



Stredná priemyselná škola elektrotechnická, Košice, SLOVAKIA  
Střední průmyslová škola elektrotechnická, Havířov, CZECHIA

# VOLTMETER S WEBOVÝM VÝSTUPEM



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

# Obsah

## Obsah

|        |                                                 |                                        |
|--------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1      | Úvod .....                                      | 1                                      |
| 2      | Teoretická část.....                            | 2                                      |
| 2.1    | Analýza trhu.....                               | 2                                      |
| 2.2    | Technická analýza.....                          | 2                                      |
| 2.2.1  | A/D Převod .....                                | 2                                      |
| 2.2.2  | Rozsah kanálů .....                             | 2                                      |
| 2.2.3  | Úložiště .....                                  | 2                                      |
| 2.2.4  | VoltBoard - Obvod .....                         | 2                                      |
| 2.2.5  | Napájení.....                                   | 5                                      |
| 2.3    | Použité technologie .....                       | 5                                      |
| 2.4    | Finanční Analýza .....                          | 6                                      |
| 2.4.1  | Hardware .....                                  | 6                                      |
| 2.4.2  | Webový Software .....                           | 6                                      |
| 2.4.3  | Práce .....                                     | 6                                      |
| 3      | Praktická část.....                             | 8                                      |
| 3.1    | Elektronika.....                                | 8                                      |
| 3.1.1  | Souhrnný obvod .....                            | 8                                      |
| 3.1.2  | VoltBoard.....                                  | 8                                      |
| 3.2    | Programs.....                                   | 9                                      |
| 3.2.1  | Program for Arduino.....                        | 9                                      |
| 3.2.2  | Memory .....                                    | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.2.3  | Communication .....                             | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.2.4  | Example JSON we send to the remote server ..... | 10                                     |
| 3.2.5  | Debugging.....                                  | 10                                     |
| 3.2.6  | Running modes .....                             | 11                                     |
| 3.2.7  | LCD.....                                        | 11                                     |
| 3.2.8  | Konfigurace.....                                | 11                                     |
| 3.2.9  | Vzorkování .....                                | 12                                     |
| 3.2.10 | Vývojový diagram .....                          | 12                                     |
| 3.3    | Mechanické části .....                          | 14                                     |
| 3.3.1  | Kryt .....                                      | 14                                     |

|       |                            |    |
|-------|----------------------------|----|
| 3.3.2 | Konektory pro vstup .....  | 15 |
| 3.3.3 | Vybírání rozsahu .....     | 16 |
| 3.3.4 | Přepínače a tlačítka ..... | 16 |
| 3.4   | Testování .....            | 17 |
| 3.4.1 | Přesnost .....             | 17 |
| 3.4.2 | Chyby .....                | 17 |
| 4     | Závěr .....                | 18 |
| 5     | Zdroje.....                | 19 |
| 6     | Přílohy.....               | 20 |

## 1 Úvod

Voltmetr je elektronický nástroj používaný pro měření napětí mezi dvěma místy v elektronickém obvodu. Existuje mnoho druhů voltmetrů, ale není moc takových, které by dokázaly měřit na více kanálech zároveň. V našem projektu jsme vytvořili fyzické zařízení – čtyř kanálový voltmetr a Ethernet radič. Také jsme napsali webové stránky, které přijímají data z tohoto zařízení a ukládají je.

Uživatel vytváří logy měření, které mohou být později poslány na server a zobrazeny v různých grafech.

Náš produkt může být použit například k výuce studentů na technických školách v případě pravidelné nutnosti měření napětí na několika částech zařízení zároveň. Další výhodou je to, že studenti mohou využít našich webových stránek pro zobrazení grafů bez potřeby tvorby vlastních.

Vybrali jsme si tento projekt, protože úkol vypadal, jako by mohl být rozšířen mnoha způsoby. Taktéž psaní dokumentace v angličtině nám pomáhá zlepšit své jazykové schopnosti.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Analýza trhu

Na dnešním trhu neexistují řešení jako to naše. Je možné najít několik druhů multimetrů, osciloskopů a voltmetrů, ale zdá se, že nikdo se nezajímá o zjednodušení života studentů technických škol v jejich hodinách. Společnosti se nezaměřují na funkce jako výstup na web. Proto, pokud by byl náš produkt veřejně dostupný, zaměřoval by se spíše na studenty.

### 2.2 Technická analýza

Náš voltmetr se skládá z Arduina s Ethernet shieldem, naším vlastním obvodem na PCB a několika mechanickými komponentami uvnitř krytu. Ocenili jsme použití Arduina jako mikrokontroleru, protože má kompaktní design a jednoduše se ladí přes USB. Knihovny dostupné v Arduino IDE jsou taktéž výhodou, protože jsou open-source, jsou vytvářeny se záměrem dobré čitelnosti kódu a stability a jsou určené pro použití s oficiálním Arduino hardwarem a shieldy. Shieldy jsou „moduly“, které mají stejné vstupy/výstupy jako Arduino a mohou být skládány na sebe.

#### 2.2.1 A/D Převod

Arduino obsahuje 10-bitové A/D převodníky (jejich výstup je 0-1023). Jejich rozsah je ovladatelný referenčními napěťovými zdroji (1.1V, 2.56V, 5V) nacházejícími se přímo uvnitř mikrokontroleru anebo externím maximálně 5V zdrojem. Pokud bychom chtěli aby byl voltmetr použitelný pro studenty, potřebovali bychom rozsah 0 – 30V. Pro vyřešení tohoto problému jsme navrhli PCB obvod, který snižuje vstupní napětí a pojmenovali jej „VoltBoard“. Obsahuje napěťové děličky pro redukci vstupního napětí a neinvertující operační zesilovač. Další informace naleznete v části 2.2.4 VoltBoard- Obvod. Jako referenční napětí pro A/D převodníky bylo zvoleno 2.56V.

#### 2.2.2 Rozsah kanálů

Ně všechny 4 kanály podporují stejné rozsahy. Kanál 1 a 2 podporují rozsahy 0-300mV, 0-3V a 0-30V a navíc jsme přidali možnost připojit 1 Ohmový rezistor do obvodu a tudíž může voltmetr měřit proud napříč tímto rezistorem čímž se z něho stane ampérmetr. Tato možnost je dostupná pouze v 300mV rozsahu a dostupný rozsah je 0-300mA. Kanály 3 a 4 mohou být nastaveny pouze na rozsahy 0-3V a 0-30V. Všechny kanály mohou být případně kompletně vypnuty díky čemuž je uživatel nevidí v logech.

#### 2.2.3 Úložiště

Potřebovali jsme způsob jak nakonfigurovat samotné zařízení a to bez nutnosti přidávání zbytečných ovládacích prvků jako např. klávesnice. Naštěstí Ethernet shield obsahuje slot na micro SD kartu, který jsme použili pro ukládání konfiguračních dat. SD karty jsou nevolatilní média používané pro přenos souborů mezi přenosnými zařízeními. Naším zájmem ovšem nebyl přesun souborů. Bylo by to poněkud komplikované, protože by bylo potřeba rozebrat celé zařízení, aby mohla být karta vyndána. Namísto toho jsme jí použili jako úložiště pro naše konfigurace a logy.

#### 2.2.4 VoltBoard- Obvod

Jádrem obvodu je čtyř kanálový operační zesilovač (další informace o specifických elektronických součástkách naleznete v sekci **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** *Used Technologies*). Předtím než je vstup análu připojen k operačnímu zesilovači, musí projít přes ovladatelné napěťové děliče. Tyto děliče jsou tvořeny statickým rezistorem a jedním (na kanálech 3,4) nebo dvěma (na kanálech 1,2) „dynamickými“ připojenými přes MOSFET tranzistor což umožňuje jejich vypnutí/zapnutí. Aby byl obvod bezpečnější, na každý vstup a výstup zesilovače jsou připojeny dvě Schottkyho diody, přes, které začne v případě příliš

vysokého napětí téct proud do země a ne do zbytku obvodu. (Tato metoda se nazývá tzv. „[Voltageclamping](#)“)

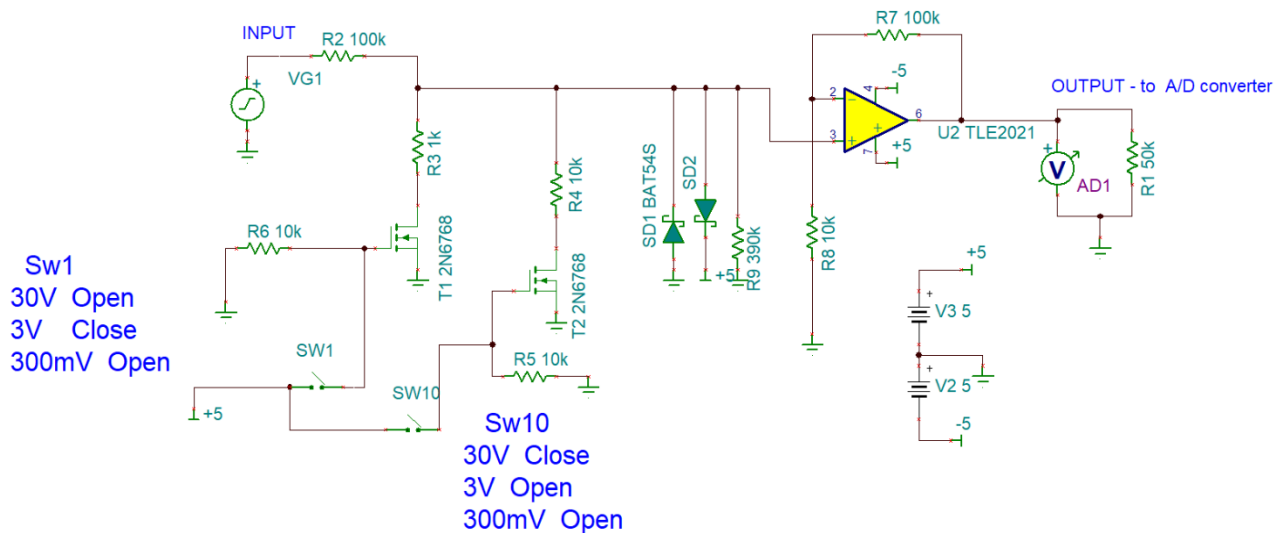
### 2.2.4.1 Simulace

Pro zajištění stability obvodu jsme provedli několik simulací obvodů starajících se o změnu rozsahu v aplikaci

Channel 1,2

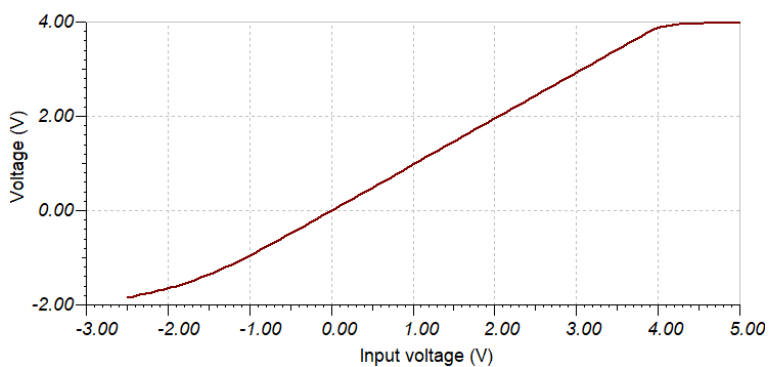
Voltmeter with ranges 30; 3; 0,3V and infinite resistance

Aammeter with range 300mA and 1 Ohm resistance



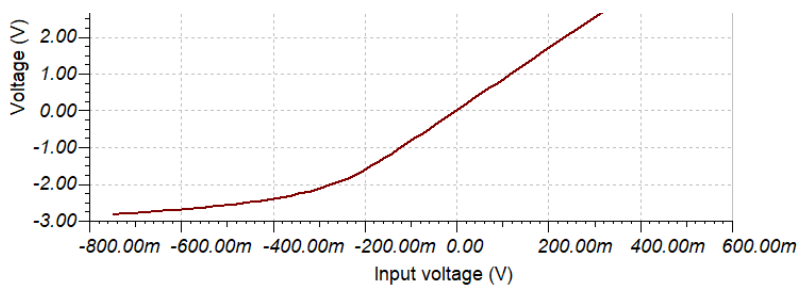
TINA. Bylo použito toto zjednodušené schéma jednoho kanálu.

Přenosová charakteristika by měla být lineární nezávisle na vybraném rozsahu. Pouze v případě, že napětí překročí rozsah akceptovatelný operačním zesilovačem (nebo je negativní) dojde k jeho odpojení.



Obrázek 2 - Simulace přenosové charakteristiky při rozsahu 3V

Když je vybrán rozsah 3V, horní hranice odpojení je více agresivní a dolní hranice je pomalejší. Toto platí pouze pro kanály 1 a 2.<sup>1</sup>



Obrázek 1 - Simulace přenosové charakteristiky při rozsahu 300mV

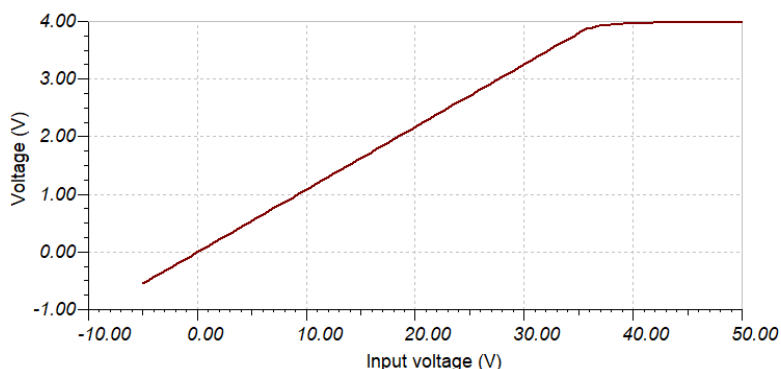


Figure 1 - 30V Range Transfer Characteristic – Channels 1,2

problém nastane při 30V rozsahu. Zde je možné vidět že záporný vstup vytváří poněkud lineární záporný výstup. Z tohoto důvodu jsou na výstupu operačního zesilovače v reálném obvodu taktéž dvě Schottkyho diody

## 2.2.5 Napájení

Celé zařízení může být napájeno buď přes USB nebo DC adaptérem, který je součástí Arduina. Protože jsme měli prostředky, rozhodli jsme se přidat možnost napájet vše pomocí baterie. Z tohoto důvodu jsme přidali přepínač napájení (Baterie/Externí napájení) jež můžete vidět v *Obrázek 3 - Blokový diagram***Chyba! enalezen zdroj odkazů..** Operační zesilovač vyžaduje symetrický zdroj napájení a tudíž jsme pro jeho napájení použili invertující napěťový převodník.

## 2.3 Použité technologie

- [Arduino IDE<sup>I</sup>](#) bylo použito pro naprogramování hardwaru
  - Verze 1.6.8
  - Knihovny: LiquidCrystal, Ethernet
- Kód je napsán v jazyce C++ s použitím [AVR Libc<sup>II</sup>](#) a open-source Arduino knihoven.
- Pro vytisknutí krytu pro náš hardware jsme použili 3D tiskárnu ANYCUBIC KOSSEL Linear
  - Delta "FusedDeposition Modelling" technologie
  - Průměr trysky: 0.4 mm
  - Kryt byl rozdělen na 4 části aby mohl být touto tiskárnou vytisknut
  - Materiál: PLA
- 3D model byl vytvořen v programu SketchUp
- Z důvodu vysoké náročnosti na paměť a počet pinů bylo nutné použít Arduino MEGA
  - ATmega2560
  - 54 Digitálních pinů
  - 16 Analogových vstupních pinů
  - 256 KB flashpaměť
  - 8 KB SRAM
  - Rychlost jádra: 16 MHz
- Arduinokomponenty
  - 16×2 znakový LCD display
  - ArduinoEthernetShield 2s microSD Card slotem
- [TI TINA<sup>III</sup>](#) byl použit jako platforma pro simulaci obvodu VoltBoard
- [Eagle<sup>IV</sup>](#) byl použit pro návrh VoltBoardu
- Veškeré elektronické součásti na obvodu VoltBoard jsou typu SMD
- Pro úpravu napěťového rozsahu jsme použili napěťové děličky a operační zesilovače (TLE2024CDW) napájené invertujícím napěťovým převodníkem (MAX1044/ICL7660).
- V napěťových děličích jsou MOSFET tranzistory (BSS123W)



- Duální Schottkyho diody provádějí voltageclamping(BAT54S)
- Rotaryswitches (LORLIN CK1060)
- Kontejner na baterie 4x AA
- Fyzické části jsou propojeny pin headery
- Komunikace se serverem je serializována jako JSON aby se s daty lépe manipulovalo na strávě serveru
- HTTP byl použit jako komunikační protokol
- HTML je jazyk pro formátování webových stránek. Tento značkovací jazyk jsme použili při tvorbě online části
- CSS bylo použito pro nastýlování webu
- PHP je skriptovací jazyk, který běží na straně serveru a zpracovává data z databází
- JavaScript je skriptovací jazyk, který běží na straně serveru

O tom, jak jsou tyto komponenty spojeny, vizte **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

## 2.4 Finanční Analýza

|           |                                                   |                                                       |
|-----------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|           | Prospěšné                                         | Škodlivé                                              |
| Z vnitřku | Silné stránky                                     | Slabiny                                               |
|           | Vysoká míra zjedodušení, které Voltmetr poskytuje | Nízká přesnost                                        |
| Vnější    | Příležitosti                                      | Ohrožení                                              |
|           | Zájem škol                                        | Školy budou chtít zůstat u stávajících dobrých řešení |

### 2.4.1 Hardware

- Mechanické části: 367.25 CZK (14.27 €<sup>2</sup>)
- Arduino + komponenty (shields, display): 2063 CZK (80.16 €<sup>2</sup>)
- Elektronické součástky: 251.591 CZK (9.77 €<sup>2</sup>)
- 3D tisk: přibližně 100 CZK (3.87 €<sup>2</sup>)

**Celkem:** 2681.841 (104.21 €<sup>2</sup>)

Za stejnou cenu by se dal pořídit Multimetr s převodníkem TRMS<sup>3</sup>

### 2.4.2 Webový Software

Za server, na kterém byl webový software uložen jsme museli zaplatit. Zvolili jsme VPS server s balíčkem LAMP, operačním systémem Linux (distribuce CentOS 6.x 64bit). Jeho parametry byly 1GB RAM, 20GB diskový prostor a jeden virtuální procesor. Nachází se na IP adrese 85.255.10.223 a má MAC adresu 00:50:56:a0:b8:1d. Celková cena serveru je 2,79€ za měsíc.

Zvažovali jsme i zakoupení domény, ale ještě jsme k tomu nedošli, protože není nezbytná. Průměrná cena domény 2. řádu je 9,95€ za rok.

### 2.4.3 Práce

Pokud by tuto práci prováděli profesionálové, pravděpodobně by mohl trvat 3 měsíce.

Měsíční plat

- Programátora mikroprocesorů v ČR je průměrně 52 307 CZK<sup>4</sup> (2 026.53 €<sup>3</sup>)

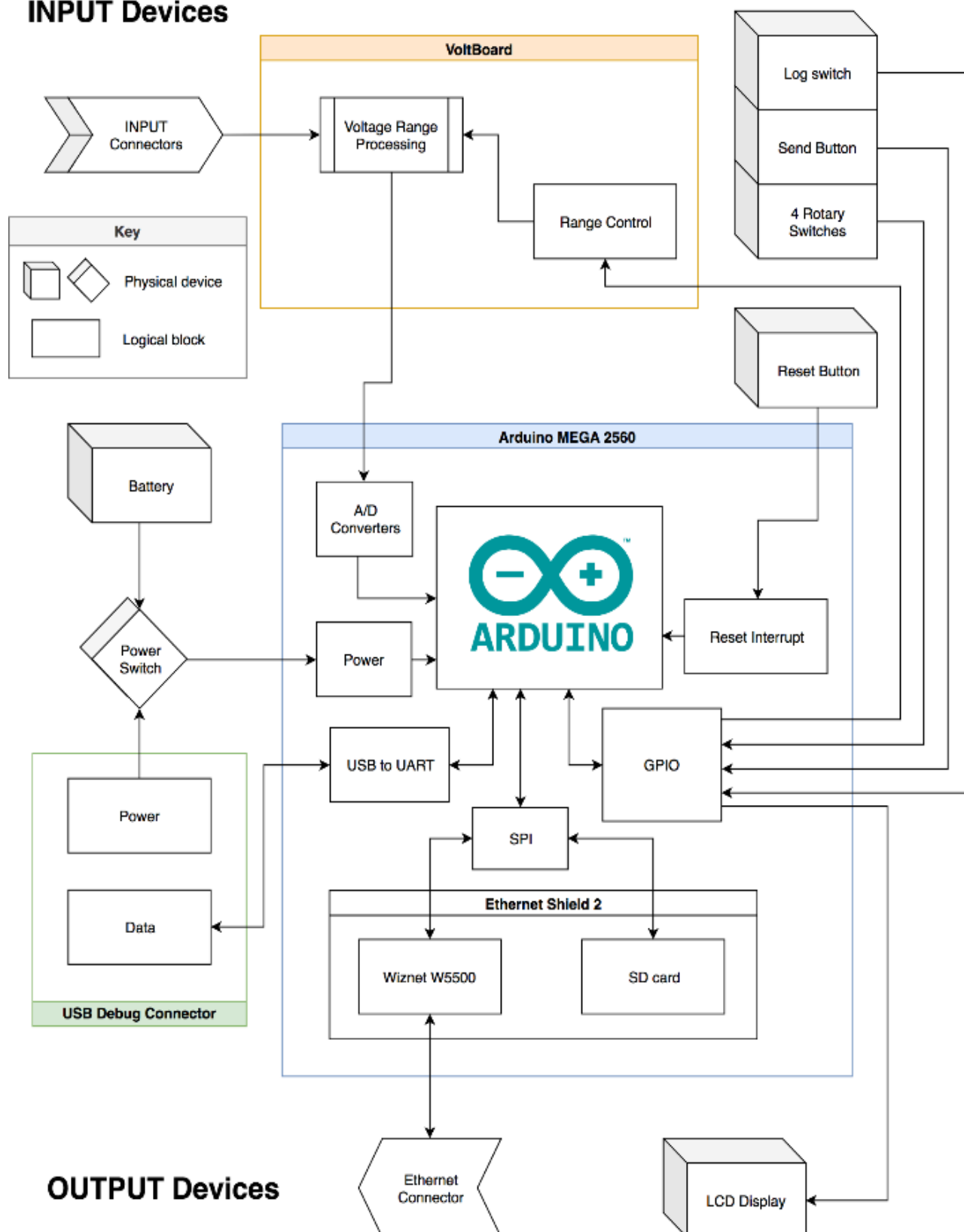
<sup>2</sup> EUR = 25.73 CZK

<sup>3</sup>Zdroj: google.com

- Programátora PHP na Slovensku je průměrně 1 607 €<sup>5</sup>

Obrázek 3 - Blokový diagram

## INPUT Devices



<sup>4</sup>Zdroj: platy.cz

<sup>5</sup>Zdroj: platy.sk

## 3 Praktická část

### 3.1 Elektronika

#### 3.1.1 Souhrnný obvod

Vizte Obrázek 13 – Souhrnné schéma

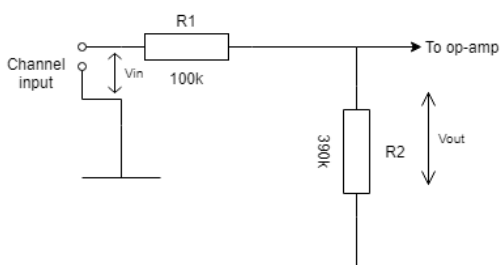
#### 3.1.2 VoltBoard

Vizte Obrázek 12 - Schéma VoltBoardu.

Pro nastavování rozsahu jsme použili děliče napětí a operační zesilovač.

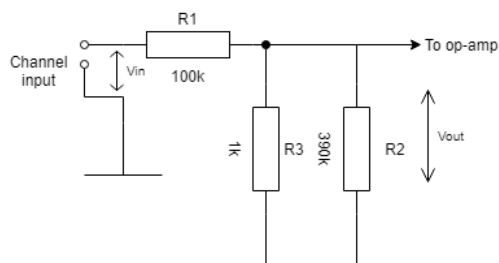
##### 3.1.2.1 Hodnoty odporů v děličích

V každém kanálu operačního zesilovače jsou v jeho zpětné vazbě rezistory 100k ( $R_f$ ) a 10k ( $R_s$ ), takže jeho zesílení je 11 (podle vzorce  $1 + R_f/R_s$ ). Ve výchozím stavu vypadá dělič napětí, který je na kanálech před operačním zesilovačem vypadá takto:

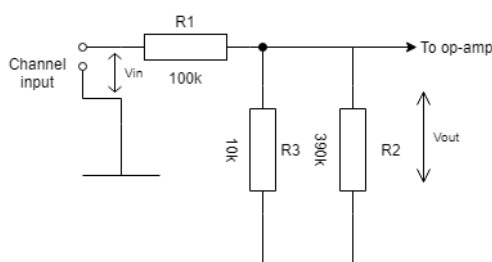


Poměr  $R1/R2$  je 0.256, takže poměr  $V_{out}/V_{in}$  je 0.796.<sup>6</sup>

Pokud připojíme na vstup signál s napětím 300mV, dostaneme 239,78mV na výstupu z děliče.<sup>7</sup> Operační zesilovač ho zesílí 11x na 2.62 V a pak jej můžeme snadno zpracovat A/D převodníkem. Ale 30 V zde připojit nemůžeme.



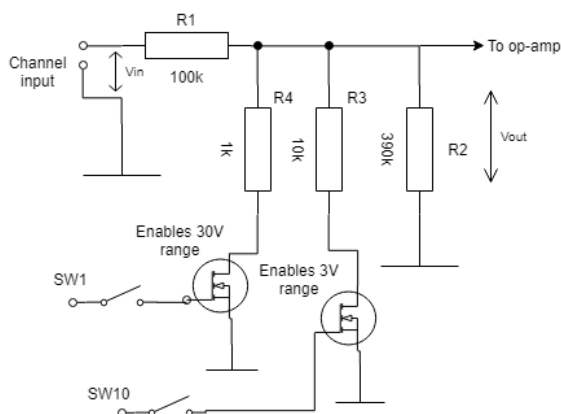
Nicméně, pokud připojíme paralelně 1kohmový rezistor, společně s 390k  $R2$  budou mít odpor 997  $\Omega$ . Tím se změní dělicí poměr na 100,301 a  $V_{out}/V_{in}$  bude 0,01. Nyní můžeme připojit vstupní signál s hodnotou 30V a dělič ho změní na 0,295 V a zesilovač zesílí na 3,256 V, což se už dá



hodnotu  $R3$ , která má hodnotu 9,75k $\Omega$  2,926 V.

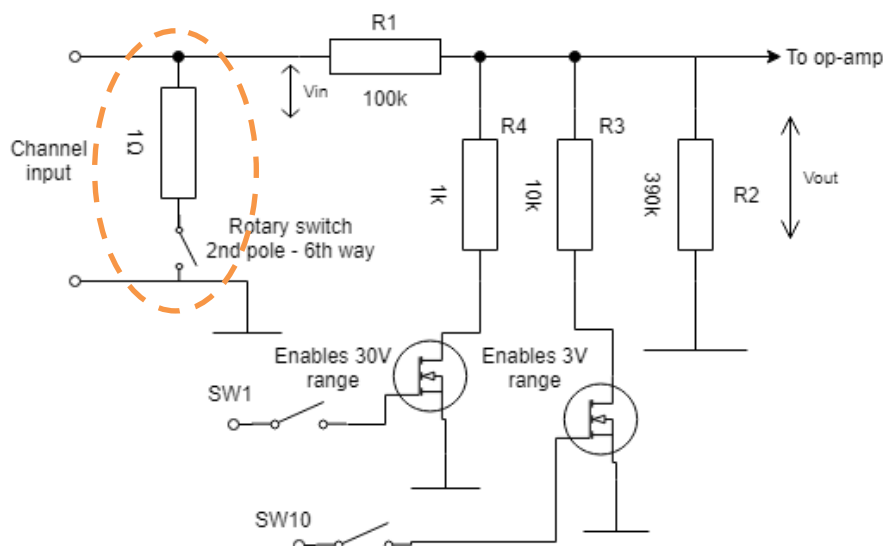
použít.

Stejně to funguje s rozsahem 3V až na je pak 10k $\Omega$ .  $R3 + R2$  paralelně mají  $\Rightarrow$  3V se změní na 0,266 a poté zesílí na



Výsledný obvod bude složen ze těchto všech 3 variant napěťových děličů spojených v jednu pomocí transistorů. Poznámka: reálný VoltBoard obsahuje přidané části obvodu. Viz další sekci pro více informací

### 3.1.2.2 Pseudo-Ampérmetr



Tato jednoduchá vychytávka nám dovoluje měřit nejen napětí ale i proud. Připojením 1Ω rezistoru mezi vstupní piny Voltmetru docílíme toho, že bude měřit úbytek napětí na tomto rezistoru,<sup>8</sup> který je rovný proudu v obvodu. Rezistor je spojen mechanicky přes druhou cestu rotačních přepínačů. Více informací je v sekci **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Přepínání rozsahů.

## 3.2 Programy

### 3.2.1 Program pro Arduino

Program Arduino je naspaný v C++ s použitím Arduino IDE a je rozdělen do souborů:

- MultiChannelVoltmeter.ino – hlavní program, supersmyčka, komunikace s uživatelem a se serverem
- TakeSample.h – funkce pro odebírání různých typů vzorků z různých kanálů
- Debug.ino – přijímání ladících příkazů z UART
- LCD.h – konfigurace LCD a zobrazování textů
- MultiJSON.h – vlastní knihovna pro generování JSONu

Program je dále popsán pomocí blokového diagramu na stránce **Chyba! Záložka není definována..**

### 3.2.2 Paměť

Arduino MEGA má pouze 8192 bytů paměti RAM, takže ve velkém používáme makro F() pro ukládání řetězců do paměti ROM.

Velikost ROM je 253 952 bytů což nám dovolí používat 4420 bytů paměti RAM. Velikost kompilovaného programu je 62 356 bytů.

<sup>8</sup> $V_{\text{drop}} = I * R$

### 3.2.3 Komunikace

Komunikace se serverem probíhá pomocí protokolu HTTP. Pro jednodušší manipulaci na straně serveru jsou záznamy z měření uloženy jako JSON. Mají tento formát:

### 3.2.4 Ukázkový JSON

```
{
  "freq": 20000, //v Hz nebo "manual" pokud byl použit mód běhu MANUAL SAMPLE
  "duration_s": 0,
  "duration_us": 150, //vµs. (totalduration = duration_s + duration_us/10^6)
  "averaging_count": 256, //počet vzorků, které byly zprůměrovány do každého vzorku.
  "range": [
    "30V",
    "3V",
    "300mV",
    "300mA"//30V, 3V, 300mV, 300mA, AUTO, OFF
  ],
  "channels": [
    [
      20,
      21,
      19
    ],
    [
      1.5,
      1.6,
      1.5
    ],
    [
      100,
      120,
      125
    ],
    [
      2.5,
      1.05,
      1.0
    ]
  ]
}
```

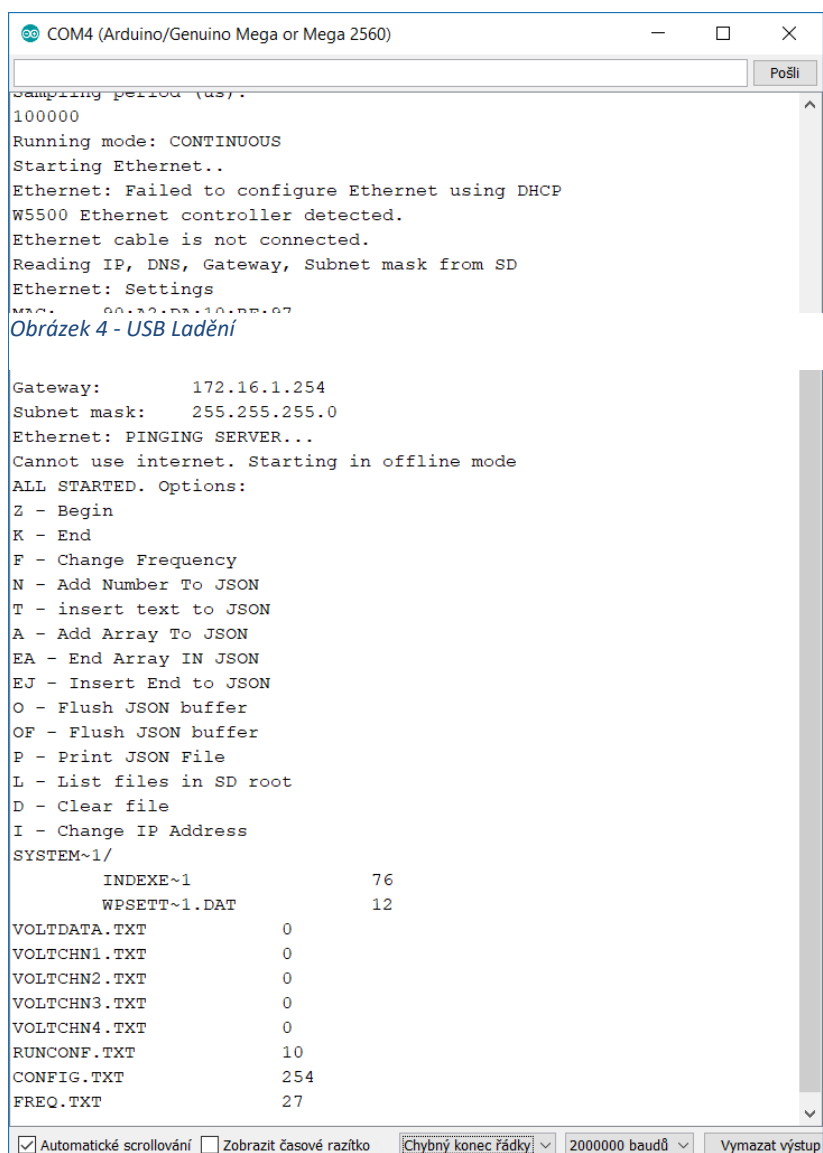
### 3.2.5 Ladění

Program přijímá několik ladících příkazů které do něj lze poslat přes sériovou linku přes USB. Nezáleží na velikosti písmen. Rychlost přenosu musí být nastavena na 2000000(2M) a konec řádku musí být vypnutý, jak možno vidět na obrázku nalevo.

Seznam ladících příkazů můžete vidět na obrázku *Obrázek 11 - Vývojový diagram 2 v přílohách.*

### 3.2.6 Měření pro ladění

Příkaz "Z" nainicializuje nepřetržitě nezaznamenávané měření s výchozí definovanou vzorkovací frekvencí.



Písmeno "K" měření zastaví. Je možné že nastanou komplikace, pokud je vzorkovací frekvence příliš vysoká, protože Arduino nemusí být schopno číst data ze sériového portu, nebo dokonce ani posílat. (Normálně posílá údaje o každém vzorku a každém vybraném rozsahu)

V tom případě jenom tlačítko RESET bude mít efekt.

### 3.2.7 Módy běhu

Jádro programu Voltmetru je vytváření záznamů z měření. Navrhli jsme Voltmetr, aby měl 2 módy operace (jak jsou hodnoty zapsány do záznamu).

- **Nepřetržité vzorkování**  
Když uživatel přepne modrý přepínač do polohy "START", Voltmetr začne brát vzorky s nastavenou vzorkovací frekvencí a ukládat je na SD kartu, dokud uživatel nepřepne přepínač zpátky na "STOP".
  - To je užitečné pro napodobení osciloskopu
- **Manuální vzorkování**  
Když je přepínač v poloze "START", Voltmetr čeká až uživatel zmáčkne tlačítko "SEND". Jeho zmáčknutí způsobí zobrazení okamžitých hodnot na displeji. Až ho uživatel pustí, hodnoty se zapíší na SD kartu.
  - To se dá použít při měření charakteristik různých součástek – když potřebujete, změníte vstupní parametry obvodu a odeberete další vzorek.

Mód běhu lze změnit zmáčknutím tlačítka SEND při startovací fázi Voltmetru (když se inicializuje SD karta).

### 3.2.8 LCD

Při startu programu, obrazovka zobrazuje informace o některých hodnotách aktuálního nastavení a o průběhu inicializace programu.

Pak, pokud je aktivní mód běhu CONTINUOUS, na displeji se hned zobrazí okamžité hodnoty napětí ze všech kanálů. Nalevo od každé hodnoty napětí je malý symbol (V1, V2 atd.). Tyto symboly jsou vlastnoručně nadefinované v LCD.h. Informace o vybraných rozsazích nejsou na LCD viditelné, uživatel je uvidí pouze na popisků na vrchní straně krytu. Navíc na úplně pravé straně displeje jsou vidět 2 speciální symboly – jeden pro SD kartu a druhý pro Ethernet. Vedle každého z nich je symbol X nebo •. X znamená že subsystém nefunguje. Žádné záznamy z měření není možné pořídit, pokud nefunguje SD karta.

Pokud zařízení zlobí čeká na vstup z USB ladění (sériové linky), na displeji se zobrazí zpráva. Toto může nastat při některých příkazech pro ladění.

### 3.2.9 Konfigurace

V kořenovém adresáři SD karty je uloženo několik souborů (jejich jména lze změnit v kódu programu, ale musí splňovat [8.3 konvenci](#))

Informace v souborech

- Frekvence vzorkování
- IP Adresa, MAC Adresa, Výchozí brána, Masky podsítě (nebo použití DHCP)

- Múd běhu

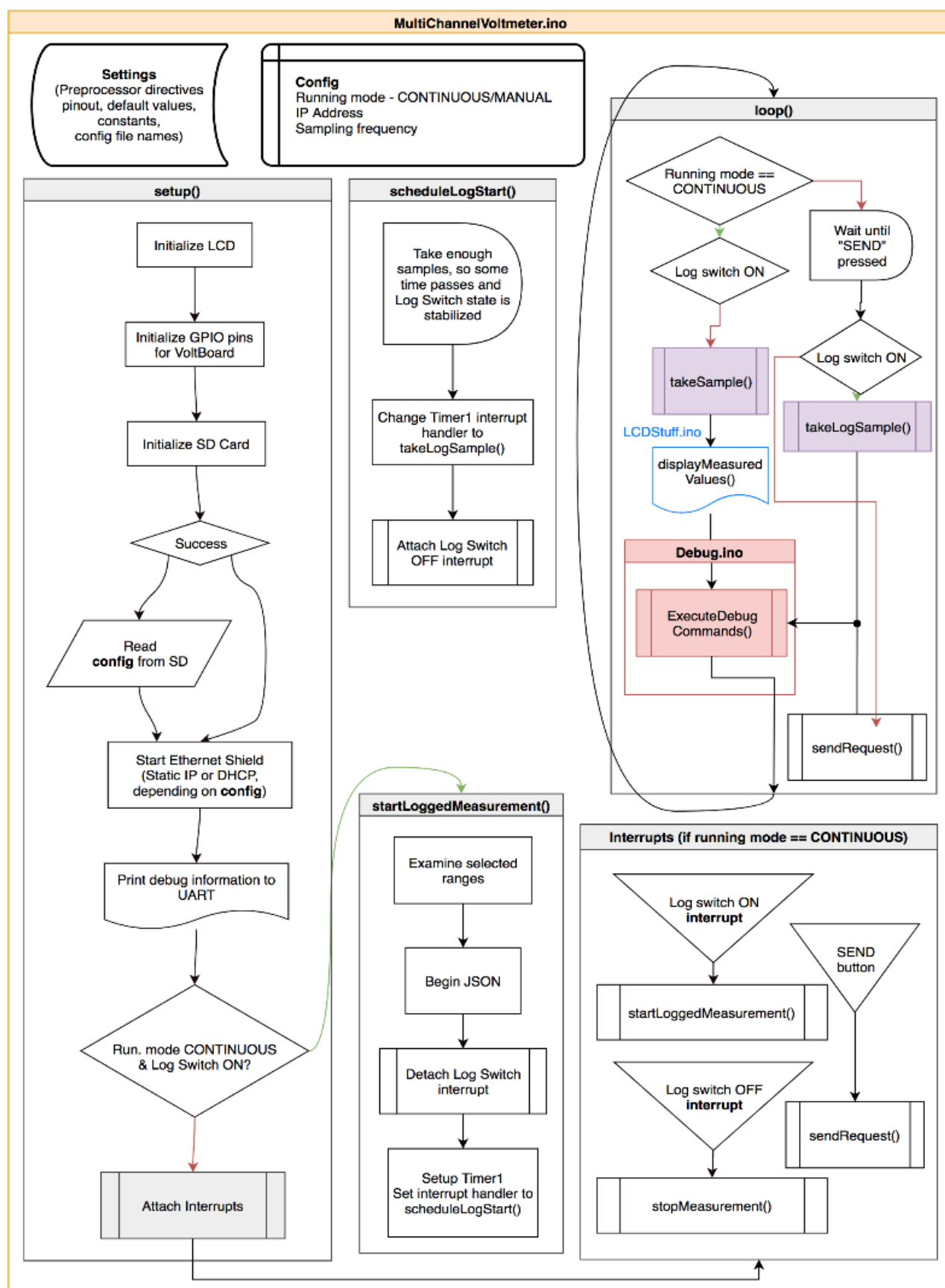
Naše zařízení obsahuje od "výroby" 1GB microSD kartu.

### 3.2.10 Vzorkování

Z analýzy A/D převodníků Arduina vyplynulo, že program bude muset vzít několik vzorů a dále pracovat s jejich zprůměrovanou hodnotou. Počet průměrovaných hodnot je nastavitelný konstantou `AVERAGING_COEF` v `MultiChannelVoltmeter.ino` a změna se promítne jako `averaging_count` v JSONu.

### 3.2.11 Vývojový diagram

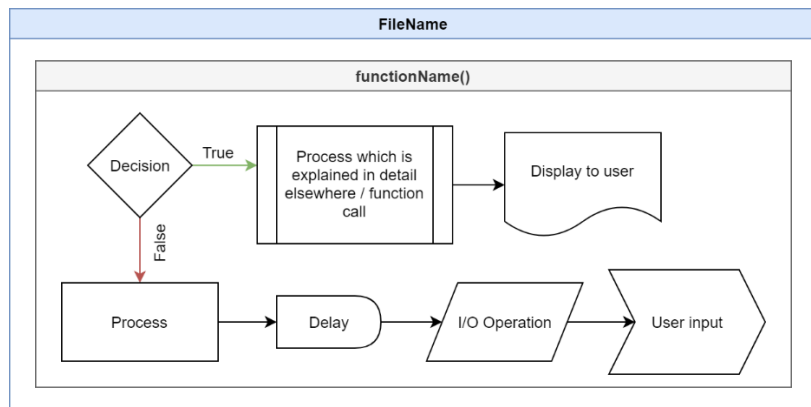
Program začíná v souboru `MultiChannelVoltmeter.ino` funkcí `setup()`. Takto hlavní části programu vypadají.



Obrázek 5 - Vývojový diagram 1



Detailnější popis na obrázku *Obrázek 11 - Vývojový diagram 2*



Obrázek 6 - Význam symbolů

### 3.3 Mechanické části

#### 3.3.1 Kryt

Fyzický Voltmetr je uložen v krytu s těmito parametry:

- Šířka: 120mm
- Výška: 50mm (60mm se všemi mechanickými částmi)
- Délka: 200mm
- Hmotnost: 150g (370g včetně hardwaru)

Mechanické prvky jsou přilepeny ke krytu lepící pistolí. V reálném produktu (kdybychom měli více času experimentovat s 3Dtiskem) by všechny části držely samy od sebe.

Figure 2 - Case with components inside visible



Obrázek 7 - Kryt s komponenty bez horní části

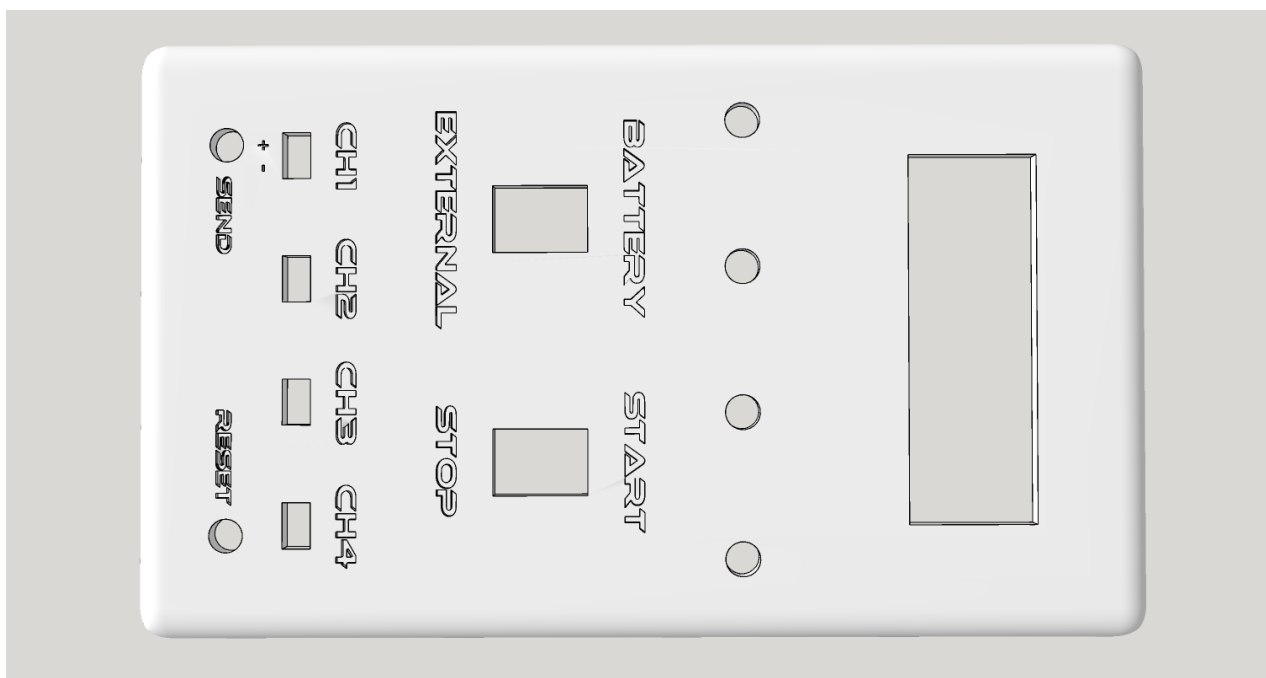
Figure3 - Case

Jak můžete vidět, na pravé straně dolní části je přihrádka na kabely, které se používají na připojení kanálů.

### 3.3.2 Konektory pro vstup

Pro propojení voltmetru s cílovým měřeným obvodem jsme použili konektory JST SM. Jejich výhody jsou:

- Konektor samice dobře drží v dobře navržené díře v krytu bez nutnosti lepidla.
- Jsou levné
- Mají pojistku proti odpojení
- Polarizovaný tvar, není možné splést orientaci



Obrázek 8 - Horní strana krytu

Zde je vrchní část krytu. Jsou zde díry pro tlačítka (SEND, RESET), přepínače (POWER – BATTERY/EXTERNAL, LOG – START/STOP), konektory, rotační přepínače a LCD.

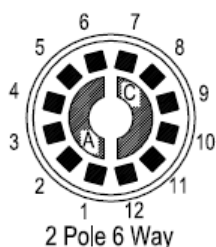
### 3.3.3 Vybírání rozsahu

Rozsah je možné vybrat pomocí rotačních přepínačů (LORLIN CK1060).

Každý z nich má 6 pozic a 2 cesty, které s nimi spojuje. Pozice jsou popsány jako:

| Kanály 1,2      | Kanály 3,4     |
|-----------------|----------------|
| 1. OFF          | 1. OFF         |
| 2. <b>AUTO</b>  | 2. <b>AUTO</b> |
| 3. <b>30V</b>   | 3. <b>30V</b>  |
| 4. <b>3V</b>    | 4. <b>3V</b>   |
| 5. <b>300mV</b> | 5. OFF         |
| 6. <b>300mA</b> | 6. OFF         |

U prvních 2 kanálů, 6. pozice 2. cesty je použita pro spojení 1ohmového rezistoru s měřeným obvodem a tím se dosáhne měření proudu místo napětí.<sup>9</sup>



Obrázek 9 - Rotační přepínač

### 3.3.4 Přepínače a tlačítka

Všechny přepínače a tlačítka mají jeden pól spojený se zemí a druhý s digitálním pinem Arduina, který je nastavený jako pull-up.

<sup>9</sup>Více informací na straně 2. Pro kompletní vysvětlení vizte teoretickou část.

## 3.4 Testování

### 3.4.1 Přesnost

Tato tabulka ukazuje výsledky náhodných měření srovnané s obyčejným multimetrem (TB 313) s přesností  $\pm 0.5\%$ .

| Range | Ourvalue | Multimeter |
|-------|----------|------------|
| 300mV | 93.95    | 95.5       |
| 300mV | 18.33    | 15.7       |
| 300mV | 213.76   | 219        |
| 3V    | 0.961    | 0.960      |
| 3V    | 0.9      | 0.920      |
| 3V    | 1.17     | 1.243      |
| 30V   | 29.56    | 28.8       |
| 30V   | 0.52     | 0.415      |
| 30V   | 12.28    | 12.58      |
| 300mA | 18.36    | 20.1       |
| 300mA |          |            |
| 300mA |          |            |

### 3.4.2 Chyby

Někdy se nepodaří správně načíst SD kartu. Většinou pomůže odpojit a znovu připojit napájení celého zařízení.

Ladící příkazy 'Z' a 'K' pracují správně jenom při vzorkovacích frekvencích pod 40 Hz. Nad tyto už poté Arduino není schopné přijímat data ze sériové linky a jediný způsob, jak započaté měření zastavit je "SEND" tlačítko.

**Náš voltmetr velmi ovlivňuje měřený obvod (úbytek napětí 200mV). To je asi 20x horší, než když jen do obvodu připojíte samotný AD převodník Arduina.**

Výstupní hodnota je vysoce závislá na kalibračních konstantách v souboru TakeSample.h. Hodnoty můžou nabýt i záporných hodnot, pokud kalibrace není přesná.

## 4 Závěr

Simulace vypadají možná dobře, ale ne všechno je přesně tak, jak vám ve škole řeknou. Tyto technologie jsou zajímavé, ale použitelnost je nízká, kvůli úbytku napětí na našich kanálech.

Názor Ondřeje Sabely: Naše týmová práce nebyla úplně týmová, protože každý z nás pracoval na jiné části projektu a na úplně jiných platformách. V podstatě jsme se ani nepotřebovali vidět. Přesto, když byla příležitost, pracovali jsme společně a řešili problémy toho druhého.

Setkání studentů našich škol bylo milé, přesto, že bylo plné tvrdé práce.

Tomuto projektu jsem věnoval hodně času. Nejužitečnější zkušenosti jsem získal při řešení problémů s Arduinem a elektronikou, 3D designu a práci s ne-úplně-fungující 3D tiskárnou.

Problémy, které jsme řešili:

- Arduino čte špatně řetězce z UART
- Příliš pomalý výstup do UART
- Příliš malá vyrovnávací paměť pro konverzi desetinných čísel
- Špatná 3D tiskárna
- Piny LCD na obrácené straně desky, než jsme očekávali
- SPI SD karty kolidují s piny 50-53
- Přerušení jsou volána příliš často
- Příliš rychlá odezva tlačítek
- Příliš vysoké rotační přepínače

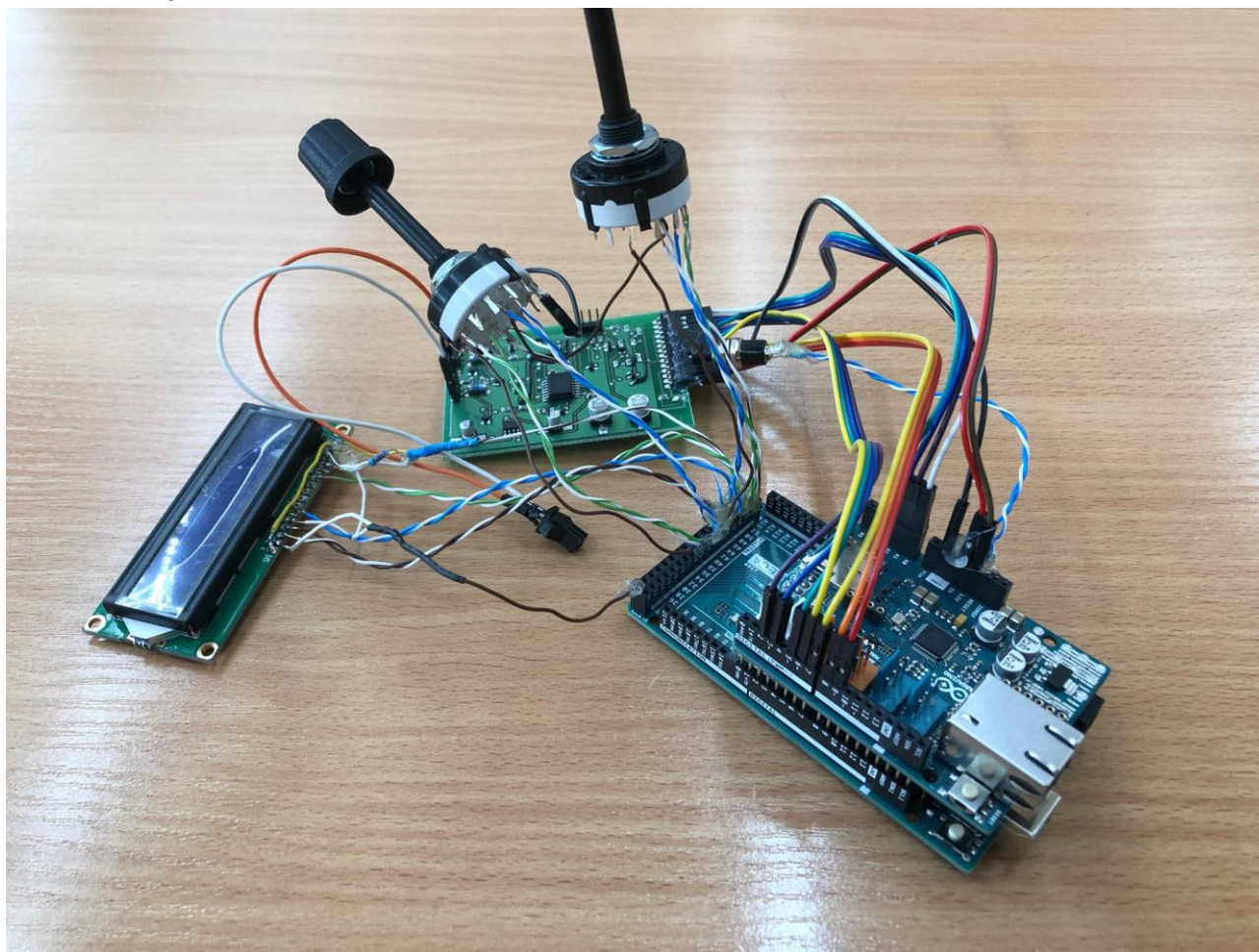
Náš projekt by se mohl stát průmyslovým řešením nanejvýše v Japonsku, kde se lidé snaží zjednodušit i tu nejmenší část života. V jiné zemi naší planety určitě ne.

## 5 Zdroje

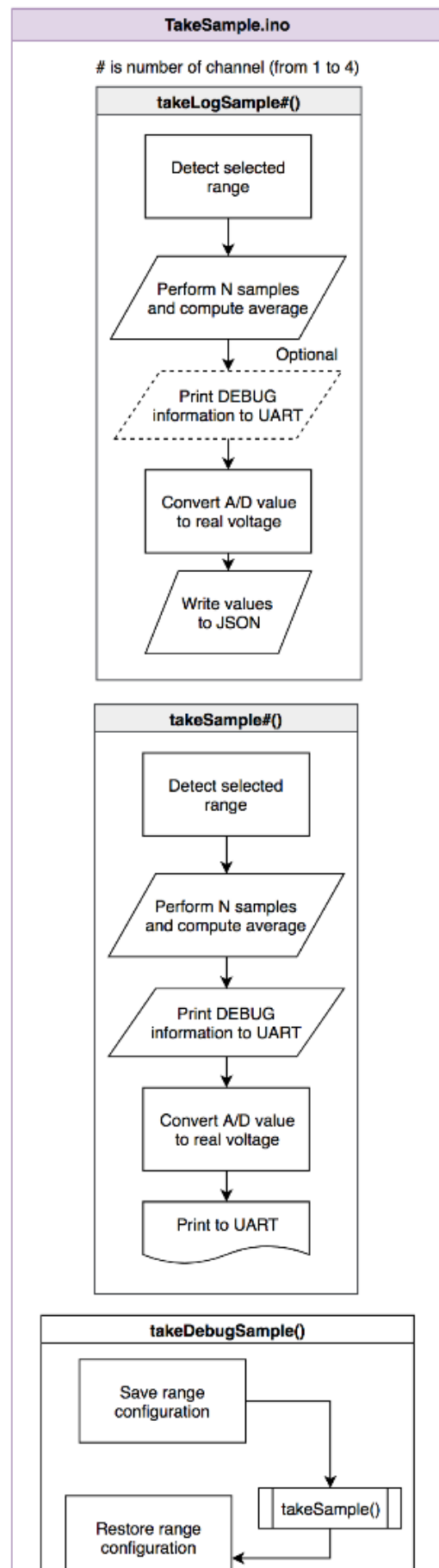
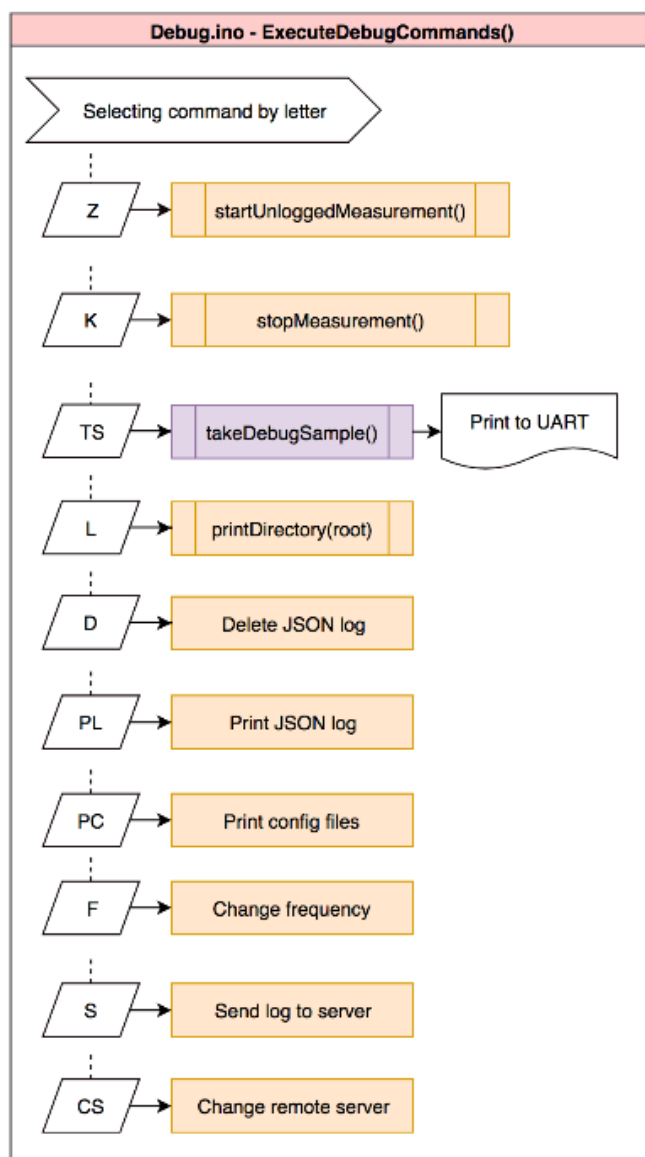
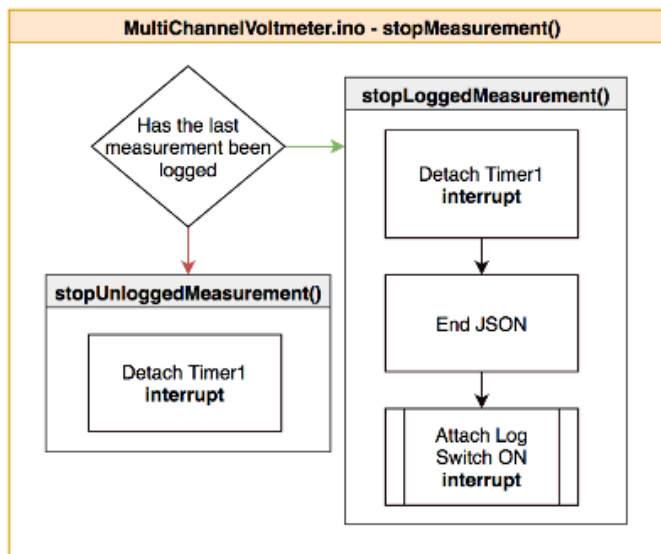
- I. <https://www.arduino.cc/en/main/software>
- II. <https://www.nongnu.org/avr-libc/>
- III. <http://www.ti.com/tool/TINA-TI>
- IV. <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>
- V. <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-8/voltmeter-impact-measured-circuit/>

Webová stránka projektu <http://85.255.10.223>

## 6 Přílohy



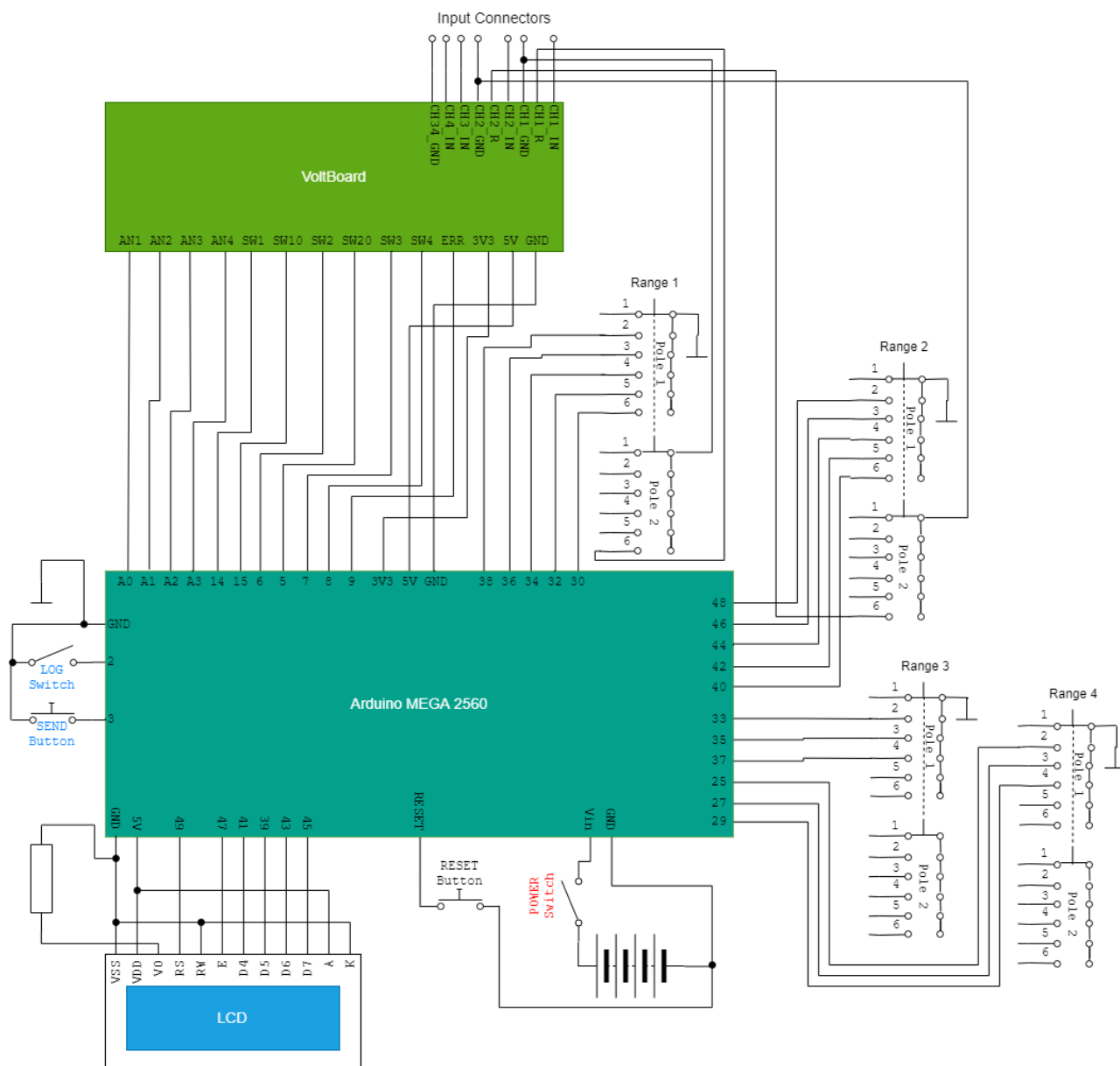
Obrázek 10 - Prototyp



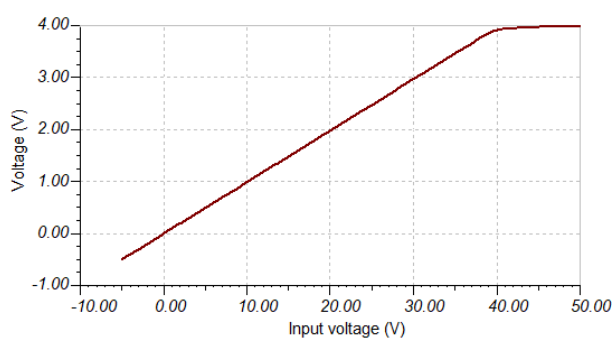
Obrázek 11 - Vývojový diagram 2



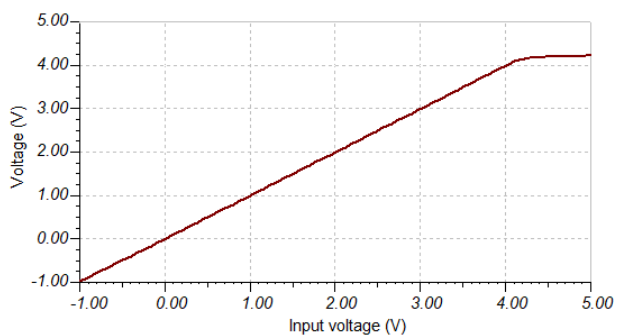




Obrázek 13 – Souhrné schéma

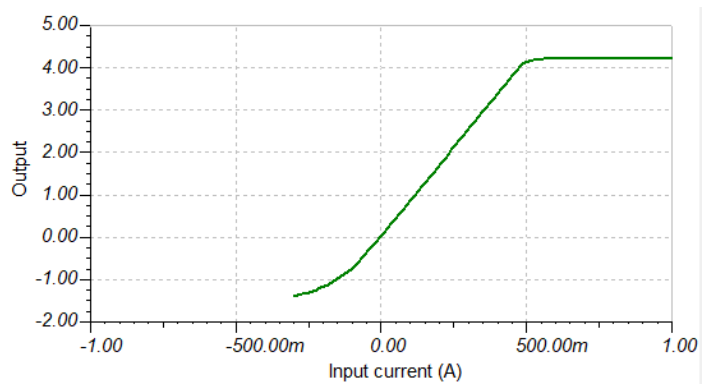


Obrázek6–Simulovaná přenosová charakteristika kanálů 3,4 - rozsah 30V



Obrázek5 - Simulovaná přenosová charakteristika kanálů 3,4 – rozsah 3V





Obrázek7 -Kanály1,2 –simulovaná přenosová charakteristika - rozsah 300mA