

STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ
KOMENSKÉHO 44, 040 01 KOŠICE

ZÁVODNÝ SIMULÁTOR SO SPÄTNOU VÄZBOU

DÁVID NOVÁK

2022

STREDNÁ PRIEMYSELNÁ ŠKOLA ELEKTROTECHNICKÁ
KOMENSKÉHO 44, 040 01 KOŠICE

ZÁVODNÝ SIMULÁTOR SO SPÄTNOU VÄZBOU

2022
Košice

Riešitelia:
Dávid Novák

Ročník štúdia: štvrtý
Konzultant:
Ing. Peter PSOTA

Charakteristika projektu:

Vytvoriť simulátor riadenia závodného vozidla so spätnou väzbou. Simulátor z mechanických prvkov, senzorov, akčných členov a mikrokontroléra. Ten sníma údaje zo senzorov a posiela ich do PC. Obslužný program v PC reaguje na údaje a ovplyvňuje chovanie akčných členov na simulátore. V súlade s tým, čo sa deje na obrazovke (napr. nerovnosti na ceste), sa bude meniť intenzita odporu volantu. Súčasťou simulátora bude základňa, volant, riadiaca páka, ručná brzda, pedále a železná konštrukcia so sedadlom.

Pod'akovanie

Chcel by som sa pod'akovať môjmu konzultantovi Ing. Petrovi Psotovi za pomoc pri teoretickej časti a ďalej mojej rodine a priateľom za podporu pri zostrojovaní simulátora.

Obsah

0	Úvod.....	6
0	Použité skratky	7
1	Spracovanie projektu.....	8
1.1	Problematika a prehľad literatúry.....	8
1.1.1	Konštrukcia.....	8
1.1.2	Základňa volantu	8
1.1.3	Volant	9
1.1.4	Pedále.....	9
1.1.5	Radiaca páka.....	9
1.1.6	Ručná brzda	9
1.2	Použité technológie	10
1.2.1	Programy	10
1.2.2	STM32F407VET6.....	10
1.2.3	ST-Link V2.....	11
1.2.4	BTS 7960.....	11
1.2.5	Leo Bodnar univerzálny joystick + zosilňovače.....	12
1.2.6	Arduino Pro Micro + plošný spoj	12
1.2.7	USB joystick.....	13
1.2.8	Modul na snímanie polohy ručnej brzdy	13
1.2.9	Zdroj napätia 24V 800W	14
1.2.10	Snímač rotácie Omron	14
1.3	Finančná analýza	15
2	Výsledky práce.....	16
2.1	Základňa volantu	16
2.2	Pedále	16
2.3	Radiaca páka	16

2.4	Ručná brzda.....	16
2.5	Konštrukcia	16
3	Závery a zhrnutie.....	17
4	Resumé.....	18
5	Zoznam použitej literatúry	19
6	Prílohy	I
A.1	Snímanie tlačidiel vo volante	I
A.2	Snímanie teploty a ovládanie ventilátorov pomocou PWM.....	II
A.3	Snímanie napätia zo snímača otočenia magnetu	III
B	Plošný spoj pre ovládanie Arduino Pro Micro	IV
C	Zapojenie Základňa	V
D.1	Blokové schémy VRPR.....	VI
D.2	Blokové schémy ZZ.....	VII
E	Závodný simulátor.....	VIII
F	Základňa	IV
G	Ručná brzda	X
H	Snímanie tlačidiel vo volante	X
I	Pedále.....	XI

Úvod

Závodné simulátory v dnešnej dobe stoja veľké peniaze od stovák až do miliónov eur. Medzi tie najlacnejšie patria simulátory bez spätnej väzby, väčšinou s dvoma pedálmi a niekedy dokonca bez snímača uhlu natočenia volantu. Pre taký typ volantu sú len smer vľavo a vpravo. Ja som si dal za úlohu zostrojiť simulátor do 600 eur, čo by zahŕňal spätnú väzbu, možnosť výmeny volantu, 3 pedále, teda spojku, brzdu a plyn, 7-stupňovú prevodovku so spiatočkou.

Na začiatok som začal so základňou volantu, keďže som sa rozhodol pre simulátor do 600 eur, tak som sa musel rozhodnúť, aký typ motoru použijem a aké kontroléry a moduly využijem pre dôveryhodnú simulácia auta.

Samozrejme, že k volantu musia patriť aj pedále, ktoré je možné zostrojiť z rôznych materiálov ako je napríklad plast, železo, nehrdzavejúca oceľ. Zároveň je podstatné, aké snímače do nich nasadím.

Ďalšie časti ako je prevodovka, ručná brzda a konštrukcia nie sú nevyhnutnou súčasťou závodného simulátora, ale každá časť pridá na kvalite zrekonštruovania pocitu jazdy na reálnom aute.

Použité skratky

FF – force feedback - spätná väzba

V – VOLT

W – WATT

PWM – Impulzová šírková modulácia

F1 – Formula 1

PSU – Power supply unit – Zdroj napätia

1 Spracovanie projektu

1.1 Problematika a prehľad literatúry

Závodný simulátor je možné rozdeliť do modulov: konštrukcia, základňa volantu, volant, pedále, prevodovka, ručná brzda. Každú z týchto modulov je možné kúpiť od výrobcov ako je Logitech, ThrustMaster, Fanatec, Heusinkveld.... Lacnejšie modely sú zhotovené z plastu a drahšie sú vyrobené z kovu.

Pri zisťovaní možných riešení pri tvorbe závodného simulátora sa môžeme rozhodnúť z akého materiálu budú jednotlivé časti zhotovené a aké snímače použijeme na snímanie stavov.

1.1.1 Konštrukcia

Na zostrojenie konštrukcie sa najviac využíva hliník, niekedy je konštrukcia tvorená z pozváraných trubiek.

Naša konštrukcia bude tvorená z jäklových profilov s rozmerom 40x40mm a 40x80mm. Jäklivé profily sú lacnejšie, ale menej pevné, hliníkové profily sú pevnejšie, ale drahšie. Na sedenie použijeme sedadlo z auta BMW E36.

1.1.2 Základňa volantu

Základňa volantu je niekedy tvorená len pomocou snímača uhlu natočenia volantu, pri drahších modeloch je tvorená menšími motormi na napätie od 12V do 48V, ktoré pomocou prevodu poháňajú hriadeľ, čo drží volant. Pri najdrahších simulátoroch je tvorená servomotorom, ktorý zabezpečuje minimálne meškanie spôsobené prevodom.

Pre našu základňu som sa rozhodol pre konštrukciu základne pomocou dvoch 200W motorov 895 usadených v 3D vytlačnom ráme s kontrolérom STM32F407VET6 – určená na čítanie snímania otáčok a na ovládanie PWM, Arduino Pro Micro – určená na snímanie teploty a na ovládanie ventilátorov. Motory sú poháňané zdrojom na 24V a riadené pomocou PWM, čo má za úlohu vysoko výkonový ovládač motora BTS7960. Ako snímač otočenia volantu je použitý E6B2CWZ6C OMRON Rotary Encoder 2500P/R.

Táto možnosť je približne 4x lacnejšia ako kúpa servomotoru, no je zložitejšia na poskladanie a neprináša pocit nulového meškania.

1.1.3 Volant

Na trhu sú rôzne typy volantov. Rôzne rozmery a tvary, bez tlačidiel alebo s tlačidlami. Väčšinou sú vyrobené z hliníka alebo iných kovov, najdrahšie sú vyrobené z karbónu.

Náš volant bude mať tvar F1 volantov s 12 tlačidlami a radiacimi pádlami vyrobený z hliníku.

1.1.4 Pedále

Medzi najlacnejšie zostrojené pedále patria pedále vyrobené z plastu a ako snímač polohy pedálu sa používa potenciometer, čo využíva zmenu napätia ako snímač. Medzi drahšie patria pedále vyrobené z kovu s využitím tlakového snímača alebo snímača magnetického poľa.

Hlavný dôvod výmeny potenciometra za tlakový snímač je kvôli brzde. V aute nezáleží ako ďaleko stlačíte brzdový pedál. Dôležité je ako silno je pedál stlačený, respektíve vytvoríte tlak na brzdové doštičky.

Naše pedále budú vyrobené z nehrdzavejúcej ocele a na snímanie využijeme tlakové snímače.

1.1.5 Radiaca páka

Radiaca páka sa väčšinou vyrába z plastu pri drahších modeloch z kovu. Kovové páky zabezpečujú lepší pocit pri preradovaní. Radiace páky je možné rozdeliť do troch kategórií. Radiaca páka v tvare H je bežná páka, ktorú je možné nájsť v autách s manuálnou prevodovkou. Sekvenčná radiaca páka je páka, ktorú môžete k sebe priťahovať alebo od seba tlačiť, čím preradzujete buď o prevod nahor alebo nadol. Radiaca páka v tvare H/ sekvenčná je páka, ktorá zahŕňa obe typy radiacích pák. Je zložitejšia a pri premene na sekvenčnú väčšinou nemá pocit reálnej sekvenčnej páky.

Naša radiaca páka bude typu H a bude vyrobená z plastu. Ako snímače zaradenia použijeme mikrotlačidlá na limitovanie.

1.1.6 Ručná brzda

Ručné brzdy sú väčšinou vyrobené z kovu. Na snímanie polohy ručnej brzdy sa používa otočný snímač alebo tlačidlo.

Naša ručná brzda bude z nehrdzavejúcej ocele a na snímanie polohy použijeme snímač AS5600, ktorého výstupné napätie je závislé od magnetickej indukcie, respektíve od pootočenia magnetu v jeho okolí.

1.2 Použité technológie

Závodný simulátor využíva mnoho hardvéru a softwaru, aby dokázal realisticky simulovať reálne auto.

1.2.1 Programy

Software určený na riadenie spätnej väzby sa volá MMOS FFB. V ňom vieme nastaviť parametre napr. sila odporu, zosilnenie, minimálny a maximálny odpor... Programová časť určená pre kontrolér STM32F407VET6 je naprogramovaná pomocou ST-Link V2

Program určený na riadenie rýchlosti ventilátorov v základni, snímania tlačidiel vo volante a snímanie čipu AS5600 bol napísaný v Arduino IDE

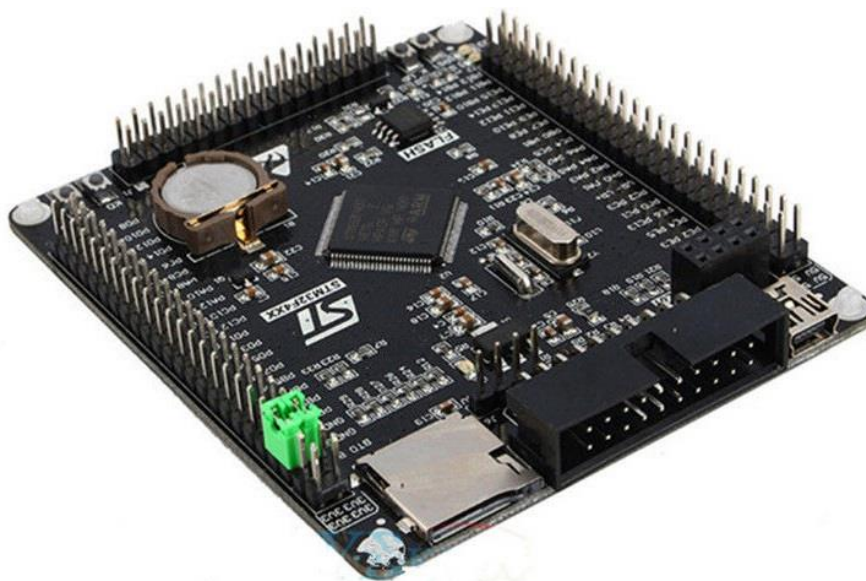
Na čítanie hodnôt tlaku z tlakových snímačov je určená doska Leo Bodnar univerzálny joystick. Pomocou programu DView vieme kalibrovať tlakové snímače.

1.2.2 STM32F407VET6

Na používanie programu MMOS FFB je potrebný čip STM32, ktorý je možné nájsť na kontroléri STM32F407VET6.

Po nahratí programu nám sníma otáčanie volantu a pomocou BTS 7960 ovláda smer a rýchlosť otáčania motorov. V nahratom programe nastavujeme ďalšie parametre.

Svojimi rozmermi je jednoduché ju usadiť aj do menších priestorov.



Obrázok 1 – STM32F407VET6

1.2.3 ST-Link V2

Je programátor určený na naprogramovanie kontroléra STM32F407VET6 časťou Softwaru MMOS FFB. STM32 ST-LINK Utility je software určený na programovanie softwaru do kontroléra.

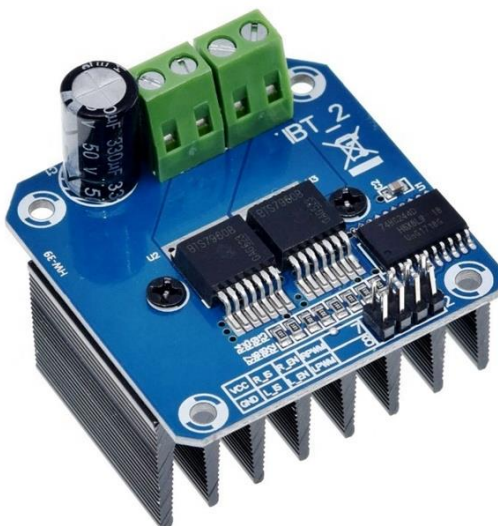


Obrázok 2 – IR senzor FC-51

1.2.4 BTS7960

H-bridge modul s čipmi BTS7960 nám umožňuje riadenie výkonných motorčekov.

BTS7960 je riadený pomocou STM32F407VET6. (Nastavuje rýchlosť motorov pomocou PWM a smer otáčania). Samotné STM32 by výkonové ovládanie nezvládlo.

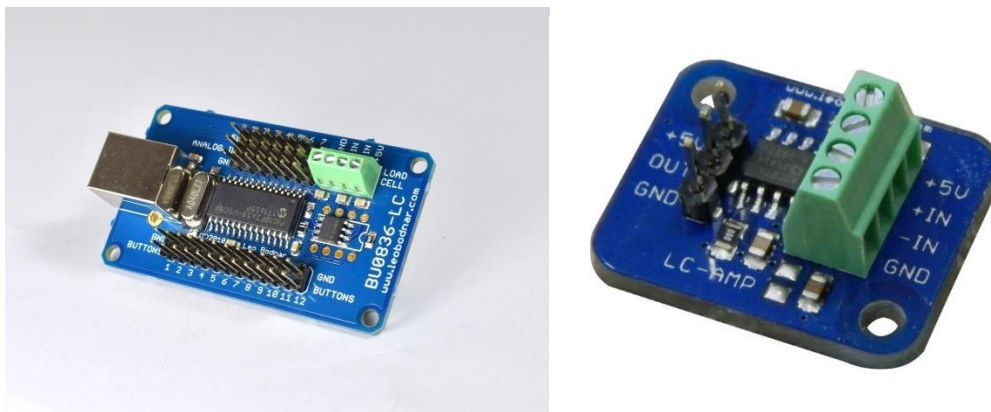


Obrázok 3 – BTS 7960

1.2.5 Leo Bodnar univerzálny joystick + zosilňovače

Leo Bodnar univerzálny joystick je vhodný modul pre 1 tlakový snímač. Pre viac snímačov je potrebné si dokúpiť zosilňovače. Modul sníma analógový signál z tlakového snímaču. Signál spracuje a dáta pošle do počítača

Pomocou programu DView vieme konfigurovať a kalibrovať tlakové snímače.



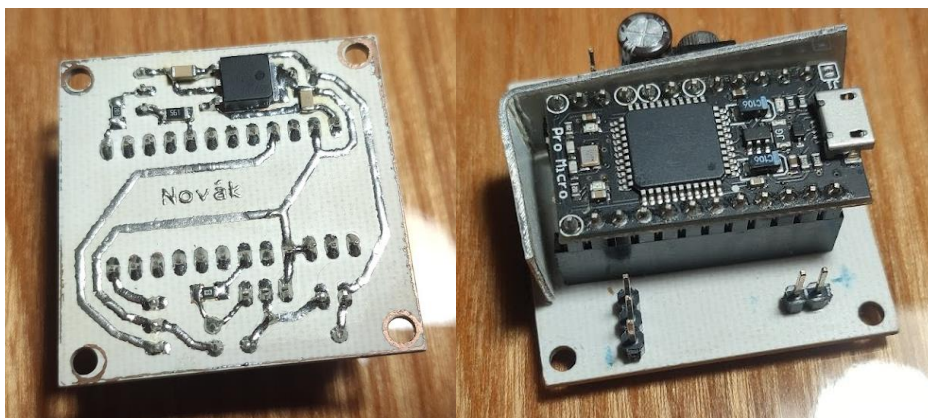
Obrázok 4 – Leo Bodnar moduly

1.2.6 Arduino Pro Micro + plošný spoj

Kontrolér, ktorý sa programuje pomocou Arduino IDE. Kontrolér dokáže snímať a riadiť. V našom prípade je použitý na snímanie teploty motora a pomocou PWM riadi unipolárny tranzistor, ktorý roztáča ventilátory.

Arduino Pro Micro je využitý aj na snímanie tlačidiel vo volante a polohy magnetu v ručnej brzde. Spracovaný signál posiela do PC.

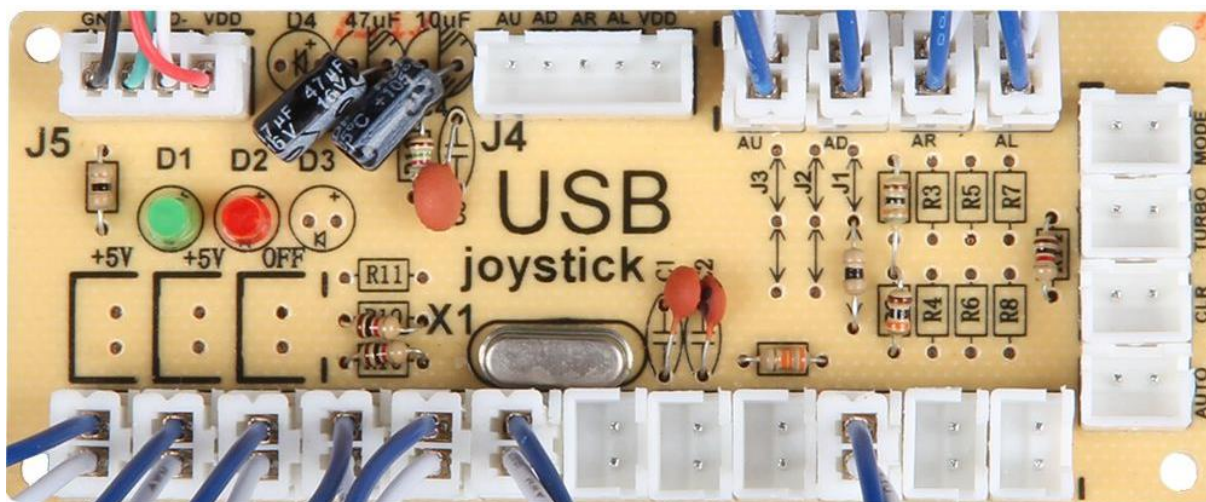
Svojim rozmerom je vhodný do malých priestorov ako je vnútorná časť volantu.



Obrázok 5 – Arduino – snímač teploty, ovládač ventilátorov, snímač pre AS5600

1.2.7 USB joystick

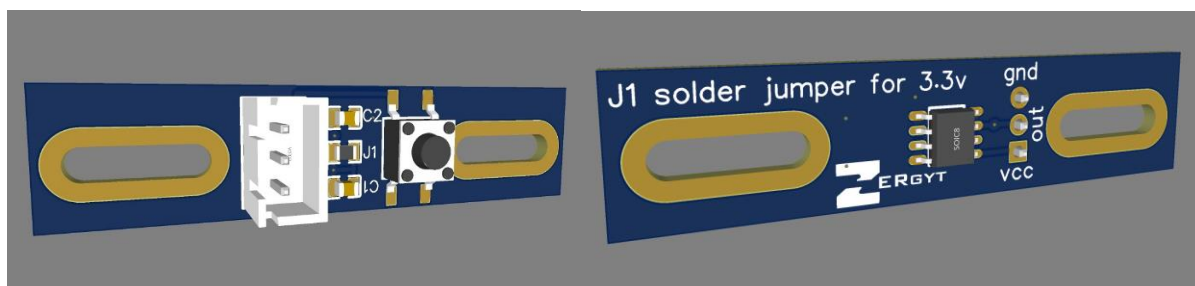
Tento modul nám sníma zaradenie rýchlostí respektíve stlačenie tlačidla. Spracovaný signál o stlačení tlačidiel posielá do PC.



Obrázok 6 – USB joystick

1.2.8 Modul na snímanie polohy ručnej brzdy

Táto doska je pripevnená na kraj ručnej brzdy. Pomocou magnetu, ktorý sa pri potiahnutí brzdy pootočí, nastane zmena magnetickej indukcie a čip AS5600 zmení napätie na výstupe od 0V do 5V. Ďalšie spracovanie a posielanie dát do počítača sa odohráva v Arduino.



Obrázok 7 – snímač pootočenia ručnej brzdy

1.2.9 Zdroj napätia 24V 800W

Zdroj napätia s vysokým výkonom a napätím 24V použitý na napájanie Arduina a motorov.



Obrázok 8 – Zdroj 24V 800W

1.2.10 Snímač rotácie Omron

Tento snímač OMRON E6B2CWZ6C 2500P/R je použitý pre snímanie pootočeného volantu. Pri otáčaní volantu vznikajú impulzy a vďaka tomu vieme, kde sa volant v danom momente nachádza. Ďalšie spracovanie a posielanie dát do počítača sa odohráva v STM32.



Obrázok 8 – Snímač Omron

1.3 Finančná analýza

- 3D tlačené Konštrukcie (3D filament).....	60€
- Jäklové profily	100€
- Zdroj 24V 800W.....	40€
- Motory 895 200W	2x 30€
- výkonový ovládač motora BTS7960 H-bridge.....	5€
- E6B2CWZ6C OMRON Rotary Encoder 2500P/R	25€
- STM32F407VET6.....	10€
- ST-Link V2.....	2€
- Arduino Pro Micro	7€
- Tlačidlá	10€
- Plastové krytky	20€
- Hliníkové rohové podpory 40x40.....	30€
- Tlakové snímače	20€
- Ozubené kolieska.....	4€
- Rozvodový remeň.....	4€
- USB Encoder PC to Joystick.....	8€
- Ventilátor 80x80x15	2x 10€
- Ložiská	30€
- Pružiny.....	70€
- GX 12 + GX 16 konektory	10€
- Magnety.....	10€
- Powercon konektor	3€
- Poistky	3€
- Konektor 230V	3€
- Gumené nôžky	4€
- Spojový materiál.....	100€
- Sedadlo	15€
- Železné a nehrdzavejúce plechy + vypaľovanie laserom	300€
- Plošné spoje	10€
- Leo Bodnar univerzálny joystick.....	40€
- Leo Bodnar zosilňovač tlakových snímačov	30€
- Káble.....	10€
- Farba na lakovanie.....	30€
- Materiál na zostrojenie simulátora	30€
 Celkovo.....	 1083€

2 Výsledky práce

2.1 Základňa volantu

Pre našu základňu som sa rozhodol pre konštrukciu základne pomocou dvoch 200W motorov 895 usadených v 3D vytlačnom ráme s kontrolérom STM32F407VET6. Do kontroléra bol naprogramovaný časť softwaru MMOS FFB. Vďaka tomu dokáže kontrolér ovládať PWM na module BTS 7960, snímať uhol pootočenia na uhlovom snímači OMRON Rotary Encoder 2500P/R a údaje odosielať do programu v počítači. Plošný spoj s Arduino Pro Micro sníma teplotu a dokáže ovládať rýchlosť otáčania ventilátorov.

Základňa dokáže dôveryhodne reprezentovať odpor a vibrácie vozovky a to aj áut s a bez posilňovača riadenia.

2.2 Pedále

Pedále sú zostrojené z nehrdzavejúcej ocele a využívajú tlakové snímače, čo dôveryhodne reprezentuje pocit reálneho auta. Leo Bodnar moduly prenášajú signál do počítača, kde ich vieme kalibrovať.

2.3 Radiaca páka

Radiaca páka je zostrojená z plastu PETG. 3D tlačenie poukazuje na to, že aj zložitejšie tvary vie vcelku kvalitne spracovať a zostrojiť produkt, čo má pocit reálnej manuálnej prevodovky.

Pomocou USB Joysticku je jednoduché spojzduiť elektroniku vo vnútri radiacej páky a pripojením USB do počítača je možné okamžité čítanie stlačenia tlačidiel.

2.4 Ručná brzda

Ručná brzda svojou kovovou konštrukciou predstavuje pocitovo kvalitné zostrojenie.

2.5 Konštrukcia

Po skonštruovaní konštrukcie sme mohli zistiť, že železo nie je vhodné na tento typ práce. Pre Jäklvé profily nie je jednoduché ich pospájať dokopy, a teda je vhodnejšie využiť hliníkové profily, ktoré sú určené na stavanie takýchto konštrukcií. Na skonštruovanie železnej konštrukcie je potrebné mnoho náradia a zároveň je potrebné ich nalakovať, aby sme zamedzili korózii.

3 Závery a zhrnutie

Hlavnou úlohou tohto projektu bolo zostrojiť závodný simulátor do 600€, čo by vedel dôveryhodne reprezentovať správanie reálneho auta na dobrých aj viac nepriaznivých cestných podmienkach.

Každá časť závodného simulátora dokáže dôveryhodne reprezentovať pocit z jazdy na reálnom aute.

Spätná väzba základne vie dôveryhodne reprezentovať pocity z jazdy ako na asfaltovej aj na prašnej ceste dokonca zvyrazňuje aj diery vo vozovke. Aj keď táto základňa nemá veľmi citelnú spomalenú odozvu, preferoval by som pocit servomotora pre jeho priame uchytanie na volant.

Hliníkový volant je veľmi ľahký a sadne do ruky vďaka semišovému poťahu.

Pedále sú vyrobené z nehrdzavejúcej ocele a využívajú tlakové snímače, čo zabezpečuje pevný a realistický pocit predovšetkým brzdného pedálu. Na plyn a spojku by som tlakové snímače opäť nepoužil, pretože tam nie sú potrebné.

Konštrukcia je vyrobená zo železa a pospájaná rohovými spojkami. Mohli sme zistiť, že jāklové profily nie sú jednoduché na opracovanie a na spájanie a teda je vhodnejšie použiť hliníkové profily, ktoré netreba lakovať a pri používaní špeciálnych matíc ani vŕtať.

Radiaca páka je vytlačená na 3D tlačiarňi pomocou filamentu PETG. Svojou konštrukciou má dosť realistické spracovanie a je podstatne lacnejšia ako je najlacnejšia radiaca páka, aká sa dá kúpiť. Pružiny v radiacej páke sú ľahké, no dajú sa rýchlo vymeniť.

Ručná brzda svojou oceľovou konštrukciou dôveryhodne napodobňuje hydraulickú ručnú brzdú.

Aj keď je volant približne 2x drahší ako mal byť, jednotlivé komponenty prinášajú z jazdy závodných hier pocity do skutočnosti. Z tejto práce som sa dozvedel, že je podstatné mať pripravené stroje určené na špecifickú prácu na projekte, napríklad frézu, stolnú vŕtačku, alebo 3D tlačiareň. Najlepšie je si všetko pripraviť a skonštruovať v modelovacom softwari, aby sa zamedzilo chybám ako napríklad nesúbežné diery a pod.

4 Résumé

In this project was the main objective to make simulator for about 600€ which could realistically represent car behavior on paved and dirt road.

Every part of this project can accurately represent the forces and feel of real car.

The steering wheel delivers forces from the road in the game accurately and with small lag. The lag would be smaller if you would use servo motor.

Steering wheel feels light because of its aluminum construction.

The pedals, which are made of steel, make you feel like you sit in real race car because of its heavy feel. Load cells inside the pedals are worth over potentiometers because of the brake pedal feel.

The strong construction won't let you move from side to side like if you sit in wheelchair in front of computer, but aluminum construction would be easier to assembly and rust free.

Changing gears with H pattern shifter is light but adding stronger springs would make it feel better, but even though the feel is good.

Because the handbrake is made from steel its feel is very solid.

Even though its two times as expensive as I wanted it to be the feel and toughness makes it feel very good but adding stronger springs to shifter making frame of aluminum or using servo motor would make it feel even better.

5 Zoznam použitej literatúry

- [1] <https://forum.arduino.cc/t/arduino-micro-all-20-digital-pins-for-joystick-buttons/556975/10>
- [2] <https://hackaday.io/project/168801-diy-mmos-ffb-stm32-and-servo-drive-servo-motor>
- [3] <https://www.xsimulator.net/>
- [4] <https://www.arduino.cc/>
- [5] <https://www.leobodnar.com/>
- [6] <https://www.aliexpress.com/>
- [7] <https://www.thingiverse.com/thing:4603605>
- [8] <https://grabcad.com/alex.zergyt-1>
- [9] <https://www.thingiverse.com/thing:4058270>
- [10] https://www.youtube.com/c/OZHEGOV_simracing/
- [11] <https://youtu.be/ndptLBr3T0E>
- [12] <https://theorycircuit.com/automatic-fan-speed-control-circuit-arduino/>
- [13] https://exploreembedded.com/wiki/Analog_JoyStick_with_Arduino

6 Prílohy

Príloha A.1– Snímanie tlačidiel vo volante

```
#include <Joystick.h>

Joystick_ Joystick;

const int ButtonToPinMap[14] = {2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 16, A0, A1};

int lastButtonState[14] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};

void setup() {
    pinMode(2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(3, INPUT_PULLUP);
    pinMode(4, INPUT_PULLUP);
    pinMode(5, INPUT_PULLUP);
    pinMode(6, INPUT_PULLUP);
    pinMode(7, INPUT_PULLUP);
    pinMode(8, INPUT_PULLUP);
    pinMode(9, INPUT_PULLUP);
    pinMode(10, INPUT_PULLUP);
    pinMode(14, INPUT_PULLUP);
    pinMode(15, INPUT_PULLUP);
    pinMode(16, INPUT_PULLUP);
    pinMode(A0, INPUT_PULLUP);
    pinMode(A1, INPUT_PULLUP);

    Joystick.begin();
}

void loop() {

    for (int i = 0; i < 14; i++)
    {
        int currentButtonState = !digitalRead(ButtonToPinMap[i]);
        if (currentButtonState != lastButtonState[i])
        {
            Joystick.setButton(i, currentButtonState);
            lastButtonState[i] = currentButtonState;
        }
    }

    delay(50);
}
```

Príloha A.2 – Snímanie teploty a ovládanie ventilátorov pomocou PWM

```
int tempPin = A1;
int fan = 3;
int led = A0;
int ledPower = 10;
int temp;
int tempMin = 30;
int tempMax = 60;
int fanSpeed;

void setup() {
  pinMode(fan, OUTPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(tempPin, INPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(ledPower, HIGH);
  temp = 30;
  if(temp < tempMin) {
    fanSpeed = 0;
    digitalWrite(fan, LOW);
  }
  if((temp >= tempMin) && (temp <= tempMax)) {
    fanSpeed = map(temp, tempMin, tempMax, 60, 255);
    analogWrite(fan, fanSpeed);
  }
  if(temp > tempMax) {
    digitalWrite(led, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(led, LOW);
  }
}

int readTemp() {
  temp = analogRead(tempPin);
  return temp * 0.48828125;
}
```

Príloha A.3 – Snímanie napätia zo snímača otočenia magnetu

```
#include <Joystick.h>

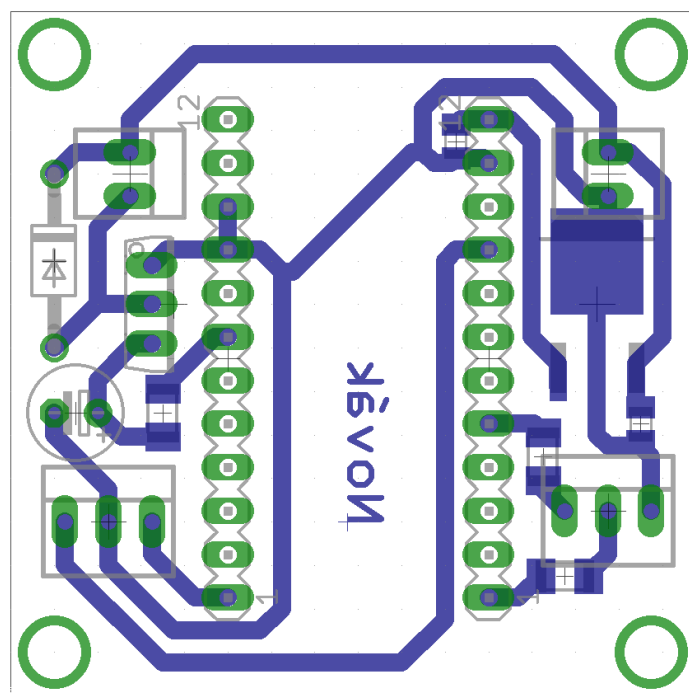
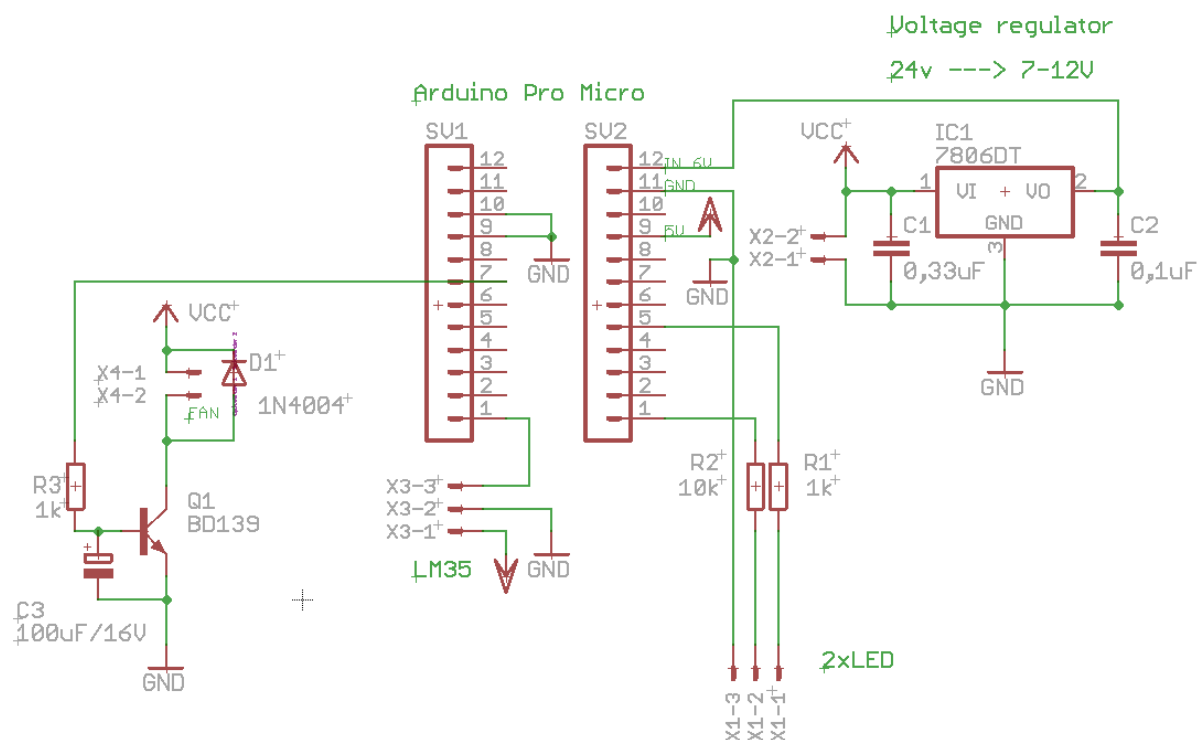
Joystick_ Joystick;

const int AS5600 = A0;
const int BUTTON = 15;
const int BOTTOM = 10;
const int TOP = 580;
int AnalogValue;
int FullValue;
int ButtonValue;
int CroppedValue;
int CroppedValueB;

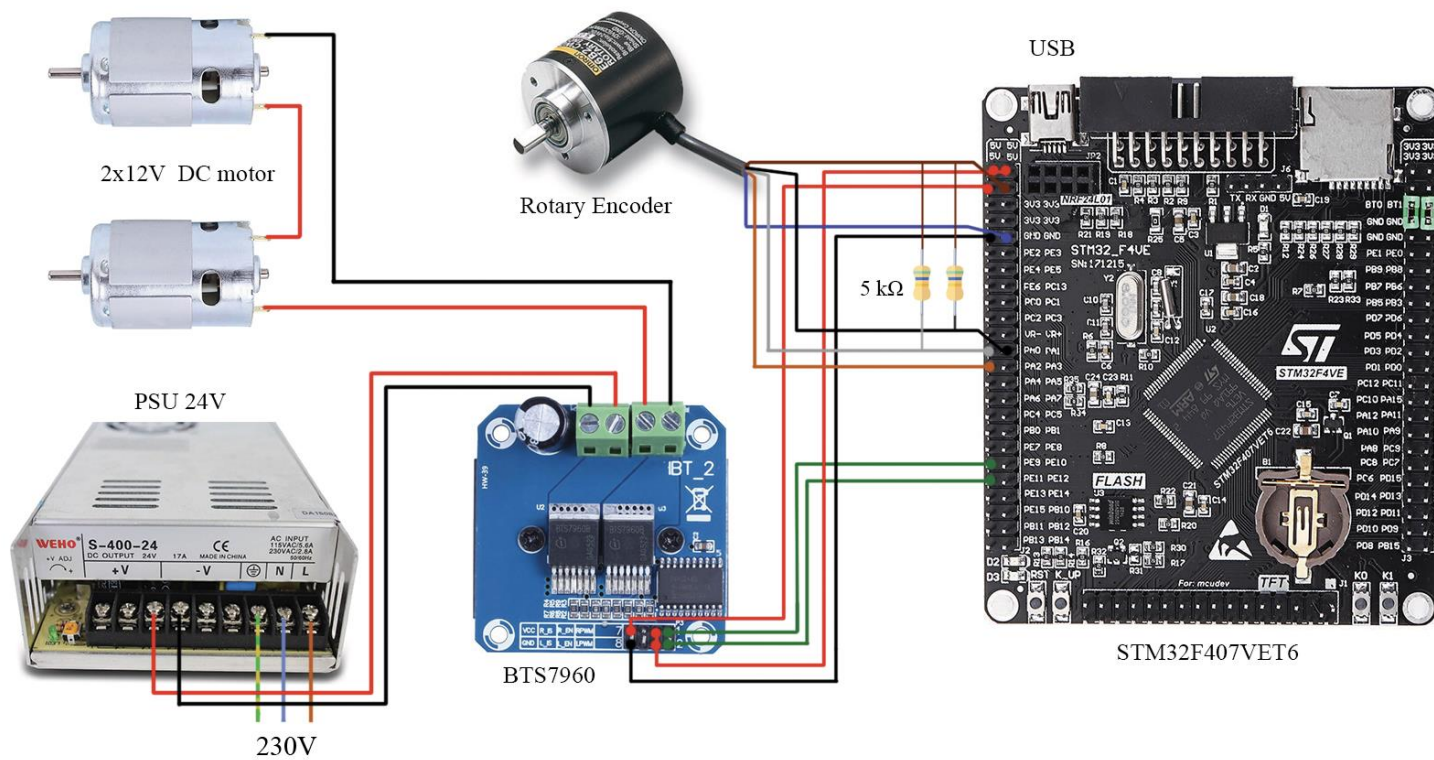
void setup() {
  pinMode(BUTTON, INPUT_PULLUP);
  Joystick.begin();
}

void loop() {
  if (digitalRead(BUTTON) == 0) {
    Joystick.setXAxis(0);
    AnalogValue = analogRead(AS5600);
    FullValue = map(AnalogValue, 0, 1023, 0 - BOTTOM, 1023 + TOP);
    CroppedValue = constrain(FullValue, 0, 1023);
    ButtonValue = map(CroppedValue, 0, 1023, 0, 3);
    CroppedValueB = constrain(ButtonValue, 0, 1);
    Joystick.setButton(0, CroppedValueB);
    delay(50);
  } else {
    AnalogValue = analogRead(AS5600);
    FullValue = map(AnalogValue, 0, 1023, 0 - BOTTOM, 1023 + TOP);
    CroppedValue = constrain(FullValue, 0, 1023);
    Joystick.setXAxis(CroppedValue);
    delay(50);
  }
}
```

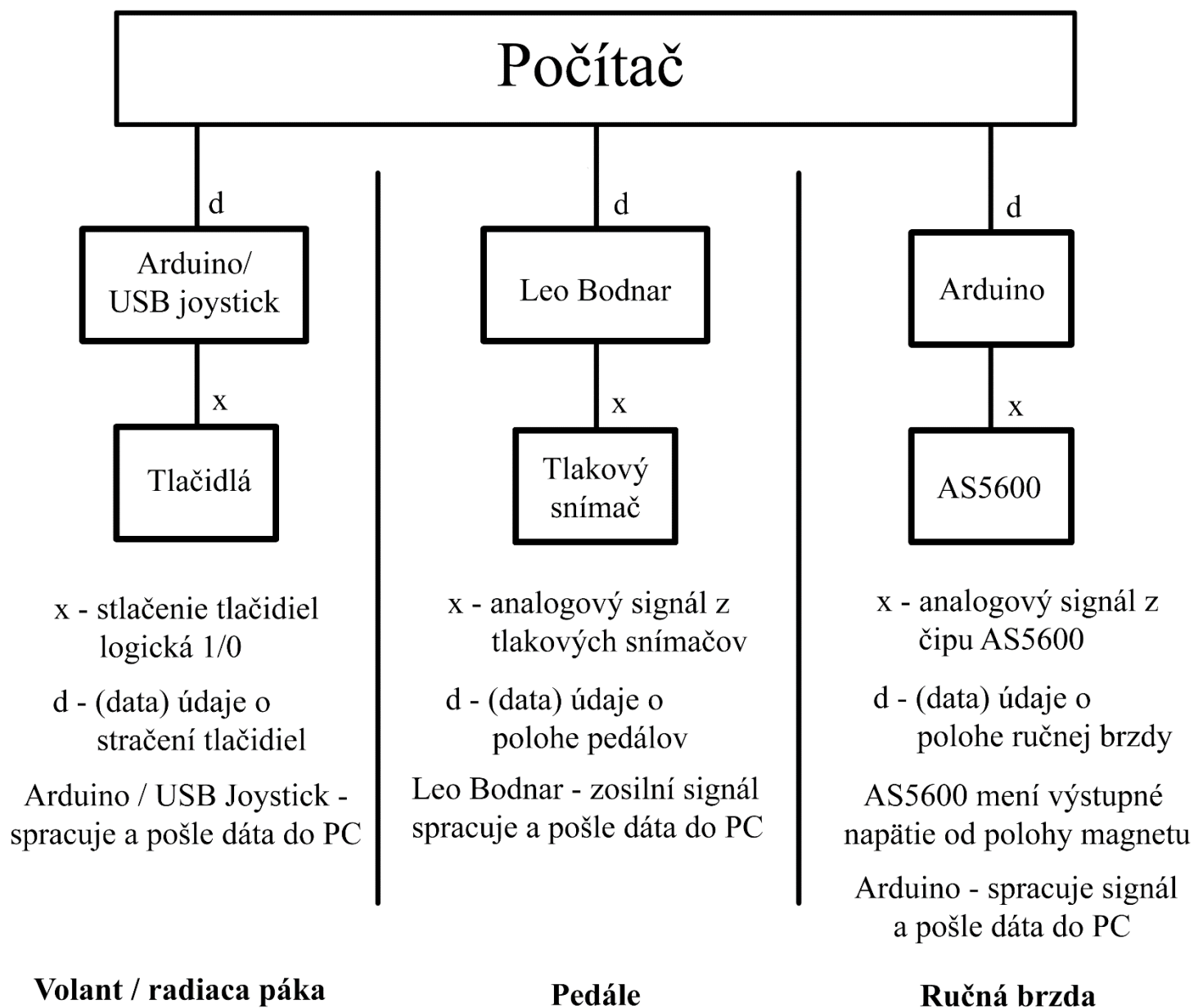
Príloha B – Plošný spoj pre ovládanie Arduino Pro Micro



Príloha C – Zapojenie Základňa

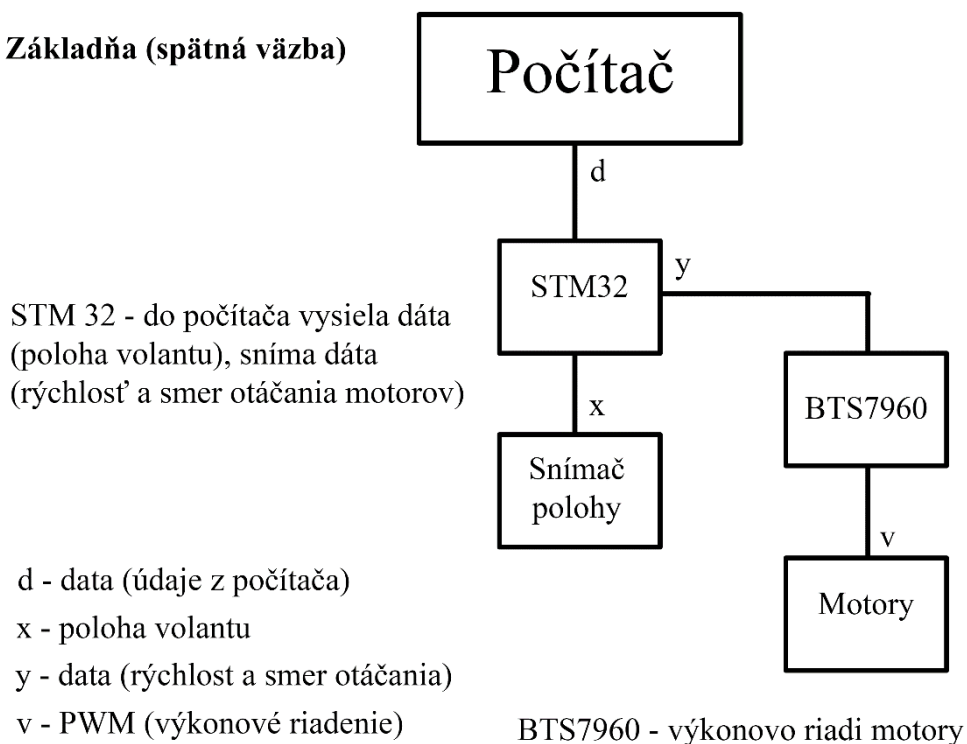


Príloha D.1 Blokové schémy

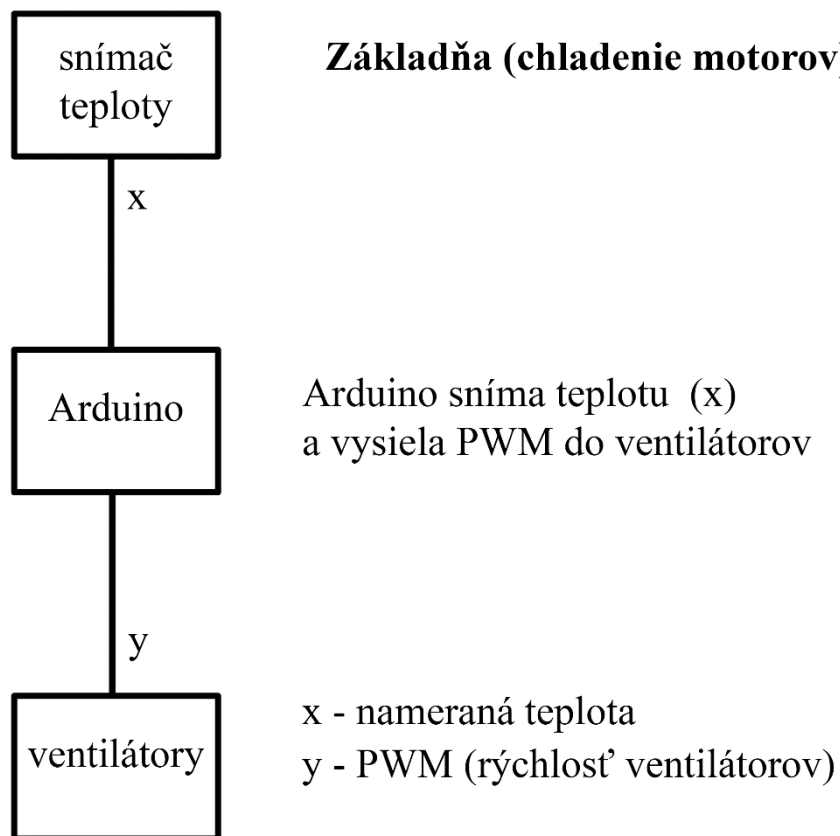


Príloha D.2 – Blokové schémy ZZ

Základňa (spätná väzba)



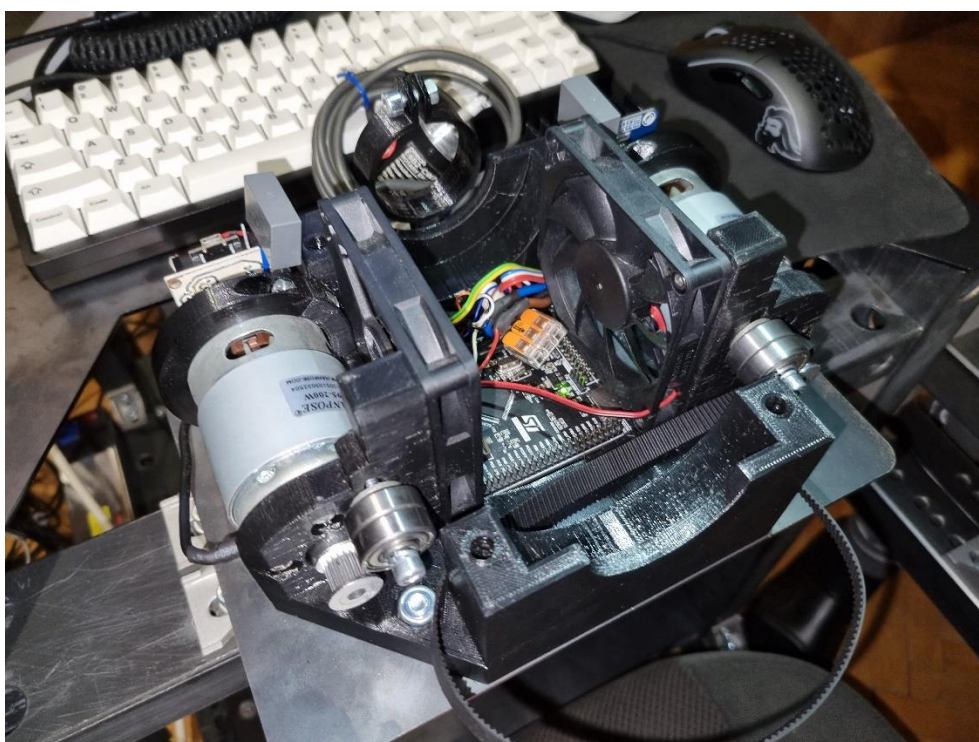
Základňa (chladenie motorov)



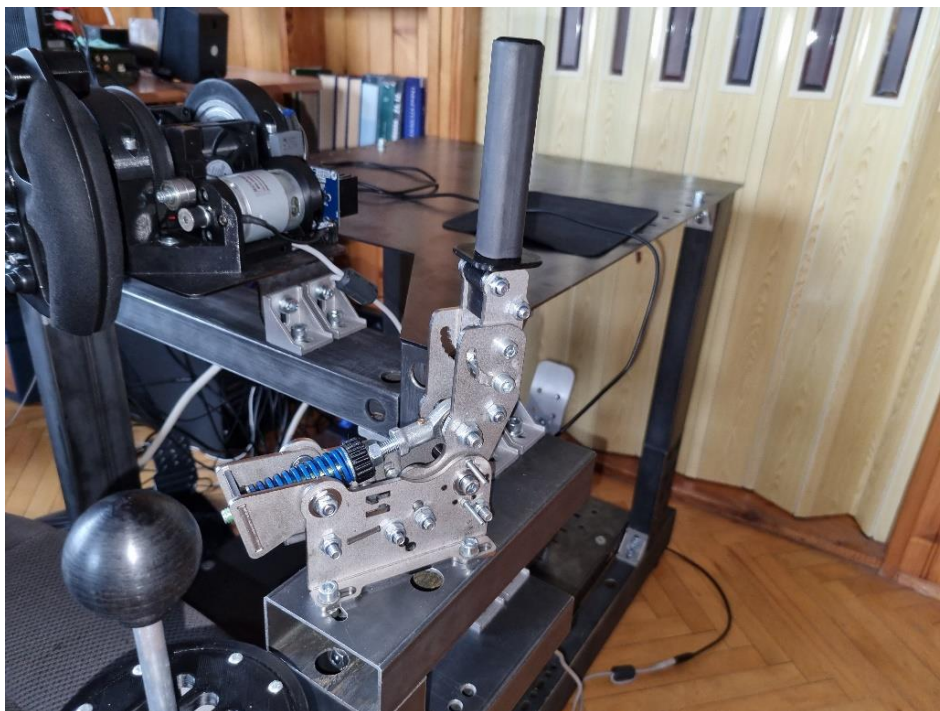
Príloha E – Závodný simulátor



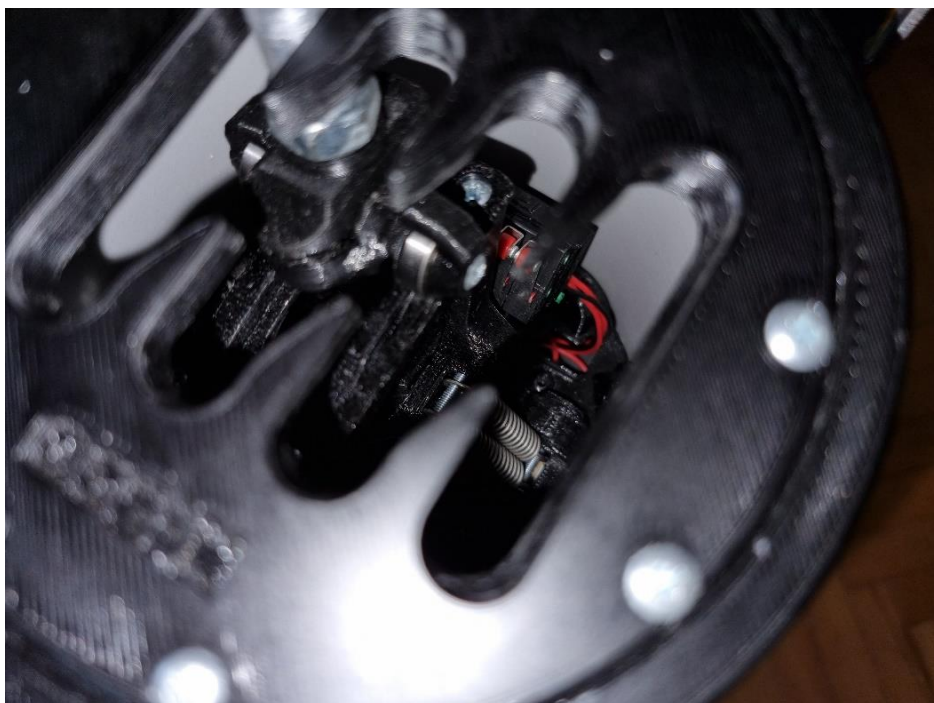
Príloha F – Základňa



Príloha G – Ručná brzda



Príloha H – Prevodovka



Príloha I – Pedále

