

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STROJNÍCKA FAKULTA**

**AEROSHIELD: MINIATÚRNY EXPERIMENTÁLNY MODUL
AEROKYVADLA**

Bakalárska práca

SjF-číslo b. práce

2022

Peter Tibenský

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STROJNÍCKA FAKULTA**

**AEROSHIELD: MINIATÚRNY EXPERIMENTÁLNY MODUL
AEROKYVADLA**

Bakalárska práca

SjF-12345-67890

Študijný odbor: Automatizácia a informatizácia strojov a procesov
Študijný program: 5.2.14 automatizácia
Školiace pracovisko: Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky
Vedúci záverečnej práce: Ing. Mgr. Anna Vargová.
Konzultant: Ing. Erik Mikuláš

Bratislava, 2022

Peter Tibenský

Úlohou študenta je navrhnúť, realizovať a sériovo vyrobiť rozširovací modul pre prototypizačnú platformu Arduino v rámci open-source projektu „AutomationShield“. Jedná sa o návrh miniaturizovaného laboratórneho experimentu so spätnoväzobným riadením tzv. aerokyvadla, spolu s ovládacím softvérom a inštruktážnymi príkladmi. Študent navrhne plošný spoj v CAD prostredí DipTrace, vytvorí programátorské rozhranie (API) v jazyku C/C++ pre Arduino IDE, ďalej pre MATLAB a Simulink. Študent manažuje verzie projektu v Git pre GitHub a píše úplnú dokumentáciu v MarkDown.

Čestné prehlásenie

Vyhlasujem, že predloženú záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho záverečnej práce, s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú citované v práci a uvedené v zozname použitej literatúry. Ako autor záverečnej práce ďalej prehlasujem, že som v súvislosti s jej vytvorením neporušil autorské práva tretích osôb.

Bratislava, 23. máj 2022

.....
Vlastnoručný podpis

V prvom rade by som rád podľakoval vedúcej mojej bakalárskej práce, Ing. Mgr. Anne Vargovej, za odbornú pomoc, ľudský prístup a cenné rady pri vypracovávaní práce. Ďalej chcem podľakovať aj konzultantom bakalárskej práce, Ing. Erikovi Mikulášovi, za pomoc a pripomienky pri tvorbe dosky plošných spojov a návrhu 3D modelov.

Bratislava, 20. mája 2018

Peter Tibenský

Názov práce: AeroShield: Miniatúrny experimentálny modul aerokyvadla

Kľúčové slová: Arduino, AutomationShield, PID, AeroShield, AeroPendulum

Abstrakt: Cieľom bakalárskej práce je návrh experimentálneho modulu pre platformu Arduino. Tento modul má podobu externého shieldu, ktorý sa dá jednoducho pripojiť ku doskám Arduino a slúži na výučbu základov riadenia. Ich súčasťou je hardwareova a softwareova časť. V rámci bakalárskej práce bol navrhnutý jeden modul s názvom AeroShield.

Title:AeroShield: Miniature experimental module of aeropendulum

Keywords: Arduino, AutomationShield, PID, AeroShield, AeroPendulum

Abstract: The aim of the bachelor's thesis is to design an experimental module for the Arduino platform. This module takes the form of an external shield that can be easily connected to Arduino boards and is used to teach the basics of control. Each module consists of hardware and a software part. As a part of this bachelor thesis, one module was designed, the AeroShield.

Obsah

Úvod	1
1 Motivácia	2
2 AeroShield	5
2.1 Hardware	7
2.1.1 Popis súčiastok	7
2.1.2 Schéma zapojenia	10
2.1.3 Doska plošných spojov	11
2.1.4 Model držiaku kyvadla	13
2.2 Software	14
2.2.1 Header	14
3 Didaktické príklady	16
4 Záver	17
Literatúra	18

Zoznam obrázkov

1.1	dočasný obrázok pokiaľ nebude hotovec final.	2
1.2	Aeropendulum značky Real Sim[1].	3
1.3	Arduino UNO.	4
2.1	(a) Prvá verzia AeroShieldu. (b) Schéma zapojenia prvej verzie AeroShieldu.	5
2.2	meranie uhla kyvadla	6
2.3	buck converter	7
2.4	akčný člen	8
2.5	meranie prúdu	9
2.6	meranie uhla kyvadla	9
2.7	Schéma zapojenia AeroShieldu	10
2.8	Vedľajšia doska AeroShieldu- breakout board	11
2.9	(a) Vrchná strana AeroShieldu (b) Spodná strana AeroShieldu	12
2.10	Dosky plošných spojov AeroShieldu	13

Úvod

Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh, výroba a naprogramovanie modernej učebnej pomôcky AeroShieldu (ďalej len „shield“), ktorý slúži na výuku základov teórie riadenia a elektrotechniky.

Učebné pomôcky sú nevyhnutnou, no často zanedbávanou súčasťou výuky. Študenti si vďaka nim môžu lepšie predstaviť a pochopiť problematiku daného učiva, keďže môže pracovať nie len s počítačovými modelmi sústavy, ale aj s jej fyzickou reprezentáciou. Avšak, takéto pomôcky bývajú častokrát príliš zložité na používanie a drahé [2]. Z toho dôvodu, je ich použitie pri výučbe nepraktické.

Za cieľom sprístupnenia experimentálnych modulov širokej verejnosti bol založený projekt AutomationShield, ktorý ponúka pomerne jednoduché a cenovo dostupné experimentálne moduly ako open-source¹ študentské projekty.

Vhodnou platformou na implementáciu týchto modulov sú napríklad prototypizačné dosky Arduino ktoré sú taktiež open-source. Ich nízka cena a celosvetová popularita, spojená s obrovským množstvom návodov, informácií a pomocov, vytvára ideálnu platformu pre začínajúcich, ako aj pokročilých, programátorov, elektrotechnikov alebo hobby nadšencov.

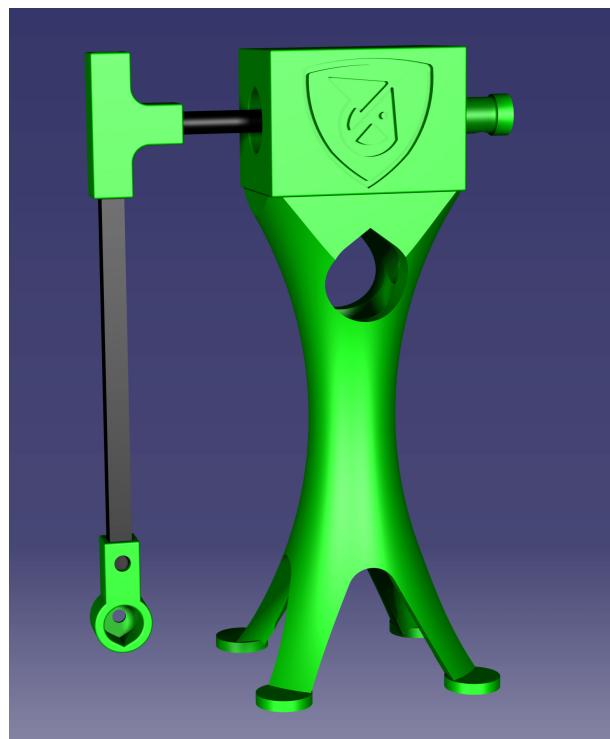
V bakalárskej práci je opísaný postup výroby a fungovania shieldu s dôrazom na zrozumiteľnosť jednotlivých aspektov aj čitateľom, ktorý o danej téme nie sú dokonale oboznámený. Na začiatku bakalárskej práce, v časti hardware, je opísaný základný princíp fungovania shieldu a následne jeho jednotlivé súčiastky. Pochopenie fungovania jednotlivých súčiastok shieldu je kritické pre správnu manipuláciu užívateľa s jeho jednotlivými časťami. Poslednú časť tvorí tvorba dosky plošných spojov pre shield v programe Dip-Trace.

V softvérovej časti sú bližšie predstavené jednotlivé charakteristické funkcie shieldu. Funkcie sú usporiadane do logických celkov pre ľahšiu prácu užívateľa s kódom.

¹Open-source je zo všeobecného pohľadu akákoľvek informácia ktorá je dostupná verejnosti bez poplatku(s voľným prístupom), s ohľadom na fakt, že jej voľné šírenie zostane zachované.

1 Motivácia

Cieľom tejto bakalárskej práce je návrh učebnej pomôcky AeroShield, na štýl experimentu celosvetovo známeho ako Aeropendulum, čo v doslovnom preklade znamená vzdušné kyvadlo. Jedná sa o pomerne jednoduché zariadenie pozostávajúce z niekoľkých častí. Akčným členom tohto zariadenia je motorček na jednosmerný prúd, ktorý má na rotor pripojené lopatky ktoré vďaka otáčaniu produkujú ťah. Motorček je zvyčajne upevnený na koniec ľahkej tyčky, ktorá je v mieste otáčania pripevnená k zariadeniu na meranie uhlu pootočenia tyčky. Zariadenie na meranie pootočenia môže byť potenciometer, senzor hallovho javu (ďalej len „hall efekt“) alebo iné [3]. V našom prípade budeme používať senzor hall efektu ktorého fungovanie je opísané v časti hardware 2.1.1. Zariadenie na meranie uhlu je následne upevnené na podstavec aby sa motor mohol voľne pohybovať. Podobu modelu Aeropendulum, môžete vidieť na obr. 1.1



Obr. 1.1: dočasný obrázok pokiaľ nebude hotovec final.

Open-source projekt AutomationShield vyvíjaný na ústave Automatizácie, merania a aplikovanej informatiky SJF STU, je zameraný na vývoj hardwarových a softwarových nástrojov určených na vzdelávanie a doplnenie vzdelávacieho procesu. Jadrom celého pro-

jektu je tvorba rozširujúcich dosiek (shieldov) vyvýjaných pre populárny typ prototypizačných dosiek s mikrokontrolérmi Arduino, ktoré majú za cieľ lepšiu výučbu strojného inžinierstva, mechatroniky a riadenia [4].

Zdrojový kód k AeroShieldu, ako aj ku všetkým modulom AutomationShield, nájdeme na platforme GitHub [5], ktorá slúži ako obrovská knižnica kódov, návodov a postupov pre kohokoľvek. Na samostatnej stránke AutomationShield nájdeme zoznam jednotlivých shieldov a to v akom procese výroby sa nachádzajú. Ku každému shieldu nájdeme jeho podrobnejšiu dokumentáciu, knižnice, zdrojové kódy ako aj pred programované ukážky fungovania. Tým že GitHub je open-source platforma, dokumenty na stránke môže ktokoľvek upravovať alebo vylepšovať čo tvorí ideálny priestor pre rozvoj myšlienok a tvorivý proces. Na dokumentoch môže naraz pracovať niekoľko desiatok ľudí, čím sa častokrát mnohonásobne urýchľuje proces tvorby a hľadania chýb.

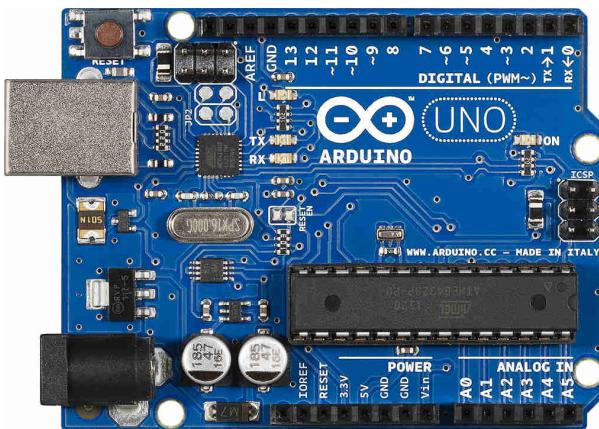
Ako už bolo spomenuté, hlavnou motiváciou tohto projektu je nízka dostupnosť a vysoká cena podobných učebných pomôcok. Výučba je preto častokrát až príliš zameraná na memorovanie faktov a teórie, namiesto praktických experimentov a skúseností typu pokus-omyl. Jediný podobný dostupný produkt na kúpu nie ako kit, je Aeropendulum od neznámej perzskej značky Real Sim ktoré je na obr. 1.2. Študenti si omnoho rýchlejšie osvoja metódy programovania a automatizácie, pokiaľ majú možnosť experimenty sami tvoriť a skúmať vplyv reálnych výstupov na zvolené vstupy. S úmyslom priniesť širokej verejnosti lacnejšiu a výkonnejšiu alternatívu vtedajším mnohonásobne drahším a menej výkonným prototypizačným doskám [6], prišla na trh v roku 2005 prototypizačná doska Arduino. Projekt vznikol v Taliansku ako kolaborácia medzi viacerými nadšencami elektrotechniky a programovania, na ktorých čele bol Massimo Banzi.



Obr. 1.2: Aeropendulum značky Real Sim[1].

Veľkou výhodou dosiek Arduino a ich nadstavbových shieldov je fakt, že sú pomerne lacné a majú malé rozmery (Arduino UNO: 68.6*53.4mm [7]). Tieto fakty umožňujú študentom pracovať na experimentoch nielen na pôde školy, ale experimenty si môžu zobrať domov a pracovať na nich aj mimo vyučovacieho procesu. Na správne fungovanie a

programovanie dosky nám postačuje len USB kábel a samotná doska. Vzhľadom na nízky počet potrebných súčiastok a fakt, že mikročip arduina je v prípade poruchy jednoducho vymeniteľný², je ich používanie na školách príjemné a jednoduché. Pre naše účely je vhodná doska Arduino UNO ktorú môžeme vidieť na obr. 1.3. Na doske sa nachádza 14 digitálnych a 6 analógových pinov. Niektoré piny sú označené špeciálnym symbolom \sim , tieto piny sú schopné produkovať PWM³ signál ktorý potrebujeme na správne ovládanie motoru kyvadla.



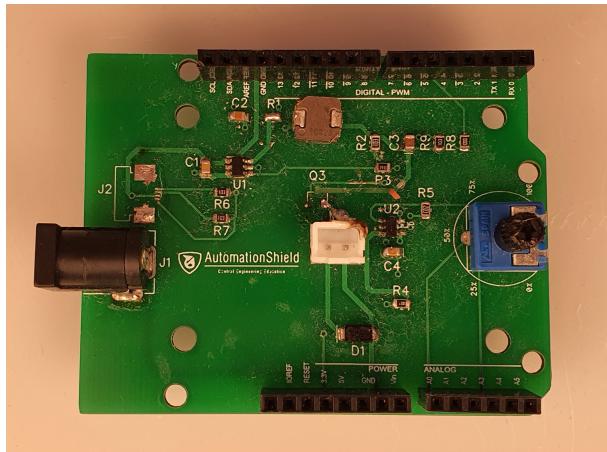
Obr. 1.3: Arduino UNO.

²Tento fakt platí pri mikročipoch typu DIP(Dual in-line package) ktoré stačí jednoducho vytiahnuť z konektora bez použitia spájkovania.

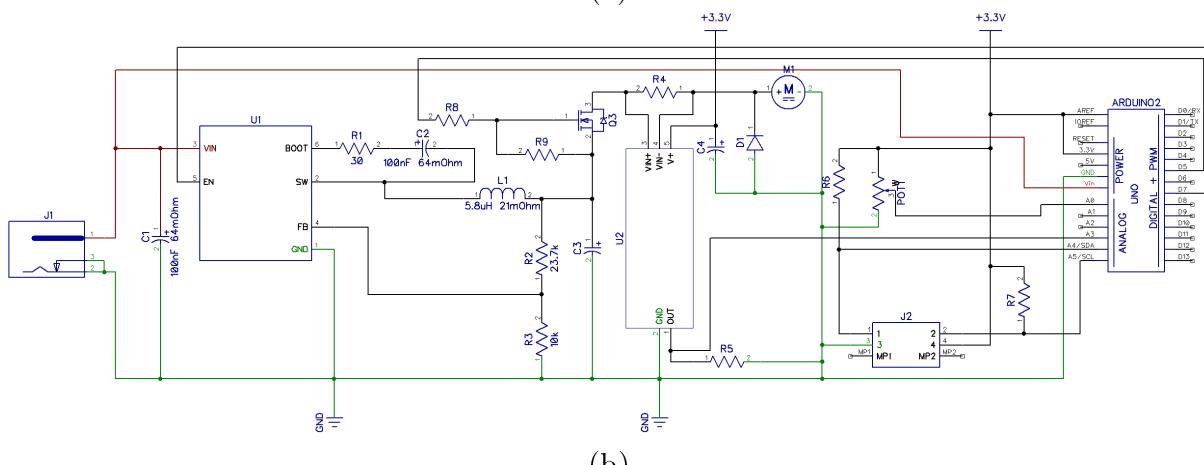
³Šírková modulácia impulzov alebo PWM je technika na dosiahnutie analógových výsledkov pomocou digitálnych prostriedkov a to, za pomoci striedania dĺžok medzi High a Low stavom resp. zapnutý a vypnutý stav.

2 AeroShield

Téma tejto bakalárskej práce vznikla ako pokračovanie, na už započatom projekte. Prvá verzia dosky a samotného kvyadla vznikla ako záverečný projekt na predmet Mikroprocesorová technika. Na projekte pracovala päťica študentov: . Schému zapojenia hlavnej dosky, ako aj fotografiu naspájkovej verzie môžeme vidieť na obr.2.1.



(a)



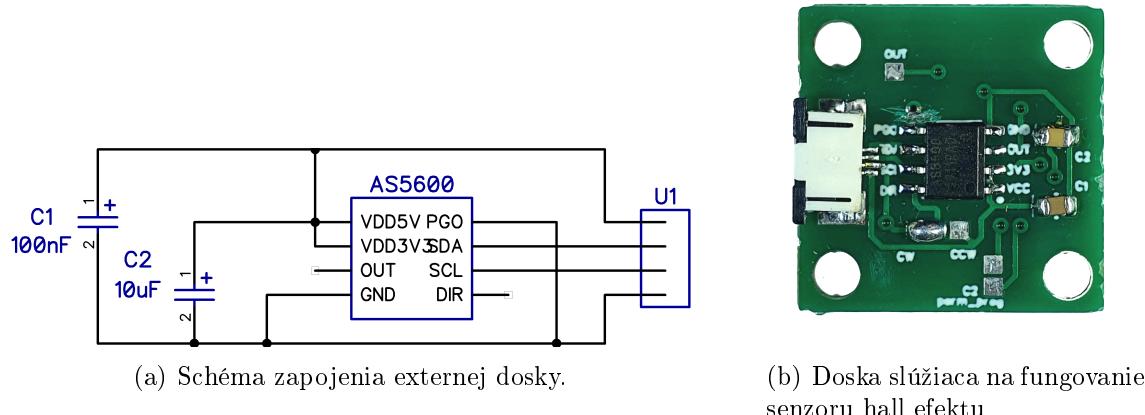
(b)

Obr. 2.1: (a) Prvá verzia AeroShieldu. (b) Schéma zapojenia prvej verzie AeroShieldu.

Prvá verzia dosky mala niekoľko nedostatkov, vďaka ktorým bola prakticky nepoužiteľná. Hlavnými nedostatkami boli:

- neprepojenie pinov komunikácie I2C tj. piny SDA a SCL senzoru hall efektu, ktorý slúži na meranie uhlu natočenia kyvadla,
- nesprávne zapojenie mosfetu PMW45EN, ktorý ovláda PWM signál idúci do akčného člena,
- nesprávne umiestnená ochranná dióda na konektoroch akčného člena,
- nesprávne zapojený obvod s čipom INA169, ktorý slúži na meranie prúdu,
- neprepojenie nulového konektora shieldu s nulovým konektorm arduina.

Základom tejto bakalárskej práce teda bolo najskôr pochopiť jednotlivé časti zapojenia, analyzovať chyby a ich následná oprava. V rámci školského projektu bola vytvorená hlavná doska na ktorej sa nachádza väčšina elektroniky, avšak bola vytvorená aj verzia menšej dosky ktorá slúži na fungovanie senzoru hall efektu. Táto doska fungovala bezproblémovo a teda nebolo potrebné nijakým spôsobom meniť jej schému zapojenia viditeľnú na obr.2.2.a. Tejto menšej doske sa budeme bližšie venovať v časti??, no jej podoba je viditeľná na obr.2.2.b.



Obr. 2.2: meranie uhla kyvadla

2.1 Hardware

2.1.1 Popis súčiastok

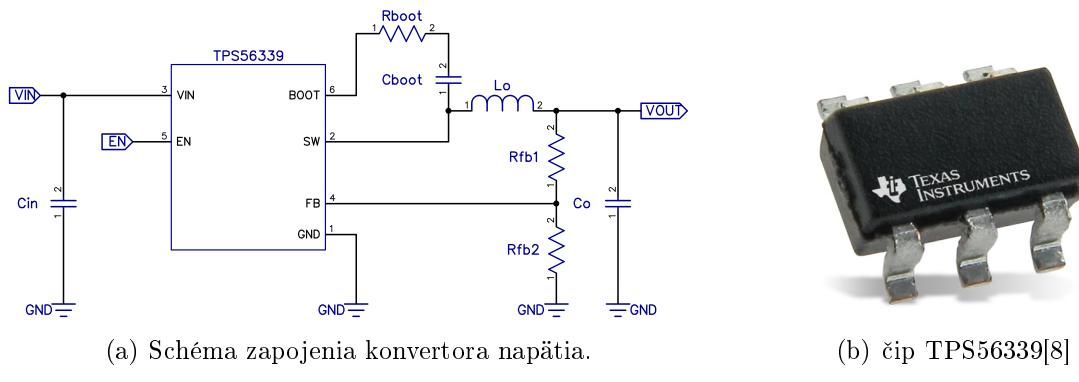
V tejto časti sa bližšie pozrieme na jednotlivé nevyhnutné súčasti zapojenia AeroS-shieldu. Konkrétnie sa jedná o tieto prvky:

- napájanie
- ovládanie akčného člena
- meranie uhla natočenia kyvadla
- meranie prúdu

Znižovací menič

Na správne napájanie akčného člena, motorčeka, potrebujeme napäťie v rozmedzí 0-3,7V. Na shield je však privádzané, pomocou koaxiálneho napájacieho konektora, napäťie 12V ,2A, ktoré by motor v priebehu chvíle zničilo. Na zníženie napäťia preto použijeme znižovací menič tzv. buck converter.

Hlavnou časťou konvertora je čip TPS56339 od výrobcu Texas Instruments obr.2.3.b. Znižovanie napäťia funguje za pomoci dvoch integrovaných N-kanálových $70\text{-m}\Omega$ a $35\text{-m}\Omega$ high-side mosfetov⁴ a ďalších komponentov. Celkový prevádzkový prúd zariadenia je približne $98\mu\text{A}$, keď funguje bez spínania a bez záťaže. Ked' je zariadenie vypnuté, napájací prúd je približne $3\mu\text{A}$ a zariadenie umožňuje nepretržitý výstupný prúd do 3 A[8].



(a) Schéma zapojenia konvertora napäťia.

(b) čip TPS56339[8]

Obr. 2.3: buck converter

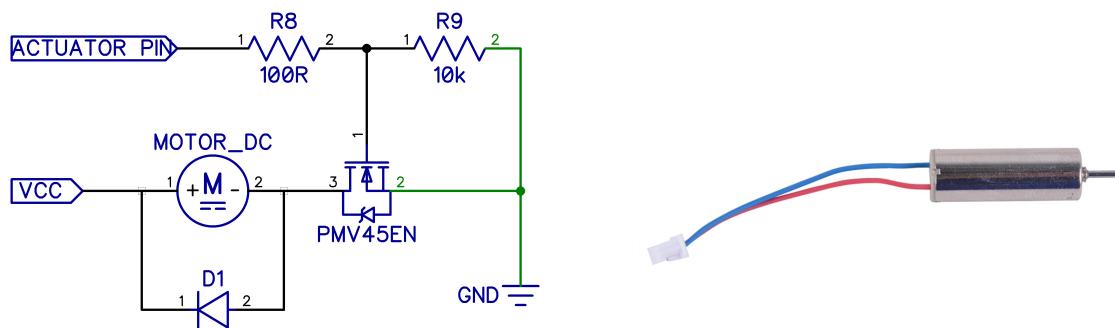
Na čip je privádzané napäťie 12V ktoré sa pomocou zapojenia viditeľného na schéme obr.2.3.a, znižuje na napäťie 3,7V. Napájanie motora musí byť realizované externe pomocou koaxiálneho napájacieho konektora, z dôvodu vysokého prúdu odoberaného motorom počas vysokého zataženia. Rovnaký konektor sa sice nachádza aj na doske Arduino UNO a pomocou VIN pinu sa dajú napájať napäťim 0-12V aj iné zariadenia, avšak tento pin je napojený na diódu obmedzujúcu prúd na 1A[9][10].

⁴N-kanálový mosfet je typ mosfetu, v ktorom tok prúdu nastáva kvôli pohybujúcim sa, záporne nabitém elektrónom. "High-side"znamená, že prúd prechádza z napájania, cez mosfet do záťaže a potom do zeme

akčný člen

Ako akčný člen AeroShieldu je použitý 7mm, 3,7V motorček na jednosmerný prúd, bez jadra, používaný hlavne pre pohon dronov. "Coreless motor" alebo motor bez jadra je motor s cievkou navinutou samou na sebe a nie na železe[11]. Takéto jadro ale samé o sebe nie je veľmi pevné a nedrží dobre tvar, preto sa častokrát zalieva epoxidom. Stator je vyrobený z magnetov na báze vzácných zemín, ako je neodým alebo SmCo(samárium-kobalt), ktoré sa nachádzajú vo vnútri bezjadrového rotora.

Takýto motor ponúka mnoho výhod oproti motoru so železným jadrom. Tým že jadro v sebe nemá železo, výrazne sa znižuje hmotnosť a tým aj zotrvačnosť rotora, čo je dôležité pre naše použitie kedy potrebujeme dosahovať vysokú akceleráciu a rýchle spomalenie rotora. Ďalšou výhodou je fakt že nedochádza k stratám na železe a tým pádom sa účinnosť takýchto motorov blíži až ku 90%-[12]. Motor resp. otáčky motora sú riadené pomocou impulzovej šírkovej modulácie(PWM) a tieto impulzy do motoru prechádzajú cez N-kanálový mosfet PMV45EN2 od výrobcu Nexperia[13].



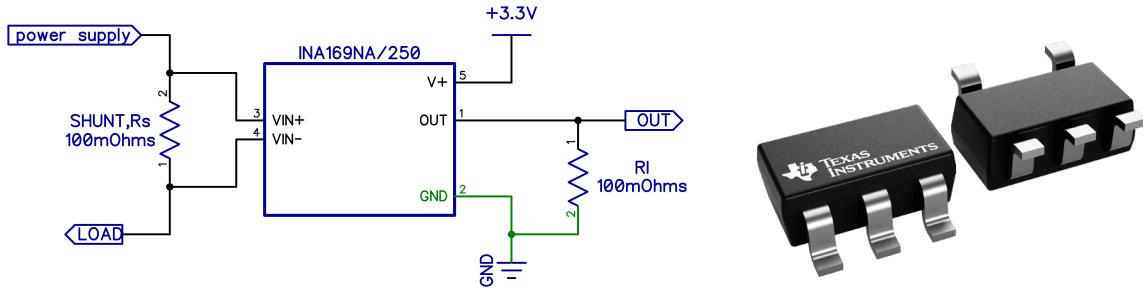
Obr. 2.4: akčný člen

meranie prúdu

Z dôvodu merania prúdu odoberaného motorom, bol do schémy pridaný monitor prúdu, takzvaný "current shunt monitor". V AeroShielde je použitý snímač INA169NA/250 od výrobcu Texas Instruments obr.2.7.b.

INA169 funguje na základe zaznamenávania zmien napäťia na stranách shunt rezistora obr.2.7.a. Na základe nameraného úbytku napäťia, vysiela senzor podľa nami zvoleného stupňa zosilnenia, prúd, ktorý je ďalej pomocou rezistoru R_l premenený na napätie s maximálnou hodnotou $V_{OUTMAX} = V_{IN-} - 0.5V$.

Prúd I_s odoberaný motorom, vypočítame pomocou vzorca $I_s = \frac{V_{OUT} \times 1k\Omega}{R_s \times R_l}$ kde V_{OUT} je napätie namerané na výstupe, $1k\Omega$ je konštanta vnútorných odporov senzoru, R_s je hodnota shunt rezistora v Ω a R_l je hodnota rezistora na výstupe, taktiež v Ω [15].



(a) Schéma zapojenia snímača prúdu.

(b) Senzor INA169NA/250[16]

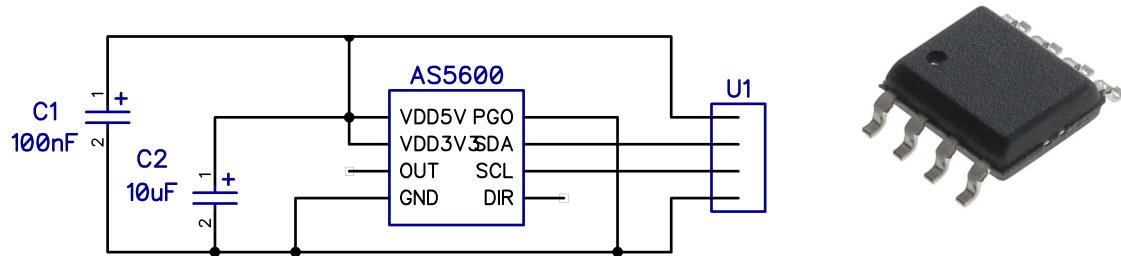
Obr. 2.5: meranie prúdu

meranie uhla kyvadla

Na správne fungovanie AeroShieldu je dôležité vedieť s vysokou presnosťou merať uhol naklonenia kyvadla. Na tento účel sme si zvolili meranie uhlu bezkontaktnou formou, pomocou snímača hall efektu. Hall efekt vieme opísť ako vznik priečného elektrického poľa v pevnom materiáli, keď ním preteká elektrický prúd a tento materiál je umiestnený v magnetickom poli, ktoré je kolmé na prúd[17]. Toto elektrické pole resp. vznik elektrického potenciálu vieme detegovať a na základe jeho zmeny vieme určiť rotáciu kyvadla. V kyvadle je na konci horizontálneho ramena umiestnený špeciálny magnet kruhového tvaru ktorý je polarizovaný naprieč prierezom magnetu.

Ako senzor na meranie hall efektu je použitý AS5600 od výrobcu OSRAM obr.2.6.b. Signály prichádzajúce zo snímača sa najprv zosilnia, následne sú filtrované a prechádzajú konverziou pomocou analógovo-digitálneho prevodníkom (ADC). Snímaná je aj intenzita magnetického poľa, ktorá sa ďalej používa na automatické riadenie zosilnenia(AGC), ktoré slúži na kompenzáciu teploty a veľkosti magnetického poľa.

Na výber sú dva typy výstupu a to analógový výstup alebo digitálny výstup s kódovaním PWM. Senzor má taktiež aj možnosti interného programovania pomocou rozhrania I2C. V našom prípade používame 12-bitový analógový výstup s rozlíšením $0^{\circ}5'16''$. Toto rozlíšenie nám umožňuje s vysokou presnosťou kontrolovať naklonenie kyvadla a na základe získaných informácií ovplyvňovať fungovanie akčného členu sústavy. Schéma zapojenia čipu na meranie uhlu môžeme vidieť na obr.2.6.a.



(a) Schéma zapojenia čipu na meranie uhlu.

(b) čip AS5600[18]

Obr. 2.6: meranie uhla kyvadla

2.1.2 Schéma zapojenia

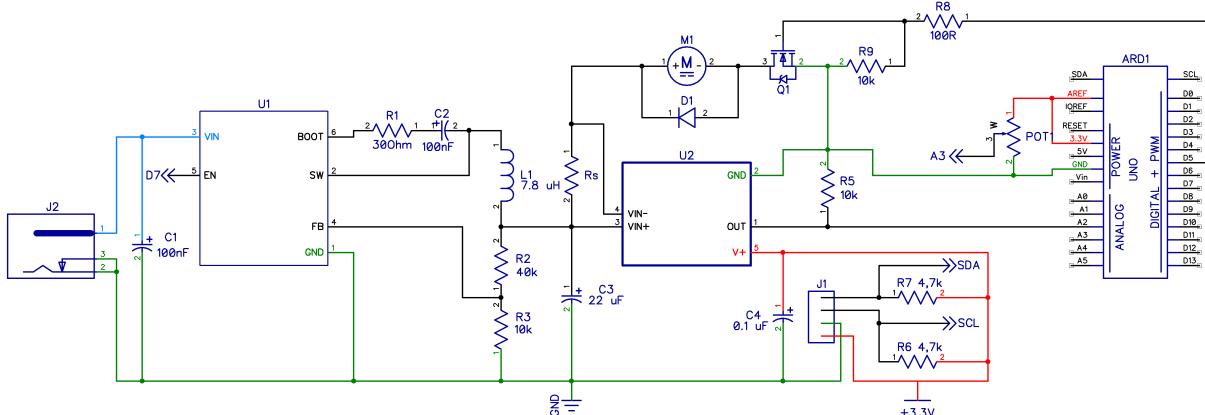
Všetky schémy zapojenia boli tvorené v bezplatnej verzii programu DipTrace. DipTrace slúži ako prostredie na tvorbu elektrotechnických schém, potrebných pre výrobu dosiek plošných spojov, ako aj pre účely prehľadnosti zapojenia komponentov na týchto doskách. Program v sebe zahŕňa časť pre tvorbu samotných komponentov, pokiaľ sa tieto už nenachádzajú v niektornej z knižníc programu, časť kde sa tvoria schémy zapojenia a časť na tvorbu dosiek plošných spojov.

Nie všetky komponenty potrebné na tvorbu AeroShieldu boli zahrnuté v knižniciach DipTracu, avšak tieto komponenty sa nachádzali na stiahnutie na stránkach výrobcov odkiaľ boli importované do novej knižnice, slúžiacej na účely tvorby schémy AeroShieldu. Do programu bola taktiež vložená knižnica AutomationShieldu ktorá má v sebe najčastejšie používané komponenty. Pri tvorbe schémy zapojenia sa najskôr všetky potrebné komponenty umiestnia na štvorčekovú plochu a približne sa určí ich poloha. Jednotlivé komponenty majú podobu elektrotechnických značiek a každý komponent má ku sebe priradené reálne vlastnosti daného dielu (veľkosť, zapojenie, dĺžka pinov a iné).

Polohu volíme takú, aby schéma bola čo najprehľadnejšia a komponenty ktoré sú medzi sebou prepojené, boli čo najbližšie pri sebe. Akonáhle máme všetky komponenty uložené začneme s ich postupným prepájaním. Pri zapájaní jednotlivých komponentov sa riadime katalógovými listami jednotlivých komponentov, v ktorých býva zväčša aj návrh ich zapojenia.

Veľmi dobrú vlastnosťou programu DipTrace je možnosť zafarbovania jednotlivých elektrických spojení, rozličnými farbami a názvami. Tento fakt nám veľmi uľahčuje na prvý pohľad rozoznať napríklad elektrické spojenia zeme- 0V zelená, fázové spojenia- 3,3V červená obr.2.7. Na schéme zapojenia môžeme vidieť všetky komponenty, potrebné na správne fungovanie AeroShieldu. Názvy komponentov sú uvádzané základnými značkami

- R- Rezistor
- U- Mikročip
- M- Motor
- C- Kapacitor
- L- Cievka
- D- Dióda
- J- Konektor



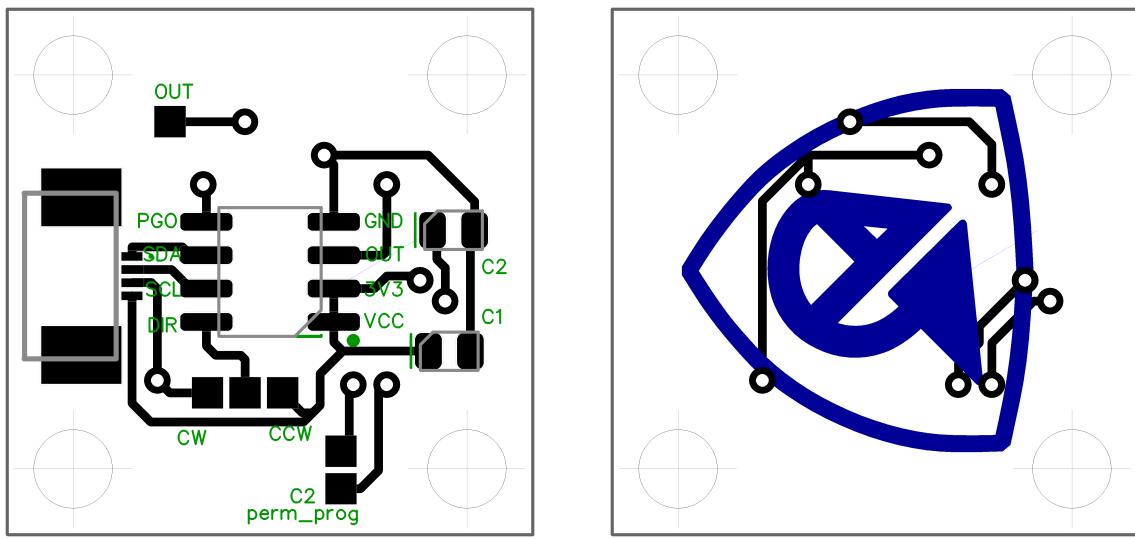
Obr. 2.7: Schéma zapojenia AeroShieldu

2.1.3 Doska plošných spojov

Po návrhu a kontrole schému zapojenia sa schémy ďalej spracovávajú do podoby dosky plošných spojov. Schémy exportujeme do programu DipTrace PCB v ktorom máme následne niekoľko možností postupu. Jednotlivé komponenty sa nám už zobrazujú v reálnej podobe, takže vidíme ich veľkosť a rozmiestnenie pinov na spájkovanie. Dosky plošných spojov majú niekoľko nevýhod, ale aj výhod oproti ponúkaným alternatívam[19].

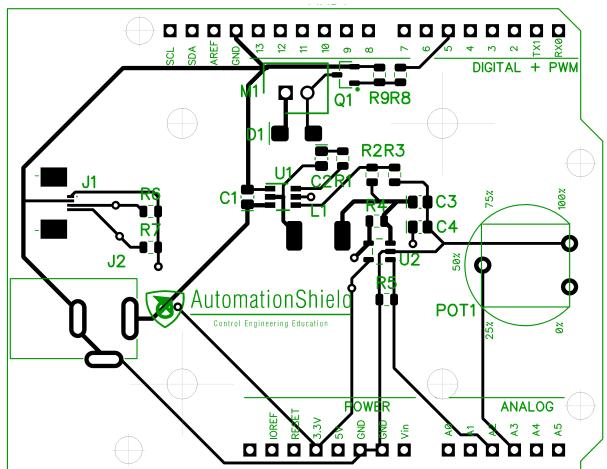
Výhodou je fakt, že vodivé spojenia medzi jednotlivými súčiastkami zapojenia, sú realizované vrstvou medzi ktorá je ukrytá pod ochrannými vrstvami povrchu dosky, na rozdiel od typických kálových spojení. Káble majú niekoľko nedostatkov ako to že sa vedia ľahko vypojiť, ľahko dochádza k ich porušeniu a v neposlednom rade, nepôsobia veľmi esteticky. V prípade nesprávneho prepojenia pinov má jednoznačnú výhodu spoj realizovaný káblami, keďže pri doskách plošných spojov sa s už hotovými cestami manipuluje obtiažne. Ďalšou výhodou dosiek plošných spojov je skutočnosť, že sú veľmi odolné a kompaktné. Tým že vodivé cesty môžu mať veľmi malé rozmer, ovplyvňujúcim faktorom veľkosti dosky plošných spojov je samotná veľkosť jej komponentov.

Po prenesení schém do DipTrace PCB, sú jednotlivé komponenty rozhádzané a nemajú žiadne logické rozloženie. Program ponúka možnosť automatického zoradenia komponentov na vyhradenej ploche, avšak táto funkcia komponenty uložila nie podľa našich potrieb a teda, využili sme možnosť manuálneho umiestnenia jednotlivých komponentov. Pri pohybovaní jednotlivými komponentami môžeme vidieť čiary, ktoré symbolizujú prepojenia s ostatnými komponentami a vďaka tomu vieme komponenty logicky pouklať.

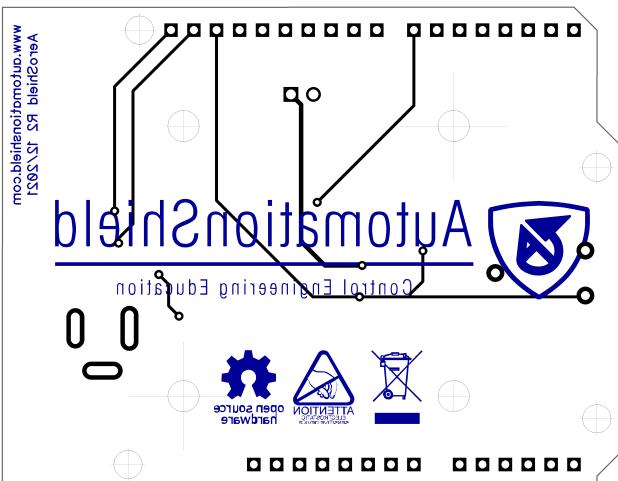


Obr. 2.8: Vedľajšia doska AeroShieldu- breakout board

Po zvolení optimálneho rozmiestnenia komponentov treba jednotlivé piny poprepájať vodivými cestami, ktoré nám nahradzajú funkciu kálov. Máme možnosť zvoliť automatické rozmiestnenie ciest alebo ich manuálnu tvorbu. V našom prípade sme zvolili manuálnu tvorbu ciest, pretože ich vieme čo najlepšie optimalizovať. Ako je viditeľné aj na obr.2.9.a, nie všetky cesty majú rovnakú šírkmu. Je to z toho titulu že niektorými cestami prúdi vyšší prúd a to až do 1A. V zásade sa používa pravidlo, čím vyšší prúd preteká



(a)



(b)

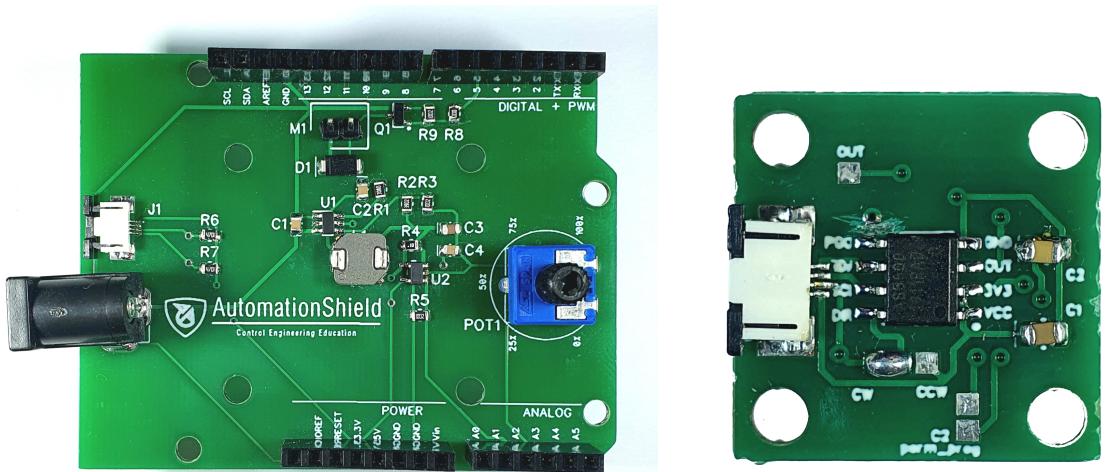
Obr. 2.9: (a) Vrchná strana AeroShieldu (b) Spodná strana AeroShieldu

vodičom, tým väčšiu plochu prierezu by mal mať. Prúdy pretekajúce vodičmi tieto vodiče zahrievajú a pokial je toto zahrievanie nadmerné, môže dôjsť k poškodeniu vodiča.

Tvorba ciest má niekoľko pravidiel, avšak najdôležitejšie z nich je že jednotlivé cesty ktoré v schéme zapojenia nie sú prepojené, sa nemôžu križovať inak dôjde k ich vzájomnému vyskratovaniu. Z toho dôvodu treba niekedy cestu priviesť na druhú stranu dosky plošných spojov kde v jej pokračovaní neprekáža iná cesta. Na tento účel sa používajú vodivé diery, takzvané via, spájajúce obe strany dosky.

Pri výrobe dosky sa taktiež myšlelo na montáž držiaku kyvadla, pre ktoré boli vytvorené 4 diery na jeho následné prichytenie pomocou skrutiek. Finálna verzia hlavnej dosky je na obr.2.9. Zhotovená bola aj menšia doska tzv. breakout board, slúžiaca na meranie uhlu kyvadla, ktorá je na obr.2.8.

Po finálnej kontrole zapojenia komponentov na doske plošných spojov môžeme tieto dosky uložiť do formátu gerber. Súbory typu gerber v sebe ukladajú presné zloženie finálnej dosky plošných spojov a to po jej jednotlivých vrstvách. Nachádza sa tu teda vrstva zobrazujúca vodivé cesty, vrstva pre konektory via, vrstva pre farebné popisy a



(a) Hlavná doska AeroShieldu

(b) Vedľajšia doska AeroShieldu

Obr. 2.10: Dosky plošných spojov AeroShieldu

mnoho ďalších. Pri tvorbe súboru máme veľa možností aké parametre jednotlivých vrstiev chceme zvoliť. Môžeme meniť hrúbky jednotlivých vrstiev, veľkosť dier a priestoru okolo dier, veľkosť konektorov via a iné. Gerber súbor ďalej posielame výrobcovi PCB dosiek kde si môžeme zvoliť ďalšie parametre dosky, ako jej farbu, možnosti spájkovacích doštičiek, dokonca nám môže výrobca poslať už naspájkovanú dosku, ktorá je tak hned pripravená na použitie. Podobu finálnej dosky AeroShieldu môžeme vidieť na obr.2.10.a a dosky breakout boardu na obr.2.10.b.

2.1.4 Model držiaku kyvadla

Tu ešte poviem čo to a designovaní držiaku pendulum

2.2 Software

Programovacie rozhranie pre platformy arduino sa nazýva Arduino IDE⁵ a využíva programovací jazyk C++ resp. jeho podobu, s pridanými špecializovanými príkazmi a funkciami priamo pre arduino IDE. Príkazy sú na prvý pohľad zrozumiteľnejšie ako ich skomplilovaná⁶ podoba v jazyku C++, no funkcie resp. schopnosti príkazu sú rovnaké. Preto je arduino vhodným prostriedkom na programovanie ako pre začiatočníkov, tak aj pre skúsenejších programátorov.

Pri tvorbe programovej časti AeroShieldu je dôležité uvedomiť si fakt že doska vzniká v rámci projektu AutomationShield. Tým že je tento projekt opensource, ktokoľvek môže kód upravovať a vylepšovať, je preto dôležité aby funkcie navádzali používateľov na ich správne použitie a aby boli čo najviac prehľadné. Z tohoto dôvodu bola vytvorená knižnica AutomationShield ktorá v sebe zahŕňa najviac používané funkcie. Predstavme si situáciu kedy v programe ktorý píšeme potrebujeme premenu jednotiek z metrov na centimetre. Pokiaľ takúto funkciu potrebujeme použiť v kóde jeden krát, môžeme túto funkciu napísat priamo do kódu. Avšak pokiaľ túto funkciu využívame častejšie, dáva zmysel uložiť ju mimo kód a následne túto funkciu zavolať naspäť v prípade jej potreby. Sprehľadňuje sa tak vzniknutý kód a znižuje sa možnosť chýb vďaka monotónnym kopírovaniam tej istej funkcie.

Takúto možnosť externých preddefinovaných funkcií prístupných na zavolanie ponúka objektovo orientované programovanie(OOP) v jazyku C++. Zvyčajne sa vytvárajú dva súbory resp. knižnice, z ktorých jedna sa nazýva "headeralebo hlavička s koncovkou .h a druhá, "sourcealebo zdrojový dokument s koncovkou .cpp. Header slúži ako akýsi navádzací a sklad pre premenné a funkcie, ktorý následne komunikuje so source dokumentom v ktorom sú uložené samotné funkcie.

2.2.1 Header

Header súbor má niekoľko náležitostí ktoré obsahuje. Vytvárame v ňom "classälebo triedu ktorá v sebe zahŕňa funkcie a premenné ktoré sa nazývajú objectsälebo objekty. Class teda obsahuje podmnožinu objectov ktoré vieme prepájať a spájať vo väčšie celky, vďaka čomu vieme dosiahnuť veľmi komplexné funkcie. Tieto funkcie a premenné môžu byť buď "public" teda verejné a prístupné aj mimo súbor alebo "privat" teda súkromné ktoré sú prístupné len v knižniciach header a source. Deklarácia takejto triedy vyzerá nasledovne:

```
class AeroShield{                      // Deklaracia triedy
    public :                           // Verejna cast
        void FirstObject();           // Deklaracia funkcie

    private :                          // Sukromna cast
        float FirstVariable;          // Deklaracia premennej
};                                     // Koniec triedy
```

⁵Arduino Integrated Development Environment.

⁶Kompilácia je preklad zdrojového kódu do podoby ktorú vie procesor prečítať a spracovať.

V našom prípade nám postačuje jedna trieda ktorá sa nazýva AeroShield a má v sebe jednu funkciu s názvom FirstObject() v časti public a jednu premennú FirstVariable typu float v časti private. Rozdelenie na public a privat má zmysel hlavne v prípade ak chceme mať zadefinované isté premenné, pri ktorých nechceme aby sa dala externe zmeniť ich hodnota alebo typ. V prípade privat, takáto zmena nie je možná, jediná možnosť ako premennú zmeniť, je jej ručné prepísanie v súbore. V časti private deklarujeme funkcie ktoré následne využívame v rámci triedy a slúžia ako pomocné funkcie pri tvorbe komplexnejších častí kódu. V časti public sú funkcie viditeľné a schopné interagovať s inými triedami ako aj s inými knižnicami.

3 Didaktické príklady

4 Záver

Táto časť diplomovej práce je povinná. Autor práce uvedie zhodnotenie riešenia, jeho výhody resp. nevýhody, použitie výsledkov, ďalšie možnosti a podobne. Môže aj načrtnúť iný spôsob riešenia úloh, resp. uvedie, prečo postupoval uvedeným spôsobom.

Literatúra

- [1] Fanavarjan Sharif. Aero pendulum control system (pr22). Store. Online., 2021. 2021, <https://www.zoodel.com/en/product/ZP22344/Aero-Pendulum-Control-System-PR22>.
- [2] Petr Horáček. Laboratory experiments for control theory courses: A survey. *Annual Reviews in Control*, 24:151–162, 2000.
- [3] Ed Edwards. All about position sensors. article. Online. 2021, <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/all-about-position-sensors>.
- [4] Gergely Takacs. Automationshield. Wiki. Online., 2021. 13.7.2021, <https://github.com/gergelytakacs/AutomationShield/wiki>.
- [5] Gergely Takacs. Automationshield. Code. Online., 2021. 23.12.2021, <https://github.com/gergelytakacs/AutomationShield>.
- [6] Harry Baggen. The javelin stamp. *Elector Electronics*, 1(1):0, 2003.
- [7] Arduino uno rev3. Info. Online., 2021. 2021, <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>.
- [8] Texas instruments tps56339 buck converters. store. Online., 2021. 2021, <https://www.mouser.ee/new/texas-instruments/ti-tps56339-buck-converters/>.
- [9] Arduino. Overview of the arduino uno components. article. Online., 2021. 2021, <https://docs.arduino.cc/tutorials/uno-rev3/intro-to-board>.
- [10] Arduino uno r3 - schematic with ch340. article. Online., 2021. 2021, http://electronoobs.com/eng_arduino_tut31_sch3.php.
- [11] DANIELLE COLLINS. What are coreless dc motors? article. Online., 2018. 09.10.2021, <https://www.motioncontrolltips.com/what-are-coreless-dc-motors/>.
- [12] Komatsu Yasuhiro, Tur-Amgalan Amarsanaa, Yoshihiko Araki, Syed Abdul Kadir Zawawi, and Takamura Keita. Design of the unidirectional current type coreless dc brushless motor for electrical vehicle with low cost and high efficiency. In *SPEEDAM 2010*, pages 1036–1039, 2010.

- [13] Pmv45en2. shop. Online., 2021. 2021, <https://www.nexperia.com/products/mosfets/small-signal-mosfets/PMV45EN2.html>.
 - [14] 7mm diameter 720 coreless motor for quadcopter. shop. Online., 2021. 2021, <https://www.elecrow.com/7mm-diameter-720-coreless-motor-for-quadcopter.html>.
 - [15] SHAWN HYMEL. Ina169 breakout board hookup guide. article. Online., 2021. 2021, <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ina169-breakout-board-hookup-guide/all>.
 - [16] Ina169na/250. store. Online., 2021. 2021, <https://www.ti.com/store/ti/en/product/?p=INA169NA/250>.
 - [17] The Editors of Encyclopaedia Britannica. Hall effect. article. Online., 2021. 2021, <https://www.britannica.com/science/Hall-effect>.
 - [18] Halluv snímač as5600-asom. store. Online., 2021. 2021, <https://sk.rsdelivers.com/product/ams/as5600-asom/halluv-snimap-as5600-asom-pocet-koliku-8-soic-typ/2006337>.
 - [19] Prototyping circuit boards: Everything you need to know before you startc. article. Online., 2020. 2020, <https://www.pcbnet.com/blog/prototyping-circuit-boards-everything-you-need-to-know-before-you-start/>.
- [20]
- [21]
- [22] Technical report.
- [23]