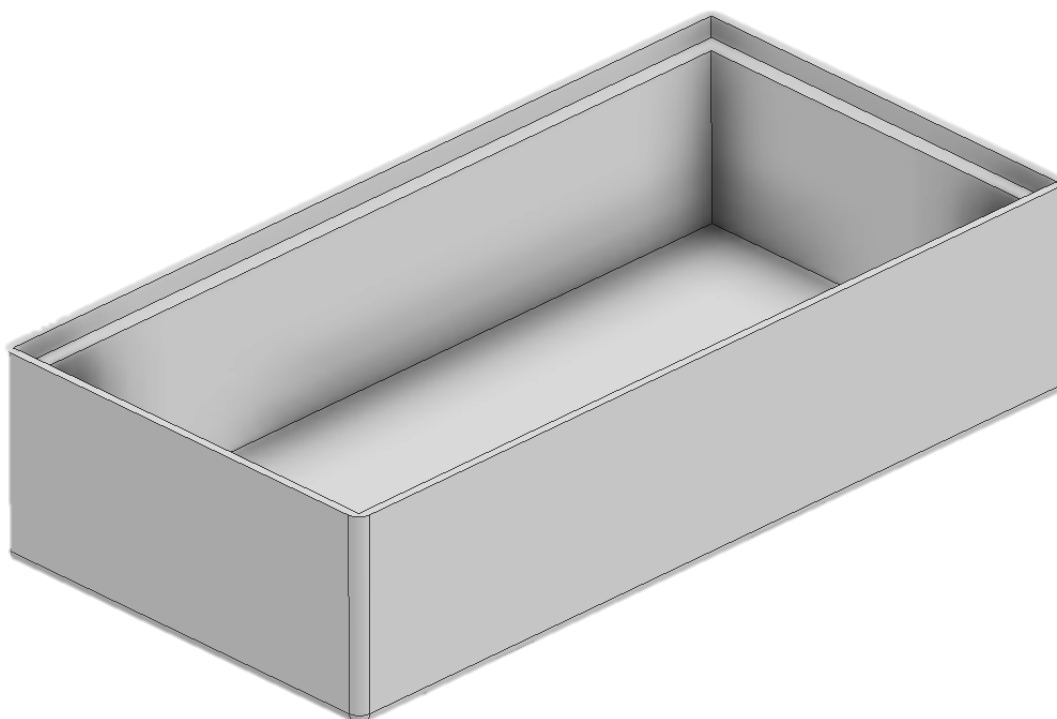
Návrh konstrukce bude velmi jednoduchý. Jedná se o jednoduchou krabičku složenou ze 2 částí. První část je přední kryt, do kterého se vloží tlačítka na ovládání, display a banánkové konektory určené pro připojení měřicích kabelů. Tento kryt se poté přilepí/přišroubuje do části druhé, což bude zbytek krabičky, do které se uloží veškerá elektronika.



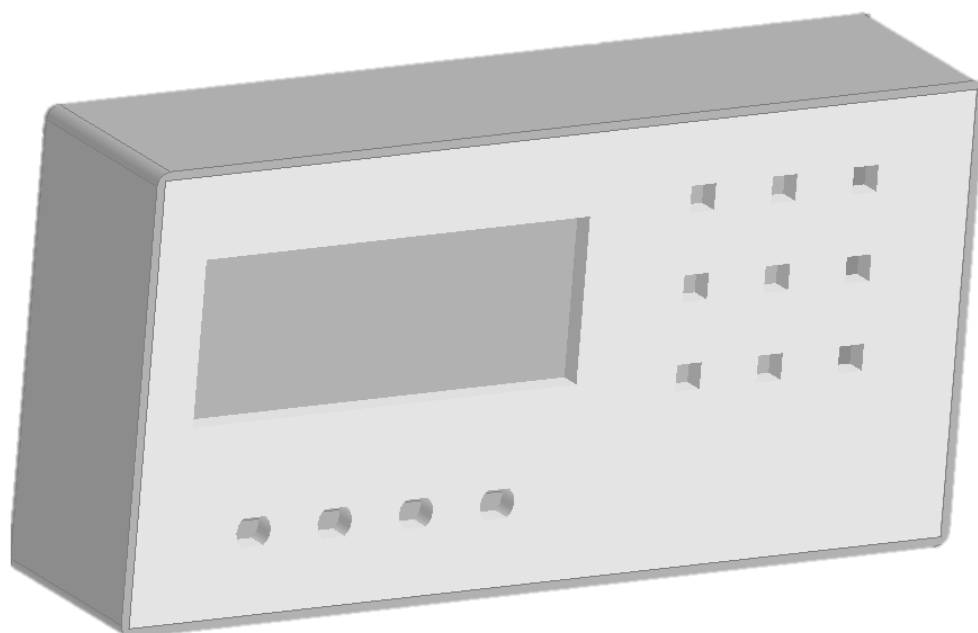
Obrázek 6.1 – Schéma přední části krabičky



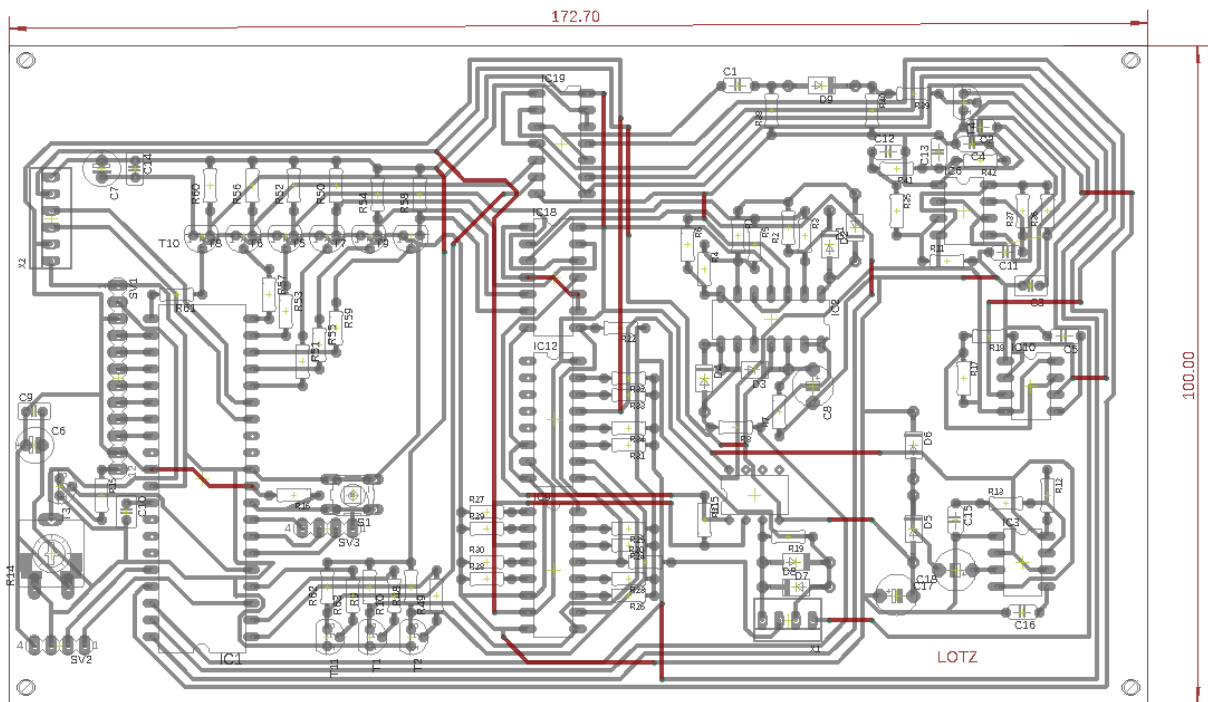
Obrázek 6.2 – Přední část krabičky



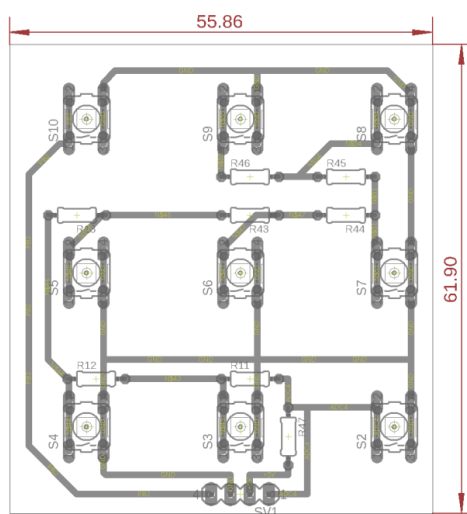
Obrázek 6.3 – Zadní část krabičky



Obrázek 6.4 – Sestava krabičky



Obrázek 6.5 – Návrh DPS



Obrázek 6.6 – Návrh DPS 2

7. ZÁVĚR

Závěrem lze říct, že měření těchto základních elektrických veličin bude i nadále jedna z nejdůležitějších věcí v oboru elektrotechniky. Tato bakalářská práce měla za úkol porovnat, zda je lepší multimetr zakoupit nebo si ho vytvořit sám.



Obrázek 7.1 – Konečná podoba multimetru

Když se na to podíváme z pohledu finančního, tak když bychom uvažovali klasický display 16×2, tak by cenová relace elektroniky byla kolem 700 Kč, což cenově odpovídá průměrným multimetrům, avšak některými funkcemi, jako je třeba automatické přepínání rozsahů, by odpovídala vyšší cenové kategorii. Výhodou výroby vlastního multimetru je, že můžete vložit více úsilí do periférií, které sami preferujeme. Vyrobený multimetr by měl teoreticky disponovat parametry uvedenými v tabulce 7.1.

Tabulka 7.1 – Parametry multimetru

Veličina	Teoretický rozsah	Otestovaný rozsah
DC Napětí	0 – 350V	0 - 30 V
AC Napětí	0 – 240 V	0 - 5 V
DC Proud	0 – 1000 mA	0 – 100mA
AC Proud	0 – 600 mA	Netestovaný
Odpor	500 – 10 MΩ	0 – 2 MΩ
Kapacita	50 nF – 1 uF	Netestovaný
Frekvence	200 Hz – 8 kHz	Netestovaný

Po HW stránce by multimetr mohl být rozšířen o další periferie, jako je měření tranzistorů, diod, propustnosti. Samozřejmě také rozšíření rozsahu měření a zpřesnění měření. U SW toho může být více, jako ukládání nastavení, ukládání dat na přenosové médium. Jistě by se u produktu, jako je multimetr, dalo najít mnoho vylepšení.

LITERATURA

- CAMPBELL, S 2016. “*Basics Of UART Communication*“. [online]. [cit 22-03-10]. Dostupné z: <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>
- ELLIOT, R 2005. “*Precision rectifiers*“. [online]. [cit 22-03-16]. Dostupné z: <https://sound-au.com/appnotes/an001.htm>
- ELLIOT, R 2006. “*Peak, RMS And Averaging Circuits*“. [online]. [cit 22-03-16]. Dostupné z: <https://sound-au.com/appnotes/an012.htm>
- FIALA, M., KOVÁŘ, A. & NIKEL, R., 1981. “*Číslicové měření v automatizaci*“. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- HAASZ, V.; HOLUB J.; JANOŠEK M.; KAŠPAR P.; PETRUCHA V. 2018. “*Elektrická měření: přístroje a metody*.“ 3. přepracované vydání. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, ISBN 978-80-01-06412-2
- JOHNSON, J.; BHATT, A. 2019. “*The unlikely origins of USB, the port that changed everything*“. [online]. [cit. 22-01-11]. Dostupné z <https://www.fastcompany.com/3060705/an-oral-history-of-the-usb>
- PETERKA, J 1996. “*Synchronní, asynchronní a arytmičtý přenos*“ CHIPweek, seriál: Principy počítačových sítí, strana: 24. [online]. [cit 22-03-10]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a96/a650k150.php3>
- PRAGOLAB, 2017 “*Telecentrické optické systémy*“. [online]. [cit. 22-01-11] Dostupné z: <https://www.pragolab.cz/telecentricke-opticke-systemy>
- REICHL. J., „*Digitalizace analogového signálu – Vzorkování signálu*“. [online]. [cit. 22-03-18] Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1356-vzorkovani-signalu>
- VLČEK, J. 2003. “*Parametry digitálních multimetrů*“. [online]. [cit. 22-3-18] Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/docu/texty/0001/000102_parametry_digitalnich_multimetru.pdf
- WIKIJII. 2018. “*Analog-to-digital converter*“. [online]. [cit. 22-04-15]. Dostupné z: www.wikijii.com/wiki/analog-to-digital_converter
- WIKIPEDIA, 2015 “*Dirac delta function*“. [online]. [cit. 22-04-15]. Dostupné z https://wikijii.com/wiki/Dirac_delta_function

PŘÍLOHY

A – CD

B – Uživatelská příručka programu

C – Výrobní dokumentace

Příloha k bakalářské práci

USB Multimetr

Bohumil Lotz

CD

OBSAH

1. Text bakalářské práce ve formátu PDF.
2. Firmware zařízení
3. Firmware aplikace
4. 3D modely tisknutelných dílů
5. Schémata zapojení, DPS

Příloha k bakalářské práci

USB Multimetr

Bohumil Lotz

UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA PROGRAMU

OBSAH

	Seznam ilustrací.....	2
	Úvod.....	3
1.	Požadavky na SW.....	4
2.	Spuštění aplikace.....	4
3.	Spuštění multimetru.....	6
4.	Ochrana a bezpečnost.....	6
	Závěr.....	6

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 2.1 – Aplikace - Výběr COM portu.....	4
Obrázek 2.2 – Aplikace - Výběr přenosové rychlosti	4
Obrázek 2.3 – Aplikace - Přepnutí módu	5
Obrázek 2.4 – Aplikace - Umístění dat	5

ÚVOD

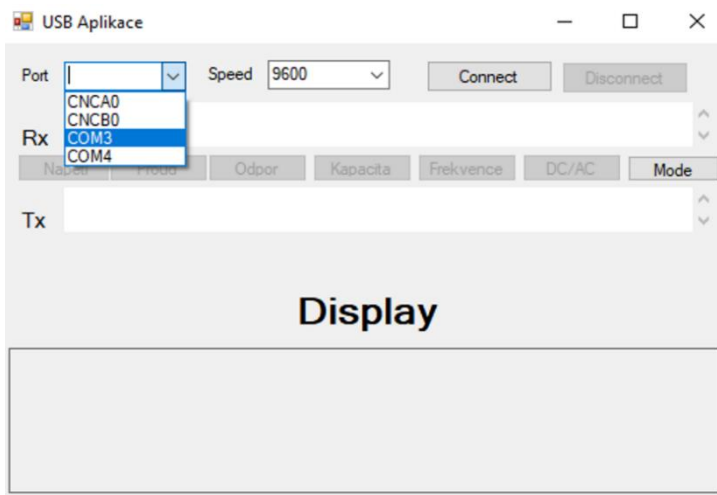
Pro každý produkt je vždy potřeba nějaká obsluha, nějaký program, který zařízení ovládá. Tento multimetr není výjimkou. Níže je popsána obsluha aplikace, která ovládá multimetr a obsluha multimetru samotného.

1. POŽADAVKY NA SW

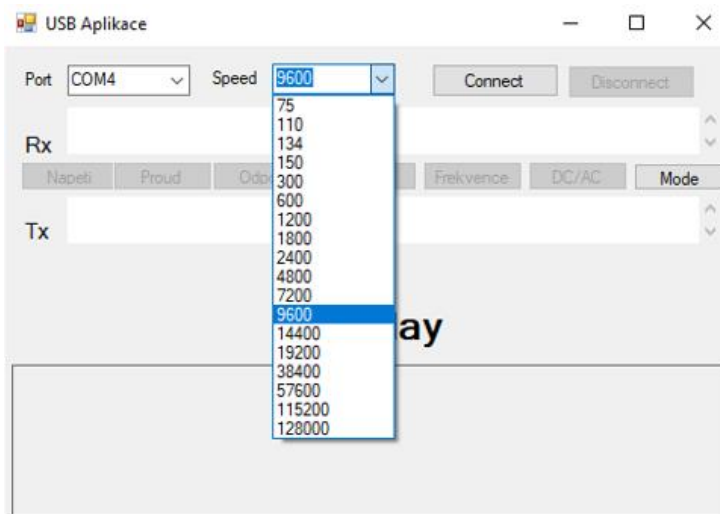
Pro funkčnost aplikace budeme potřebovat Visual Studio 2019 nebo novější. To je možno stáhnout zdarma ze stránek Microsoftu. Při instalaci studia je nutno nainstalovat platformu Vývoj desktopových aplikací pomocí .NET, aby aplikace správně fungovala.

2. SPUŠTĚNÍ APLIKACE

Při spuštění aplikace je prvním krokem vybrat port, na kterém se multimetr nachází, viz obrázek 2.1 a vybrat přenosovou rychlost, na kterou je multimetr nastavený, v tomto případě je v programu nastaveno 9600 baudů. Tuto rychlost lze měnit, viz obrázek 2.2, avšak je potřeba jej nastavit i v programu multimetru, který je poté potřeba nahrát do multimetru.

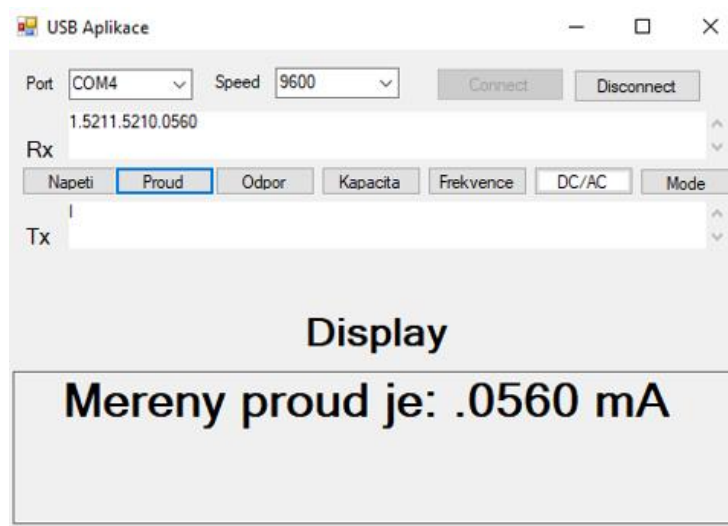


Obrázek 2.1 – Aplikace - Výběr COM portu



Obrázek 2.2 – Aplikace - Výběr přenosové rychlosti

Při připojení k multimetru je nutno buď resetovat multimetr, nebo znovu přepnout mód na multimetru, aby se synchronizoval. Poté již bude automaticky přepínat, při jakékoliv změně módu.



Obrázek 2.3 – Aplikace - Přepnutí módu

Přijátá data se vždy zobrazují v kolonce Rx, odeslaná v kolonce Tx. Odeslaná data jsou pouze změna módu a jsou nastavena pouze jako jeden symbol (byte) pro jednodušší přenos, viz obrázek 2.3. Při změně módu multimetr zareaguje a začne posílat data jiné veličiny, podle toho, kterou jsme si zvolili. Též aplikace ukládá přijatá data do textového souboru Data.txt, který je umístěn ve složce na obrázku 2.4.

bin	07.05.2022 15:58	Složka souborů	
obj	07.01.2022 14:46	Složka souborů	
Properties	01.01.2018 18:05	Složka souborů	
Aplikace_USB_Lotz.csproj	07.05.2022 15:48	C# Project File	4 kB
App.config	07.01.2022 14:55	XML Configuratio...	1 kB
FormMain.cs	07.05.2022 20:05	C# Source File	10 kB
FormMain.Designer.cs	04.05.2022 12:35	C# Source File	17 kB
FormMain.resx	04.05.2022 12:35	Microsoft .NET M...	6 kB
Program.cs	24.02.2022 12:59	C# Source File	1 kB

Obrázek 2.4 – Aplikace - Umístění dat

3. SPUŠTĚNÍ MULTIMETRU

Pro práci s programem multimetru bylo použito Microchip studio. Programovalo se v jazyce C. Program je opatřen komentáři v angličtině pro vysvětlení funkčnosti. Všechny soubory i s implementovanými knihovnamy v programu jsou k dispozici na CD. Po nahrání programu do MCU se program restartuje a na prvním řádku se objeví nápis „Univerzita Pardubice.“ Poté se jako defaultní mód zvolí měření napětí. Při prvním spuštění nechte multimetr projít všechny módy. Pokud by se připojilo napětí před tímto krokem, tak multimetr může chybně vyhodnotit výsledky. Toto platí pro všechny módy, ve kterých multimetr projíždí všechny rozsahy (napětí, proud).

4. OCHRANA A BEZPEČNOST

Toto zařízení pracuje s nízkým napětím do 12 V, takže nehrozí žádné nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Ovšem je nutné si dávat pozor při měření, protože multimetr by měl být schopen měřit, až do 350 V a 1 A, což již může být životu nebezpečné.

ZÁVĚR

Zařízení a ovládání je navrženo intuitivně, takže by mělo být snadno a rychle zapamatovatelné. V této příloze je popsán návod pro obsluhu multimetru i aplikace.

Příloha k bakalářské práci

USB Multimetr

Bohumil Lotz

VÝROBNÍ DOKUMENTACE

OBSAH

	Seznam ilustrací.....	2
	Úvod.....	3
1.	Konstrukce krabičky.....	4
2.	Konstrukce elektroniky.....	6
	Závěr.....	7

SEZNAM ILUSTRACÍ

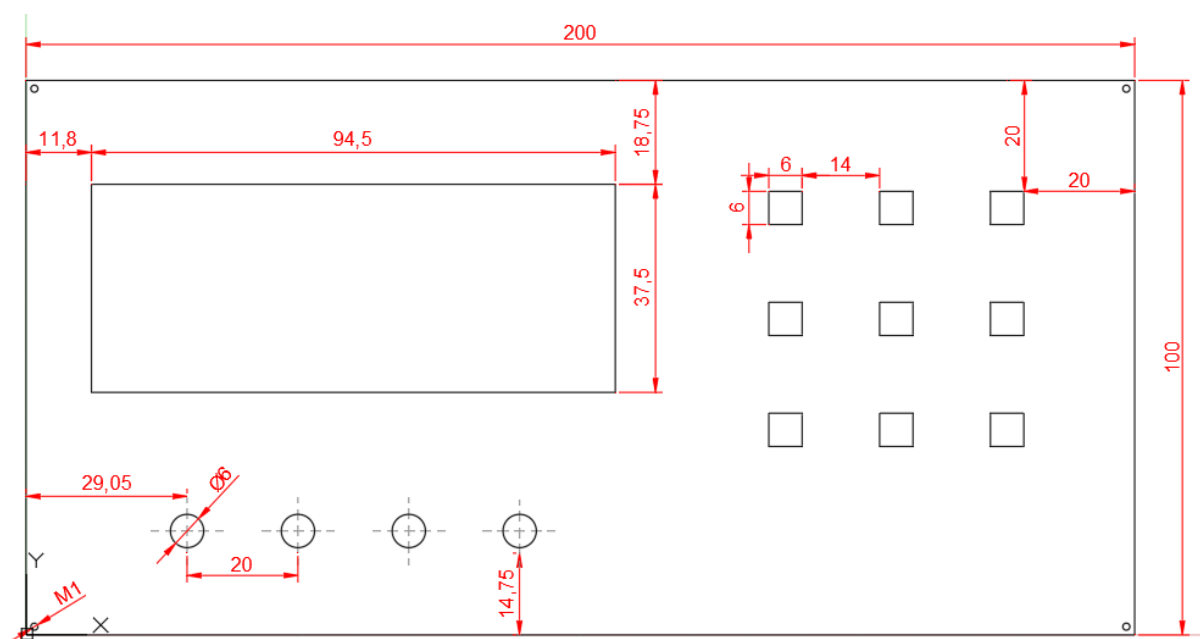
Obrázek 1.1 – Výkres předního krytu.....	4
Obrázek 1.2 – Nárys spodní části.....	4
Obrázek 1.3 – Půdorys druhé části.....	5
Obrázek 1.4 – Sestava obou částí.....	5
Obrázek 2.1 – Board 1.....	6
Obrázek 2.2 – Board 2.....	6

ÚVOD

V této příloze jsou výkresy a schémata potřebná pro výrobu vlastního multimetru. Toto a vlastní ruční zdatnost by mělo stačit k tomu vyrobit daný produkt.

1. KONSTRUKCE KRABÍČKY

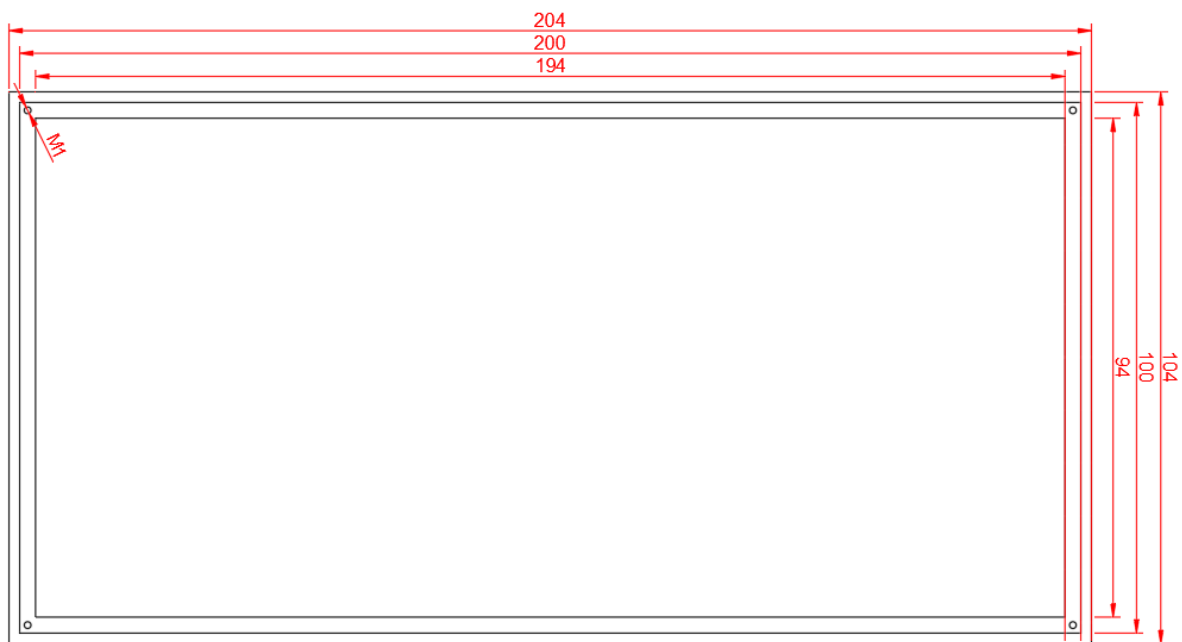
Krabička se skládá pouze ze dvou dílů. Vrchní díl je určen pro display, tlačítka a testovací konektory. Display v těchto rozměrech sedí, takže ani nemusíme přidávat další otvory pro šrouby. V rozích je vytvořen průchod pro šrouby velikosti M1. Těmi se poté kryt uchytlí k druhému dílu. Kryt je široký půl centimetru, aby nebyl tak křehký, protože je zhotoven na 3D tiskárně. Druhá část je jednoduchá krabička, do níž přední kryt jednoduše zapadne. Pro výrobu je potřeba pouze 3D tiskárna a soubor typu .stl, který získáme exportováním CAD souboru.



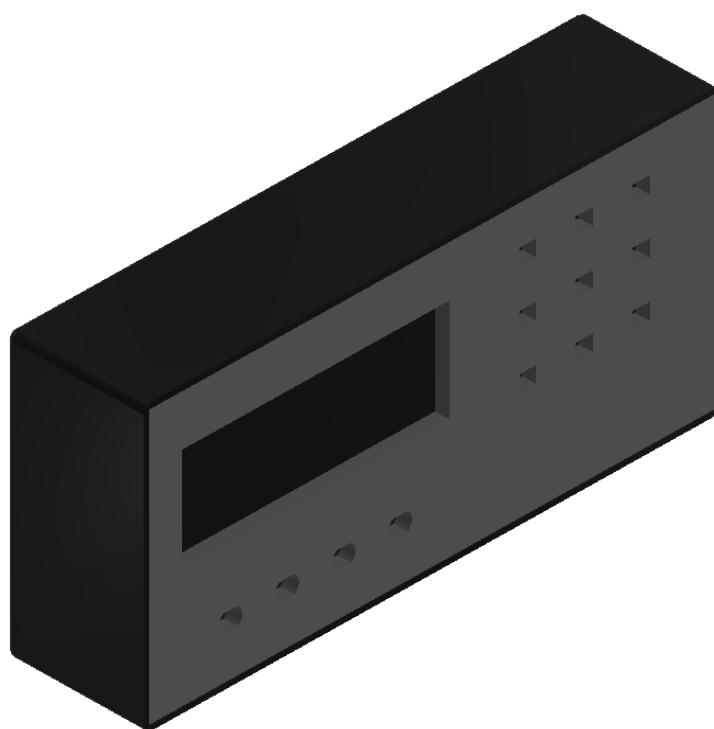
Obrázek 1.1 – Výkres předního krytu



Obrázek 1.2 – Narys spodní části



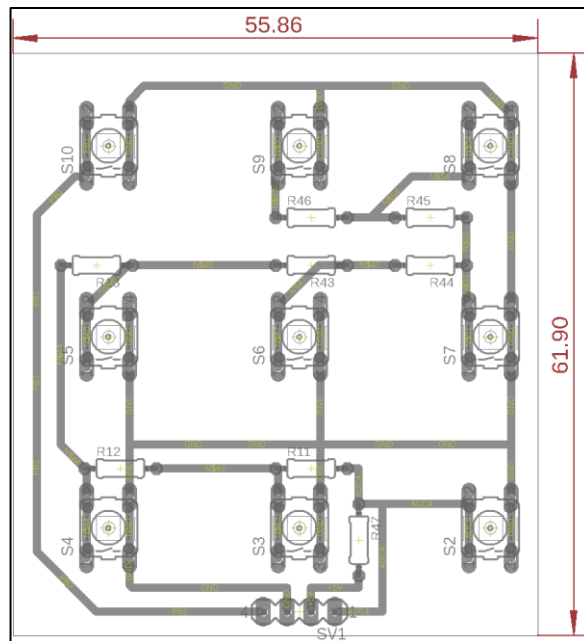
Obrázek 1.3 – Půdorys druhé části



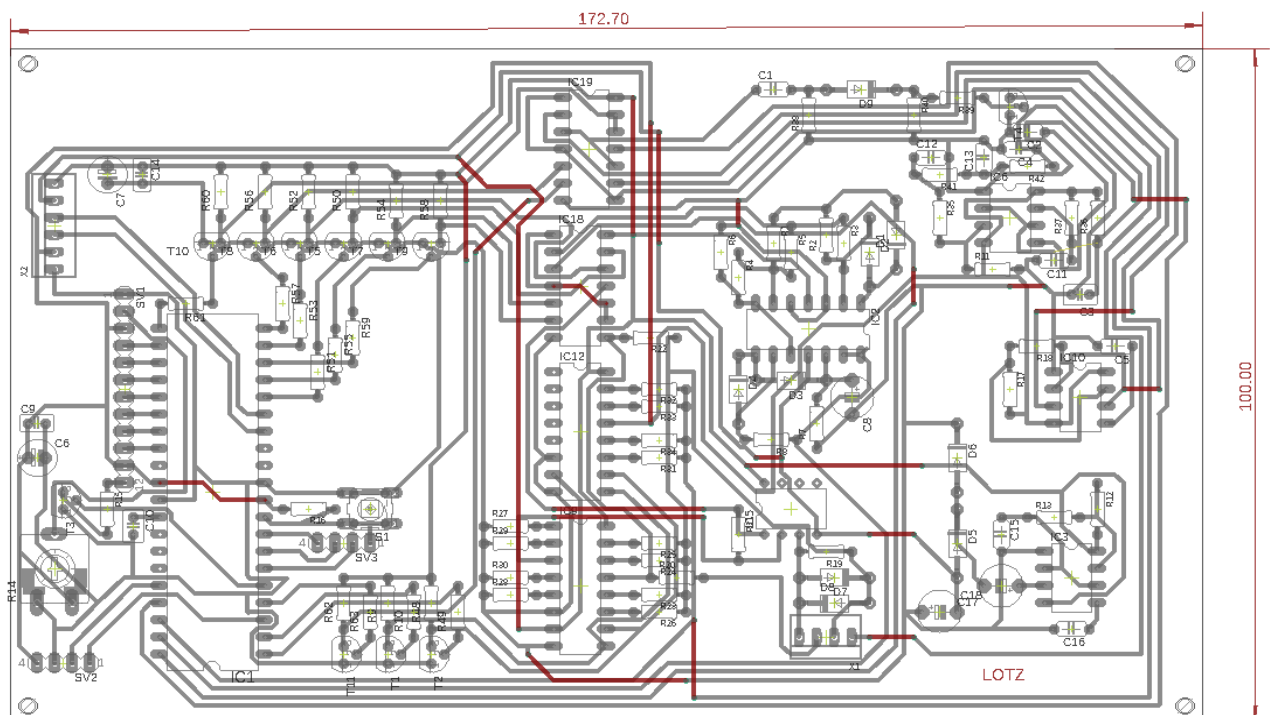
Obrázek 1.4 – Sestava obou částí

2. KONSTRUKCE ELEKTRONIKY

Elektronika je umístěna na dvou boardech a na pár modulech, které jsou představeny v kapitole 4.3. Na prvním boardu, viz obrázek 2.1, jsou tlačítka, která budou napevno přidělena k přednímu krytu. Na druhém boardu, viz obrázek 2.2, je takřka vše ostatní. Od MCU po převodníky a switche.



Obrázek 2.1 – Board 1



Obrázek 2.2 – Board 2

ZÁVĚR

V této příloze byly ukázány použité součásti v této práci. Soubory obsahující tyto produkty jsou obsaženy v příloze A.