



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO MONITOROVÁNÍ NAPĚTÍ V ELEKTRICKÉ SÍTI

DESIGN OF DEVICE FOR VOLTAGE MONITORING IN THE ELECTRICAL NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavol Ženčár

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Bastl

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	Pavol Ženčár
Studijní program:	Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor:	Mechatronika
Vedoucí práce:	Ing. Michal Bastl
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh zařízení pro monitorování napětí v elektrické síti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Účelem práce je vyvinout cenově dostupné zařízení, které umožňuje měřit a zaznamenat netypické hodnoty napětí v elektrické síti. Hlavní požadavek je jednoduchost a cena. Student by měl vytvořit koncepci celého řešení a navrhnout DPS s mikrokontrolérem. Pro řešení se předpokládá možnost komunikace zařízení s PC pomocí USB sběrnice a logování dat na SD kartu. Uživatel by měl být také schopen základní konfigurace zařízení

Cíle bakalářské práce:

- 1) Přehled a možná řešení. Dostupné produkty na trhu.
- 2) Návrh vlastního řešení zařízení k monitorování napětí v elektrické síti a zdůvodnění koncepce.
- 3) Realizace vlastního řešení. Výběr komponent, návrh DPS, osazení a oživení zařízení.
- 4) Vytvoření firmwaru pro vlastní zařízení. Firmware se bude sestávat z měření, vyhodnocení naměřených dat, logování na SD kartu a komunikace přes sériovou linku .
- 5) Provozní testy navrženého zařízení a jeho zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

HOROWITZ, Paul a Winfield HILL. The art of electronics. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 1989. ISBN 978-0521370950.

ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá vývinom zariadenia na monitorovanie a logovanie efektívnej hodnoty sieťového napätia. Práca sa skladá z výberu vhodných elektronických súčiastok , otestovanie prototypu , návrh dosky plošných spojov a vytvorenie programového kódu. Je možné zadanie rozdeliť na 3 úlohy, a to je logovanie nameraných hodnôt na SD kartu , vykresľovanie nameraných hodnôt na internetový server a vypisovanie nameraných hodnôt cez USB zbernicu.

Abstract

This thesis is about development of a device for monitoring and logging RMS value of voltage in main electrical network. Thesis consists of choosing the right electrical components, prototype testing , designing a printed circuit board (PCB) and making a program code. We can divide the assignment to 3 major tasks , which are measured values data logging on SD card, printing of measured values on web server and transferring measured values through USB port.

Klíčové slová

Elektrické napätie, efektívna hodnota napätia, mikrokontroler, SD karta , ethernet

Keywords.

Voltage , root mean square(RMS) voltage value, microcontroller, SD card , ethernet.

Bibliografická citácia

ŽENČÁR, Pavol. *Návrh zařízení pro monitorování napětí v elektrické síti* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117192>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Michal Bastl.

Čestné prehlásenie

Prehlasujem , že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce s použitím uvedenej literatúry.

V Brne dňa 24.5.2019

.....

Pavol Ženčár

1. Úvod	7
1.1 Ciele práce.	7
2. Teoretická časť	8
2.1 Sieťové napätie.	8
2.2 Efektívna hodnota napätia.	8
2.3 Meracie obvody	10
2.3.1 Napäťový delič	10
2.3.2 RMS – DC konverter	11
2.4 Mikrokontroler.....	13
2.4.1 AD prevodník.....	13
2.5 SPI.....	13
2.6 Regulátory napätia	15
2.6.1 Lineárny regulátor napätia.	15
2.6.2 Spínaný regulátor napätia.....	15
3. Návrh zariadenia.	18
3.1 Blokové schéma.....	18
3.2 Merací obvod	18
3.2.1 Určenie a nastavenie rozsahu merania zariadenia.....	19
3.3 Výber a zapojenie zdroja napätia.....	20
3.3.1 Výber zdroja.....	20
3.4 Výber mikrokontrolera	21
3.4.1 FTDI prevodník.....	22
3.4.2 Komunikácia cez USB	23
3.4.3 Referenčné napätie	24
3.4.4 Bootloader	25
3.5 RTC modul.	27
3.6 Modul SD karty	29
3.7 Ethernet modul.....	31
3.8 Návrh dosky plošných spojov.....	35
4. Meranie.....	36
5. Záver	39
6. Zoznam použitej literatúry.....	40

1. Úvod

1.1 Ciele práce.

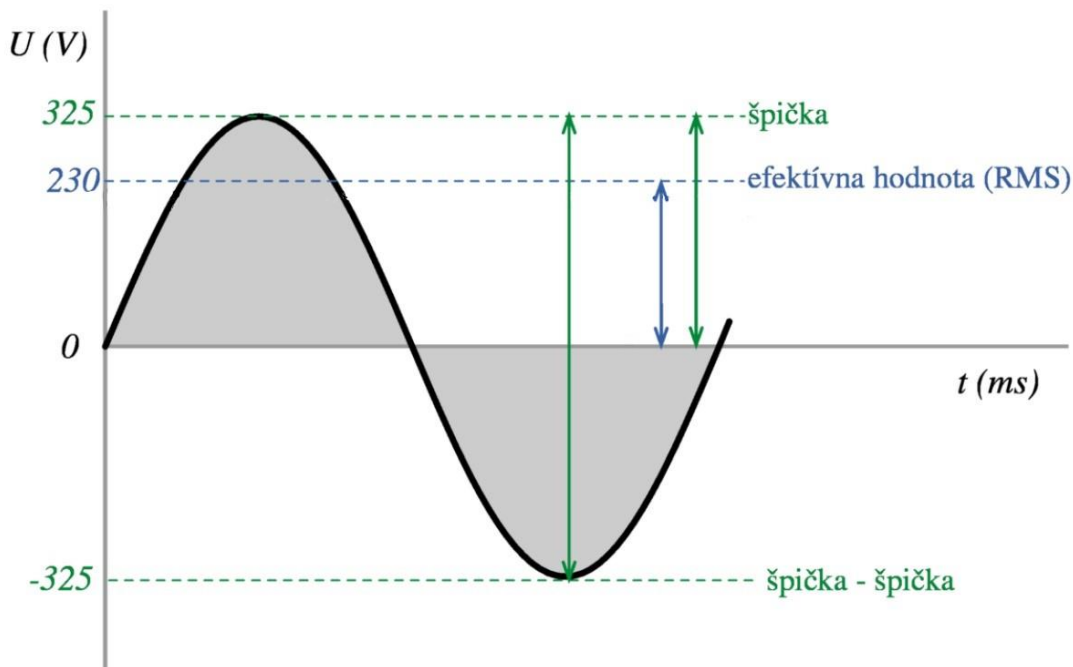
Cieľom je zoznámiť sa s bezpečnými spôsobmi merania sieťového napätia, navrhnúť vlastné riešenie zariadenia, zrealizovať toto riešenie návrhom DPS, otestovať toto riešenie.

Výsledkom práce by malo byť zariadenie, ktoré bude dostatočne presne merať efektívnu hodnotu sieťového napätia a následne ju zapisovať na SD kartu. Ďalším cieľom je zobrazenie aktuálnej hodnoty napätia a zobrazenie netypických hodnôt efektívnej hodnoty napätia na internetovom serveri, ktorý bude pracovať priamo na mikrokontroleri. Následne by zariadenie malo pomocou USB zbernice zobrazovať na počítači aktuálnu hodnotu efektívnej hodnoty napätia. Zariadenie by malo byť cenovo dostupné a malo by mať kompaktnú veľkosť.

2. Teoretická časť

2.1 Siet'ové napätie.

Jednofázové siet'ové napätie v našej zemepisnej oblasti má striedavý charakter, sínusový tvar , efektívnu hodnotu 230 V , špičkovú hodnotu 325 V , frekvenciu 50 Hz.



Obr.1 – Ideálne siet'ové napätie [1].

Na obrázku vidíme ideálny priebeh siet'ového napätia. Avšak reálny priebeh sa môže meniť. Efektívna hodnota sa môže vychylovať aj kladne aj záporne , siet'ové napätie môže byť nestabilné. Tieto javy môžu byť spôsobené neprimeraným zaťažovaním siete a ďalšími faktormi.

2.2 Efektívna hodnota napätia.

V tejto práci nás bude najviac zaujímať efektívna hodnota striedavého siet'ového napätia. Efektívna hodnota predstavuje takú hodnotu jednosmerného napätia , ktoré by na rezistore vytvorilo rovnaký výkon premenený na teplo ako dané striedavé napätie. [2]

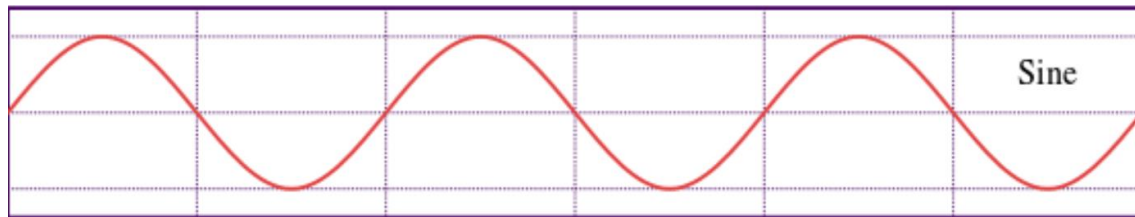
Efektívna hodnota (root mean square) sa dá vypočítať podľa:

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt}$$

Kde U_{ef} je hodnota efektívnej hodnoty napätia, $u(t)$ je funkcia napätia.

Pre najbežnejšie priebehy napätia:

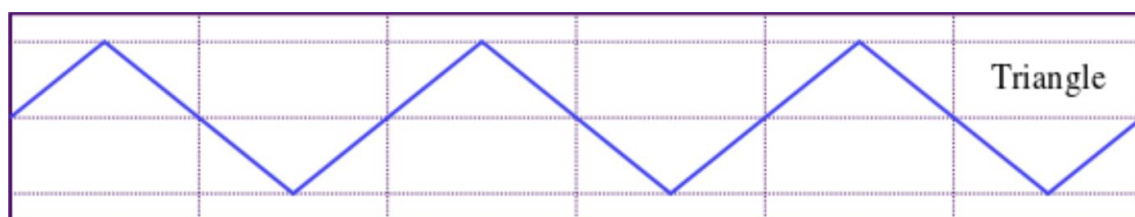
Sínusový priebeh :



Obr. 2 – Sínusový priebeh napätia[19]

$$U_{ef} = \frac{U_{peak}}{\sqrt{2}}$$

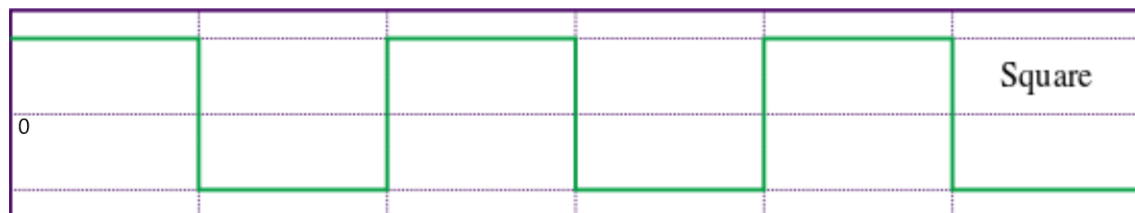
Trojuholníkový priebeh :



Obr. 3 – Trojuholníkový priebeh napätia[19]

$$U_{ef} = \frac{U_{peak}}{\sqrt{3}}$$

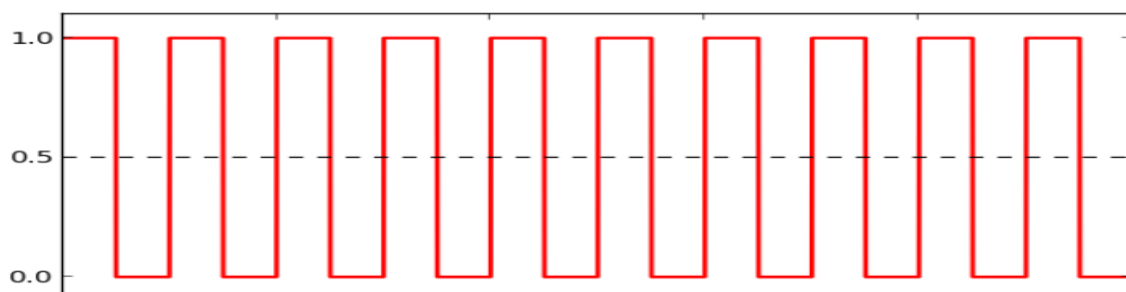
Obdĺžnikový priebeh:



Obr. 4 – Obdĺžnikový priebeh napätia[19]

$$U_{ef} = U_{peak}$$

PWM signál



Obr. 5 – Obdĺžnikový priebeh napätia – PWM [20]

$$U_{ef} = U_{peak} \cdot \sqrt{s}$$

kde U_{peak} je špičková hodnota napätia , s je strieda PWM signálu.

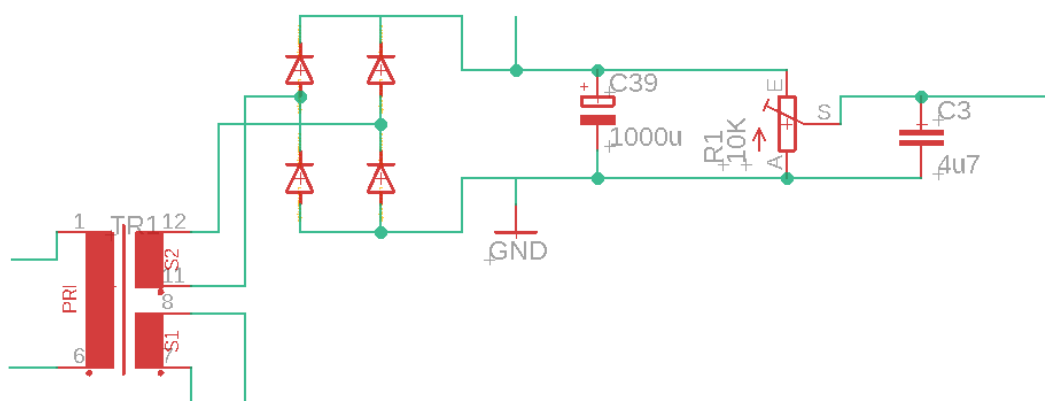
2.3 Meracie obvody

Aby bolo možné napätie bezpečne merať je potrebné toto napätie najprv transformovať na level , ktorý je vhodný ako vstup do mikrokontrolera. Hlavnú časť tejto úlohy bude vykonávať transformátor. Výhody transformátora sú zachovanie tvaru signálu , galvanická oddelenosť , presný prevod podľa prevodového pomeru. Nevýhody sú veľkosť.

Následne je potrebné toto napätie previesť na jednosmerné napätie , z ktorého vieme vyčítať efektívnu hodnotu napätia. Na túto úlohu môžeme použiť dva pre nás najvýhodnejšie prístupy.

2.3.1 Napäťový delič

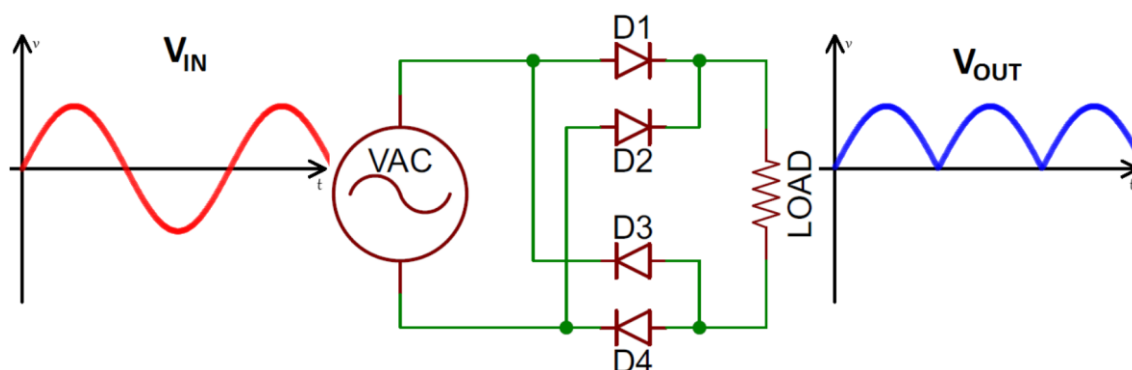
Podstata tohto postupu je že ako vstup do mikrokontrolera nebude priamo hodnota efektívnej hodnoty , ale v našom prípade to bude špičková hodnota napätia , a následne mikrokontroler prepočíta túto hodnotu na efektívnu hodnotu. Na získanie jednosmerného napätia , ktorého hodnota zodpovedá špičkovému napätiu sa použije 4 diódový usmerňovací mostík s filtračným kondenzátorom. Následne bude použitý napäťový delič na transformovanie napätia na merateľnú hodnotu a nastavenie meriaceho rozsahu.



Obr.6 – Schéma meracieho obvodu s napäťovým deličom.

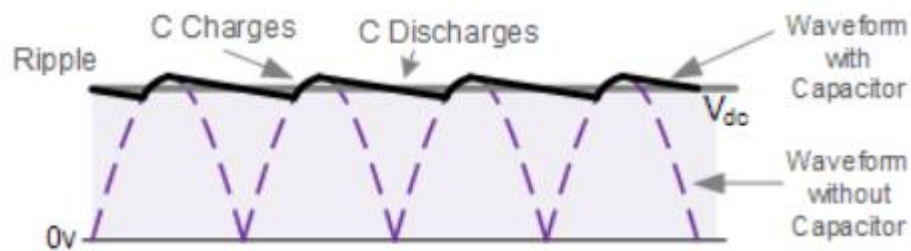
Funkcia usmerňovacieho mostíka

Štvordiódový usmerňovací mostík prevádza záporné pulzy striedavého napätia na kladné.



Obr.7 – Usmernovač[3]

Z obrázku 3 vidíme, že výstup usmerňovača sú kladné pulzy napätia. Zariadením dostatočne veľkého kondenzátora za usmernovač sa tieto pulzy vyfiltrujú a dostaneme špičkovú hodnotu napätia. [3][4]



Obr.8 – Usmernovač s kondenzátorom [4].

2.3.2 RMS – DC konverter

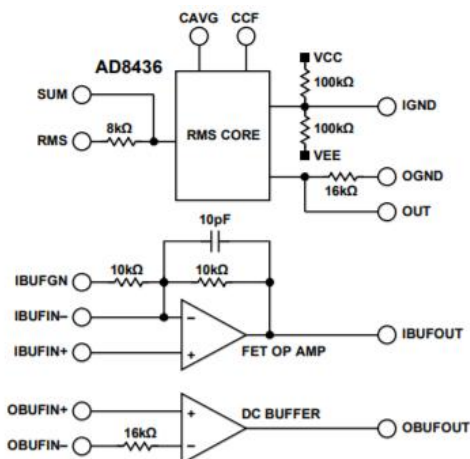
Podstata tohto postupu je , že napät'ový signál sa pomocou integrovaného obvodu(tzv. RMS – DC konverter) prevedie na jednosmerné napätie , ktoré priamo zodpovedá efektívnej hodnote vstupného signálu. Tým pádom do mikrokontrolera bude vstupovať priamo efektívna hodnota napätia. Pôvodný priebeh napätia musí byť samozrejme pred prevodom na efektívnu hodnotu transformovaný na úroveň , ktorá je vhodná pre mikrokontroler. Na to bude použitý transformátor a následne napät'ový delič na nastavenie rozsahu.

Na prevod striedavého napätia na jednosmerné napätie , ktorého hodnota predstavuje efektívnu hodnotu vstupného striedavého napätia existujú integrované obvody. Ich názov je “RMS – DC converter“. [14]

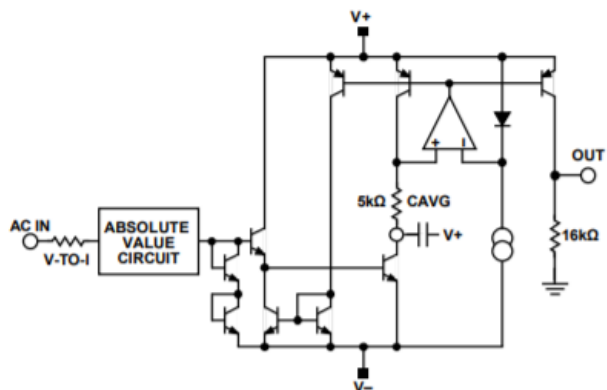
Jeden z týchto prevodníkov je napríklad prevodník AD8436 od firmy Analog Devices.



Obr.9 – AD8436 puzdro[14]

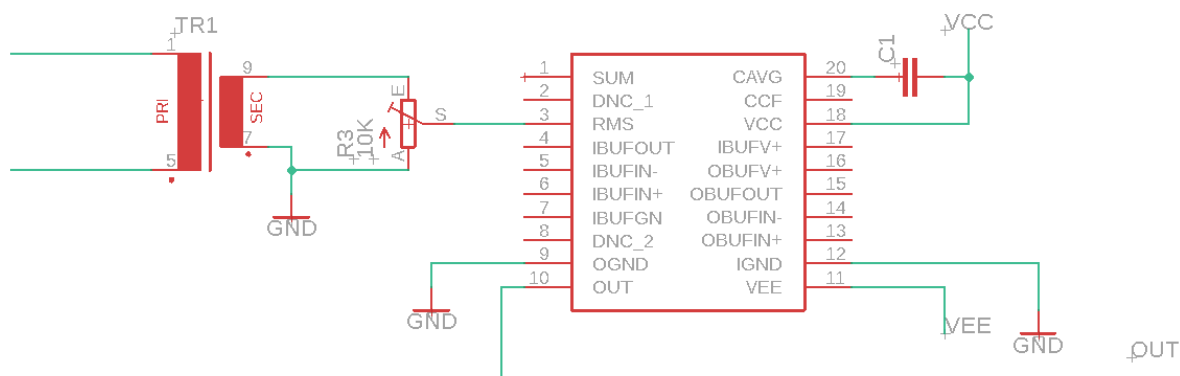


Obr.10 – AD8436 funkčný diagram[14]



Obr.11 – RMS-CORE funkčný diagram[14]

Na funkciu AD8436 je potrebný len 1 externý kondenzátor (C1 v nasledujúcej schéme). [14]



Obr.12 – Schéma zapojenia meriaceho obvodu s integrovaným obvodom AD8436

	Výhody	Nevýhody
Napäťový delič	-Jednoduchosť -Cena	-Možnosť merania len 1 typu signálu bez prestavenia užívateľom
RMS – DC konverter	-Možnosť merania rôznych typov signálu bez prestavenia užívateľom.	-Potreba zdroja s minimálne 2-krát väčším napätím ako potrebuje mikrokontroler. -Cena

Tabuľka 1 – Porovnanie rôznych meracích obvodov

2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroléry sa v dnešnej dobe dajú rozdeliť na 2 najčastejšie používané skupiny.

Prvá skupina je od výrobcu *ATMEL*, ktoré používajú ich vlastnú architektúru AVR. Tieto mikrokontrolery vieme nájsť vo všetkých vývojových doskách *Arduino*. Najpoužívanejšie z tejto skupiny sú ATMEGA 328P, ktorý vieme nájsť vo vývojovej doske Arduino UNO, NANO a ďalších, a ATMEGA 2560, ktorý vieme nájsť vo vývojovej doske Arduino Mega. [5]

Name	Processor	Operating/Input Voltage	CPU Speed	Analog In/Out	Digital IO/PWM	EEPROM [kB]	SRAM [kB]	Flash [kB]
Uno	ATmega328P	5 V / 7-12 V	16 MHz	6/0	14/6	1	2	32
Mega 2560	ATmega2560	5 V / 7-12 V	16 MHz	16/0	54/15	4	8	256

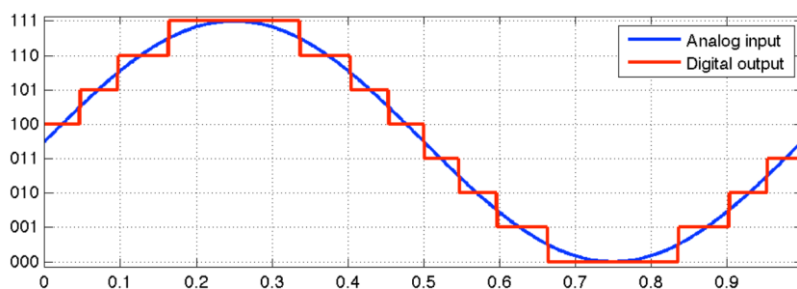
Obr.13 – Porovnanie rôznych typov mikrokontrolerov od firmy ATMEL [5]

Druhá skupina je od výrobcu *Microchip technologies*, ktoré používajú architektúru pod názvom PIC (*Peripheral Interface Controller*). [6]

2.4.1 AD prevodník.

Všetky typy mikrokontrolerov, ktoré sú vhodné na použitie majú zabudovaný tzv. AD prevodník. Tento prevodník prevádza analógový signál na digitálnu hodnotu (číslo v programe). Týmto sa priamo meria vstupné napätie. [7]

Na správnu funkčnosť AD prevodníka je potrebné stabilné referenčné napätie. Mikrokontrolery používajú zdrojové napätie mikrokontrolera ako referenčné. Ak by toto zdrojové napätie nebolo dostatočne stabilné, na niektorých mikrokontroleroch je možnosť použiť svoje vlastné referenčné napätie v rozmedzí od 0 do hodnoty zdrojového napätia. Väčšinou sa toto napätie privádza na dedikovaný pin.



Obr.14 – Výstup AD prevodníka [21]

2.5 SPI

SPI (Serial Peripheral Interface) je rozhranie, ktoré používa mikrokontroler na komunikáciu s perifériami. Komunikácia sa realizuje pomocou sériovej zbernice. V našom prípade bude toto rozhranie používané na komunikáciu s SD kartou a Ethernet modulom. Podstata je, že jedno zariadenie je nadradené (Master) a ďalšie zariadenie/ia sú podradené (Slave). Používajú sa 4 hlavné kanály. [8]

SCK (Serial clock)

Hodiny , nadradené zariadenie vysieľa signál , podľa ktorého sa obe zariadenia zosynchronizujú. [9]

MOSI (Master out , slave in)

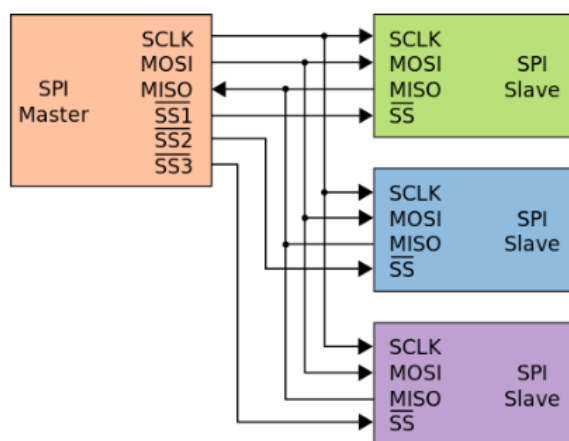
Cez tento kanál posiela nadradené zariadenie informácie podradenému, posiela sa buď 8 bitov , alebo 16 bitov. [9]

MISO (Master in , slave out)

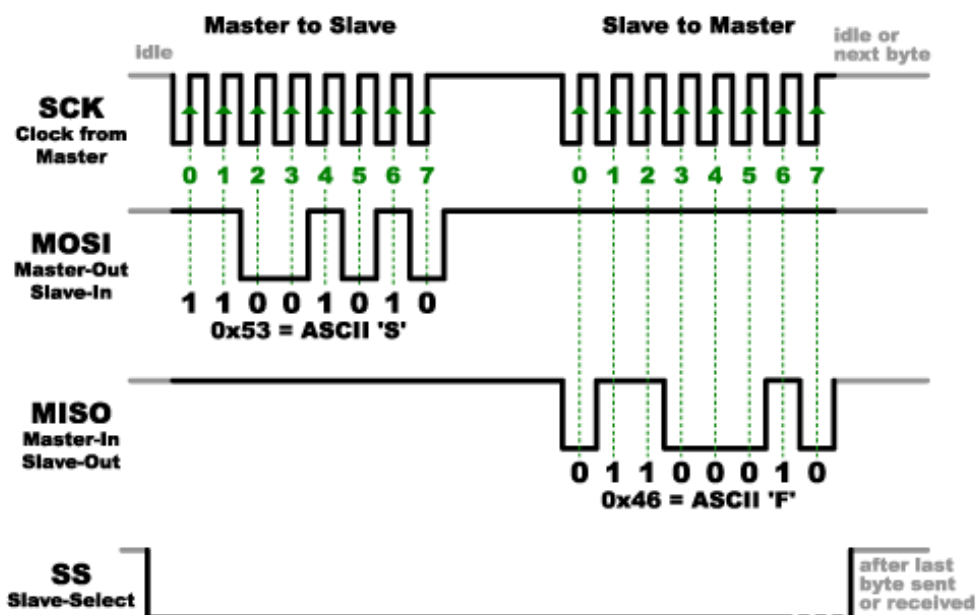
Cez tento kanál posiela podradené zariadenie informácie nadradenému, posiela sa buď 8 bitov , alebo 16 bitov. [9]

SS(Slave.select)

Ak je pripojených k nadradenému zariadeniu viac podradených , tak tento kanál rozhoduje o tom , ktoré podradené zariadenie je aktívne a ktoré nie. Ak je na tomto vodiči logická 0 , tak je zariadenie aktívne a ak je logická 1 , tak je zariadenie neaktívne. [9]



Obr.15 – Diagram zapojenia viacerých periférií pri použití SPI komunikácie[8]



Obr.16 – Priebeh signálov pri SPI komunikácii[9]

2.6 Regulátory napätia

Existujú 2 druhy regulátorov napätia.

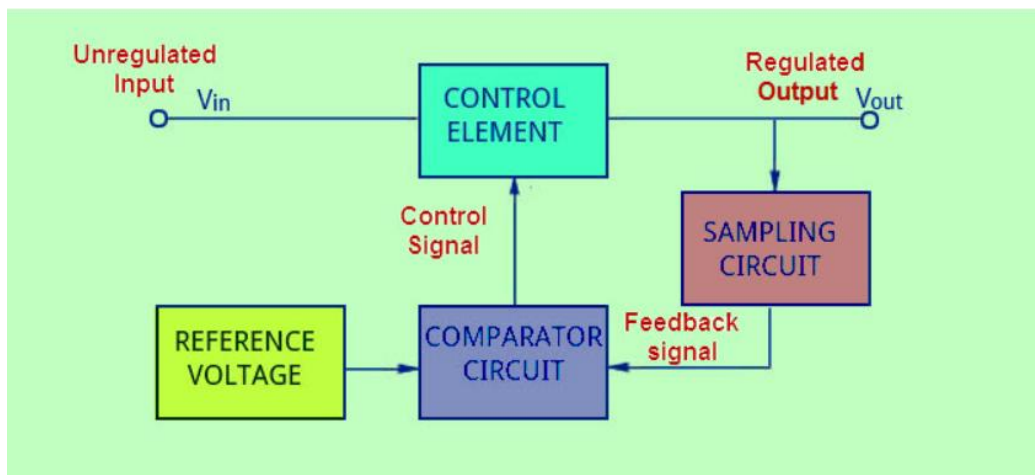
2.6.1 Lineárny regulator napätia.

Príkladom lineárneho regulátora sú integrované obvody triedy LM78xx, napr. pre výstup +5V je to obvod LM7805.



Obr. 17 - LM7805 v puzdre TO220[22]

Lineárny regulátor pracuje na princípe napäťového deliča. Regulátor je vlastne sériovo k záťaži pripojený rezistor s premenlivým odporom. Odpor sa mení tak aby vznikol na regulátore taký úbytok napätia aby na záťaži bola požadovaná hodnota napätia. [10]



Obr. 18 – Blokové funkčné schéma lineárneho regulátora napätia.[10]

Ztrátový výkon lineárneho regulátora sa dá vypočítať podľa vzorca:

$$P_{ztr} = (U_{in} - U_{out}) \cdot I_{out}$$

2.6.2 Spínaný regulator napätia.

Príkladom spínacieho regulátora napätia je integrovaný obvod LM2575-5.0WU. Tento regulátor má výstup +5V.



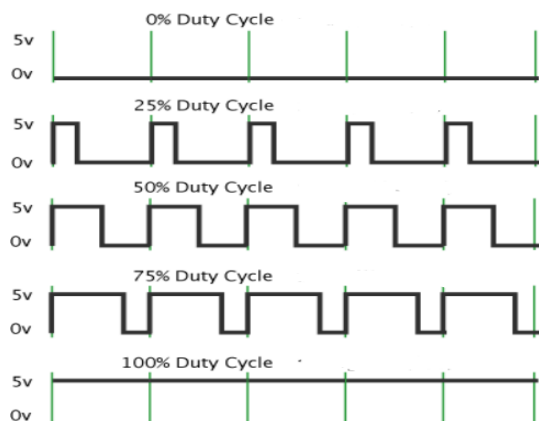
Obr. 19 – LM2575 v puzdre TO263-5[23]

Spínací regulátor pracuje na princípe step-down meniča s premenlivou striedou. Regulátor kontroluje striedu tak , aby výstup bol vždy požadovaná hodnota. Step down menič funguje na princípe rýchleho spínania tranzistora. Týmto spínaním sa na výstupe generuje obdĺžnikový signál PWM. [10]

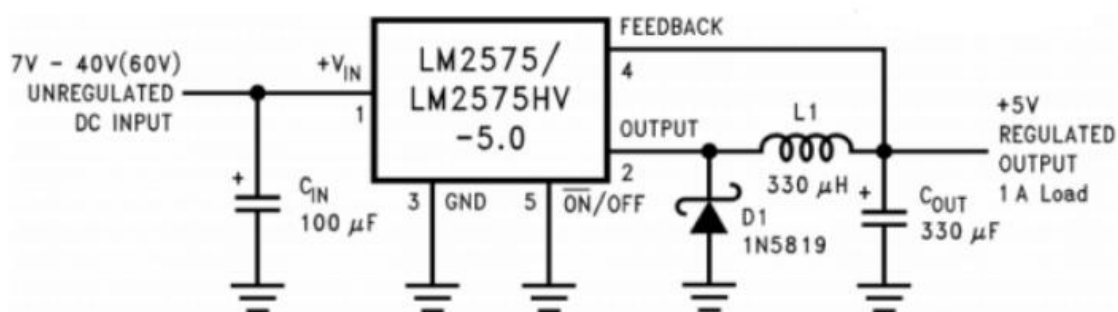
Stredné napätie PWM signálu:

$$V_{out} = s \cdot V_{in}$$

Kde s je strieda.

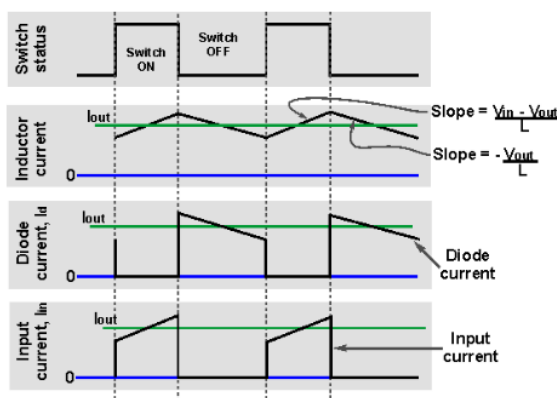


Obr.20 – PWM signál[11]



Obr.21 – Zapojenie spínacieho regulátora LM2575[15]

Spínací regulátor potrebuje na fungovanie externú cievku a schottkyho diódu. Cievka a dióda slúžia na to , aby sa vytvoril spojitý priebeh odoberaného prúdu.



Obr. 22 – Časové priebehy napätia a prúdov step down regulátora[24]

Z obrázku 18 vidíme že prúd síce je spojitý , ale taktiež sa vytvorilo zvlnenie prúdu. Mieru zvlnenia prúdu ovplyvňuje cievka , ktorú si zvolíme. Čím väčšia hodnota indukčnosti cievky , tým je zvlnenie menšie. Maximálnu hodnotu zvlnenia prúdu vieme vypočítať podľa vzorca:

$$\Delta I_{peak-peak} = \frac{U_{in}}{L \cdot f} \cdot (1 - s) \cdot (s)$$

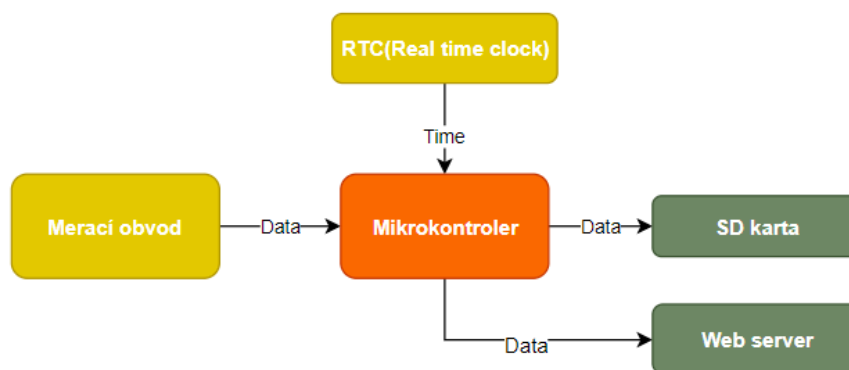
Výhody a nevýhody môžeme zhrnúť do tabulky:

	Výhody	Nevýhody	Vhodnosť použitia
Lineárny regulátor	-Rýchla odozva -Stabilný prúd -Nízke elektromagnetické rušenie. -Jednoduchosť zapojenia	-Veľmi veľký ztrátový výkon pri väčších rozdieloch napätia. -Potreba chladiča	-Vhodné na použitie pri malých rozdieloch napätí a veľmi malom odoberanom prúde.
Spínací regulátor	-Vysoká účinnosť -Nie je potreba chladič pri našom využití	-Zvlnenie prúdu -Vyššie elektromagnetické rušenie.	-Vhodné na použitie pri väčších rozdieloch napätia a pri väčších výkonoch

Tabulka 2 – Výhody, nevýhody a použitie napäťových regulátorov.

3. Návrh zariadenia.

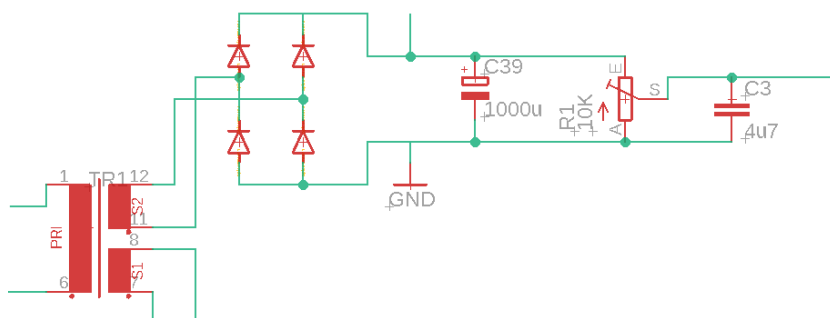
3.1 Blokové schéma.



Obr.23 – Funkčné blokové schéma zariadenia.

3.2 Merací obvod

Na meranie sa z dôvodu jednoduchosti a ceny zvolilo meranie pomocou napäťového deliča. Na rozdiel od RMS – DC konvertera nie je potrebný symetrický zdroj napätia $\pm 15V$. Transformátor sa zvolil BV EI 481 1119 od firmy HAHN. Na merací obvod by stačil aj menší transformátor, ale tento transformátor bude využitý aj pri návrhu zdroja napätia.



Obr. 24 – Schéma zapojenia meracej elektroniky



Obr. 25 – Transformátor BV EI 481 1119

3.2.1 Určenie a nastavenie rozsahu merania zariadenia

Vybraný mikrokontroler má napájacie napätie +5V. To znamená , že ak si za referenčné napätie zvolíme +5V, mikrokontroler pomocou AD prevodníka dokáže merať napätie v rozsahu 0 až 5V.

Rozsah sa určuje pomocou nastavenia trimra na doske plošných spojov , ktorý tvorí napäťový delič. Na nastavenie rozsahu je potrebné nastaviť napäťový delič tak , aby keď sa na vstup transformátora privedie požadovaná maximálna hodnota rozsahu napätia, na výstupe deliča bude presne +5V.

Výber rozsahu

Ideálna efektívna hodnota sieťového napätia je 230V. Podľa toho sa zvolil rozsah napätia 0 až 300V. To znamená , že 5V na výstupe deliča bude predstavovať 300V na vstupe do transformátora.

Napätie na výstupe deliča vieme vypočítať podľa vzorca:

$$U_{delič} = 5 \cdot \frac{U_{trafo}}{300}$$

Taktiež to znamená , že 230V na vstupe do transformátora bude predstavovať napätie na výstupe deliča:

$$U_{delič} = 5 \cdot \frac{230}{300} = 3,83 \text{ V}$$

Nastavenie deliča

Ak by nebol dostupný autotransformátor , na nastavenie deliča sa zariadenie pripojí do siete, voltmetrom sa zmeria napätie na vstupe do transformátora.

$$U_{trafo} = 232 \text{ V}$$

Podľa vzorca sa dopočíta hodnota napätia na výstupe deliča, ktorá bude zodpovedať nameranému napätiu na vstupe transformátora.

$$U_{delič} = 5 \cdot \frac{232}{300} = 3,867 \text{ V}$$

Následne sa voltmetrom meria hodnota napätia na výstupe deliča a pomocou trimra sa nastaví výstupne napätie na 3,867V. Týmto je nastavený rozsah merania na 0 až 300V.

Ak by bol dostupný autotransformátor , tak by sa autotransformátorom nastavila hodnota presne 230V a delič by sa nastavil tak, aby mal výstup 3,83V. Túto hodnotu sme si dopočítali pri výbere rozsahu. Taktiež je možné autotransformátorom nastaviť ľubovoľnú hodnotu v rozsahu merania a následne si dopočítať aká má byť hodnota výstupu deliča , ktorá zodpovedá nastavenému napätiu na autotransformátore podľa vzorca:

$$U_{delič} = 5 \cdot \frac{U_{trafo}}{300}$$

3.3 Výber a zapojenie zdroja napätia

Podľa vybranej meracej elektroniky, mikrokontrolera, a periférie vieme, že potrebujeme 2 úrovne zdrojového napätia, a to +5V pre mikrokontroler a +3,3V pre periférie. Pri návrhu meracej elektroniky sa použil transformátor. Toto vieme využiť pri návrhu zdroja napätia. Po transformovaní napätia transformátorom a usmernení štvordiódovým usmernovačom dostaneme jednosmerné napätie v hodnote 19,5V, ktoré je dostatočne malé aby sme ho mohli použiť ako vstup pre regulatory napätia. Jediné, čo je potom potrebné urobiť je zregulovať toto napätie na hodnotu +5V a následne +3,3V. Toto sa zrealizuje vybraním vhodného regulátora napätia.

3.3.1 Výber zdroja.

Regulácia 19,5V na 5V.

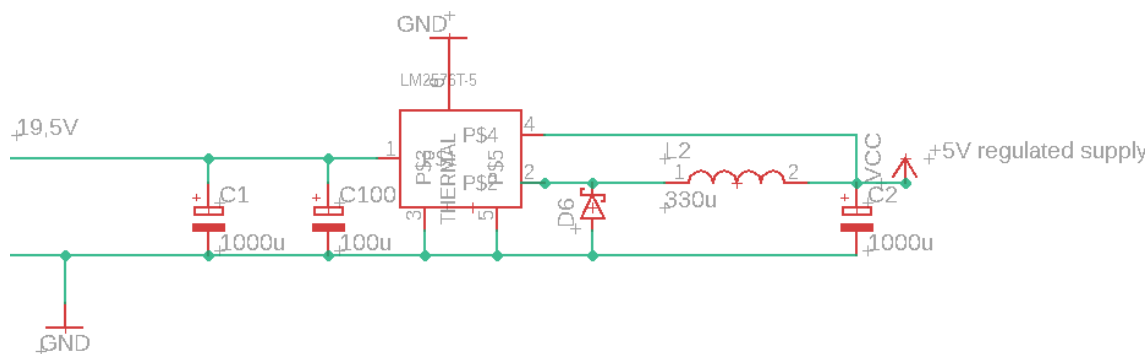
Ak by sme chceli použiť na túto reguláciu lineárny regulátor, ztrátový výkon tohto regulátora by bol :

$$P_{ztr} = (U_{in} - U_{out}) \cdot I_{out} = (19,5V - 5V) \cdot 0,28A = 4W$$

Táto hodnota je veľmi nevhodná a preto sa rozhodlo použiť spínací regulátor. Použil sa integrovaný obvod LM2575-5.0WU. Podľa datasheetu sa zistila účinnosť tohto regulátora $\eta = 92\%$, a z toho zistíme ztrátový výkon. [15]

$$P_{ztr} = \frac{U_{out} I_{out}}{\eta} - U_{out} I_{out} = \frac{5 \cdot 0,28}{0,92} - 5 \cdot 0,28 = 0,12W$$

Tento ztrátový výkon sa rozdeľuje medzi regulátor, cievku a diódu. Na disipáciu takéhoto tepla nie je potrebný chladič.



Obr.26 – Schéma zapojenia spínacieho regulátora LM2575-5.0WU

Na reguláciu 19,5V na 5V bude potrebná strieda približne $s=0,25$. Z vybraných súčiastok vieme zistiť maximálne zvlnenie prúdu:

$$\Delta I_{peak-peak} = \frac{U_{in}}{L \cdot f} \cdot (1 - s) \cdot (s) = \frac{19,5}{330 \cdot 10^{-6} \cdot 52 \cdot 10^3} \cdot (1 - 0,25) \cdot (0,25) = 0,21A$$

Frekvenciu f sme zistili z datasheetu integrovaného obvodu. [15]

Regulácia 5V na 3,3V.

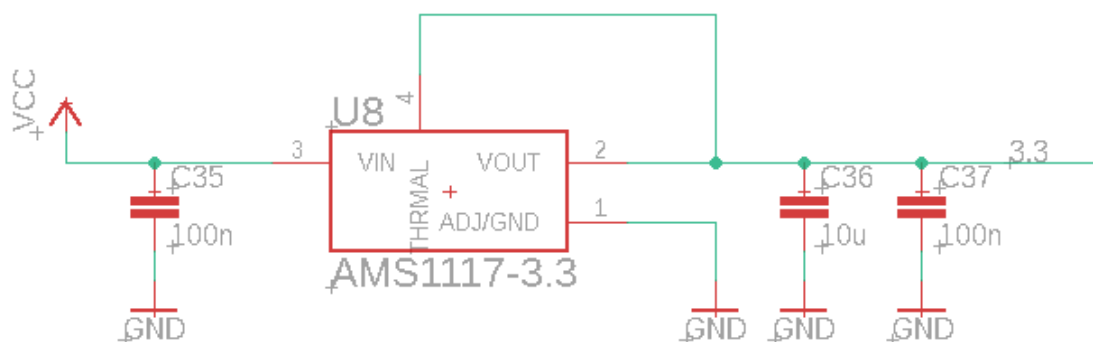
Na túto reguláciu je vhodný lineárny regulátor. Účinnosť regulátora vieme určiť:

$$\eta = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{3,3V}{5V} \cdot 100\% = 66\%$$

Periférie odoberajú prúd I_{out} 0,18 A. Z toho vieme určiť ztrátový výkon:

$$P_{ztr} = (U_{in} - U_{out}) \cdot I_{out} = (5 - 3,3V) \cdot 0,18A = 0,3W$$

Vybral sa integrovaný obvod AMS1117-3,3. Tento regulátor sa vybral z dôvodu dobrej regulácie pri malom rozdieli napätí. Minimálne vstupné napätie tohto regulátora je 4,6V. Regulátor je v puzdre SOT-223. Toto puzdro dokáže dissipovať 0,3W bez potrebného chladiča.[16]



Obr.27 – Schéma zapojenia lineárneho regulátora AMS1117

3.4 Výber mikrokontrolera

Pre naše použitie sa vybral mikrokontroler od výrobcu ATMEL. Hlavným faktorom pre výber tohto mikrokontrolera je , že tieto mikrokontrolery majú už kompletne existujúce knižnice pre komunikáciu s SD kartou a Ethernet modulom. Taktiež veľkou výhodou sú cenovo dostupné vývojové dosky pre mikrokontroler a taktiež pre periférie.

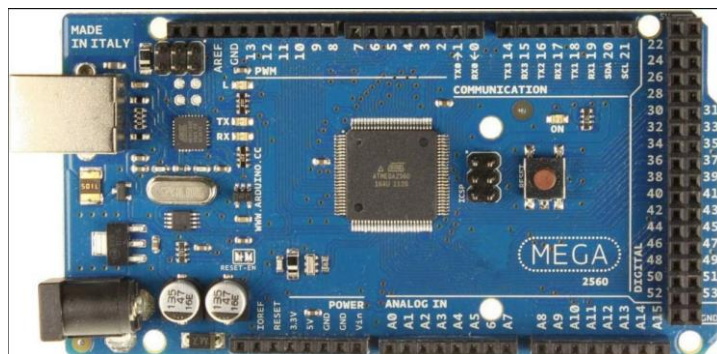
Na programovanie ARDUINA sa bude používať vývojové prostredie Arduino v1.8.8.

Najprv bol zvolený mikrokontroler ATMEGA 328P. Na vývoj prototypu bola použitá vývojová doska ARDUINO UNO.



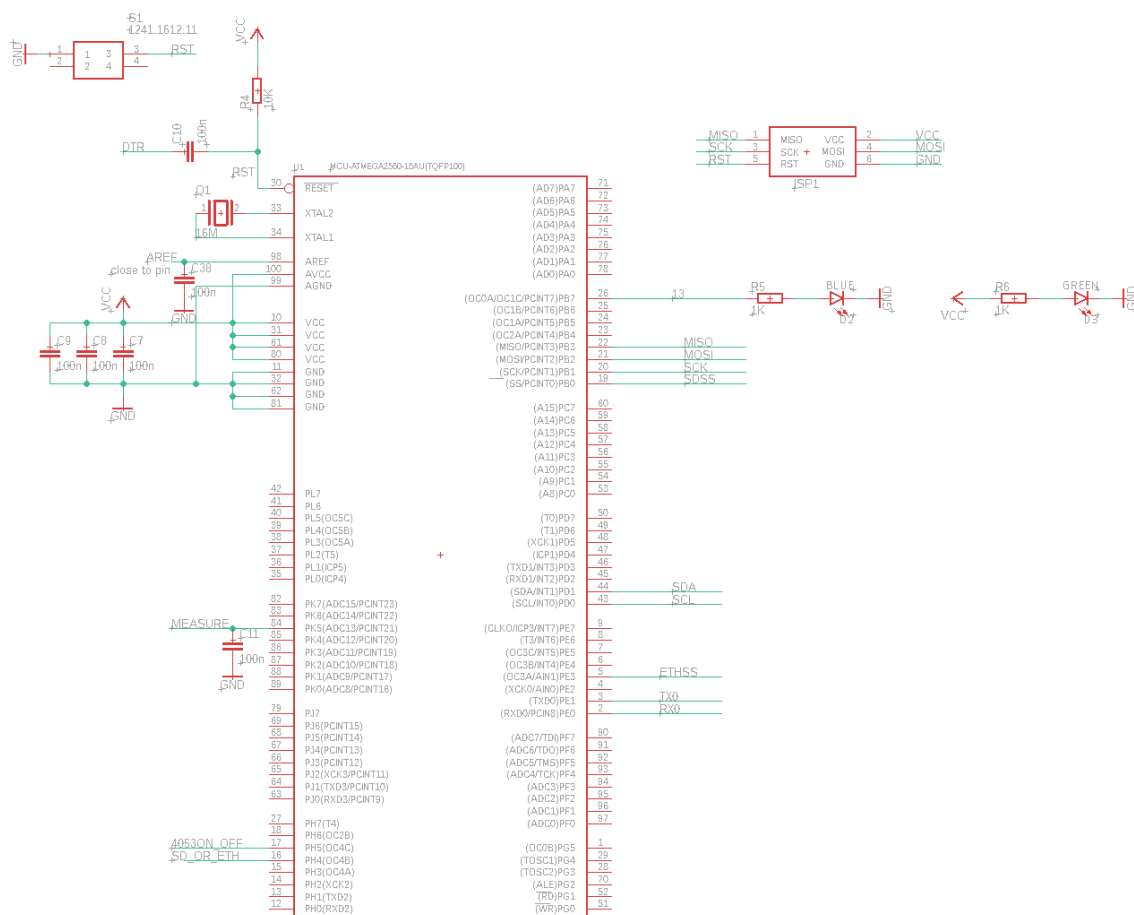
Obr. 28 - Vývojová doska ARDUINO UNO

Avšak po testovaní sa zistila nedostatočná programová, aj dynamická pamäť a preto sa prešlo na mikrokontroler ATMEGA 2560-16AU. Na vývoj bola použitá doska ARDUINO MEGA.



Obr. 29 - Vývojová doska ARDUINO MEGA

Následne bola schéma na osadenie mikrokontrolera ATMEGA 2560-16AU na vlastnú dosku prevzatá zo schémy dosky ARDUINO MEGA , ktorá je dostupná na internetových stránkach arduino.[34]



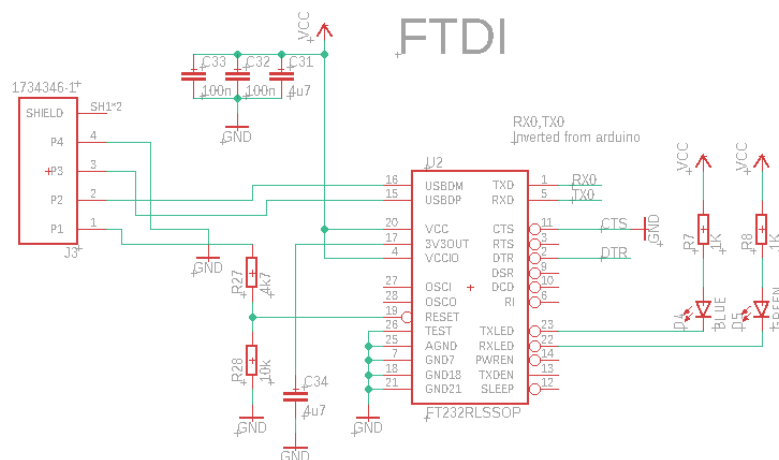
Obr.30 – Schéma zapojenia mikrokontrolera ATMEGA 2560-16AU

3.4.1 FTDI prevodník

Na komunikáciu mikrokontrolera s počítačovým zariadením cez USB zbernicu je potrebný tzv. FTDI prevodník.

Vo vývojových doskách ARDUINO je tento prevodník už zakomponovaný, avšak pri návrhu vlastnej dosky musíme tento prevodník zakomponovať.

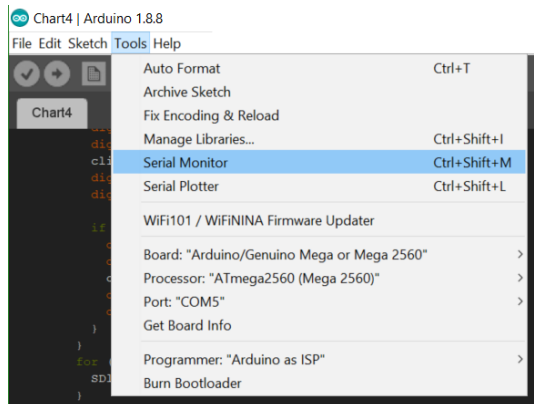
Použil sa integrovaný obvod FT232. Schéma zapojenia bola prevzatá z datasheetu tohto obvodu.[33]



Obr.31 – Schéma zapojenia FTDI prevodníka s integrovaným obvodom FT232

3.4.2 Komunikácia cez USB

Komunikácia cez USB bude prebiehať cez FTDI prevodník. Na komunikáciu sa využije vývojové prostredie Arduino. Zobrazovať informácie posielané z mikrokontroleru sa budú pomocou sériového monitoru.



Obr.32 – Serial monitor

Posielať informácie cez sériovú zbernicu sa budú pomocou funkcie

`serial.print();`

V programe sa budú vypisovať názov súboru na SD karte, do ktorého sa práve zapísala hodnota napätia s časom, a aktuálne zmerané napätie.

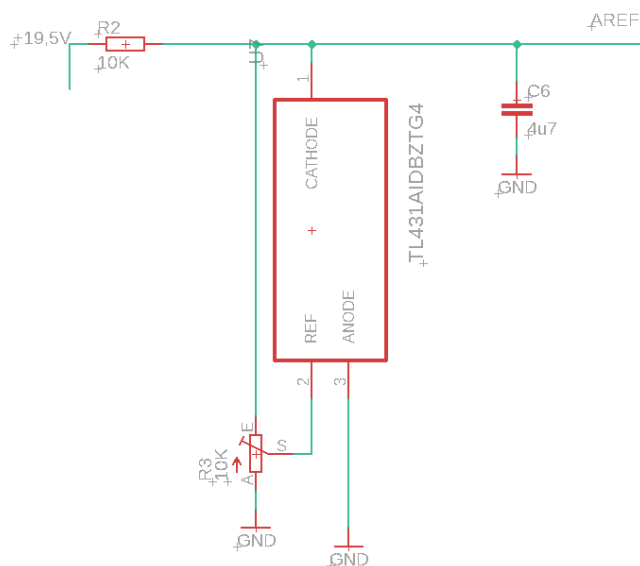


Obr.33 – Komunikácia cez USB

3.4.3 Referenčné napätie

Na správne fungovanie AD prevodníka je potrebné stabilné referenčné napätie. Väčšinou ak je zdroj napätia pre ARDUINO dostatočne stabilný, tak sa použije ako referenčné napätie práve toto zdrojové napätie. Avšak ak si chceme byť istý stabilitou a hodnotou referenčného napätia, alebo chceme zmeniť rozsah merania AD prevodníka, je vhodné použiť vlastný obvod, ktorý produkuje referenčné napätie. Presnosť tohto obvodu je $\pm 1\%$. [17]

Na vytvorenie referenčného napätia sa použil integrovaný obvod TL431. Schéma bola prevzatá z datasheetu tohto obvodu. [17]



Obr. 34 – Schéma obvodu referenčného napätia pomocou integrovaného obvodu TL431.

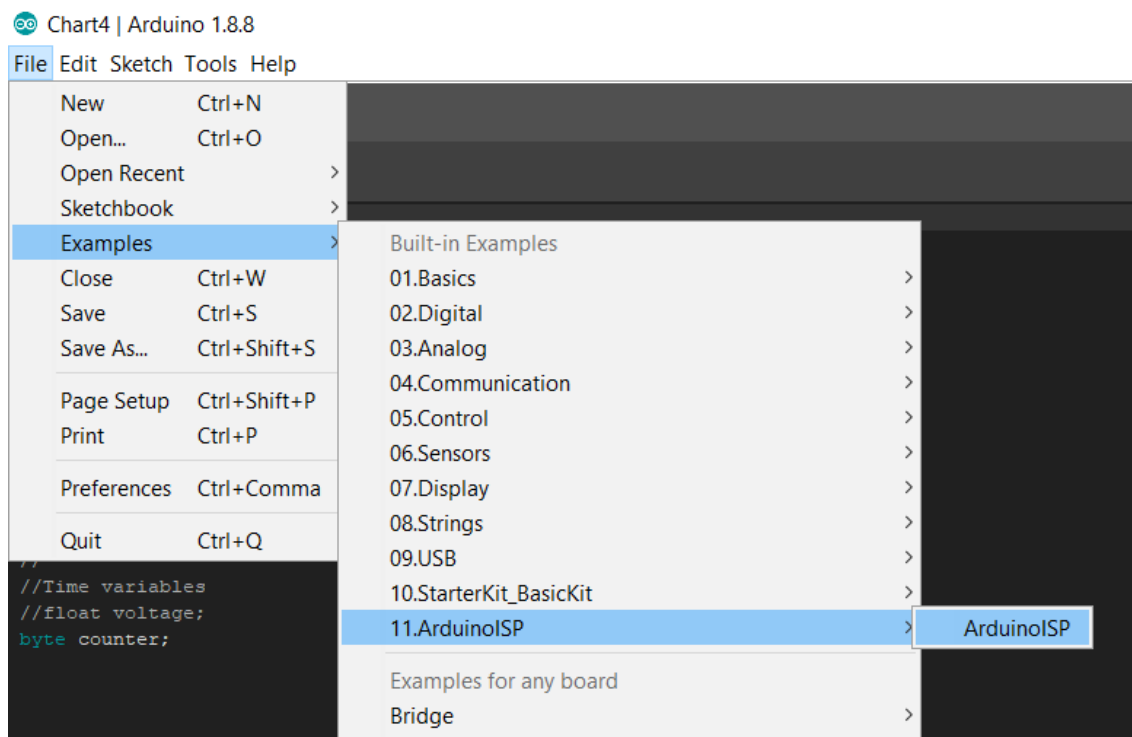
3.4.4 Bootloader

Na preprogramovanie mikrokontrolera ATMEGA 2560-16AU je potrebné mať externý programátor. Avšak ak je na doske plošných spojov dostupný FTDI prevodník, tak je možné tento mikrokontroler preprogramovať pomocou tohto FTDI prevodníka. Na to aby toto bolo možné je ale najprv potrebné na daný mikrokontroler vypáliť tzv. bootloader. Bootloader je kus kóda v mikrokontroleri, ktorý umožňuje preprogramovanie bez použitia externého programátora, ale priamo cez USB zbernicu. [12]

Na vypálenie bootloadera sa dá použiť externý programátor na ARDUINO, ale jednoduchšie je použiť vývojovú dosku ARDUINO, v našom prípade sme použili ARDUINO UNO.

Postup:

Najprv je nutné nastaviť vývojovú dosku ARDUINA tak, aby bolo možné ju použiť na vypálenie bootloadera na náš mikrokontroler. Vývojová doska sa pripojí cez USB k počítačovému zariadeniu, vo vývojovom prostredí ARDUINA sa otvorí program ArduinoISP. Tento program sa dá nájsť vo vzorových ukážkach. Následne sa tento program nahraje na vývojovú dosku. [12]



Obr. 35 – Ukážka ArduinoISP vo vývojovom prostredí Arduina

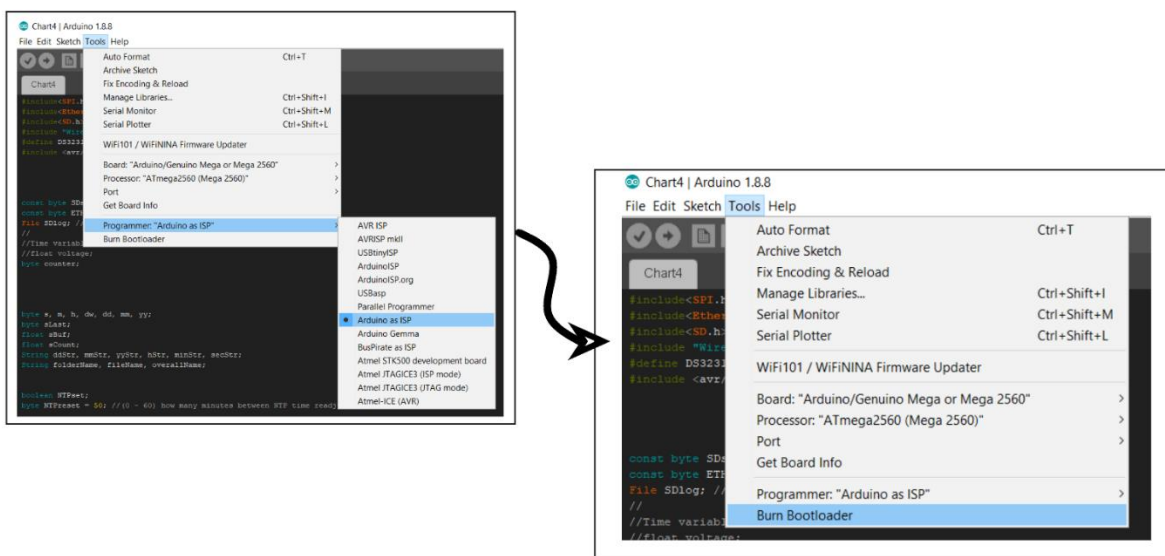
Následne je potrebné prepojiť vývojovú dosku ARDUINO, ktorá sa bude používať ako programátor s naším mikrokontrolerom. Je potrebné prepojiť tieto piny vývojovej dosky Arduino UNO s vývodmi mikrokontrolera na navrhnutej doske:

Arduino UNO ako programátor	Mikrokontroler
MOSI(pin 11)	MOSI
MISO(pin 12)	MISO
SCK(pin 13)	SCK
SS(pin 10)	RESET
GND	GND

Tabulka 3 – prepojenie mikrokontrolera s programátorom

Ďalej je nutné aby pri ďalšom kroku boli obidve dosky pripojené na zdroj napätia.

Ďalším krokom je vypálenie bootloadera na mikrokontroler. Na toto je potrebné vo vývojom prostredí zvoliť typ programátora : "Arduino as ISP". A následne bootloader vypáliť pomocou tlačítka "Burn bootloader". [12]



Obr. 36 – Vypálenie bootloadera.

3.5 RTC modul.

Mikrokontroler má v sebe zabudované hodiny , avšak nie veľmi presné. Preto sa použije externý obvod reálneho času , tzv. RTC(Real Time Clock). Na tento účel sa použije integrovaný obvod DS3231. Ďalšou výhodou RTC je , že si zachováva čas aj po vypnutí zariadenia zo zdroja napätia. Zariaďuje to batéria CR2032 , ktorá je zakomponovaná v obvode.[25]

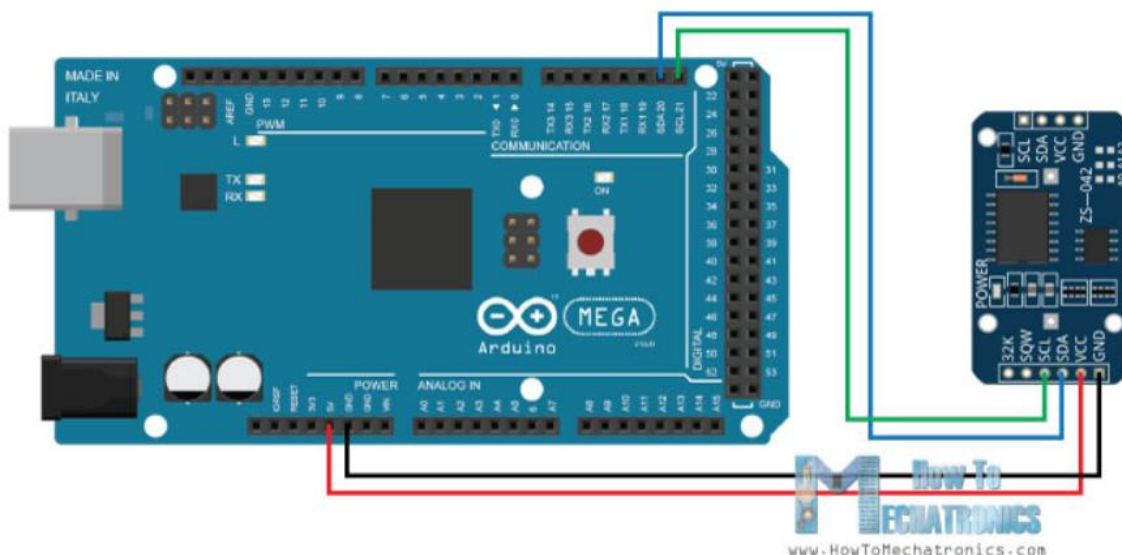
Pri testovaní bolo zistené , že aj RTC obvod má odchýlku približne 10 sekúnd na 24 hodín. Preto sa bude čas periodicky v určitom časovom intervale automaticky nastavovať podľa atómových hodín. Toto bude prebiehať pomocou pripojenia sa na NTP server. Tento protokol je popísaný podrobnejšie v kapitole 3.7.

Na využívanie RTC modulu bola použitá knižnica “Wire.h“

Na vývoj prototypu bola použitá vývojová doska RTC s integrovaným obvodom DS3231.



Obr.37 – Vývojová doska reálneho času s obvodom DS3231[25]



Obr.38 – Zapojenie modulu RTC s vývojovou doskou Arduino Mega[25]

Nastavenie času prebieha pomocou funkcie:

setRTCtime(s, m, h, dw, dd, mm, yy);

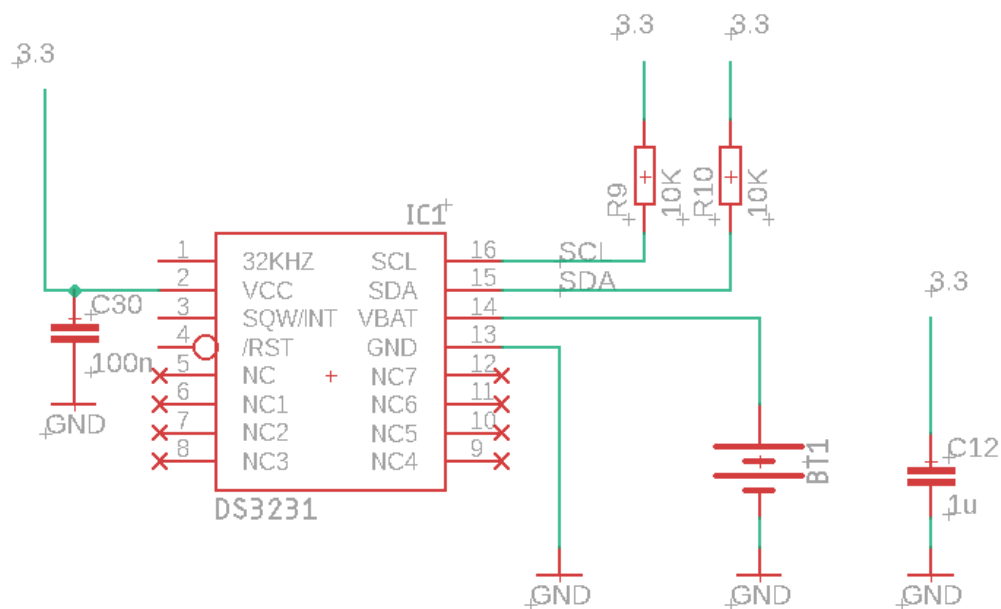
Čítanie času prebieha pomocou funkcie:

readRTCtime(&s, &m, &h, &dw, &dd, &mm, &yy);

s sú sekundy, m minúty, h hodiny, dw názov dňa v týždni, dd deň mesiaca, mm mesiac, yy rok.

Tieto funkcie sú podrobnejšie popísané v zdrojovom kóde programu.

Schéma zapojenia použitá na vlastnú dosku plošných spojov bola prevzatá z datasheetu integrovaného obvodu DS3231.[30]



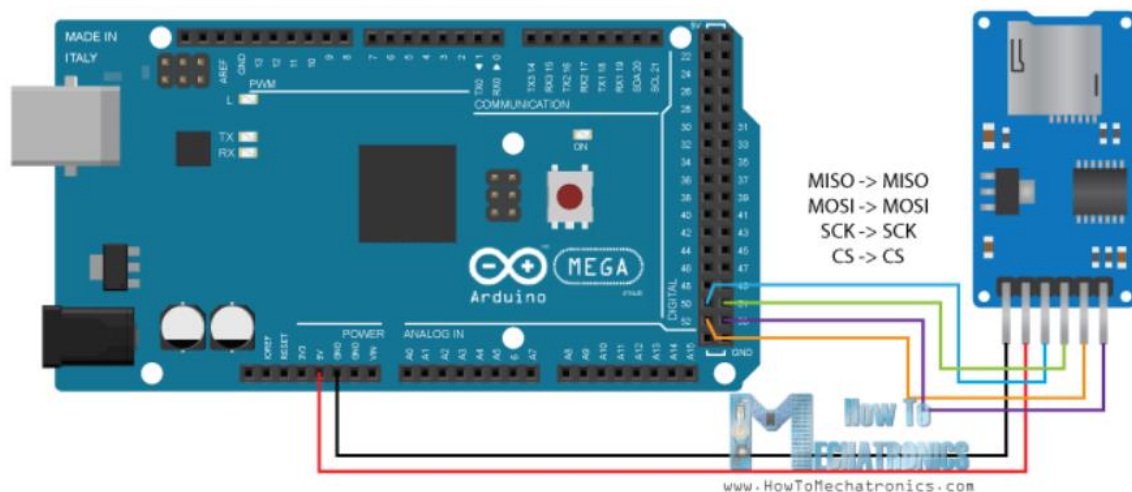
Obr.39 – Schéma zapojenia obvodu reálneho času s integrovaným obvodom DS3231

3.6 Modul SD karty

Na prototyp bol použitý modul pre micro SD karty pre ARDUINO od firmy catalex.



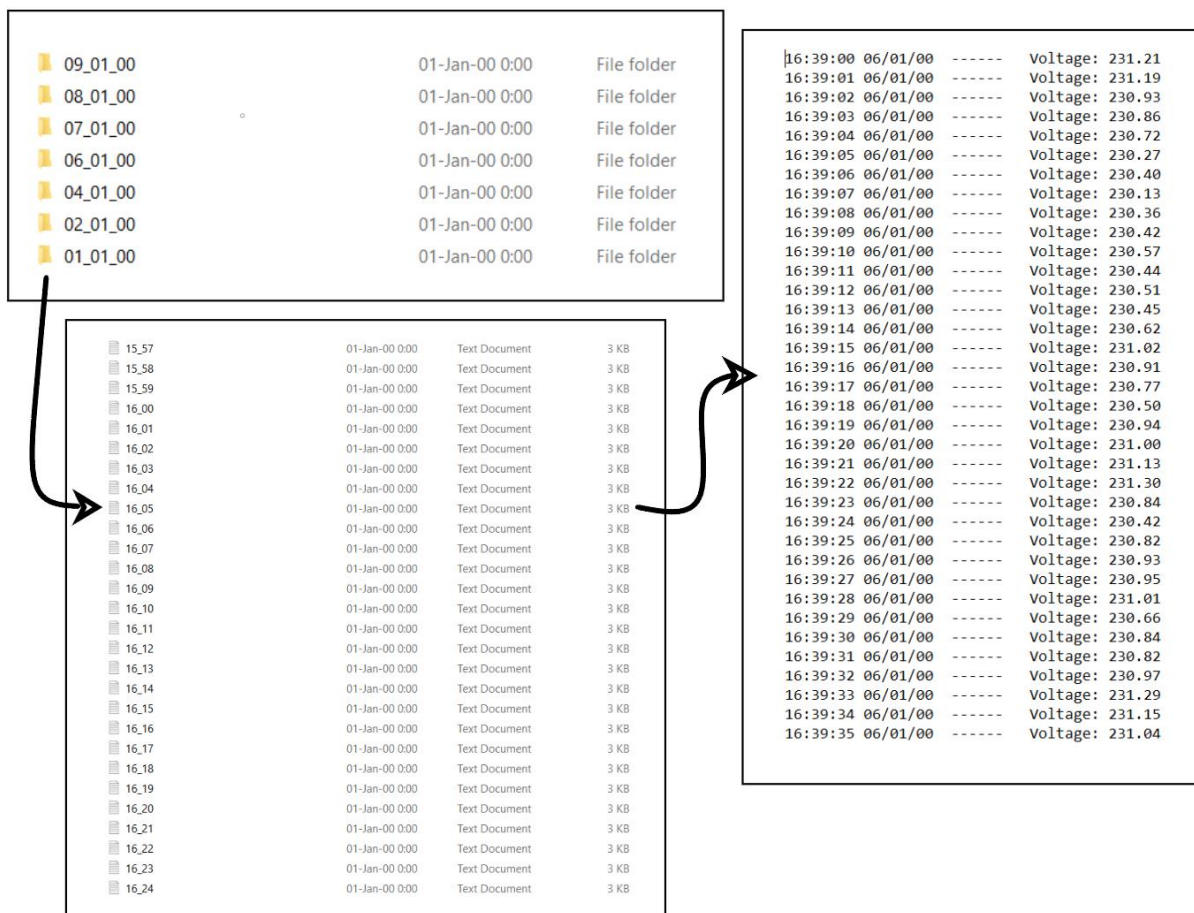
Obr.40 – Modul microSD karty od firmy catalex



Obr.41 – Schéma zapojenia modulu SD karty s vývojovou doskou Arduino Mega[26]

Na ovládanie modulu SD karty sa použila knižnica “SD.h”

Na SD kartu sa bude hodnota napätia zapisovať presne 1-krát za sekundu. Za tento časový interval bude mikrokontroler priemerovať tolko hodnôt koľko je schopný za 1 sekundu namerať. Hodnota sa bude zapisovať taktiež s časom. Na SD karte sa budú vytvárať zložky reprezentujúce jeden deň. Vo vnútri budú textové súbory. V týchto textových súboroch budú hodnoty napätia s časom. Jeden textový súbor bude obsahovať 1 minútu, čiže 60 zápisov. To znamená, že celkovo za deň prebehne 86400 zápisov.



Obr. 42 – Formát zápisu dát na SD kartu.

Taktiež sa na SD kartu do súboru samostatného textového súboru s názvom V_ERROR.txt budú zapisovať také hodnoty napätia, ktoré prekročia určité medze nastavené v programe. Tento súbor bude následne využívaný WEB serverom.

Na vytvorenie/otvorenie zložky sa použije funkcia:

SD.mkdir(folderName);

Na vytvorenie/otvorenie textového súboru sa použije funkcia:

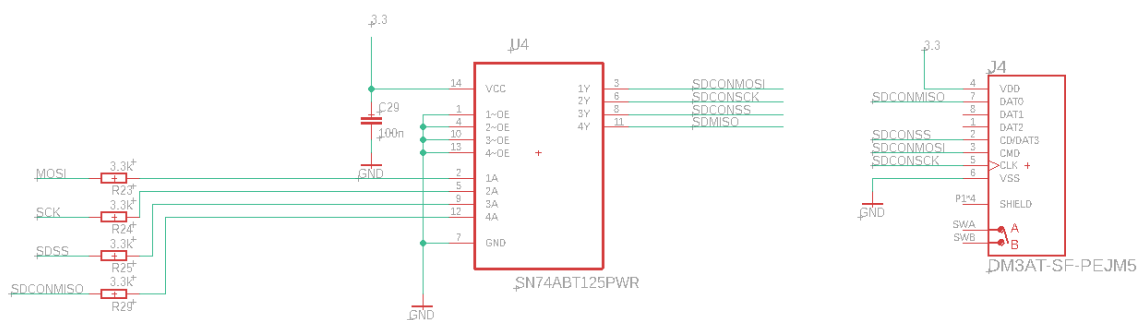
Sdlog = SD.open(overallName, FILE_WRITE);

Na zápis do textového súboru sa využije funkcia:

Sdlog.println(voltage);

Pri navrhovaní vlastnej dosky je potrebné použiť integrovaný obvod tzv. level shifter. Mikrokontroler pracuje na napätí +5V, ale SD karta pracuje na napätí 3,3V. Level shifter slúži na transformovanie 5V na 3,3 V pre SD kartu a zároveň transformovanie 3,3V na 5V pre mikrokontroler. Pri návrhu sa použil level shifter SN74ABT125PWR.[32]

Schéma pri navrhovaní vlastnej dosky plošných spojov bola prevzatá zo schémy catalex modulu.[32]



Obr.43 – Schéma zapojenia modulu microSD karty.

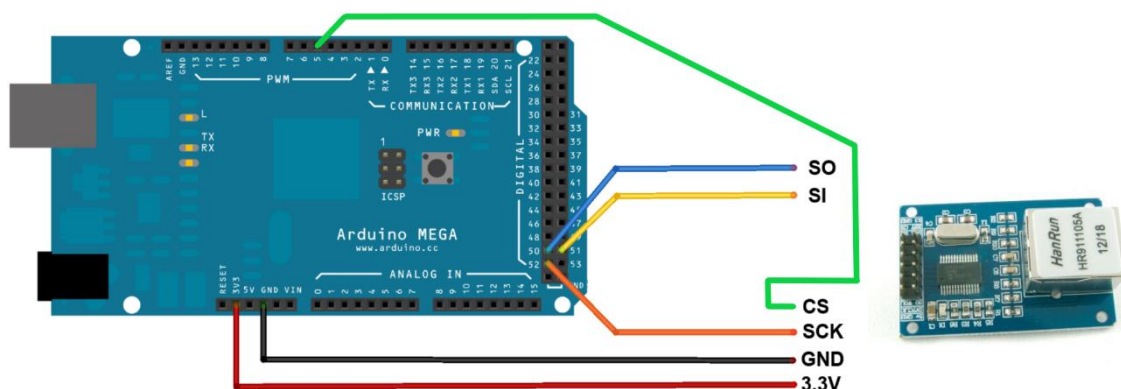
3.7 Ethernet modul

Na prototyp bol použitý ethernet modul s integrovaným obvodom W5500 od firmy wiznet.



Obr.44 – Ethernetový modul pre ARDUINO

Zapojenie Ethernetového modulu s vývojovou doskou Arduino Mega je rovnaké ako pri module SD karty. Jediný rozdiel je , že SS(Slave select) pin Ethernetového modulu sa nezapojí na pin 53 , ale na pin 5.[27]



Obr. 45 – Schéma zapojenia Ethernetového modulu s vývojovou doskou Arduino Mega [27]

Na ovládanie Ethernetového modulu sa použila knižnica “Ethernet.h“

Web server

Vykresľovanie všetkých nameraných hodnôt na WEB server je veľmi časovo náročné. Preto sa na WEB server budú vypisovať iba tie hodnoty, ktoré prekročili určité medze nastavené v programe. V ukážke to sú napr. medze 225V, 235V. To znamená, že ak je napätie menšie ako 225V alebo väčšie ako 235V, tak sa táto hodnota s časom ukáže na WEB serveri.

Na vytvorenie funkčného WEB servera je potrebné nastaviť parametre Ethernet modulu. Je potrebné prideliť MAC adresu, lokálnu IP adresu, nastaviť masku a prístupovú bránu. Následne je potrebné určiť na ktorom porte bude WEB server. Tieto hodnoty sa čiastočne nastavujú podľa parametrov routeru.

```
byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xEF, 0xED};  
IPAddress ip(192, 168, 0, 185);  
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);  
IPAddress gateway(192, 168, 0, 1);  
EthernetServer server(12345);
```

Obr. 46 – Nastavenie WEB serveru

Následne je nutné inicializovať Ethernet pripojenie pomocou funkcie:

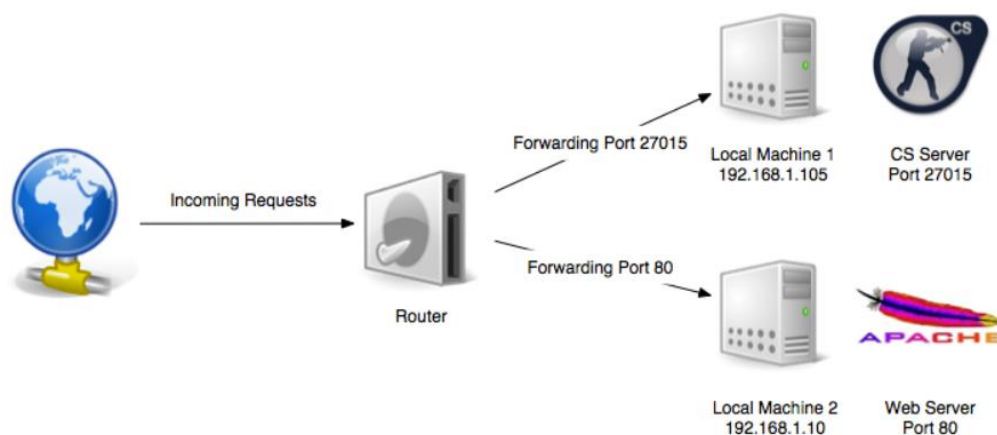
Ethernet.begin(mac, ip, subnet, gateway);

Ďalej je potrebné inicializovať WEB server pomocou funkcie :

server.begin();

Po tomto nastavení je lokálny server dostupný na adrese **162.168.0.185:12345**.

Na to aby bol server prístupný nielen z lokálnej siete, ale aj z verejnej. Je potrebné prekonfigurovať router ku ktorému je mikrokontroler pripojený. Je potrebné použiť tzv. "port forwarding". Je potrebné fixne prideliť daný port danej lokálnej IP adrese. V našom prípade by sa pridelil port 12345 IP adrese 162.168.0.185. Výsledkom je že všetky požiadavky ktoré router dostane z verejnej siete na port(12345), router automaticky presmeruje priamo na lokálnu IP adresu, ktorej je tento port pridelený(162.168.0.185). Tým pádom na pripojenie k web serveru z inej ako lokálnej siete sa nepoužije adresa **localIP:12345**, ale **publicIP:12345**. [28]

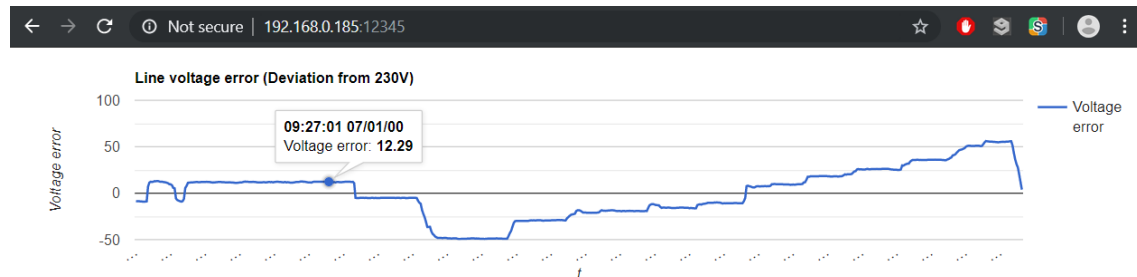


Obr. 47 – Príklady port forwarding[28]

Na vizualizáciu servera sa použije funkcia:

client.println();

Táto funkcia vlastne priamo vypisuje HTML kód na web server , na ktorý je klient pripojený.

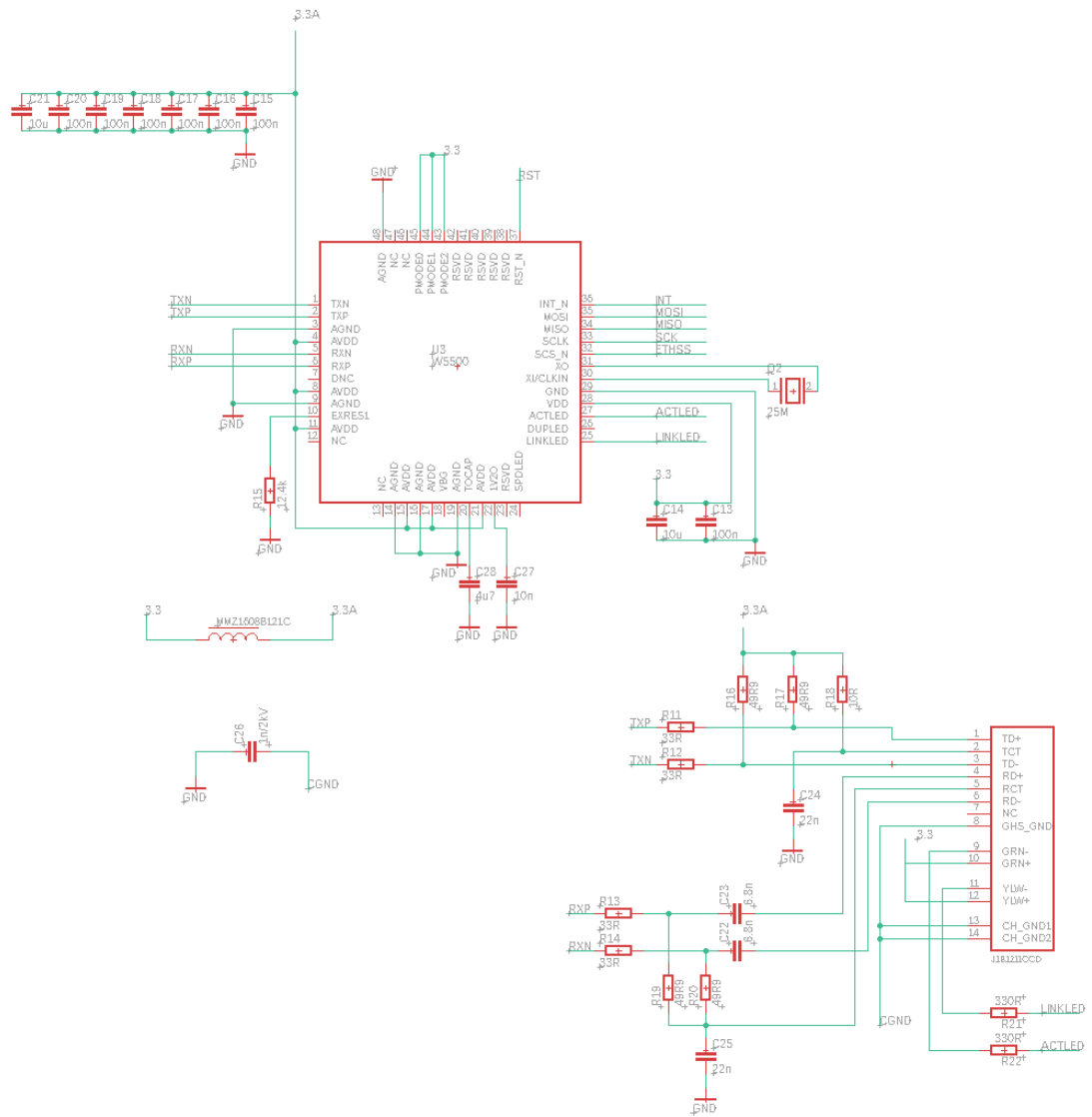


Obr. 48 – Vizualizácia web servera

Aktualizácia času z NTP servera.

Na aktualizáciu RTC modulu sa použije NTP (Network time protocol) server. Na tento server sa pošle požiadavka z nášeho mikrokontrolera. V zápätí sa zo servera pošle odozva , ktorá v sebe obsahuje aktuálny čas. Formát času, ktorý NTP server posiela je počet sekúnd od dátumu 1.1.1900 00:00. Následne je potrebné tento formát prepočítať na aktuálny čas. Postup je viac popísaný v zdrojovom kóde.[31]

Schéma pri navrhovaní vlastnej dosky plošných spojov bola prevzatá z internetových stránok wiznet. [18][29]



Obr.49 – Schéma zapojenia ethernetového modulu s integrovaným obvodom W5500

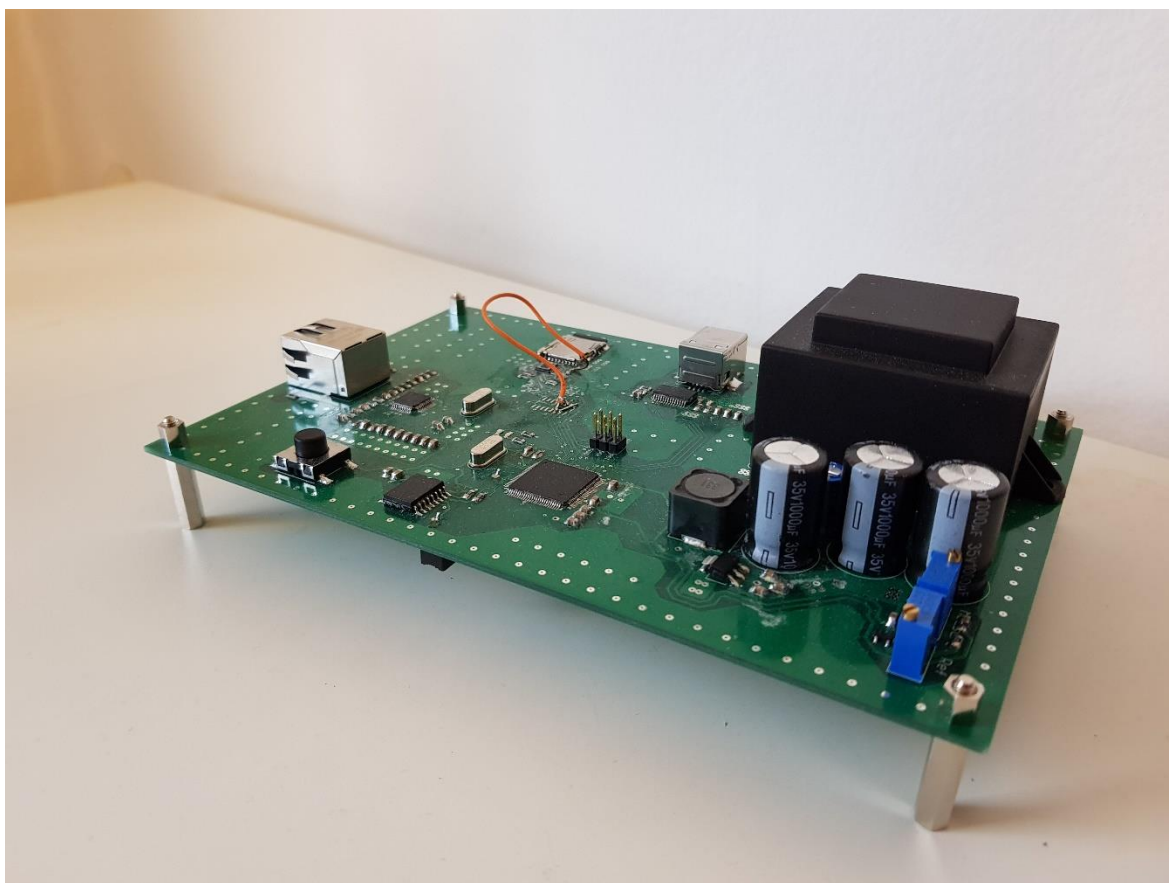
3.8 Návrh dosky plošných spojov.

Na návrh dosky plošných spojov sa použil program Eagle.

Pri návrhu dosky je potrebné rozmiestňovať komponenty tak , aby ich funkčnosť bola maximálna. Napríklad filtračné kondenzátory umiestňovať čo najbližšie k súčiastke, ktorá bude filtrovaný signál prijímať. Alebo taktiež v našom prípade umiestniť cievku a diódu čo najbližšie k spínanému regulátoru napätia. Týmto sa minimalizuje rušenie z okolia. Tiež je potrebné pri rozmiestňovaní komponentov dbať na výslednú veľkosť dosky plošných spojov.

Ďalej je potrebné pre každú cestu(vodič) zvoliť vhodnú šírku. Pre zdrojové cesty(vodiče) sa používa širšia cesta(vodič). Pre signálové cesty šírka nie je až tak dôležitá.

Dôležité je tak isto neumiestňovať žiadne cesty(vodiče), pod alebo veľmi blízko k takým súčiastkam, ktoré produkujú elektromagnetické rušenie. V našom prípade to je transformátor , cievka , ethernetový konektor RJ45.



Obr. 50 – Doska plošných spojov.

Z dôvodu chyby pri návrhu DPS bolo nutné túto chybu odstrániť napájkovaním vodiča medzi MISO kanálom konektora SD karty a MISO kanálom mikrokontrolera.

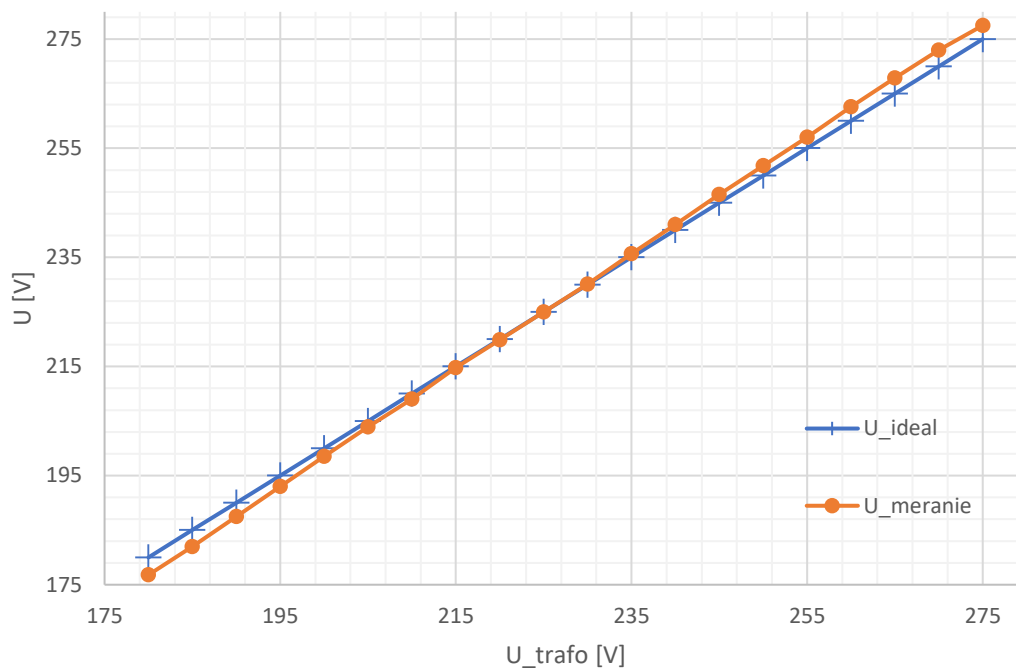
4. Meranie

Na kontrolu funkčnosti zariadenia je potrebné kontrolovať meniť vstupné napätie. Keďže merané napätie je pomerne vysoké, laboratórny zdroj sínusového signálu nie je možnosťou. Pre to je potrebné použiť autotransformátor. Autotransformátor pracuje na princípe transformátora, ktorý má premenný počet závitov sekundárnej cievky. Tento počet závitov je možné užívateľom meniť a tým je možné nastaviť výstupné napätie. Pri zapojení autotransformátora do siete bolo v našom prípade možné regulovať výstupné napätie na hodnoty 0 – 275 V. Zariadenie sa pripojilo na autotransformátor a zapisovalo sa namerané napätie naším zariadením a napätie na výstupe autotransformátora. Meranie sa uskutočnilo v rozsahu 180-275V v intervaloch po 5V. Pri hodnotách 220-240V sa merali hodnoty s menším intervalom.

	U_trafo[V]	U_meranie[V]
1	180.00	176.80
2	185.00	182.00
3	190.00	187.50
4	195.00	193.00
5	200.00	198.50
6	205.00	203.90
7	210.00	209.00
8	215.00	214.80
9	220.00	219.90
10	222.00	222.20
11	224.00	224.20
12	225.00	225.00
13	226.00	226.10
14	227.00	227.20
15	228.00	228.15
16	229.00	229.00
17	230.00	230.10
18	231.00	231.20
19	232.00	232.40
20	233.00	233.60
21	234.00	234.80
22	235.00	235.65
23	236.00	236.80
24	238.00	238.90
25	240.00	241.00
26	245.00	246.50
27	250.00	251.80
28	255.00	257.00
29	260.00	262.60
30	265.00	267.90
31	270.00	273.00
32	275.00	277.50

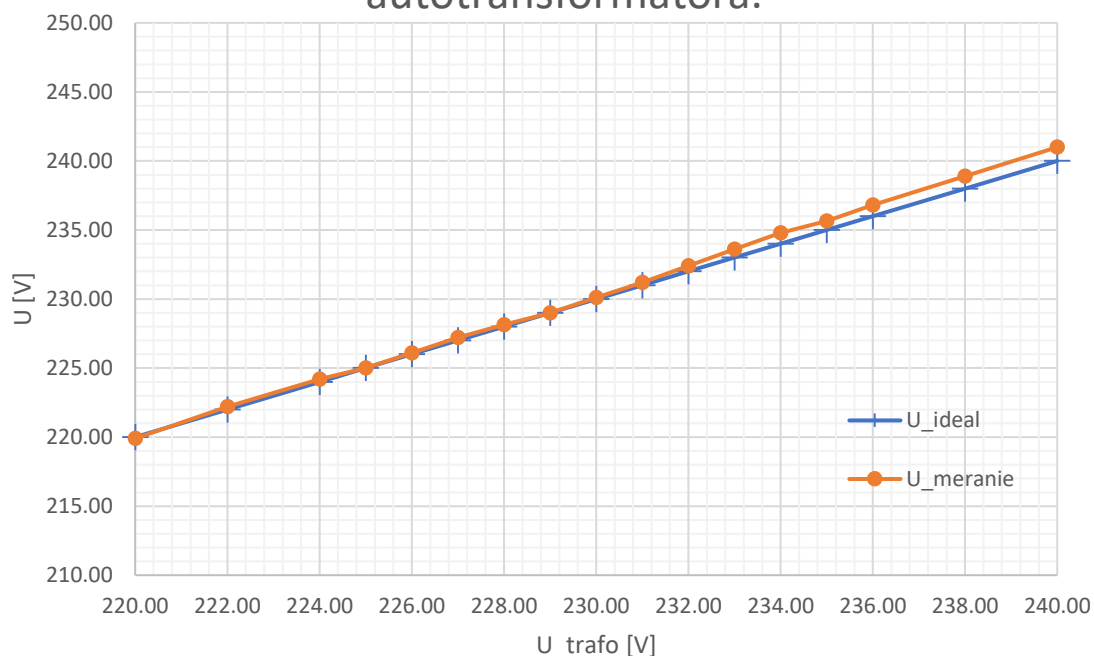
Tabulka 4 – Závislosť nameraného napätia na výstupe autotransformátora.

Závislosť meraného napätia na napätí autotransformátora.



Graf 1 - Závislosť nameraného napätia, na napätí na autotransformátore..

Závislosť meraného napätia na napätí autotransformátora.



Graf 2 - Závislosť nameraného napätia, na napätí na autotransformátore..

Pre lepšie vizuálne určenie odchýlky nameraného napätia sa do grafov vyniesol aj ideálny priebeh nameraného napätia. V grafoch tomuto priebehu zodpovedá priebeh U_{ideal} .

Zhodnotenie merania

Do grafu 1 sa vyniesla závislosť nameranej hodnoty napätia na napätí na výstupe autotransformátora. Ako z grafu a tabulky je vidno, v rozsahu 180 až 275 V je maximálna chyba 3,2V. Táto chyba je vtedy, keď je na autotransformátore napätie 180 V. Pri tomto napätí je chyba 1,7%.

Z grafu je taktiež vidno, že chyba merania nie je stála. Preto sa do grafu 2 vyniesla tá istá závislosť, ale tentokrát v menšom rozsahu. Rozsah je taký, v ktorom sa merané napätie bude najčastejšie pohybovať. Do grafu sa vyniesol rozsah napätia od 220V do 240V. Z grafu a tabulky je vidno, že najväčšia chyba merania je 1V pri napätí 240V. Táto chyba merania je približne 0,5%.

5. Záver

Cieľom bolo zoznámiť sa s bezpečnými spôsobmi merania sieťového napätia, navrhnúť vlastné riešenie , zrealizovať toto riešenie návrhom DPS , otestovať toto riešenie.

V druhej kapitole je popísaná problematika a ciele merania. Meraná veličina je sieťové napätie. Toto napätie môže byť nestabilné a závisieť na zaťažení siete. Ďalej sú tu popísané rôzne možnosti merania sieťového napätia, možnosti výberu mikrokontrolera a rôzne možnosti regulátorov napätia , ktoré sa využili pri návrhu zdroja napätia

V ďalšej časti je popísaný návrh zariadenia. Pri návrhu sa najprv vyrobil prototyp , ktorý sa skladal z existujúcich modulov. Zariadenie sa dá rozdeliť do 5 častí. Tieto časti sú zdroj napätia , mikrokontroler, modul SD karty , Ethernetový modul a RTC obvod. Výsledkom by malo byť funkčné zlúčenie týchto častí na spoločnú dosku plošných spojov. Taktiež je v tejto kapitole popísaný postup nastavenia zariadenia a formát výstupov zariadenia.

V poslednej kapitole je popísané merania a zhodnotenie tohto merania.

Ďalším cieľom by bolo zmenšiť toto zariadenie.

6. Zoznam použitej literatúry.

- [1] HUBINSKÝ. Efektívna hodnota. *Elso* [online]. [cit. 2019-05-5]. Dostupné z: <https://www.else.sk/sk/content/97-multimeter-co-je-to-efektivna-hodnota-a-stredna-hodnota-pri-merani>
- [2] Striedavý prúd. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-5]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Striedav%C3%BD_pr%C3%BAd
- [3] BLOM. Diodes. *Sparkfun* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/diodes/diode-applications>
- [4] Full Wave Rectifier. *Electronics tutorials* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_6.html
- [5] Arduino compare. *Arduino* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/products/compare>
- [6] PIC microcontrollers. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/PIC_microcontrollers
- [7] ADC. *Rohm* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.rohm.com/electronics-basics/ad-da-converters/ad-converter-configurations>
- [8] Serial Peripheral Interface. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- [9] GRUSIN. Serial Peripheral Interface (SPI). *Sparkfun* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi/all>
- [10] Different Types of Voltage Regulators. *Elprocus* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/types-of-voltage-regulators-and-working-principle/>
- [11] PWM. *Arduino* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>

- [12] Bootloader. *Arduino* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Hacking/Bootloader?from=Tutorial.Bootloader>
- [13] Root mean square. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-5]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Root_mean_square
- [14] Analog Devices Inc. [online katalogový list]. AD8436. 2017 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8436.pdf>
- [15] Microchip Inc. [online katalogový list]. LM2575. 2009 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/lm2575.pdf>
- [16] Advanced Monolithic Systems Inc. [online katalogový list]. Ams1117. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>
- [17] Texas instruments Inc. [online katalogový list]. TL431. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl431.pdf>
- [18] Wiznet Inc. [online katalogový list]. W5500. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Shields/W5500_datasheet_v1.0.2_1.pdf
- [19] Waveform. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Waveform>
- [20] PWM. *Blogspot* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://4.bp.blogspot.com/_q011uSaz6g/UUoNDhimclI/AAAAAAAAAHck/GkdqK2CDXqA/s1600/pwm_example.png
- [21] ADC [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://i.stack.imgur.com/lr08S.png>
- [22] LM7805 [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41nY7SsGdYL.jpg>
- [23] LM7805 [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://media.digikey.com/photos/Micrel%20Photos/576-TO-263-5.jpg>

- [24] Step down. *Electronics notes* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/power-supply-electronics/switching-step-down-buck-regulator-dc-dc-converter.php
- [25] DEJAN. Arduino and DS3231. *Electronics notes* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-ds3231-real-time-clock-tutorial/>
- [26] DEJAN. Arduino and SD card. *Howtomechatronics* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-sd-card-data-logging-excel-tutorial/>
- [27] *Arduino and ethernet* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://en.code-bude.net/wp-content/uploads/2013/06/Arduino-Mega-2560-wiring-enc28j60.png>
- [28] Port forwarding. *Superuser* [online]. 2018 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://superuser.com/questions/284051/what-is-port-forwarding-and-what-is-it-used-for?answertab=active#tab-top>
- [29] W5500 reference schematic. *Wizwiki* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://wizwiki.net/wiki/doku.php?id=products:w5500:refschematic>
- [30] Maxim Integrated Inc. [online katalogový list]. DS3231. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [31] In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Network_Time_Protocol
- [32] Interfacing catalex microSD card module. *Vishnumaiea* [online]. 2017 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module>

- [33] Future Technology Devices International Inc. [online katalogový list]. FT232. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: https://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
- [34] Bare minimum Arduino Mega 2560. *instructables* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/id/DIY-Bare-Minimum-Arduino-Mega-2560/>

Zoznam obrázkov:

Obr.1: *Ideálne sieťové napätie* [1]

Obr.2: *Sínusový priebeh napätia*

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Waveforms.svg>

Obr.3: *Trojuholníkový priebeh napätia*

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Waveforms.svg>

Obr.4: *Obdĺžnikový priebeh napätia*

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/77/Waveforms.svg>

Obr.5: *Obdĺžnikový priebeh napätia - PWM*

http://4.bp.blogspot.com/_q011uSaz6g/UUoNDhimclI/AAAAAAAAAHck/GkdqK2CDXqA/s1600/pwm_example.png

Obr.6: *Schéma meracieho obvodu s napäťovým deličom.*

Obr.7: *Usmernovač*

<https://cdn.sparkfun.com/assets/d/2/2/3/b/5176fdc5ce395f5248000000.png>

Obr.8: *Usmernovač s kondenzátorom*

<https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-c18f75e4dd146ab263212fa7d847fbbc>

Obr.9: *AD8436 puzdro* [14]

Obr.10: *AD8436 funkčný diagram* [14]

Obr.11: *RMS-CORE funkčný diagram* [14]

Obr.12: *Schéma zapojenia meriaceho obvodu s integrovaným obvodom AD8436*

Obr.13: *Porovnanie rôznych typov mikrokontrolerov od firmy ATMEL* [5]

Obr.14: *Výstup AD prevodníka*

<https://i.stack.imgur.com/Ir08S.png>

Obr.15: *Diagram zapojenia viacerých periférií pri použití SPI komunikácie*

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fc/SPI_three_slaves.svg/1920px-SPI_three_slaves.svg.png

Obr.16: *Priebehy signálov pri SPI komunikácii*

<https://cdn.sparkfun.com/assets/c/7/8/7/d/52ddb2dcce395fed638b4567.png>

Obr.17: *LM7805 v puzdre TO220*

<https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41nY7SsGdYL.jpg>

Obr.18: Blokové funkčné schéma lineárneho regulátora napätia.

<https://www.elprocus.com/wp-content/uploads/2016/04/Series-Regulator.jpg>

Obr.19: LM2575 v puzdre TO263-5

<https://media.futureelectronics.com/semiconductors/analog/regulators-reference/linear-regulators/TO-263-5-LINEAR-REGULATOR-MIS-FNT-MED.JPG?m=Cs6RNh>

Obr.20: PWM signál [11]

Obr.21: Zapojenie spínacieho regulátora LM2575

<http://www.bristolwatch.com/sr/lm2575-5/a3.png>

Obr.22: Časové priebehy napätia a prúdov step down regulátora

https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/power-supply-electronics/smcs-buck-switching-regulator-concept-05.gif

Obr.23: Funkčné blokové schéma zariadenia

Obr.24: Schéma zapojenia meracej elektroniky

Obr.25: Transformátor BV EI 481 1119

Obr.26: Schéma zapojenia spínacieho regulátora LM2575-5.0WU **Obr.27:** Schéma zapojenia lineárneho regulátora AMS1117

Obr.28: : Vývojová doska ARDUINO UNO

Obr.29: Vývojová doska ARDUINO MEGA

Obr.30: Schéma zapojenia mikrokontrolera ATMEGA 2560-16AU

Obr.31: Schéma zapojenia FTDI prevodníka s integrovaným obvodom FT232

Obr.32: Serial monitor

Obr.33: Komunikácia cez USB

Obr.34: Schéma obvodu referenčného napätia pomocou integrovaného obvodu TL431

Obr.35: Ukážka ArduinoISP vo vývojovom prostredí Arduina

Obr.36: Vypálenie bootladera.

Obr.37: Vývojová doska reálneho času s obvodom DS3231

<https://arduino-shop.cz/photos/produkty/f/1/1261.jpg?m=1502871291>

Obr.38: Zapojenie modulu RTC s vývojovou doskou Arduino Mega

<https://howtomechatronics.com/wp-content/uploads/2016/08/Arduino-and-DS3231-Real-Time-Clock-Circuit-Schematics.jpg>

Obr.39: *Schéma zapojenia obvodu reálneho času s integrovaným obvodom DS3231*

Obr.40: *Modul microSD karty od firmy catalex*

Obr.41: *Schéma zapojenia modulu SD karty s vývojovou doskou Arduino Mega*

<https://howtomechatronics.com/wp-content/uploads/2016/08/Arduino-SD-Card-Module-Circuit-Schematics-Tutorial.png>

Obr.42: *Formát zápisu dát na SD kartu*

Obr.43: *Schéma zapojenia modulu microSD karty*

Obr.44: *Ethernetový modul pre ARDUINO*

Obr.45: *Schéma zapojenia Ethernetového modulu s vývojovou doskou Arduino Mega*

<https://en.code-bude.net/wp-content/uploads/2013/06/Arduino-Mega-2560-wiring-enc28j60.png>

Obr.46: *Nastavenie WEB serveru*

Obr.47: *Príklady port forwarding*

<https://i.stack.imgur.com/1udG4.png>

Obr.48: *Vizualizácia web servera*

Obr.49: *Schéma zapojenia ethernetového modulu s integrovaným obvodom W5500*

Obr. 50 *Doska plošných spojov.*