

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

KONSTRUKCE MODELU VZDUCHOVÉ LEVITACE

Martin Svoboda

Bakalářská práce

2022

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin Svoboda**
Osobní číslo: **I19040**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Konstrukce modelu vzduchové levitace**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je návrh a realizace laboratorního modelu systému levitace předmětu v proudu vzduchu. V teoretické části práce bude provedena rešerše zadaného tématu se zaměřením na dostupné technické řešení obdobných systémů. Následně bude proveden podrobný popis vlastního řešení modelu vzduchové levitace. Bude podrobně popsána funkce zvolených akčních členů a použitých senzorů. Řídicí jednotka bude realizována s využitím mikropočítače Atmel, řady ATmega. V praktické části práce bude proveden návrh 3D modelu technického řešení systému vzduchové levitace v 3D CAD software DesignSpark Mechanical. Následná praktická realizace bude provedena ve formě funkčního prototypu. Ovládání polohy levitujícího předmětu bude umožněno v autonomním režimu, přímo vestavěným mikropočítačem řídicí jednotky systému, nebo nadřazeným řídicím systémem – osobním počítačem. Ke komunikaci řídicí jednotky s nadřazeným řídicím systémem bude použito USB komunikační rozhraní. Nadřazený řídicí systém bude umožňovat kompletní diagnostiku a ovládání systému. Součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace zařízení, včetně kompletních zdrojových kódů realizovaného firmware mikropočítače, ovládacího software a přehledně zpracovaného uživatelského návodu.

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

Seznam doporučené literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4
MATOUŠEK, D., Aplikace ATmega644, BEN – technická literatura, 2013, ISBN 978-80-7300-492-7
ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4
MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

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

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

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

LS.

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

V Pardubicích dne 7. ledna 2022

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16.5.2022

Martin Svoboda

Poděkování

Především bych rád poděkoval své rodině za finanční a psychickou podporu v průběhu celého studia. Dále bych poděkoval firmě za vytisknutí mého 3D modelu na 3D tiskárně. A na konec bych vyjádřil vděk panu Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za odborný dohled a rady při vedení mé bakalářské práce.

V Pardubicích dne 16. 05. 2022

Martin Svoboda

ANOTACE

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku vzduchové levitace pingpongového míčku v trubici. Je zhotoven funkční model, který může pracovat ve dvou režimech v autonomním a nadřazeném. V autonomním režimu není potřeba počítač k funkčnosti. Jedná se o to, že potenciometrem je nastavena požadovaná výška míčku a do této výšky je míček vyregulován. Naopak v nadřazeném režimu je potřeba počítač, protože zde výška nastavena ve vytvořené aplikaci a za pomoci regulátoru je do této výšky míček vyregulován.

KLÍČOVÁ SLOVA

ventilátor, ultrazvukový senzor, Vzduchová levitace, regulace

TITLE

CONSTRUCTION OF THE AIR LEVITATION MODEL

ANNOTATION

The bachelor thesis focuses on the issue of air levitation of a ping-pong ball in a tube. A functional model is made that can work in two modes in manual and automatic. In manual mode, you do not need a computer to function. The point is that the potentiometer sets the desired height of the ball and to this height the ball is regulated. On the contrary, in automatic mode we need a computer, because here we set the height in the created application and the controller regulates the ball to this height.

KEYWORDS

Fan, ultrasonic Sensor, air Levitation, regulation

OBSAH

	Seznam zkratek a značek	9
	Seznam symbolů veličin a funkcí	10
	Seznam ilustrací	11
	Seznam tabulek	13
	Úvod	14
1	Rešerše zadaného tématu	15
1.1	Levitace a její druhy	15
1.1.1	Akustická	15
1.1.2	Magnetická	16
1.1.3	Elektromagnetická	17
1.1.4	Aerodynamická	17
1.2	Obdobné systémy	17
2	Senzory vzdálenosti	21
2.1	Infračervený detektor překážek	21
2.2	IR senzory	22
2.3	Ultrazvukové senzory	23
3	Ventilátory	24
3.1	Axiální ventilátory	24
3.2	Radiální ventilátory	24
3.3	Diagonální ventilátory	25
3.4	Diametrální ventilátory	26
4	Arduino	27
4.1	Arduino Uno	27
4.2	Arduino IDE	29
5	Regulace	30
5.1	PID regulátor	31

5.1.1	Nastavování PID regulátoru	31
6	Součásti modelu	33
6.1	Blokové schéma	33
6.2	Akční člen	33
6.2.1	Nastavení čítače/časovače 1	37
6.2.2	Režimy časovače	37
6.2.3	Phase Correct PWM	37
6.2.4	Měření otáček	40
6.3	Součásti konstrukce	43
6.3.1	Senzor vzdálenosti	43
6.3.2	Měření vzdálenosti	44
7	Konstrukční řešení	46
8	Aplikace pro sériovou komunikaci	49
9	Regulace systému	50
9.1	PID regulátor	50
9.1.1	Nastavení konstant PID	53
10	Návrh plošného spoje	55
11	Závěr	56
	Použitá literatura	57
	Přílohy	59

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

Č/Č	čítač/časovač
DC	stejnsměrný (direct current)
GND	uzemnění (ground)
HDMI	rozhraní pro přenos obrazu a zvuku (high definition multi media-media interface)
IDE	vývojové prostředí (integrated development environment)
IR	infračervený (infrared)
PID	proporcionálně, integračně, derivační regulátor
PWM	pulsně šířková modulace (pulse width modulation)
RO	regulační obvod
RPM	otáčky za minutu značka jednotky $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ (revolution per minute)
Rx	pin na Arduino (přijímač) ke komunikaci přes UART (receiver)
SRAM	statická paměť s náhodným přístupem (static random acces memory)
Tx	pin na Arduino (vysílač) ke komunikaci přes UART (transmitter)
UART	sběrnice pro asynchronní přenos dat (universal asynchronous receiver-transmitter)
URO	uzavřený regulační obvod
USB	univerzální sériová sběrnice (universal seriál bus)

SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN A FUNKCÍ

A	jednotka elektrického proudu, A
D	Střída PWM, %
f	frekvence, Hz
$f_{OCnxPCPWM}$	požadovaná frekvence při fázově korektním módu, Hz
$f_{clk_I/O}$	frekvence procesoru, 16 MHz
g	gravitační zrychlení, 9,81
m	hmotnost míčku, g
N	předdělička, 1, 8, 256, 1024
Q	průtok vzduchu, $m^3 \cdot h^{-1}$
r	poloměr míčku, mm
S_m	plocha míčku, m^2
t	čas, s
TOP	hodnota čítače nastavená v ICR1
v	rychlost, $m \cdot s^{-1}$
V	jednotka napětí, V

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 - Akustická levitace (Chant,2012).....	15
Obr. 1.2 – Magnetická levitace dvou magnetů na tyči (Ryska, 2017).....	16
Obr. 1.3 – Elektromagnetická levitace (Hareedran, nedatováno).....	17
Obr. 1.4 – Zásobník modelu (Čermák,2013).....	18
Obr. 1.5 – Model Technická Univerzita v Liberci (Čermák,2013)	18
Obr. 1.6 – Přepážka pro narušení toku vzduchu (Hubálek,2019).....	19
Obr. 1.7 – Model Vysoké Učení Technické v Brně (Hubálek,2019)	19
Obr. 1.8 – Model Univerzita Pardubice (Novák,2016).....	20
Obr. 2.1 – IR detektor	21
Obr. 2.2 – Metoda triangulace	22
Obr. 2.3 – IR senzor (SHARP, 2006)	23
Obr. 2.4 – Ultrazvukový senzor HCSR04 (HADEX nedatováno)	23
Obr. 3.1 – Schéma axiálního ventilátoru (Drkal, 2009).....	24
Obr. 3.2 – Schéma radiálního ventilátoru (Drkal, 2009)	25
Obr. 3.3 – Schéma diagonálního ventilátoru (Drkal, 2009).....	25
Obr. 3.4 – Schéma diametrálního ventilátoru (Drkal, 2009)	26
Obr. 3.5 – Rozdíl mezi axiálním a radiálním ventilátorem (Dočkal, 2018)	26
Obr. 4.1 – Zatím nejvýkonnější Arduino Galileo (Voda, 2017).....	27
Obr. 4.2 – Rozložení pinů a součástek na Arduino Uno (Voda, 2017)	28
Obr. 4.3 – Arduino IDE	29
Obr. 5.1 – Blokové schéma regulace	30
Obr. 5.2 – Blokové schéma ovládání.....	30
Obr. 5.3 – Mez stability a určení T_k (Rozmahel, 2010).....	32
Obr. 6.1 – Blokové schéma.....	33
Obr. 6.2 – Akční člen (SUNNON, 2015)	34
Obr. 6.3 – Schéma zapojení ventilátoru.....	36
Obr. 6.4 – Nastavení časovače na 25kHz a módu PWM(Arduino, 2019).....	38
Obr. 6.5 – Funkce přepisování registru OCR1x	39
Obr. 6.6 – Průběh a frekvence PWM na pinu 9.....	39
Obr. 6.7 – Vytvoření přerušování na pinu 2	40
Obr. 6.8 – Funkce přerušování.....	40
Obr. 6.9 – Výpočet otáček za minutu	41

Obr. 6.10 – Průběh pulzů za otáčku (SUNNON, 2015)	41
Obr. 6.11 – Statická charakteristika nezatíženého ventilátoru.....	41
Obr. 6.12 – Statická charakteristika zatíženého ventilátoru	42
Obr. 6.13 – Míček	43
Obr. 6.14 – Trubice.....	43
Obr. 6.15 – Časový průběh HCSR04 (HADEX, nedatováno).....	44
Obr. 6.16 – Program pro měření vzdálenosti.....	45
Obr. 7.1 – Prototyp modelu	46
Obr. 7.2 – Spodní díl konstrukce	46
Obr. 7.3 – Spodní díl konstrukce zezadu	47
Obr. 7.4 – Vrchní díl konstrukce	47
Obr. 7.5 – Řešení pro uchycení čidla k trubici	48
Obr. 7.6 – Sestavený model.....	48
Obr. 8.1 – Aplikace pro sériovou komunikaci.....	49
Obr. 9.1 – Statická charakteristika soustavy.....	50
Obr. 9.2 – Vytvořený PID regulátor	50
Obr. 9.3 – Řešení nastavování žádané veličiny	51
Obr. 9.4 – Funkce pro spuštění regulace	51
Obr. 9.5 – Funkce knihovny PID	51
Obr. 9.6 – Regulační pochod pouze s proporcionální složkou	53
Obr. 9.7 – Regulační pochod s PID	54
Obr. 10.1 – Schéma zapojení.....	55
Obr. 10.2 – Návrh plošného spoje	55

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1. – Závislost teploty vzduchu na rychlost šíření zvuku.....	23
Tab. 3.1. – Rozložení pinů a součástek na Arduinu Uno.....	28
Tab. 5.1 – Tabulka pro nastavení PID regulátoru (vsb, nedatováno)	32
Tab. 6.1 – Parametry ventilátoru.....	34
Tab. 6.3 – Parametry míčku	43
Tab. 6.2 – Parametry trubice.....	43
Tab. 6.4 – Parametry IR senzoru (SHARP, 2006)	44
Tab. 6.5 – Parametry UZ senzoru (HADEX, nedatováno)	44

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou vytvoření laboratorního modelu vzduchové levitace molitanového míčku v trubici. K tomuto modelu je také vytvořen kompletní řídicí algoritmus pro regulování míčku pomocí PID regulátoru.

Vytvořený reálný model je složen z konstrukce, ve které je umístěna elektronika a komora s ventilátorem, která ústí do difuzoru, na kterém je nasazena trubice, ve které je vznášen míček a navrchu trubice je umístěn senzor pro měření vzdálenosti.

Tento model může sloužit jako pomůcka pro vyučování Automatizace, kde studenti uvidí, jak se chová míček v trubici při různém nastavení konstant PID regulátoru.

1 REŠERŠE ZADANÉHO TÉMATU

1.1 Levitace a její druhy

Pod pojmem levitace si většina lidí představí kouzelníky, kteří se vznášejí ve vzduchu, nebo nechají vznášet nějaký předmět, avšak tento jev není žádné kouzlo, ale jen prosté zákony fyziky. Existuje několik druhů levitace, z nichž každý se používá pro jiné účely, nebo v jiných odvětvích. například akustická, magnetická, aerodynamická, nebo elektromagnetická levitace.

1.1.1 Akustická

Akustická levitace, viz obr. 1.1, je nejnovějším způsobem levitace. Pracuje na principu ultrazvukových vln. Jde o to, že dva zdroje zvuku se stejnou frekvencí i amplitudou jsou umístěny proti sobě, což způsobí tzv. stojaté vlnění (osciluje jen ve svislém směru a nepohybuje se po vodorovném zdá se, že stojí na místě). Pokud jsou vlny postaveny správně a je dán nějaký předmět do správného místa, kde je neměnný tlak, tak předmět bude unášen ve vzduchu. Využití je nalezeno v oblasti biomedicínského inženýrství, nanotechnologie nebo ve vývoji léčiv, kde je potřeba manipulovat s malými objekty bez dotyku (Sandlin,2015).



Obr. 1.1 - Akustická levitace (Chant,2012).

1.1.2 Magnetická

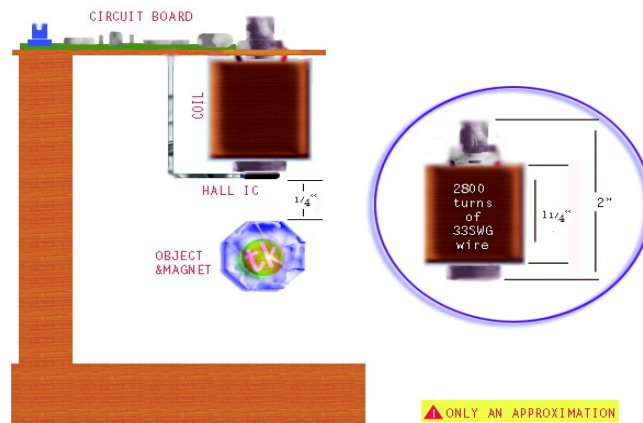
Tento typ levitace se vyskytuje pouze u permanentních magnetů, protože magnet levituje bez pomoci jiné síly nad druhým magnetem. Je zde využíván princip magnetického pole. Dva permanentní magnety umístěny opačnými póly nad sebou jsou navzájem odpuzovány a tím je způsobena levitace vrchního magnetu, avšak jen chvilková, protože vrchní magnet bývá skoro ihned otočen a je přitažen spodním magnetem. Tento typ levitace je velice nestabilní. Za předpokladu, že oba magnety budou umístěny do trubky takového průměru, aby se v ní magnet nebyl schopen přetočit, pak by magnetická levitace byla stabilní. Využívá se například v dopravě, tzv. maglev je vysokorychlostní vlak, který jezdí po magnetických kolejích a zespodu místo kol jsou magnety opačně orientované a tím levituje nad koleji. Jelikož zde není způsobeno žádné tření, rychlost tohoto vlaku dosahuje až 600km/h. Magnetická levitace je na obr. 1.2.



Obr. 1.2 – Magnetická levitace dvou magnetů na tyči (Ryska, 2017)

1.1.3 Elektromagnetická

Pracuje na stejném principu jako magnetická levitace, s tím rozdílem, že při elektromagnetické levitaci je permanentní magnet přitahován elektromagnetem, který je zapínán, nebo vypínán podle toho, v jaké vzdálenosti se nachází přitahovaný magnet, toto je prováděno na tak vysoké frekvenci, že naše oko tento jev nepostřehne a zdá se, že je magnet vznášen (levituje), viz obr. 1.3.



Obr. 1.3 – Elektromagnetická levitace (Hareedran, nedatováno)

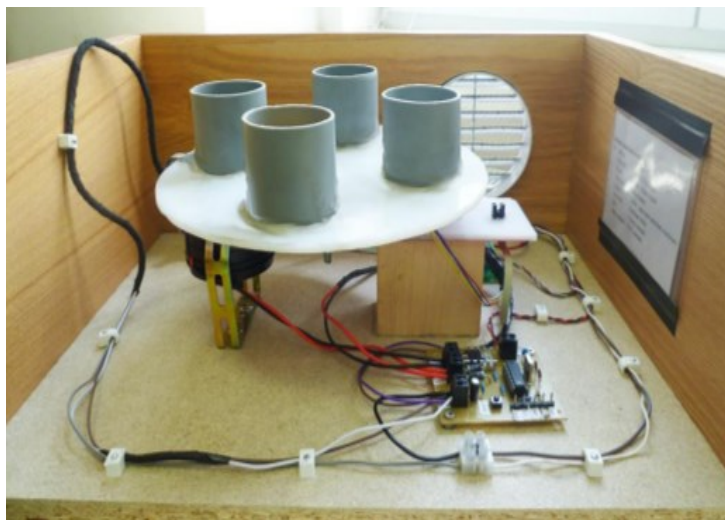
1.1.4 Aerodynamická

Působení na objekt zdrojem vzduchu proti gravitační síle způsobí vznášení tohoto objektu v proudu vzduchu. Na tomto principu je založena aerodynamická (vzduchová) levitace. Využívá se například u skydivingu (adrenalinová atrakce, kde je člověk vznášen ve větrném tunelu).

1.2 Obdobné systémy

Existuje mnoho způsobů, jak může být vytvořen systém vzduchové levitace, ale ve většině těchto modelů by měly být obsaženy tři základní díly konstrukce První z těchto dílů je podstava s vyřešeným nasáváním zdroje vzduchu. Druhý je difuzor, skrz který proudí vzduch ze zdroje. Třetí díl jsou vodící tyče, nebo uzavřená trubice, kde levituje daný objekt. Při hledání byly nalezeny tři obdobné systémy, většinou to jsou témata bakalářských, diplomových, nebo závěrečných prací v České republice. Pokud budou brány v potaz i systémy vzduchové levitace ze zahraničních zdrojů, tak jich je daleko více, ale bylo rozhodnuto pouze pro popis systémů z ČR.

Problematika byla řešena například v diplomové práci na Technické Univerzitě v Liberci (Čermák, 2013). Podle názvu bylo myšleno, že se jedná o model s jedním míčkem, ale práce je realizována s více míčky rozdílné hmotnosti, které jsou automaticky vyměňovány za pomoci zásobníku a mechanismu pro automatickou výměnu míčků, který je zobrazen na obr. 1.4.



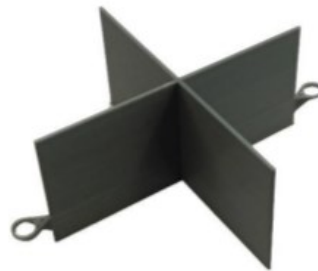
Obr. 1.4 – Zásobník modelu (Čermák,2013)

Míček je regulován až do maximální výšky 50 cm, výška je zde měřena za pomoci optického snímače od firmy SHARP. Jako akční člen je zvoleno dmychadlo, které nadnáší míček do PVC trubky až do požadované výšky. Výsledný model je k vidění na obr. 1.5. Řídicí systém je zajištěn počítačem, který je propojen s modelem přes řídicí kartu od firmy ADVANTECH. Program je vytvořen v prostředí Matlab.



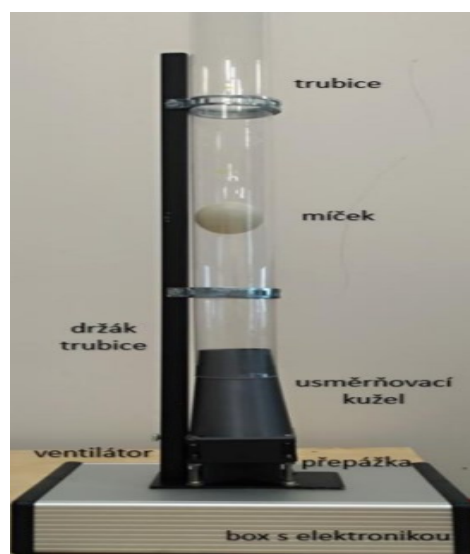
Obr. 1.5 – Model Technická
Univerzita v Liberci (Čermák,2013)

Další, kým byla tato problematika řešena, je (Hubálek,2019) v bakalářské práci s názvem „Regulace polohy míčku pomocí proudění vzduchu s využitím PLC“ na Vysokém učení technickém v Brně. Pro držení celého modelu byla zhotovena hliníková podstava, ve které je také uložena veškerá elektronika. Ventilátor od firmy SUNNON, který dosahuje maximálních otáček okolo 7600 rpm. Tento ventilátor byl zvolen jako zdroj vzduchu. Další část modelu je usměrňovací difuzor, do kterého je umístěna přepážka pro narušení toku vzduchu, která je zobrazena obr. 1.6, kvůli problému s nízkým tahem ventilátoru.



Obr. 1.6 – Přepážka pro narušení toku vzduchu (Hubálek,2019)

Pro určení směru levitace byla vybrána průhledná trubice z materiálu PETG. Pro určování vzdálenosti byl přidán optický senzor od firmy SHARP, který je umístěn nad ventilátorem, nikoli nad trubicí. Jako levitující objekt byl zvolen pingpongový míček o průměru 44 mm. Pro řízení tohoto systému byl používán programovatelný automat PLC od společnosti B&R automation. Celkový model je k vidění na Obr. 1.7.



Obr. 1.7 – Model Vysoké Učení Technické v Brně (Hubálek,2019)

Podobný model byl také sestaven na Univerzitě Pardubice v bakalářské práci (Novák, 2016). K řízení celého modelu byl zvolen mikropočítač od firmy ATMEL třídy ATmega32 a program je realizován v programovém jazyce Bascom. Mezi hlavní části modelu patří axiální ventilátor od firmy SUNNON, ultrazvukový senzor pro měření vzdálenosti. Řízení modelu je realizováno vývojovým kitem EvB 4.3, který je osazen již zmiňovaným procesorem ATmega32. O řízení otáček ventilátoru je postaráno řídicím obvodem K8004 od firmy VELEMAN. K řízení je používána série PWM signálů. V konstrukčním modelu na obr. 1.8 je zobrazena dřevěná základna s mřížkou pro nasávání vzduchu. Na tuto základnu je upevněna průhledná trubice, ve které se vznáší míček a ve spodní části této trubky je umístěn ultrazvukový senzor.



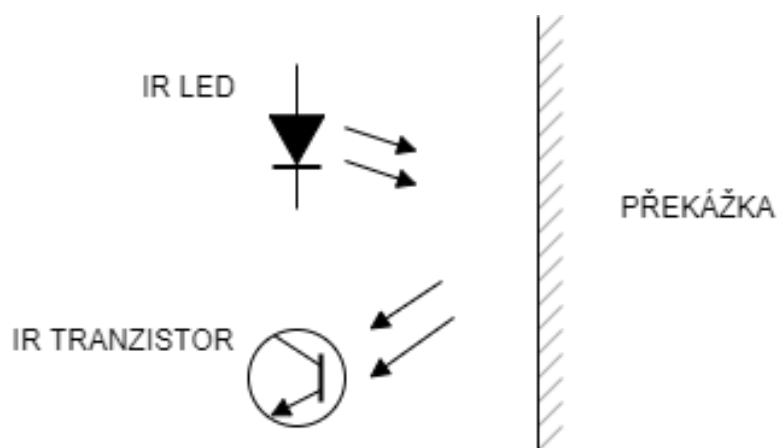
Obr. 1.8 – Model Univerzita
Pardubice (Novák,2016)

2 SENZORY VZDÁLENOSTI

Senzor vzdálenosti je elektronická součástka, pomocí které je měřena vzdálenost od objektu nebo blížící se překážky.

2.1 Infračervený detektor překážek

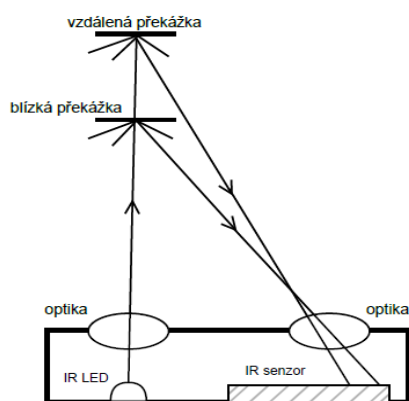
Jak uvádí (Novák, 2007). Využívá se k detekování překážky v blízkém okolí snímače. Slouží pro měření krátkých vzdáleností řádově desítky centimetrů. Využívá se u robotů, u kterých je zapotřebí detekovat překážky na krátké vzdálenosti. Tyto detektory jsou citlivé v oblasti vlnových délek pod viditelným světlem, nejčastěji kolem 880 nm. Princip tohoto snímače spočívá v odrazu infračerveného světla od překážky, které je vyzařováno infračervenou (dále IR) diodou a následně je toto světlo detekováno detektorem. Jako detektor bývá používán fototranzistor citlivý v IR oblasti, nebo IR fotocitlivá dioda. Senzor poskytuje pouze dvouhodnotový signál buď je detekován odražený IR signál, nebo není detekován odražený IR signál, respektive je zde překážka, nebo není zde překážka. Nevýhodou IR senzorů na principu odrazu IR světla je množství odraženého IR světla. Závisí na povrchu a barvě překážky. Proto je v praxi IR fototranzistor doplněn o IR přijímač s integrovaným demodulátorem např: Siemens SFH506, tím je eliminováno rušení okolního světla na IR přijímač. Na obr. 2.1 je IR detektor.



Obr. 2.1 – IR detektor

2.2 IR senzory

Jak je uvedeno v (Novák, 2007), tyto snímače snímají vzdálenost na principu triangulace. Jedná se o to, že na jedné straně senzoru je IR LED dioda a na druhé straně je přítomna IR citlivá dioda s výstupním signálem úměrným dopadu osvětlení. Jako první vyšle IR LED dioda paprsek, který je odražen od překážky a přes čočku je detekován IR citlivou diodou. Vzdálenost závisí na poloze, ve které dopadne paprsek na fotodetektor, viz obr. 2.2.



Obr. 2.2 – Metoda triangulace

Výhodou těchto snímačů je udávaná informace o vzdálenosti k objektu, a nejen pouze zda je překážka v dosahu měření. Nevýhodou je doba měření přes 70 ms a nelinearita změřené vzdálenosti. Existuje několik druhů těchto senzorů, avšak tyto druhy jsou rozlišeny několika vlastnostmi. Nejdůležitější pro výběr senzoru je rozsah měření. Jako další vlastnost, podle které jsou jednotlivé druhy senzorů rozlišeny, je výstupní informace o vzdálenosti, některé jsou udávány v analogové hodnotě napětí (3 vodiče) např: senzor typu GP2Y0A02YK, který má rozsah měření 20 až 150 cm. Jiné snímače (4 vodiče) jako např: GP2D02, který má rozsah od 10 do 80 cm a výstupní informace o vzdálenosti je udávána v číslicové podobě, kdy jsou dvě linky v/v připojeny k mikropočítači a mikropočítač po jedné výstupní lince započne měření a po druhé vstupní lince čte sériově posílaná data o vzdálenosti k objektu. Na obr. 2.3 lze vidět IR senzor.



Obr. 2.3 – IR senzor (SHARP, 2006)

2.3 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory, nebo také sonary, viz obr. 2.4, pracují na principu měření doby mezi vyslaným akustickým signálem a přijetím odraženého akustického signálu (echo). Tyto akustické signály mívají hodnoty většinou nad 40 kHz. Díky relativně nízké rychlosti zvuku ve vzduchu je doba mezi vysláním a příjmem signálu podstatně vyšší než u IR senzorů, a proto dosažení vysoké přesnosti měření není problém. U tohoto typu senzorů je hodně faktorů, které vedou k ovlivnění výsledné vzdálenosti. Jelikož má senzor vysoký rozptyl signálu, úhlová pozice objektu nemůže být detekována. Když bude více senzorů ovládáno najednou, je nutné, aby dva senzory nebyly ovlivňovány sami sebou tzv. křížový odraz. Jedná se o přijímání signálu, který byl vyslán jiným senzorem a tím výsledná vzdálenost nebude správná. Zanedbána nemůže být ani teplota vzduchu, protože ta ovlivňuje rychlost šíření zvuku, viz tab. 2.1 (Novák, 2007).



Obr. 2.4 – Ultrazvukový senzor HCSR04
(HADEX nedatováno)

Tab. 2.1 – Závislost teploty vzduchu na rychlost šíření zvuku

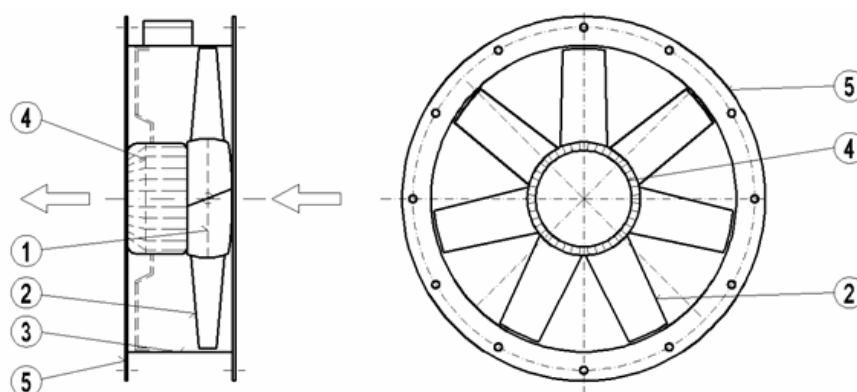
$t = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$	$v = 331 \text{ m/s}$
$t = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$	$v = 343 \text{ m/s}$

3 VENTILÁTORY

Jak je uvedeno v (Chyský, 1993), ventilátor je stroj s rotačními lopatkami, který přijímá mechanickou energii, a ta je dále využívána pomocí jednoho, nebo více oběžných kol, která jsou osazena lopatkami pro nepřetržité proudění vzduchu. Ventilátor je složen z rotoru a statoru a na rotoru jsou umístěny právě již zmiňované rotační lopatky. Existuje několik druhů ventilátorů, které jsou rozlišeny především podle směru proudění vzduchu.

3.1 Axiální ventilátory

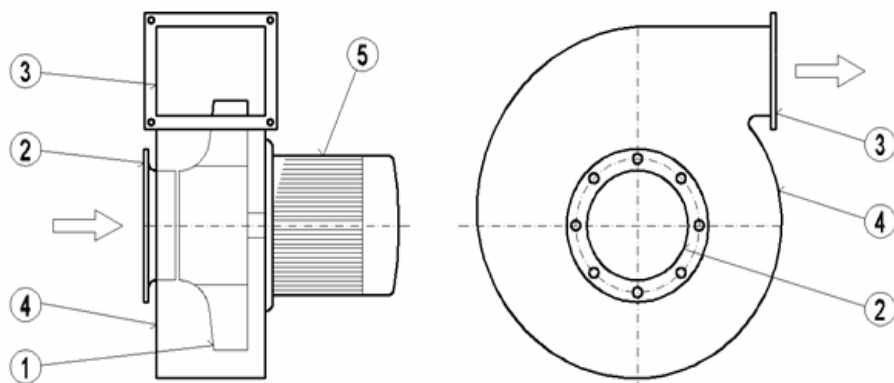
Proud vzduchu u axiálních ventilátorů proudí ve směru podle osy otáčení oběžného kola. Složení tohoto typu ventilátoru lze nalézt na obr. 3.1 (1) rotor (2) oběžné lopatky, (3) plášť, (4) elektromotor a v případě potrubních ventilátorů jsou zde připevněny i (5) příruby. Mezi běžně užívané axiální ventilátory patří pokojové ventilátory, podstropní vrtule, nebo ventilátory využívané k chlazení počítače (Nový, 1997).



Obr. 3.1 – Schéma axiálního ventilátoru (Drkal, 2009)

3.2 Radiální ventilátory

U radiálních ventilátorů se v oběžném kole nachází také lopátkové kanály, díky nimž může ventilátor nasávat vzduch v axiálním směru (směr osy otáčení). Výtlak je zde kolmý k ose otáčení (radiální směr), jak je zobrazeno na obr. 3.2. Kde jsou také označeny hlavní součásti ventilátoru. Tyto ventilátory jsou dále děleny na radiální ventilátory s dozadu zahnutými lopatkami, dopředu zahnutými lopatkami, nebo radiálně zakončenými lopatkami. Toto rozdělení je rozlišeno podle tvaru oběžného kola (Nový, 1997).

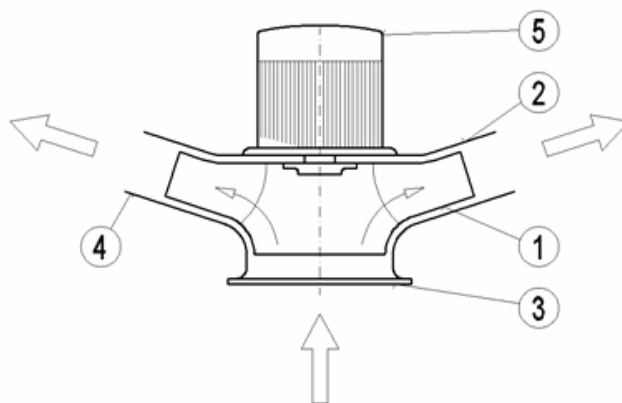


Obr. 3.2 – Schéma radiálního ventilátoru (Drkal, 2009)

(1) Oběžné kolo, (2) sací hrdlo, (3) výtlačné hrdlo, (4) spirální skříň, která se využívá podobně jako difuzor a mění kinetickou energii na tlakovou. (5) Elektromotor.

3.3 Diagonální ventilátory

Tento typ je charakterizován jako ventilátor, který je něco mezi axiálním a radiálním. Vzduch je nasáván v axiálním směru oběžného kola, ale vystupuje z ventilátoru pod takovým úhlem, který je menší než 90° . Hlavní části a schéma tohoto typu jsou na obr. 3.3 (Nový, 1997).

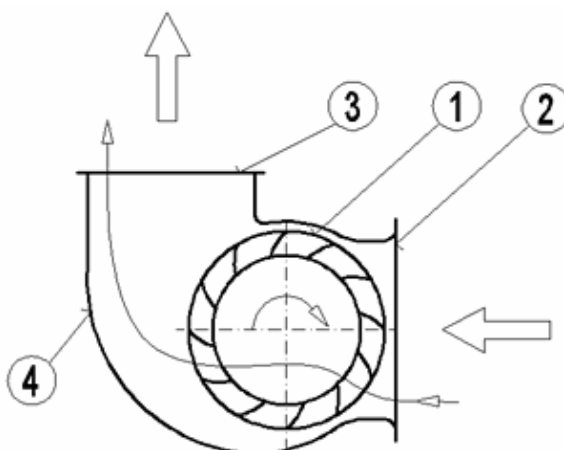


Obr. 3.3 – Schéma diagonálního ventilátoru (Drkal, 2009)

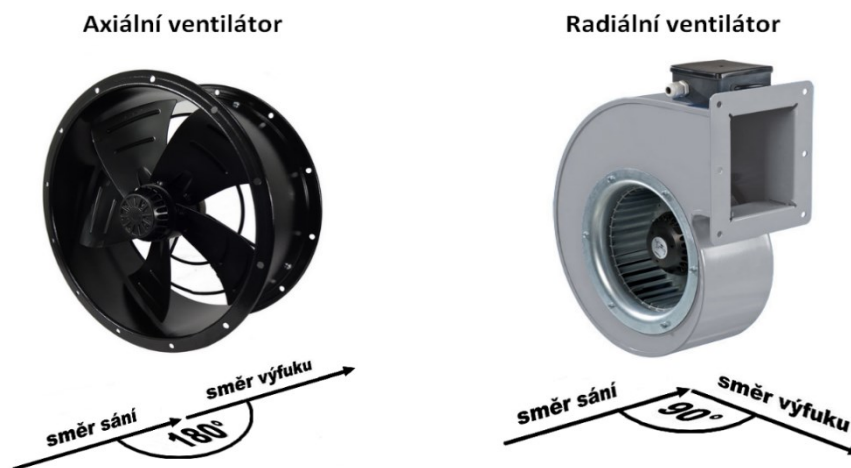
(1) Oběžné kolo, (2) skříň ventilátoru, (3) sací hrdlo, (4) výtlačné hrdlo, (5) elektromotor.

3.4 Diametrální ventilátory

Tyto ventilátory jsou používány tam, kde je zapotřebí nasávat vzduch v širokém podélném rozměru. Schéma a hlavní součásti tohoto typu ventilátoru jsou na obr. 3.4. Ventilátor nasává vzduch skrze vnější obvod oběžného kola (1), které je umístěno v sacím hrdle (2). Vzduch vstupuje rovněž oběžným kolem a vystupuje na venkovním obvodu, odkud je vyfukován do výtlačného hrdla (3). Šířka oběžného kola bývá 1 až 5násobek vnějšího průměru oběžného kola (Nový, 1997). Na obr. 3.5 je zobrazen rozdíl mezi axiálním a radiálním ventilátorem.



Obr. 3.4 – Schéma diametrálního ventilátoru (Drkal, 2009)



Obr. 3.5 – Rozdíl mezi axiálním a radiálním ventilátorem (Dočkal, 2018)

4 ARDUINO

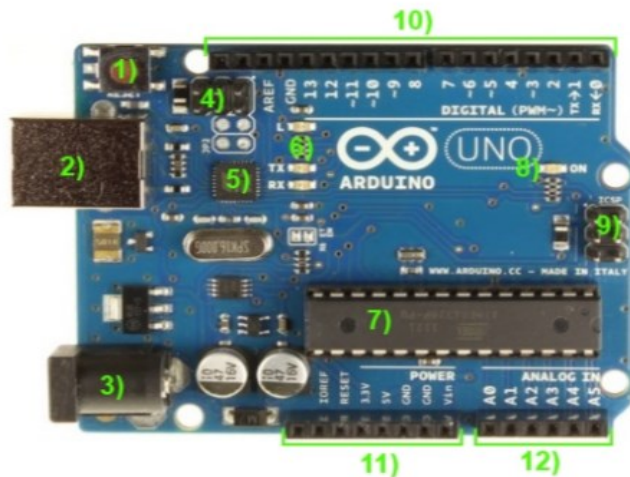
Jak uvádí (Voda, 2017), Arduino je vývojová platforma, která je ve světě velmi rozšířená. Existují různé typy desek této platformy od malých méně výkonných modelů až po rozsáhlé soustavy obsahující USB, HDMI, Ethernet či audio porty. Hlavní částí, neboli mozkiem každého Arduina, je mikropočítač od firmy Atmel. Všechny desky mají stejné grafické zpracování, kde převažuje modrá barva. Na oficiálních stránkách Arduina i v e-shopech se vyskytují platformy, které za svým názvem mají napsáno R3 nebo Rev3, jedná se o označení dané verze, avšak nejde o nějaké velké změny či úpravy. Na většině desek je kromě čipu i převodník, který umožňuje sériovou komunikaci přes USB mezi PC a čipem. Ne však všechny desky mají tento převodník, větší a výkonnější desky, viz obr. 4.1 mají většinou tento převodník zabudovaný už uvnitř čipu a ty méně výkonné desky ho nemají kvůli úspoře místa na desce. Pro komunikaci je nutné použít externí programátor.



Obr. 4.1 – Zatím nejvýkonnější Arduino Galileo (Voda, 2017)

4.1 Arduino Uno

Nejvíce používaný model Arduina je Uno. Na desce lze nalézt procesor ATmega328P s frekvencí až 16 MHz, který obsahuje 32 kB paměti flash (paměť pro program), 2 kB SRAM (datová paměť), 1 kB EEPROM (neumožňuje přímý přístup, pracuje se s ní jako s periferií). Procesor dále obsahuje dva 8bitové čítače/časovače, jeden 16bitový čítač/časovač, USART (sériové rozhraní) s volitelnou možností přenosové rychlosti, analogový komparátor se škálovatelným referenčním vstupem. Deska je také vybavena 14 digitálními vstupně/výstupními piny pro komunikaci s okolím. Z toho pomocí šesti těchto pinů je generován PWM signál, a 6 analogových vstupních pinů viz obr. 4.2 a Tab. 3.1 (Arduino, 2022).



Obr. 4.2 – Rozložení pinů a součástek na Arduino Uno (Voda, 2017)

Tab. 4.1 – Rozložení pinů a součástek na Arduino Uno

Označení na obrázku (číslo)	Součástka/pin
1	Tlačítko RESET používá se pro spuštění programu od začátku
2	USB konektor typu B (napájení a připojení k PC)
3	Napájecí konektor využívá se, když nenapájíme Arduino z USB
4	ICSP hlavice pro externí programování USB-seriál převodníku
5	USB-seriál převodník (stará se o komunikaci mezi PC a procesorem)
6	Indikační LED diody L, Rx, Tx. L je připojena k výstupnímu pinu 13 a proto se může využívat jako klasická LED dioda. Rx a Tx blikají, pokud probíhá sériová komunikace
7	Procesor desky (ATmega328P)
8	Indikační LED dioda ON svítí, když je připojené napájení.
9	ICSP hlavice pro programování hlavního čipu.
10	Digitální vstupně/výstupní piny (piny označené vlnovkou podporují PWM)
11	Převážně napájecí výstupy
12	Analogové vstupy

4.2 Arduino IDE

Arduino IDE je vývojové prostředí Arduina. Soubor pro stažení je na oficiálních stránkách Arduina, kde je vybrána verze a operační systém a následně stažena a nainstalována. Na obr. 4.3 je vývojové prostředí IDE.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. At the top, it displays 'sketch_apr11a | Arduino 1.8.17 Hourly Build 2021/09/06 02:33'. Below this is a menu bar with 'Soubor', 'Úpravy', 'Projekt', 'Nástroje', and 'Nápověda'. A toolbar contains icons for a checkmark, a right arrow, a document, an upload arrow, and a download arrow. The main editor area shows the code for 'sketch_apr11a' with the following content:

```
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
  
}  
  
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  
}
```

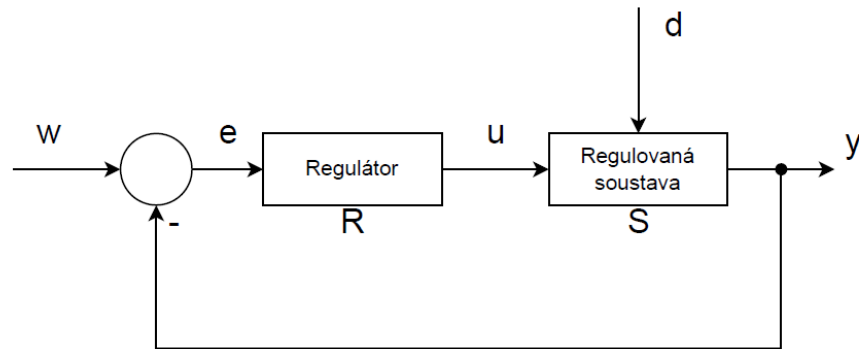
Obr. 4.3 – Arduino IDE

Prozatím bude popsána jen rozbalovací nabídka nástroje v prvním řádku na panelu s navigačními prvky, ve které se nachází nastavení pro připojení a programování desky. Ve druhém řádku je několik ikon. První ikona zleva je ikona pro kompilaci programu, pokud je program bez chyby, pomocí druhé ikony lze bezpečně nahrát program do Arduina, ikona s přeloženou stránkou otevře nový soubor, ikona se šipkou nahoru otevře již uložený soubor a ikona se šipkou nahoru uloží aktuálně otevřený soubor. Na tomto řádku se také nachází úplně vpravo ikona s lupou, která otevře serial monitor.

Do funkce `void setup()` viz obr. 3.8. je psán kód, který se provede pouze jednou na začátku programu a do funkce `void loop()`, jak již vyplývá z názvu (smyčka), je psán kód, který je prováděn stále dokola až do odpojení napájení (Voda, 2017).

5 REGULACE

Řízení je proces, kdy je automaticky udržována regulovaná veličina na požadované hodnotě, nebo referenční hodnotě. Řízení se dále dělí na regulaci, viz obr. 5.1, a ovládání.



Obr. 5.1 – Blokové schéma regulace

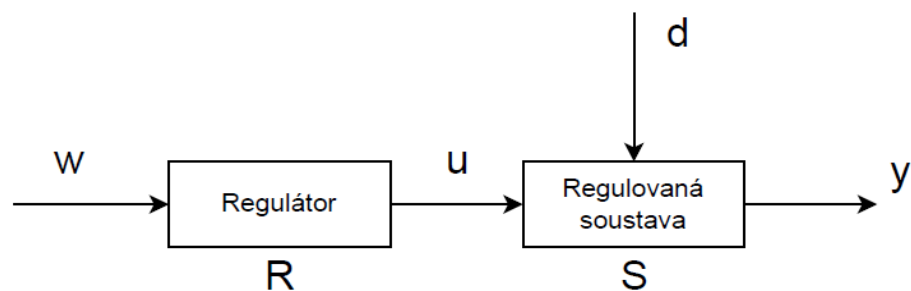
w – žádaná veličina, e – regulační odchylka, u – akční veličina, d – poruchová veličina, y – regulovaná veličina, R – regulátor, S – regulovaná soustava.

Regulátor pracuje na základě regulační odchylky, což je rozdíl mezi žádanou a regulovanou veličinou. Nastaví akční veličinu tak, aby bylo dosaženo cíle regulace. Cíle regulace jsou

$$w = y, \quad (5.1)$$

$$e = 0. \quad (5.2)$$

Jak je vidět na obr. 5.2, ovládání je regulace bez zpětné vazby, která udává informace o stavu regulované soustavy, díky čemuž je umožněno, aby daný systém byl kontrolován.



Obr. 5.2 – Blokové schéma ovládání

5.1 PID regulátor

Řadí se mezi spojité regulátory a je složen z proporcionální, integrační a derivační složky. Proporcionální složka je prosté zesílení regulátoru akční zásah regulátoru je úměrný regulační odchylce, ale vzniká zde trvalá regulační odchylka k odstranění této odchylky se přidává integrační složka.

$$u(t) = K_p \times e(t) \quad (5.3)$$

Integrační složka – akční zásah je úměrný době po kterou existuje regulační odchylka

$$u(t) = \frac{1}{T_I} \times \int_0^t e(\tau) d\tau. \quad (5.4)$$

Derivační složka – výstup regulátoru je úměrný rychlosti změny regulační odchylky

$$u(t) = T_D \times \frac{de(t)}{dt}. \quad (5.5)$$

Činnost PID regulátoru lze tedy popsat

$$u(t) = r_0 \times \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \times \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \times \frac{de(t)}{dt} \right]. \quad (5.6)$$

Kde $u(t)$ je akční veličina (výstup z regulátoru).

r_0 je zesílení regulátoru.

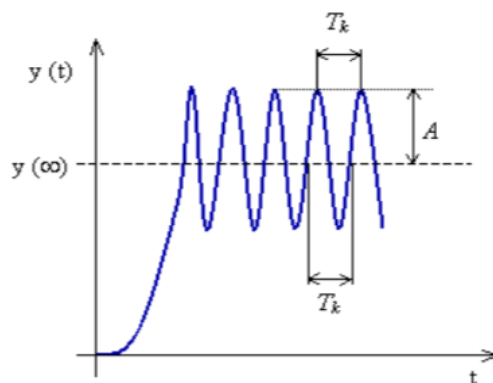
$e(t)$ je regulační odchylka

T_I je integrační časová konstanta

T_D je derivační časová konstanta

5.1.1 Nastavování PID regulátoru

Existuje několik metod pro nastavení PID regulátoru, tak zde bude popsána pouze jedna. Například Ziegler Nicholsova metoda kritických parametrů (metoda URO), vychází ze skutečné soustavy, kdy integrační a derivační složka, je vynulována a zvyšováním zesílení K_r , resp. r_0 , je rozkmitána soustava na tzv. mez stability (začne kmitat s konstantní amplitudou), viz obr. 5.3 (Balátě, 2004.)



Obr. 5.3 – Mez stability a určení T_k (Rozmahel, 2010)

Zesílení regulátoru, při kterém došlo k rozkmitání soustavy s konstantní amplitudou, se nazývá k_{pk} , resp. r_{0k} . Perioda kmitů tzv. perioda kritických kmitů T_k , je určena z charakteristiky, viz obr. 5.4.

Tyto kritické parametry jsou dosazeny do vzorců v tab. 5.1 a podle typu regulátoru je dopočítáno doporučené nastavení.

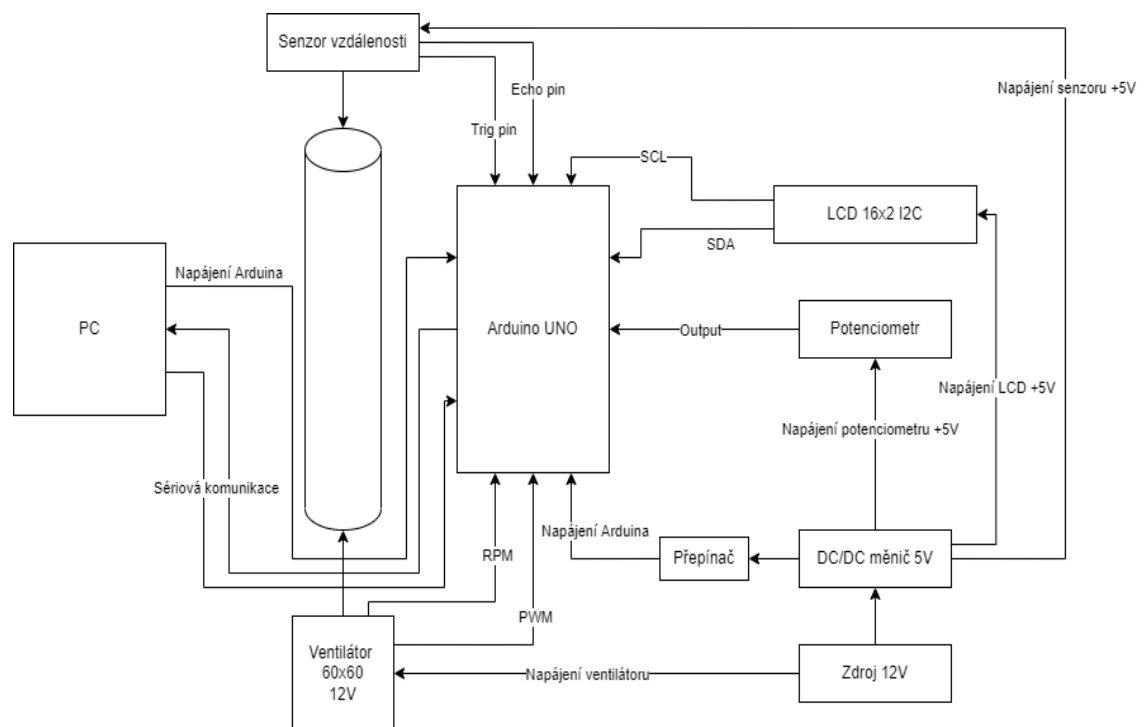
Tab. 5.1 – Tabulka pro nastavení PID regulátoru (Rozmahel, 2010)

Typ regulátoru	k_{pk}	T_I	T_D
P	$0,5 k_{pk}$	-	-
PI	$0,45 k_{pk}$	$0,85 T_k$	-
PD	$0,6 k_{pk}$	-	$0,06 T_k$
PID	$0,6 k_{pk}$	$0,5 T_k$	$0,12 T_k$

6 SOUČÁSTI MODELU

Podle blokového schématu na obr. 6.1 bude dále popisováno vlastní řešení systému vzduchové levitace. Jak je postupováno při řešení problému, proč je vybrána daná komponenta a jaké jsou její parametry.

6.1 Blokové schéma



Obr. 6.1 – Blokové schéma

6.2 Akční člen

Jako akční člen je zvolen axiální 4 pinový DC bezkartáčový ventilátor model PF60381B1-00U-S99 od firmy SUNNON, který je k vidění na obr. 6.2. Jehož parametry jsou zobrazeny v tab. 6.1 (SUNNON, 2015).



Obr. 6.2 – Akční člen (SUNNON, 2015)

Tab. 6.1 – Parametry ventilátoru

Rozměry	60X60X38 mm
Jmenovité napětí	12 VDC
Jmenovitý proud	1200 mA / Max. 1380 mA
Otáčky	13200 RPM ± 10 %
Průtok vzduchu	102,96 m ³ /h

Tento ventilátor je zvolen podle rozměrů, aby bylo ušetřeno na materiálu při konstrukční realizaci a také podle průtoku vzduchu, který je spočítán pro ideální podmínky bez žádných ztrát a tento výsledek je patřičně naddimenzován, protože model není ideální a nemá ideální podmínky. Výpočet vychází z Bernouliho rovnice a zákona zachování energie.

$$\frac{1}{2} \times m \times v^2 + p + \rho \times g \times h = konst, \quad (6.1)$$

Kde m je hmotnost míčku, kg

v je rychlost, m*s⁻¹

p je tlak, Pa

ρ je hustota média, kg*m⁻³

g je gravitační zrychlení, bezrozměrová veličina

h je výška, cm

Jelikož je uvažován tlak stejný ve všech místech trubice, tak s ním dále není počítáno.

$$\frac{1}{2} \times m \times v^2 + \rho \times g \times h = konst, \quad (6.2)$$

Dále se musí brát v úvahu, jaké těleso bude vznášeno v trubici a jelikož je to kulatý míček, tak pro výpočet je zvolen vzorec pro plochu koule.

$$S_m = \pi \times r^2, \quad (6.3)$$

Kde S_m je plocha koule, m^2

Protože kinetická energie je rovna potenciální energii, což znamená, že když se míček v trubici vznáší musí se stejně tak změnit i jeho poloha, kde se nachází.

$$\frac{1}{2} \times m \times v^2 = m \times g \times h, \quad (6.4)$$

Pro výpočet rychlosti je použit tzv. Torricelliho vzorec, což je vzorec pro výpočet rychlosti vytékající kapaliny

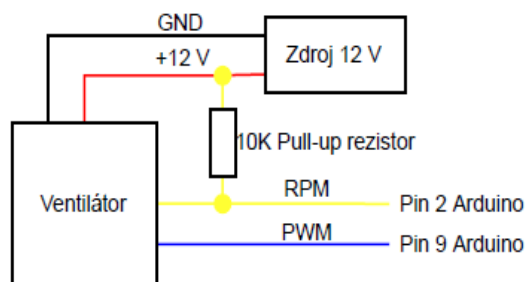
$$v = \sqrt{2 \times g \times h}, \quad (6.5)$$

A výsledný vzorec pro výpočet průtoku vzduchu, který je potřeba k vyzvednutí míčku do maximální výšky je

$$Q = S_m \times v. \quad (6.6)$$

Kde Q je průtok vzduchu, m^3/h

Jak už bylo uvedeno, byl vybrán byl 4 pinový ventilátor, což znamená, že má 4 vodiče na připojení. Červený je +12 V, černý je připojován na GND, modrý je PWM a žlutý je vodič na měření otáček, který musí být připojen přes pull-up rezistor, viz (SUNNON, 2015). Schéma zapojení je na obr. 6.3.



Obr. 6.3 – Schéma zapojení ventilátoru

Při prvotním zkoušení ventilátoru, kdy se zkoušelo ovládat jej pouze pomocí potenciometru, bylo zjištěno, že ventilátor se nedá ovládat při nízkých otáčkách, nýbrž bylo používáno k ovládání pouze PWM o frekvenci 490 Hz (příkaz `analogRead()`). Tento ventilátor podle datasheetu viz (SUNNON, 2015), potřebuje PWM o frekvenci 25 kHz Pro nastavení této frekvence na některý z pinů je nutno, aby byl přenastaven některý z čítačů/časovačů Arduina. Vybrán je čítač/časovač 1, protože ovládá piny 9 a 10 a také proto, že č/č 0 určuje čas v systému funkce `delay()` a `millis()`. Výběr tohoto č/č by mělo za následek nastavení odlišné frekvence pro přerušování, a tím by byl způsoben špatný chod programu.

6.2.1 Nastavení čítače/časovače 1

Řídící registry č/č TCCR1A a TCCR1B mají funkce nastavení výběru zdroje hodinového signálu (bit CS12:0). Režim, ve kterém bude č/č pracovat (bit WGM13:2). Šestnáctibitovým registrem TCNT1 je určen stav časovače. Registry OCR1x jsou registry komparátorů, které jsou porovnávány s registrem TCNT1 a když jsou si tyto hodnoty rovny, může nastat nějaká událost, například změna hodnoty výstupů pinů OC1x, které jsou k nalezení v registru OCR1x. ICR1 je šestnáctibitový registr záchytné jednotky, která omezuje registr TCNT1 shora (ATMEL, 2003).

6.2.2 Režimy časovače

Normální – TCNT1 čítá vzestupně a po dosažení max hodnoty je přetočen zpět na 0.

CTC (Clear Time on Compare Match) – TCNT1 je vynulován po dosažení hodnoty ICR1.

Fast pulse width modulation.

Phase Correct pulse width modulation.

Phase and Frequency Correct pulse width modulation (ATMEL, 2003).

6.2.3 Phase Correct PWM

Fázově správné PWM je běžně používáno pro řízení otáčení motorů, a proto je zvolen tento mód časovače.

Tento mód je založen na dvojitým sklonu, což znamená, že časovač čítá od BOTTOM do TOP (od 0 do ICR1) a poté od TOP do BOTTOM (od ICR1 do 0). Může se tak dít ve dvou režimech, v neinvertujícím, kdy je výstupní signál OC1x při porovnávání shody mezi TCNT1 a OCR1x, při počítání nahoru vymazán a při počítání dolů nastaven (log 0 a 1) a v režimu invertujícím je tato operace invertována (ATMEL, 2003).

Pro nastavení požadované frekvence, kterou nastavuje hodnota TOP, což je hodnota nastavená v ICR1, je používán vztah

$$f_{OCnxPCPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \times N \times TOP} \quad (6.7)$$

Kde $f_{OCnxPCPWM}$ je požadovaná frekvence, kHz

$F_{clk_I/O}$ je frekvence procesoru, MHz

N je předdělička, bezrozměrová

TOP je hodnota nastavená v ICR1, bezrozměrová

Pro výpočet ICR1 lze vytknout z rovnice (5.6) hodnotu TOP

$$TOP = \frac{f_{clk_{I/O}}}{2 \times N \times f_{OCnxPCPWM}} \quad (6.8)$$

Poté je vypočítána rovnice (6.7). Předdělička hodinového signálu je nastavena na 1, aby bylo co nejvíce hodnot pro nastavení PWM signálu (ATMEL, 2003)

$$TOP = \frac{16000000}{2 \times 1 \times 25000} = 320. \quad (6.9)$$

Na obr. 6.4 je zobrazen program pro nastavení časovače 1 na 25 kHz, který byl převzat z (Arduino, 2019). `_BV` jen pro upřesnění je bit value, zapsáno také jako známější způsob

$$TCCR1B = (1 \ll WGM13). \quad (6.10)$$

```
void setup() {  
  
    // Timer1 nastavení pro 25KHz  
    TCCR1A = 0;  
    TCCR1B = 0;  
    TCNT1 = 0; // reset timer  
    TCCR1A = _BV(COM1A1) // neinvertující režim na kanál A  
            | _BV(COM1B1) // stejné na B  
            | _BV(WGM11); // Ph. Correct PWM  
    TCCR1B = _BV(WGM13)  
            | _BV(CS10); // předdělička = 1  
    ICR1 = 320; // TOP = 320  
}
```

Obr. 6.4 – Nastavení časovače na 25kHz a módu PWM (Arduino, 2019)

Registry časovače jsou nastaveny, a tedy hodnotou v ICR1 je nastavena střída PWM signálu, která je od 0 do 320 a to odpovídá střídě 0 až 100 %. Dále je vytvořena funkce, která bude přepisovat registr OCR1x. Tato funkce je zobrazena na obr. 6.5.

```

void analogWrite25k(int pin, int value)
{
  switch (pin)
  {
    case 9:
      OCR1A = value;
      break;

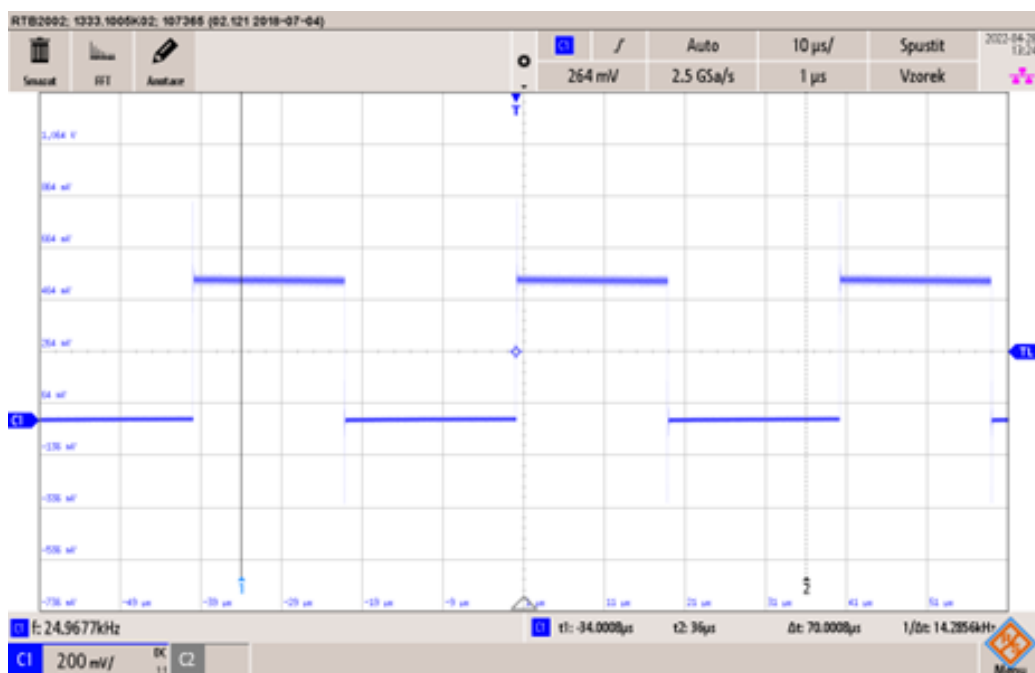
    case 10:
      OCR1B = value;
      break;

    default:
      break;
  }
}

```

Obr. 6.5 – Funkce přepisování registru OCR1x

Po nahrání programu pro nastavení PWM o frekvenci 25 kHz je na pinu 9 připojena sonda osciloskopu. Průběh a frekvence PWM kvůli ověření správnosti nastavení časovače je na obr. 6.6.



Obr. 6.6 – Průběh a frekvence PWM na pinu 9

6.2.4 Měření otáček

Otáčky neboli RPM jsou měřeny za pomoci interního Hallova senzoru, který je zabudován uvnitř ventilátoru. Hallův senzor je používán pro měření magnetického pole. U ventilátoru je toho docíleno tak, že má na svém oběžném kole magnety, jejichž magnetické pole je snímáno Hallovým senzorem a výstup tohoto senzoru je již zmiňovaný žlutý vodič ventilátoru, který musí být připojen podle obr. 5.3 přes 10 k Ω pull-up rezistor na 2 pin Arduina, protože na tomto pinu je generováno přerušení.

Programové řešení pro měření otáček je vytvořeno tak, že když Hallův senzor detekuje magnetické pole, tak je vyvoláno přerušení na pinu, kde je připojen žlutý vodič od ventilátoru pomocí funkce `attachInterrupt`, viz obr. 6.7.

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), RPM_fun, RISING);
```

Obr. 6.7 – Vytvoření přerušení na pinu 2

Při každém přerušení je „spuštěna“ funkce `RPM_fun`, viz obr. 6.8, která pouze přičítá proměnou `count`.

```
void RPM_fun() {  
    count++;  
}
```

Obr. 6.8 – Funkce přerušení

Na obr. 6.9 je zobrazen přepočítání na výsledné otáčky za minutu, kde na začátku je načten do proměnné `start_Time` aktuální čas pomocí funkce `millis()` a proměnná `count` je nastavena na 0, pak přichází na řadu cyklus, který říká „dále“, dokud je rozdíl aktuálního času a času na začátku menší, nebo roven 1000 (1 sekunda), sekunda je zvolena kvůli počítání počtu pulzů za vteřinu. Ve vnitřku cyklu je výpočet samotných otáček za minutu (RPM).


```

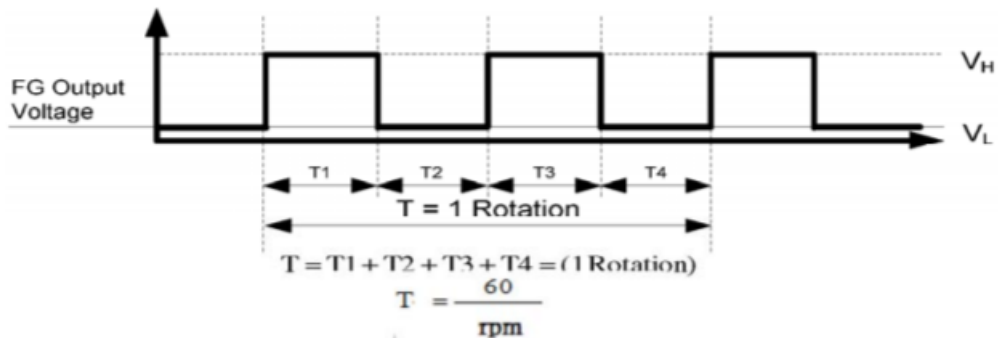
start_Time = millis();
count = 0;
while((millis() - start_Time) <= 1000) {

RPM = (count*60)/4;

```

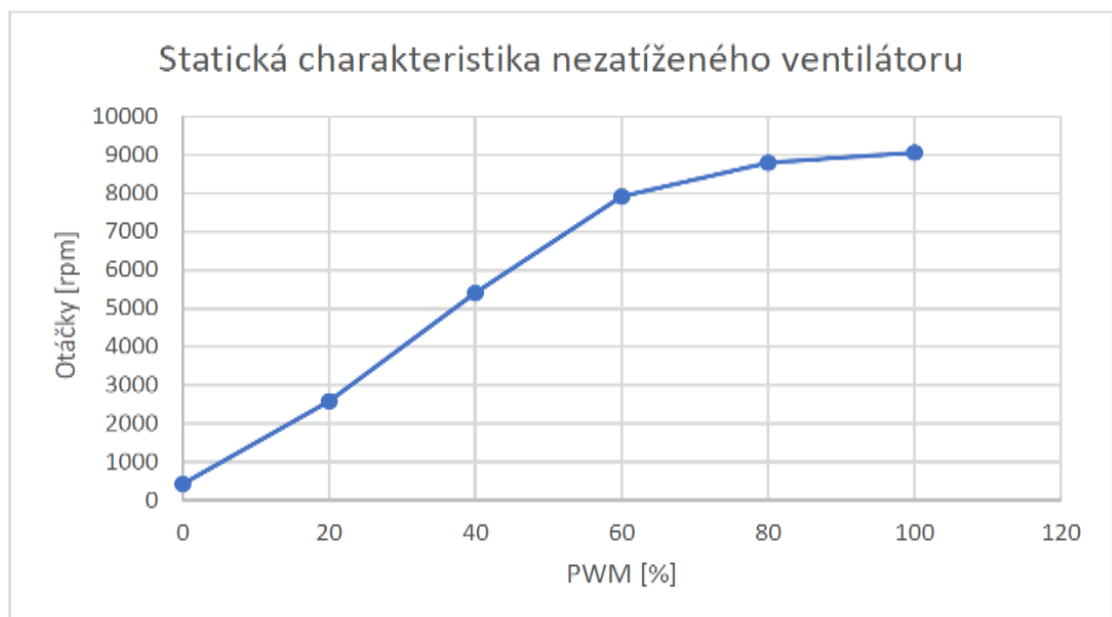
Obr. 6.9 – Výpočet otáček za minutu

Násobení šedesáti je zde kvůli zjištění, kolik pulzů je snímáno za minutu a děleno 4, protože ventilátor dá 4 pulzy za otáčku, viz obr. 6.10.

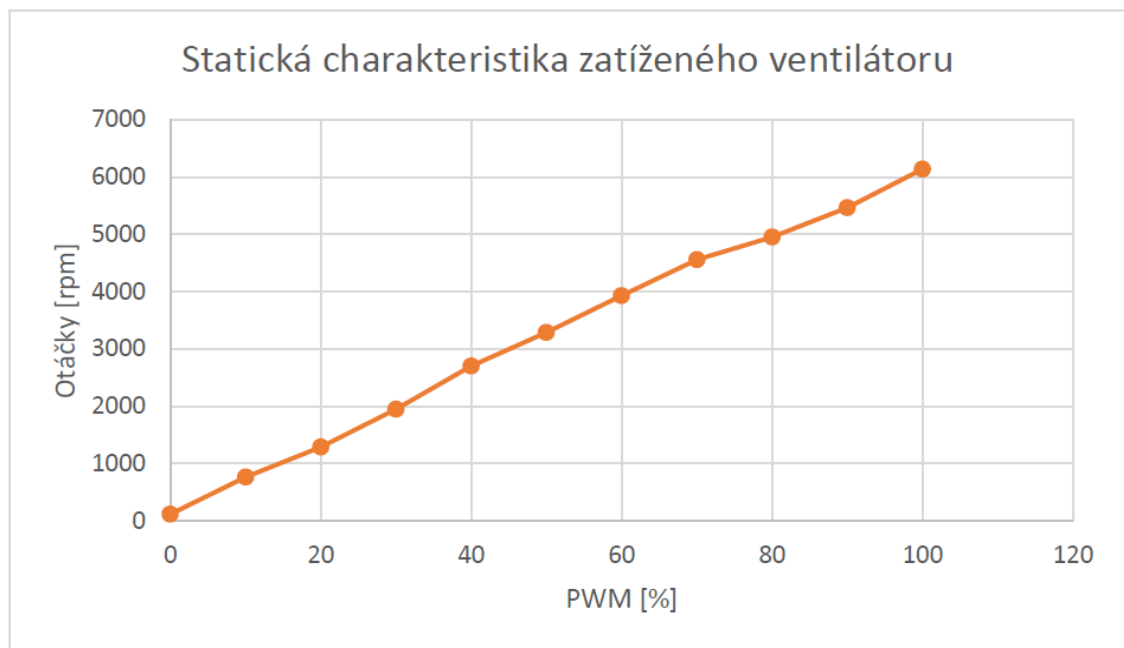


Obr. 6.10 – Průběh pulzů za otáčku (SUNNON, 2015)

Ovládání otáček i jejich snímání je hotové, a proto je možno změřit statickou charakteristiku ventilátoru, který je bez zatížení, viz obr. 6.11. Statická charakteristika zatíženého ventilátoru, to znamená zabudovaného v konstrukci, je k vidění na obr. 6.12.



Obr. 6.11 – Statická charakteristika nezatíženého ventilátoru



Obr. 6.12 – Statická charakteristika zatíženého ventilátoru

Jak je zřejmé z obr. 6.11 a obr. 6.12, zatížený ventilátor má maximální otáčky okolo 6000 rpm a nezatížený má poněkud větší otáčky okolo 9000 rpm. Tento rozdíl v otáčkách byl zprvu považován za chybu, ale pak bylo zjištěno, že charakteristika bez zátěže byla měřena již dříve, než ta se zátěží a ventilátor byl vyndán z konstrukce ven, a tudíž je logické, že bude mít větší maximální otáčky, než když je ovlivňován konstrukcí.

6.3 Součásti konstrukce

Pro model je zvolena trubice, jejíž parametry jsou uvedeny v tab. 6.2 a je zobrazena na obr. 6.13. Jak už bylo zmiňováno dříve, jako levitující objekt je použit míček, který je zobrazen na obr. 6.14 a jehož parametry jsou v tab. 6.3.

Tab. 6.3 – Parametry trubice

výrobce	TITAN – MULTIPLAST s.r.o.
materiál	plexisklo
délka	500 mm
vnitřní průměr	44 mm
Vnější průměr	50 mm

Tab. 6.2 – Parametry míčku

výrobce	KOCKSPORT
průměr	40 mm
materiál	molitan
hmotnost	4,5 g



Obr. 6.14 – Trubice



Obr. 6.13 – Míček

6.3.1 Senzor vzdálenosti

Celkově bylo vybíráno ze dvou typů senzorů, a to z IR, viz obr. 2.3 a ultrazvukového, viz obr. 2.4. Pro IR senzor vzdálenosti, který pracuje na principu triangulace, viz kapitola 2.2 bylo zjištěno, že je nepoužitelný z důvodu velkého rozptylu IR záření a následném odrazu od průhledného materiálu trubice, což mělo za následek ve větších vzdálenostech chybné výsledky měření. Z tohoto důvodu je vybrán ultrazvukový senzor vzdálenosti, protože pracuje na principu odrazu ultrazvukových vln, které se odráží od levitujícího objektu v trubici. Parametry těchto senzorů jsou vyobrazeny v tab. 6.4 a tab. 6.5.

Tab. 6.4 – Parametry IR senzoru (SHARP, 2006)

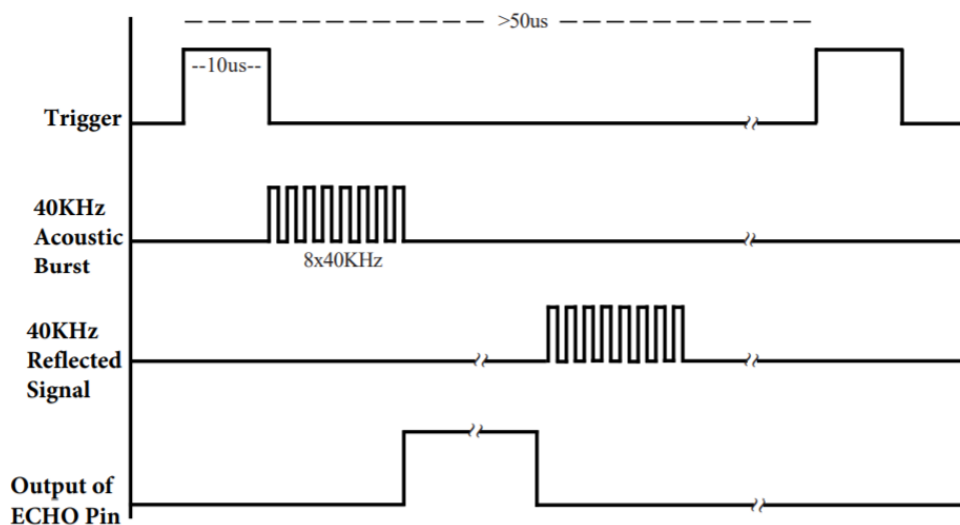
výrobce	SHARP
model	Gp2Y0A21Yk0F
Rozsah měření	10–80 cm
Napájecí napětí	5 VDC
připojení	3 vodiče (+5 V, GND, výstup)

Tab. 6.5 – Parametry UZ senzoru (HADEX, nedatováno)

výrobce	HADEX
model	HCR04
Rozsah měření	2–400 cm
Napájecí napětí	5 VDC
připojení	4 vodiče (+5 V, GND, Trigger, Echo)
Operační frekvence	40 kHz

6.3.2 Měření vzdálenosti

Měření vzdálenosti probíhá pomocí časového průběhu, který je na obr. 6.15.



Obr. 6.15 – Časový průběh HCSR04 (HADEX, nedatováno)

Podle obr. 6.15 a podle (HADEX, nedatováno) je vytvářen program pro měření vzdálenosti, který je vyobrazen na obr. 6.16.

```

long Duration; // doba trvání zvukové vlny
double Distance; // vzdálenost
pinMode(TrigPin, OUTPUT);

//SENZOR
// vyčistí trigger pin
digitalWrite(TrigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(TrigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(TrigPin, LOW);
pinMode(EchoPin, INPUT);

unsigned long Duration_prum = 0;
unsigned long Prumer_mereni;
for(int i=0; i<10; i++) {

    // Čte echo a vrací dobu odrazu zvukové vlny v micro s.
    Duration = pulseIn(EchoPin, HIGH, 6000);
    delay(10);

    Duration_prum += Duration;
}

Prumer_mereni = Duration_prum/10;
delay(10);

Distance = 47- (Duration_prum*0.034/2); // rychlost zvukové vlny /2 tam a zpět

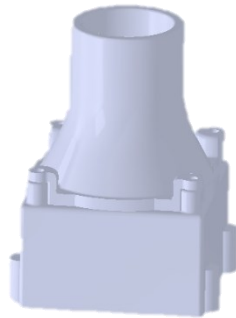
```

Obr. 6.16 – Program pro měření vzdálenosti

Nejdříve je nastaven Trigger i Echo pin na Low pro inicializaci modulu, dále je nutno nastavit Trigger do High na 10 mikrosekund (modul vyšle 8 akustických signálů 40 kHz). Poté je vysílán pulz na Echo a šířka tohoto pulsu závisí na vzdálenosti od překážky. Pulz na Echo je ukončen, když se vrátí odražená vlna. Dále je zobrazeno v programu, že je zde deset po sobě jdoucích měření a následně jsou tyto hodnoty zprůměrovány. Výsledná hodnota je přepočítána na vzdálenost v cm, kde 0,034 je rychlost odražené vlny a /2, protože vlna je vysílána jedním směrem tam a druhým zpět.

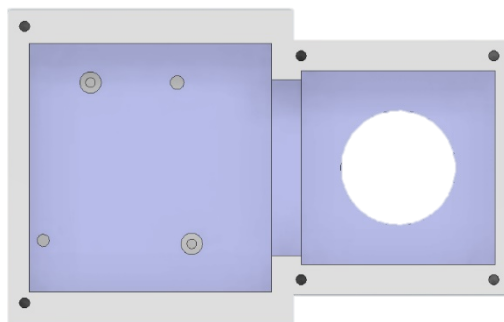
7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Konstrukce modelu je celá vytištěna na 3D tiskárně Prusa z materiálu PET-G a vymodelována v programu INVENTOR od firmy AUTOCAD. Řešení konstrukce je rozvrženo do více částí, nejprve konstrukční prototyp pouze pro testování použitých komponent. Tento prototyp je na obr. 7.1.

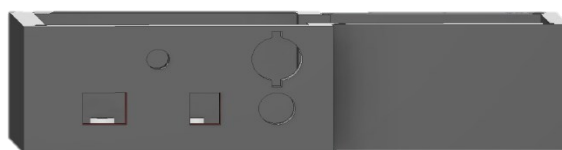


Obr. 7.1 – Prototyp modelu

Jak je zobrazeno v obr. 7.1, difuzor, který vede do trubice, je odnímatelný kvůli případným úpravám úhlu nebo délky, aby nemusela být tisknuta znovu celá sestava, ale pouze tato část, čímž je ušetřen materiál pro tisk. Po čase testování bylo zjištěno, že tento prototyp je dostačující pro model vzduchové levitace, avšak bylo zde místo pouze pro ventilátor, tak byla konstrukce předělána kvůli přidání elektroniky. Nový model je rozdělen na dva díly. Spodní díl, ve kterém je umístěn ventilátor, Arduino a veškerá elektronika a vrchní díl, kde je umístěn potenciometr, displej pro zobrazování a difuzor, který je vyústěn do trubice. Spodní díl je na obr. 7.2 a 7.3.

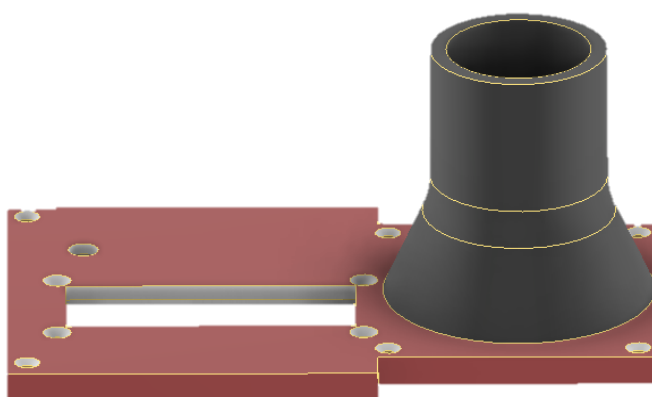


Obr. 7.2 – Spodní díl konstrukce



Obr. 7.3 – Spodní díl konstrukce zezadu

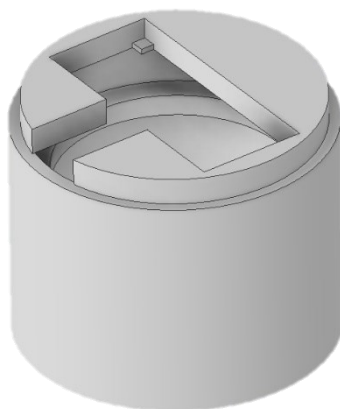
U spodního dílu je zobrazen otvor pro nasávání ventilátoru, zde v této části je umístěn ventilátor. Ve vedlejší části jsou k vidění jakési výstupky, ty zde slouží k usazení Arduina do konstrukce. A zezadu jsou otvory pro napájení a připojení Arduina k PC, otvory pro usazení přepínače módu, napájecího konektoru a otvor pro vodiče od senzoru. Na vrchu konstrukce jsou malé otvory pro připevnění vrchního dílu, viz obr. 7.4, ke spodnímu dílu šrouby se zápusťnou hlavou, jelikož při tisku spodního dílu byli vloženy a zatisknuty matky do konstrukce. Šrouby jsou pouze zašroubovány do těchto matek a tím jsou díly seskupeny.



Obr. 7.4 – Vrchní díl konstrukce

U vrchního dílu je zobrazen otvor, kde bude umístěn displej a otvory pro uchycení do konstrukce, kde displej je umístěn na plošném spoji, který v sobě má také otvory, do kterých se dají seshora šrouby a ze spodu matky. Dále je zde vyobrazen otvor pro umístění potenciometru a na druhé straně je postaven difuzor, na kterém bude trubice. Po obvodu jsou vidět již zmiňované otvory pro šrouby.

Jako další část je vymyšleno uchycení senzoru k trubici, tento díl je na obr. 7.5.



Obr. 7.5 – Řešení pro uchycení čidla k trubici

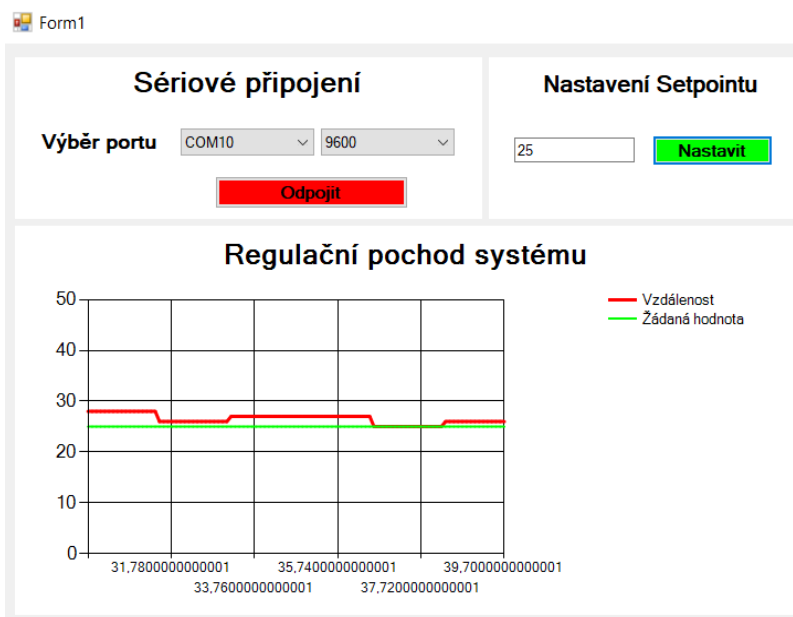
Celkový model už vytištěný a zkompletovaný je zobrazen na obr. 7.6.



Obr. 7.6 – Sestavený model

8 APLIKACE PRO SÉRIOVOU KOMUNIKACI

Jelikož v zadání je napsáno, že má být umožněno řízení soustavy přes PC, tak je zvolena možnost aplikace pro Windows ve Visual studio 2022 od společnosti MICROSOFT. Tato aplikace je napsána v jazyce c# a komunikace mezi Arduinem a PC probíhá přes sériové rozhraní USB. Na obr. 8.1 je zobrazeno uživatelské rozhraní této aplikace.

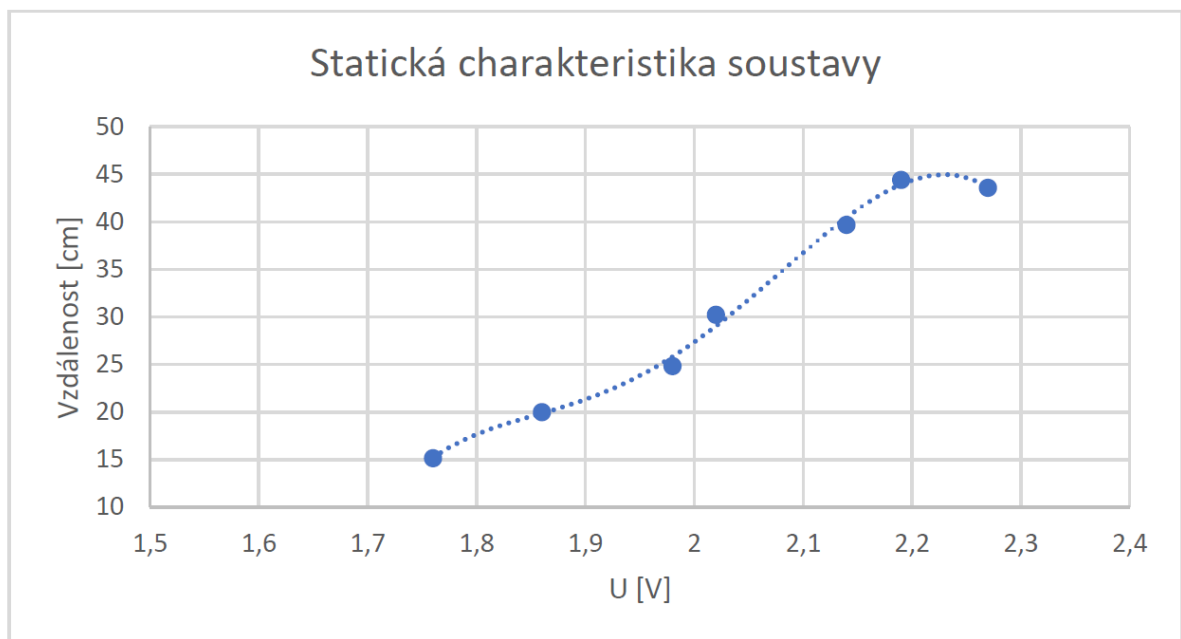


Obr. 8.1 – Aplikace pro sériovou komunikaci

V okénku sériové rozhraní je vybrán příslušný port, na kterém je připojeno Arduino a přenosová rychlost buď 9600, nebo 115200 baudů. Dále je možno v okénku nastavení setpointu zvolit výšku, do jaké má být míček vyregulován. A na konec je zde graf, který ukazuje regulační pochod systému (závislost polohy míčku na čase).

9 REGULACE SYSTÉMU

Při řešení regulace systému je nejprve nutno určit pracovní oblast, ve které bude umožněno míček regulovat a kde naopak už to z nějakého důvodu nebude možné. Pracovní oblast je určena z naměřené statické charakteristiky soustavy, což je závislost výstupu na vstupu. U tohoto modelu je to závislost vzdálenosti na napětí. Poté jsou body proloženy polynomičnou spojnicí trendu pátého stupně. Mezi body, kde je tato spojnice trendu skoro bez nelineárních výchylek, se nachází pracovní oblast, viz obr. 9.1.



Obr. 9.1 – Statická charakteristika soustavy

Jak je zřetelné z obr. 9.1, pracovní oblast se nachází ve vzdálenosti cca 20 až 40 cm.

9.1 PID regulátor

K regulaci systému je zvolen PID regulátor, který je programově vytvořen pomocí PID knihovny, kterou vytvořil Brett Beauregard. Tento vytvořený regulátor je na obr. 9.2.

```
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
```

Obr. 9.2 – Vytvořený PID regulátor

Input je vstup do regulátoru, v případě tohoto modelu je to regulační odchylka, ale jelikož je to už v knihovně naprogramované, tak je to pouze výstup ze senzoru, což je vzdálenost v cm. Output je výstup z regulátoru, což je hodnota PWM, kterou jsou řízeny otáčky ventilátoru. Setpoint je žádaná hodnota vzdálenosti, do jaké je míček vyregulován. K_p , K_i a K_d jsou konstanty pro nastavení PID regulátoru a Direct je směr regulace. Na obr. 9.3 lze vidět, jak je řešeno nastavení setpointu pomocí potenciometru a následné vypsání na LCD displej.

```
Setpoint = map(analogRead(A0), 0, 1023, 20, 40);  
  
setPoint = Setpoint;  
  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("Setpoint:");  
lcd.print(setPoint);  
lcd.print("cm");
```

Obr. 9.3 – Řešení nastavování žádané veličiny

Do proměnné Setpoint, je ukládána hodnota z potenciometru, která je mapována na hodnoty pracovní oblasti a následně vypsána na LCD displej.

Pro spuštění regulace je použita funkce myPID.compute(), jak je uvedeno na obr. 9.4.

```
Input = Distance;  
  
myPID.Compute();  
analogWrite25k(Vent, Output);
```

Obr. 9.4 – Funkce pro spuštění regulace

Další funkce této knihovny jsou na obr. 9.5.

```
myPID.SetMode(AUTOMATIC);  
myPID.SetOutputLimits(150, 320);  
myPID.SetTunings(Kp, Kd, Ki);  
myPID.SetSampleTime(100);
```

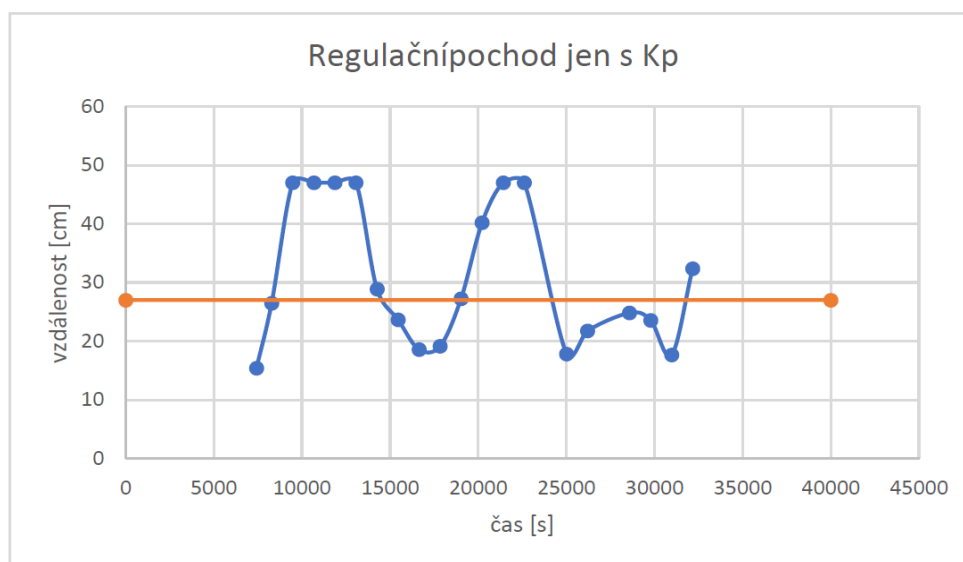
Obr. 9.5 – Funkce knihovny PID

SetMode určuje, zda má být regulátor zapnut automaticky. SetOutputLimits nastavuje limit, v jakém rozsahu je regulován výstup regulátoru. SetTunings udává, jak mají být nastaveny

konstanty regulátoru. `SetSampleTime` je perioda vzorkování, která určuje, jak často je vyhodnocován PID algoritmus (Arduino, nedatováno).

9.1.1 Nastavení konstant PID

Pro nastavení konstant PID regulátoru je použita metoda pokus – omyl. V této metodě jsou na začátku eliminovány všechny konstanty (integrační je nastavena co největší, derivační na nulu a zesílení také na nulu) a postupně je zvyšována hodnota K_P až do dosažení kompromisu mezi rychlostí odezev a jejich kmitavostí. Postupně je snižována integrační časová konstanta, čímž je také snižována trvalá regulační odchylka až do doby, dokud regulační pochod nebude přijatelný. A na konec je zvyšována derivační časová konstanta, což způsobí zvýšení rychlosti a stability systému, ale když je derivační časová konstanta nastavena moc vysoko, může do systému zavést poměrně velkou chybu regulace. Na obr. 9.6 je vyobrazen regulační pochod nastavený pouze s proporcionální složkou, jejíž hodnoty jsou uvedeny tab. 9.2, kde je také uvedena hodnota žádané veličiny.

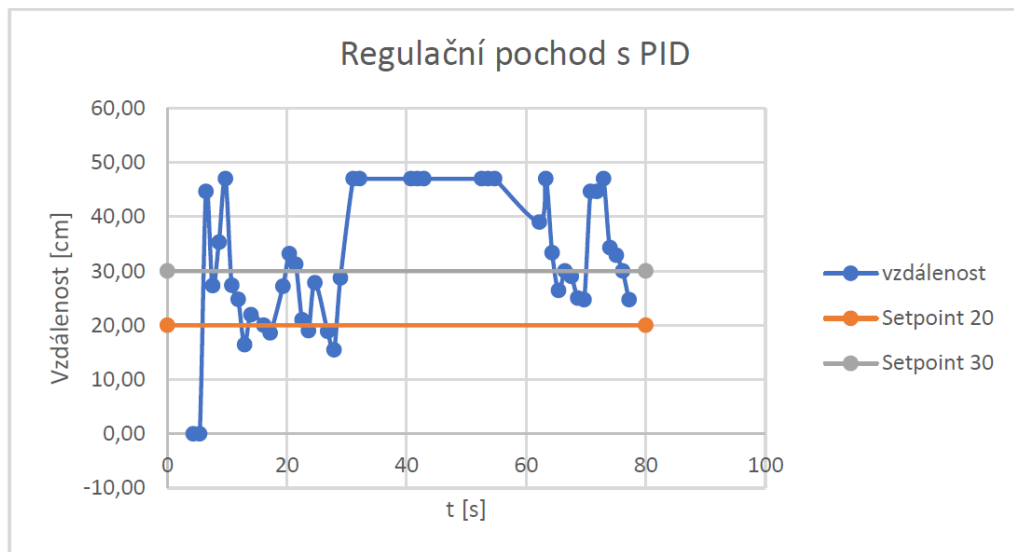


Obr. 9.6 – Regulační pochod pouze s proporcionální složkou

Tab. 9.2 – Hodnota konstanty K_P a žádané hodnoty

K_P	6,42
Žádaná hodnota	27 cm

Na obr. 9.7 lze pozorovat regulační pochod se všemi nastavenými složkami PID. Hodnoty konstant a žádané hodnoty jsou v tab. 9.2.



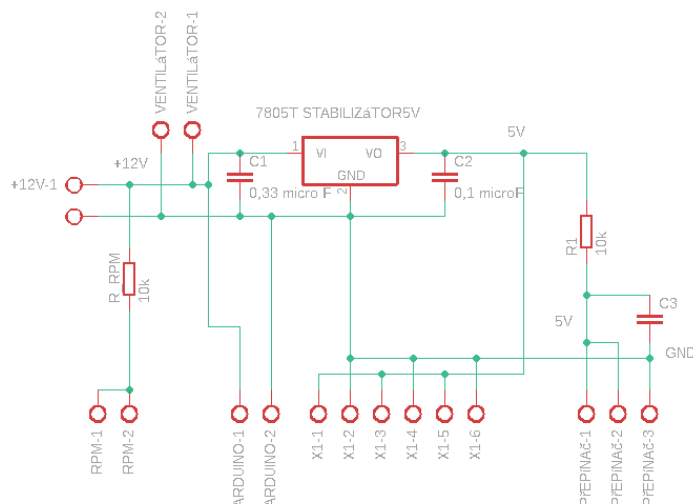
Obr. 9.7 – Regulační pochod s PID

Tab. 9.2 – Nastavení PID konstant a žádané hodnoty

K_P	5,45
K_I	0,0016
K_D	0,0021
Žádaná hodnota	20 cm
Žádaná hodnota skok	30 cm

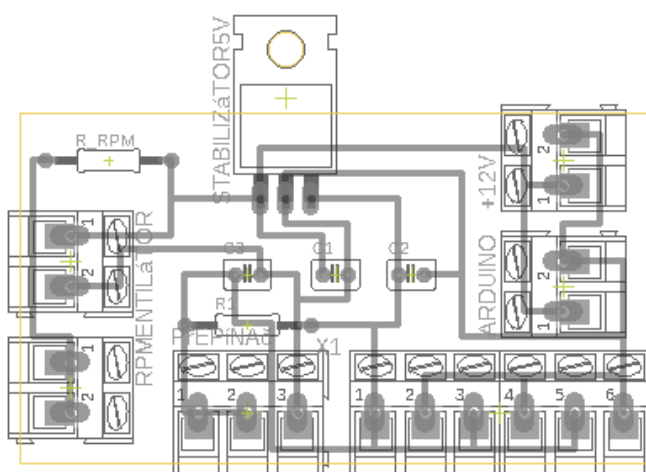
10 NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJE

Pro vytvoření elektronického schématu a návrh plošného spoje je použit program Eagle 2022 od firmy AUTODESK. Elektronické schéma lze nalézt na obr. 10.1 a návrh plošného spoje na obr. 10.2.



Obr. 10.1 – Schéma zapojení

Ze zdroje 12 V/1 A je napájen ventilátor a Arduino, dále je těchto 12 V připojeno na vstup lineárního stabilizátoru napětí LM7805cv a na výstupu tohoto stabilizátoru je 5 V. Z výstupu stabilizátoru jsou napájeny ostatní připojené periferie. Odpor R RPM zde má funkci pull – up rezistoru pro měření otáček. Rezistor R1 je zde použit jako pull – up rezistor k tlačítku. Kondenzátor C3 je zde kvůli ošetření zákmitů tlačítka. Pro připojení periferií k pcb boardu jsou zvoleny šroubovací svorky kvůli snadnému připojení.



Obr. 10.2 – Návrh plošného spoje

11 ZÁVĚR

V této práci je sestaven model vzduchové levitace molitanového míčku v trubici za pomoci ventilátoru, a to včetně řídicího systému implementovaného na platformě Arduino s čipem ATmega328P. Řízení systému je realizováno buď přes aplikaci ve Visual studiu, nebo přímo vestavěným Arduinem. Délka konstrukce činí 16 cm, šířka je 10 cm na straně s displejem a 8 cm na straně s ventilátorem. Celková výška konstrukce i s trubicí je 62 cm, bez trubice má konstrukce 12 cm.

Z důvodu občasného chybného měření senzoru je regulace nestálá a má nestabilní chod. Tento jev by se dal nejspíše odstranit použitím širšího vnitřního průměru trubice, aby měl signál dostatečně velký prostor pro šíření ultrazvukových vln.

Konstrukční řešení systému má dostačující výsledky pro tento systém a materiál 3D tisku je taktéž dostačující.

Pro zlepšení modelu by mohla být dodělána možnost nastavení PID konstant v aplikaci pro sériovou komunikaci.

POUŽITÁ LITERATURA

- ARDUINO 2022., „*Arduino UNO R3*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
- ARDUINO 2019., „*Arduino Uno 25 kHz PWM*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: <https://forum.arduino.cc/t/arduino-uno-25khz-pwm/608666/2>
- ARDUINO nedatováno., „*Arduino PID library*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: <https://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary/>
- ATMEL 2003., „*ATmega32 datasheet*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/77378/ATMEL/ATMEGA32.html>
- BALÁTĚ, J. 2004. *Automatické řízení. 2., přeprac. vyd.* Praha: BEN – technická literatura, ISBN 80-7300-148-9.
- Bc. ČERMÁK, L. 2013 „*Vzduchová levitace míčku*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/49258/V_09213_M.pdf?sequence=-1
- DRKAL, F.; LAIN, M.; SCHWARZER, J.; ZMRHAL, V. 2009. *Vzduchotechnika*. Praha. Evropský sociální fond.
- HADEX Nedatováno., „*M475 – Ultrazvukový měřič vzdálenosti HC-SR04 Uživatelský manuál*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: http://sa.tipa.eu/manualy/09830133-manual-cz.pdf?_gl=1*_1nt2n6g*_ga*NTI2OTUxMjEyLjE2NTA0ODA2NDk.*_ga_S8TT6YM041*MTY1MDQ4MDY0Ni4xLjAuMTY1MDQ4MDY0Ni4w
- HAREENDRAN, T.K. nedatováno „*The Mighty Miniature Electromagnetic Levitation System*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: <https://www.electroschematics.com/the-mighty-miniature-electromagnetic-levitation-system/>
- HUBÁLEK, M. 2019 „*Regulace polohy míčku pomocí proudění vzduchu s využitím PLC*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=193014
- CHANT, I. 2012. „*Fine-Tuning Drugs With Sonic Levitation Is As Cool As It Sounds*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: <https://www.themarysue.com/sonic-levitation/>
- CHYSKÝ, J; HEMZAL, K.; a kol., 1993. *Větrání a klimatizace. 3., zcela přeprac. vyd.* Brno: BOLLIT-B Press. ISBN 80-901574-0-8.
- KAINKA, B., LOSÍK, V., 2003. *Měření, řízení a regulace pomocí PC: [vývoj hw a sw pro praxi]*, Praha: BEN – technická literatura, PC & elektronika. ISBN 80-7300-089-X.
- NOVÁK, P. 2005. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN – technická literatura, Robotika, 1. ISBN 80-7300-141-1.
- NOVÁK, P. 2016 „*Návrh a realizace výukového modelu vzduchové levitace*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/66872/NovakP_VzduchovaLevitace_LH_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=n
- NOVÝ, R. 1997. *Ventilátory* Praha: České vysoké učení technické, ISBN 80-01-00987-4
- ROZMAHEL, I. 2010. „*Návrh regulátorů pro regulované soustavy s malými časovými konstantami*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28472

- RYSKA, A. 2017. „*Pseudo-levitation of two permanent magnets on a guide rod.jpg*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_levitation
- SANDLIN, D. 2015. „*Acoustic levitation in ultra slow motion – smarter Every Day 134*“; [online], [cit. 22-04-30] Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=0K8zs-KSitc>
- SHARP 2006.; „*GP2Y0A21YK0F*“; [online], [cit.22.05.02] Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/412635/SHARP/GP2Y0A21YK0F.html>
- STMICROELECTRONICS 2018., „*Datasheet Positive voltage regulator ICs*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.330-149.1.pdf>
- SUNNON 2015., „*Specification for approval*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/87e59b68341240ae0b73cf64eccc316/PF60381B1-S99-DTE.pdf>
- VODA, Z. 2017. *Průvodce světem Arduina Vydání druhé.*, Bučovice: Martin Stríž, ISBN 978-80-87106-93-8.

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA A – CD

PŘÍLOHA B – Uživatelská příručka

PŘÍLOHA C – Výrobní dokumentace

Příloha k bakalářské práci

KONSTRUKCE MODELU VZDUHOVÉ LEVITACE

Martin Svoboda

CD

OBSAH

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF.
- 2 Uživatelská příručka ve formátu PDF.
- 3 Úplný zdrojový kód programu (Arduino).
- 4 Úplný zdrojový kód programu (Visual studio).
- 5 3D Model celého systému.
- 6 Výkresová dokumentace ve formátu PDF

Příloha k bakalářské práci

KONSTRUKCE MODELU VZDUHOVÉ LEVITACE

Martin Svoboda

UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA

OBSAH

- Úvod
- Seznam ilustrací
- 1 Požadavky na HW
- 2 Požadavky na SW
- 3 Instalace programu
- 4 Oživení
- 5 Popis obsluhy
- 6 Závěr

ÚVOD

V této příloze je obsažena uživatelská příručka pro správné a bezpečné zacházení a práci na modelu vzduchové levitace, aby nedošlo ke zničení modelu, nebo k nějakému úrazu z důvodu špatného zacházení, proto je nutné, aby byla tato příručka přečtena před zahájením používání modelu.

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 3.1 – Visual studio soubor pro instalaci .exe	60
Obr. 3.2 – Okno pro pokračování instalace (Thompson, 2022)	60
Obr. 3.3 – Instalace počátečních souborů (Thompson, 2022)	60
Obr. 3.4 – Volba verze Visual studia (Thompson, 2022)	60
Obr. 3.5 – Výběr modulu Windows (Thompson, 2022)	60
Obr. 3.6 – Instalace modulů (Thompson, 2022)	60
Obr. 5.2 – Aplikace pro sériovou komunikaci	60

1 POŽADAVKY NA HW

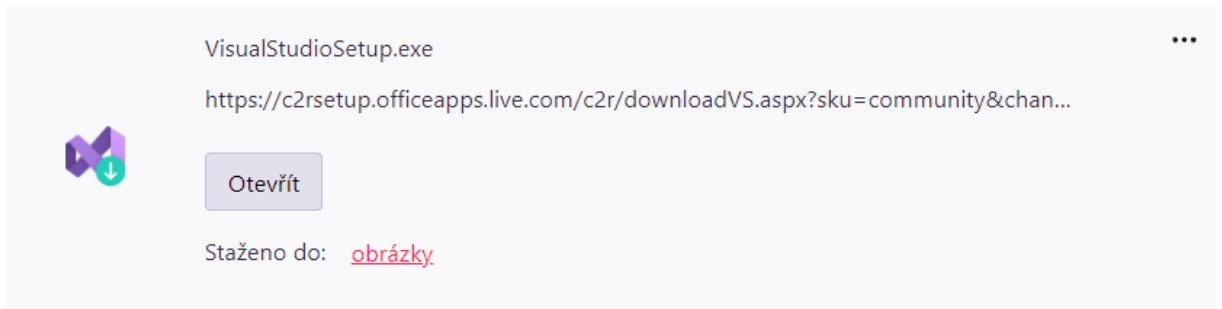
- 1) Přístup k zásuvce na 230 V pro napájení modelu
- 2) Stejnosměrný zdroj 12 V/1 A.
- 3) PC, nebo laptop pro připojení modelu přes sériovou linku USB
- 4) Rovnou plochu například stůl, na který se model bezpečně položí.

2 POŽADAVKY NA SW

- 1) Program Microsoft Visual Studio pro řízení modelu pomocí PC.
- 2) Operační systém Windows 10 a novější.

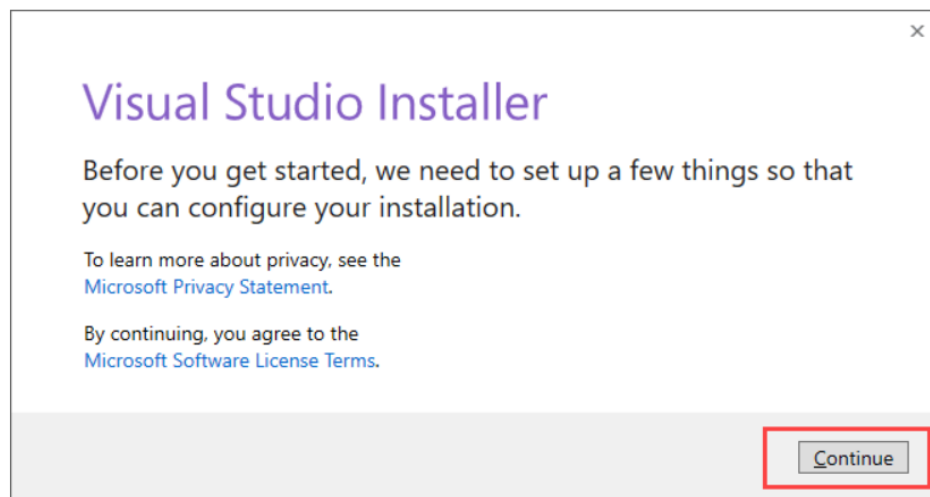
3 INSTALACE PROGRAMU

- 1) Visual studio (pro Windows) je ke stažení na webové stránce Microsoftu, kterou lze nalézt na <https://visualstudio.microsoft.com/cs/downloads/>.
- 2) Po stažení je nutno otevřít soubor .exe, který lze nalézt ve stažených souborech, viz obr. 3.1.



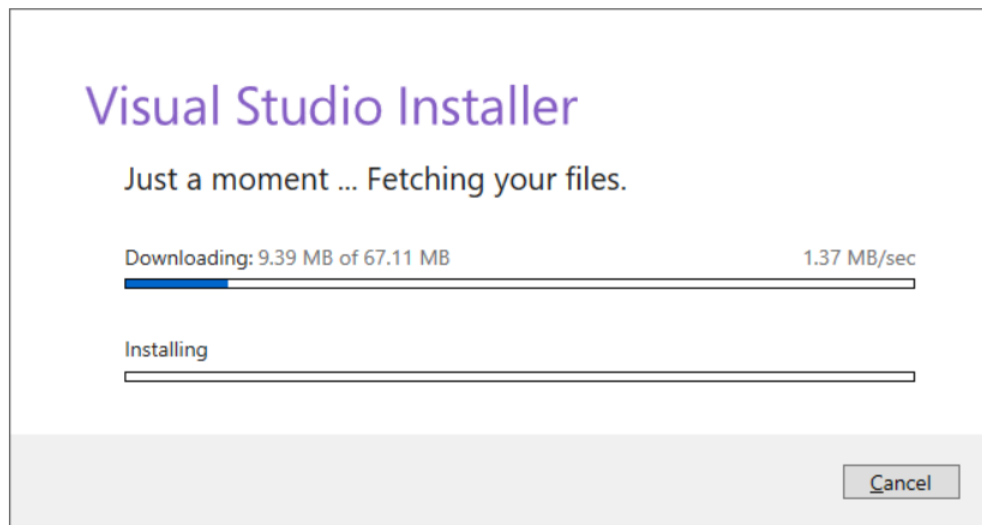
Obr. 3.1 – Visual studio soubor pro instalaci .exe

- 3) Po otevření se zobrazí okno, které lze vidět na obr. 3.2, ve kterém je nutno kliknout na tlačítko pokračovat.



Obr. 3.2 – Okno pro pokračování instalace (Thompson, 2022)

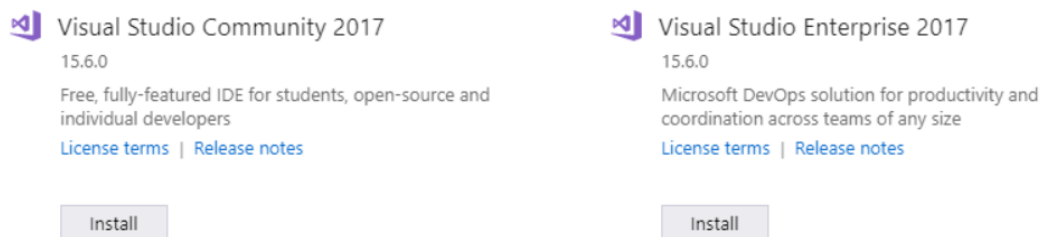
- 4) Poté je spuštěno stahování počátečních souborů, viz obr. 3.3, rychlost stahování se může lišit podle rychlosti připojení k internetu.



Obr. 3.3 – Instalace počátečních souborů (Thompson, 2022)

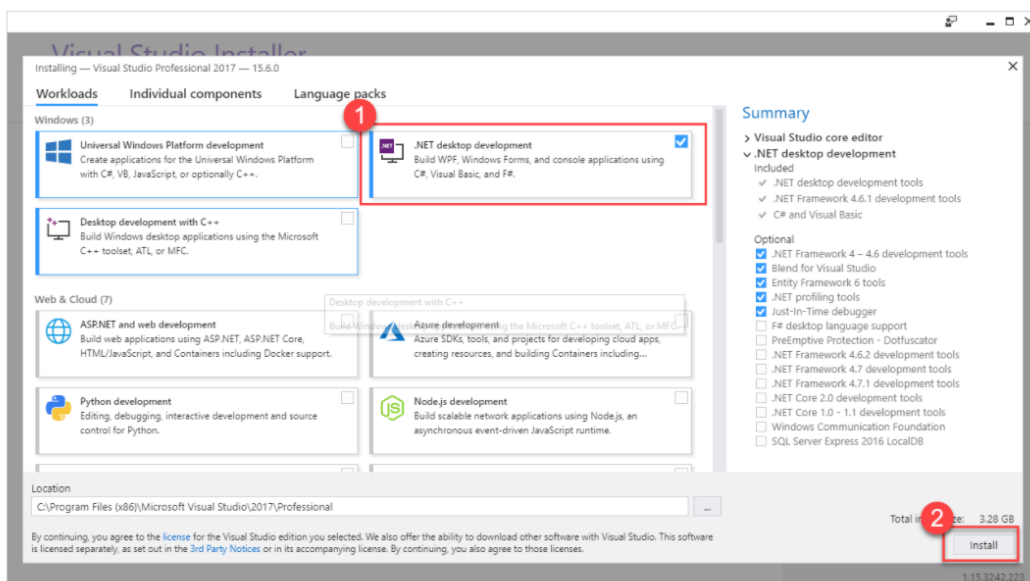
- 5) Jako další krok je vybrána verze software, viz obr. 3.4, ale je doporučena verze community, protože je zdarma a není to jen zkušební. Dále kliknout na instalovat.

Available



Obr. 3.4 – Volba verze Visual studia (Thompson, 2022)

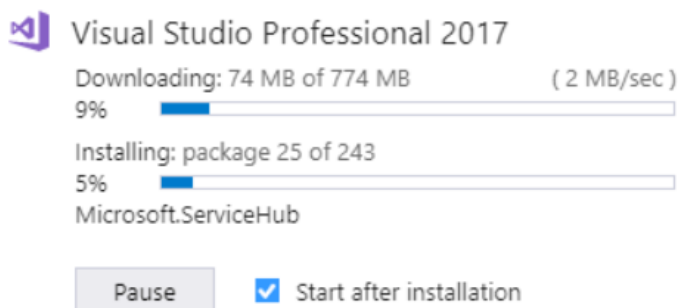
- 6) V dalším okně, které je na obr. 3.5, jsou zaškrtnuta 3 okénka, která jsou ve výběru Windows. Poté kliknout na instalovat.



Obr. 3.5 – Výběr modulu Windows (Thompson, 2022)

- 7) Dále je zobrazeno okénko s průběhem instalace podle zvolených modulů v poloze 6) viz obr. 3.6.

Installed



Obr. 3.6 – Instalace modulů (Thompson, 2022)

- 8) V dalším kroku je nutné restartovat PC před spuštěním Visual studia a pak už jen spustit a otevřít soubor s aplikací pro vzduchovou levitaci.

4 OŽIVENÍ

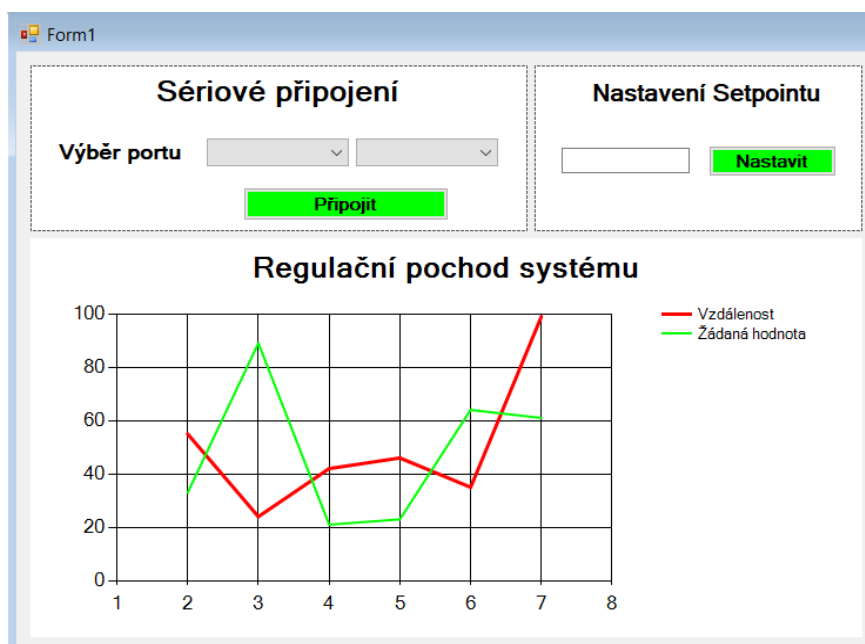
Do zásuvky na 230 V je připojen stejnosměrný napájecí zdroj 12 V/1 A, který je poskytován k modelu a druhý konec tohoto zdroje (samice), je připojen na konektor (samec), který je umístěn na zadní straně modelu. Napájecí zdroj nesmí být větší nebo naopak menší, způsobilo by to špatné fungování modelu, nebo jeho zničení.

Správně provedené oživení lze poznat podle rozsvíceného LCD displeje na modelu.

5 POPIS OBSLUHY

Když je model úspěšně oživen, rozsvítí se displej a lze zahájit práci na zařízení.

1. Nejprve je zvoleno, v jakém módu má být zařízení ovládáno. Ke zvolení módu slouží přepínač na zadní straně modelu, když je ve stavu ON, znamená to, že je aktivní režim, který řídí model přes aplikaci pomocí PC, a když je ve stavu OFF, tak je aktivní režim, který řídí výšku pomocí potenciometru.
2. Při režimu ON je nutné připojení Arduina k PC pomocí USB kabelu, kdy USB typu A se zapojí do PC a USB typu B do Arduina, k čemuž slouží hranatý otvor na zadní straně modelu. Poté v aplikaci pro Visual studio, viz obr. 5.2, poté je v okénku Sériové připojení zvolen port a rychlost komunikace, na který je připojeno Arduino. Dále v okénku Nastavení Setpointu je zvolena výška, do jaké má být míček vyregulován.



Obr. 5.2 – Aplikace pro sériovou komunikaci

3. Při režimu OFF není potřeba k funkčnosti PC. Potenciometrem je pouze nastavována výška, do jaké je míček požadován (tato výška je vidět na displeji jako Setpoint) Na displeji lze vidět i aktuální výšku míčku (Distance).

6 ZÁVĚR

Pro správnou funkčnost zařízení je nutno dbát na všechny uvedené požadavky, postupy a doporučení v této příručce. V průběhu chodu nesmí být manipulováno se zařízením ani s jeho součástmi a v žádném případě nesmí být ucpán nasávací otvor ventilátoru, ani tam nemůžou být vkládány žádné předměty mohlo by to vést k vážnému poškození zařízení, nebo úrazu.

POUŽITÁ LITERATURA

THOMPSON, B 2022. „*How to Download and Install Visual Studio for C# in Windows*“; [online], [cit. 22-05-02] Dostupné z: <https://www.guru99.com/download-install-visual-studio.html>

Příloha k bakalářské práci

KONSTRUKCE MODELU VZDUHOVÉ LEVITACE

Martin Svoboda

VÝROBNÍ DOKUMENTACE MODELU

OBSAH

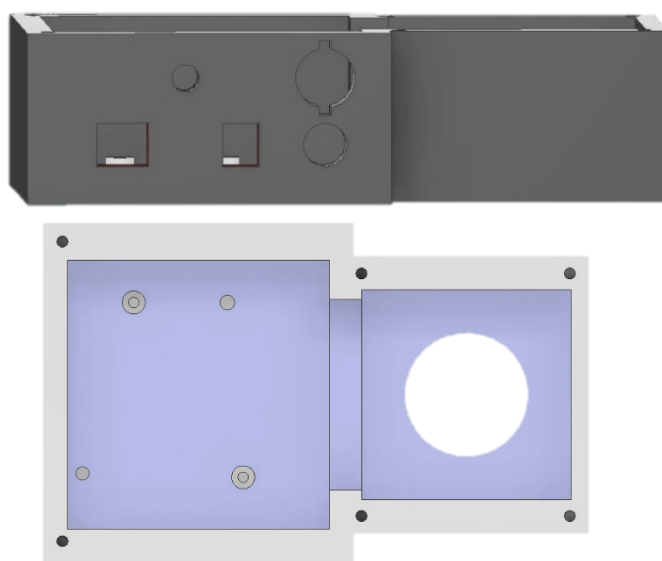
- Úvod
- Seznam ilustrací
- 1 Výkresová dokumentace
- 2 Konstrukce elektroniky
- 3 Závěr

ÚVOD

V této příloze je obsažena kompletní výrobní dokumentace modelu vzduchové levitace pomocí, které lze vyrobit tento systém vzduchové levitace. Lze zde najít konstrukční řešení modelu včetně okótovaných výkresů a 3D modelů. Dále je zde vyobrazeno schéma elektroniky a návrh plošného spoje. A v poslední řadě jsou zde obsaženy vývojové diagramy pro programové řešení systému.

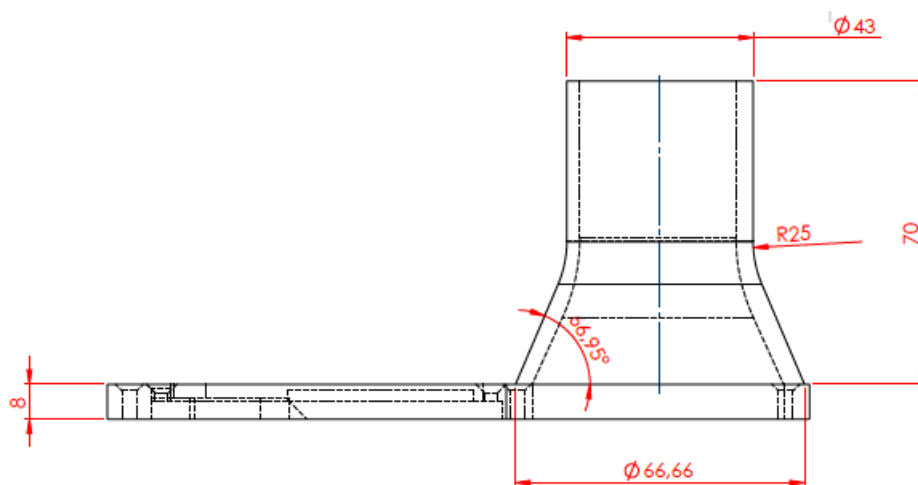
SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Výkres spodního dílu konstrukce	60
Obr. 1.2 – 3D model spodního dílu konstrukce	60
Obr. 1.3 – Výkres (A) vrchního dílu konstrukce	60
Obr. 1.4 – Výkres (B) vrchního dílu konstrukce	60
Obr. 1.5 – 3D model vrchního dílu konstrukce	60
Obr. 1.6 – Výkres uchycení senzoru	60
Obr. 1.7 – 3D model uchycení senzoru	60
Obr. 1.8 – Sestavená konstrukce	60
Obr. 2.1 – Schéma zapojení elektroniky	60
Obr. 2.2 – Návrh plošného spoje	60
Obr. 2.3 – Zapojení elektroniky systému	60

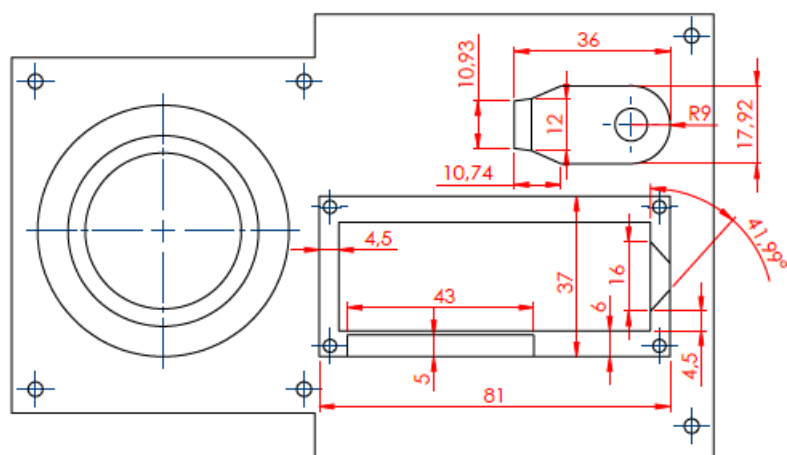
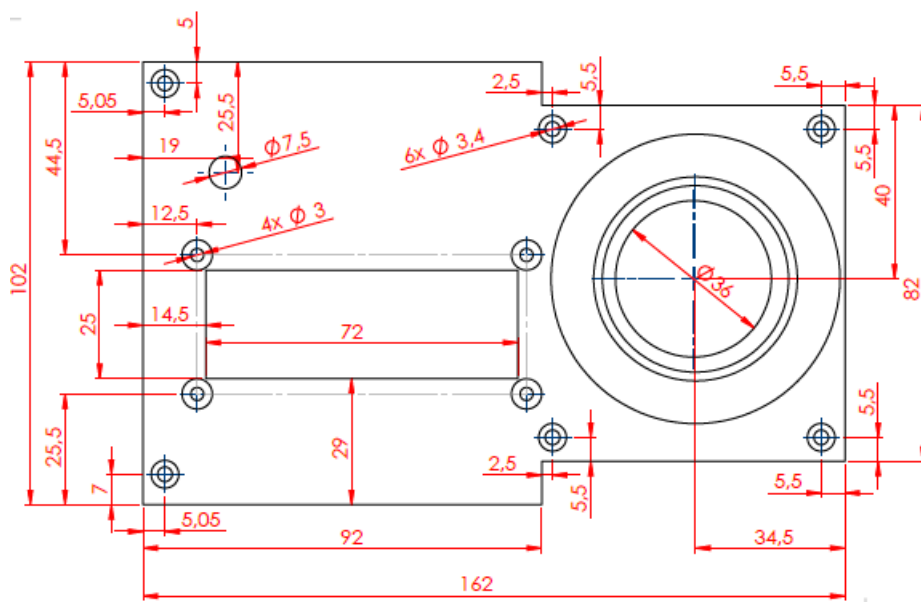


Obr. 1.2 – 3D model spodního dílu konstrukce

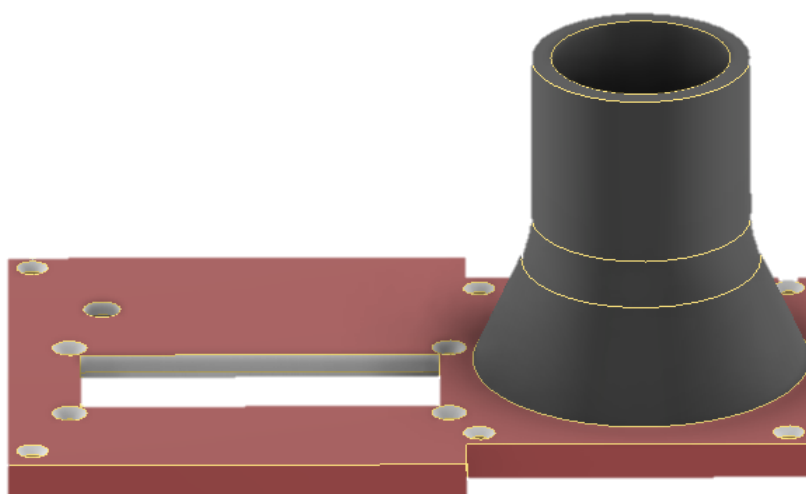
Na obr. 1.3 je zobrazen výkres (A) vrchního dílu konstrukce, na obr. 1.4 je výkres (B) spodního dílu a na obr. 1.5 jeho 3D model.



Obr. 1.3 – Výkres (A) vrchního dílu konstrukce

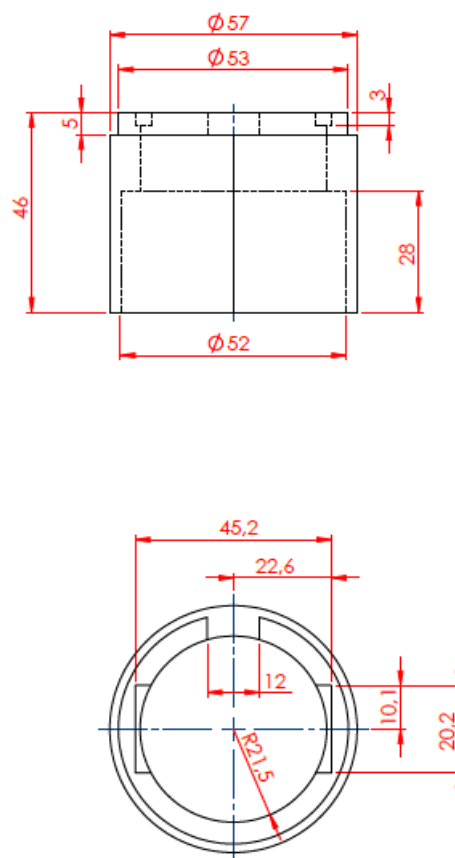


Obr. 1.4 – Výkres (B) vrchního dílu konstrukce

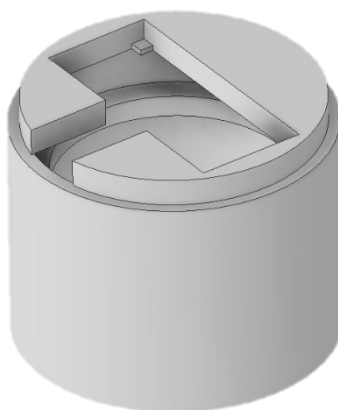


Obr. 1.5 – 3D model vrchního dílu konstrukce

Výkres uchycení čidla je zobrazen na obr. 1.6 a 3D model této součásti na obr. 1.7.



Obr. 1.6 – Výkres uchycení senzoru



Obr. 1.7 – 3D model uchycení senzoru

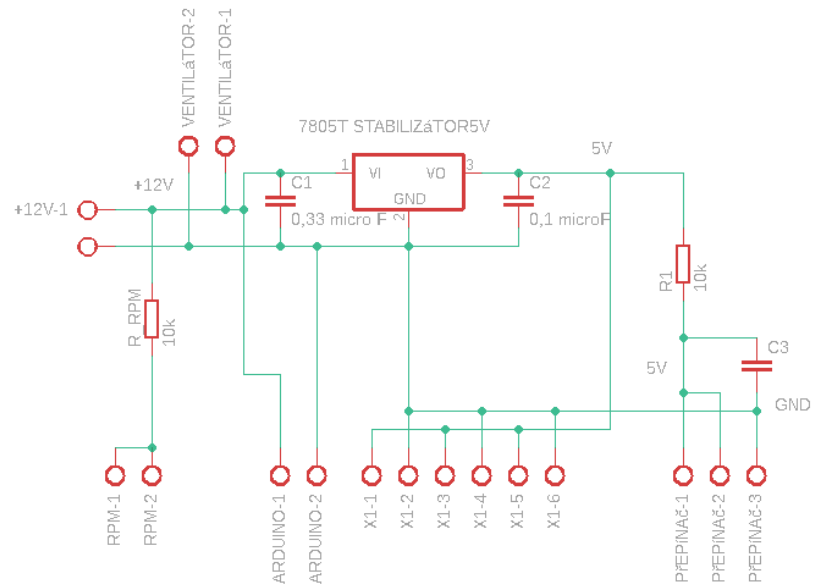
Výsledná konstrukce již vytištěná, sešroubovaná dohromady a poskládaná se všemi potřebnými komponenty je zobrazen na obr. 1.8.



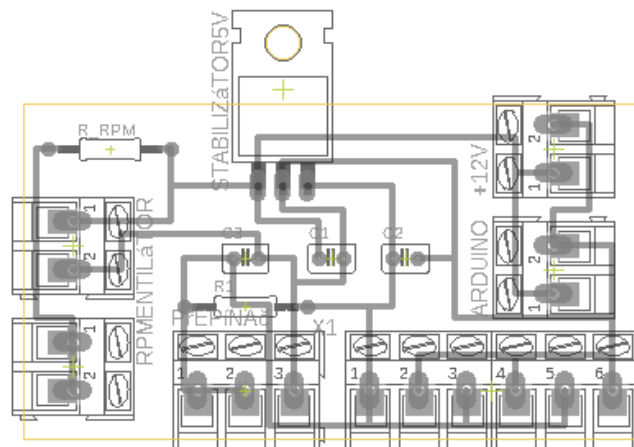
Obr. 1.8 – Sestavená konstrukce

2 KONSTRUKCE ELEKTRONIKY

Schéma a návrh plošného spoje je tvořeno v programu Eagle 9 od firmy AUTODESK. Na plošném spoji je osazena elektronika pro rozvod napětí na ostatní komponenty a převod z 12 V na 5 V. Elektronické schéma je zobrazeno na obr. 2.1 a návrh plošného spoje na obr. 2.2.

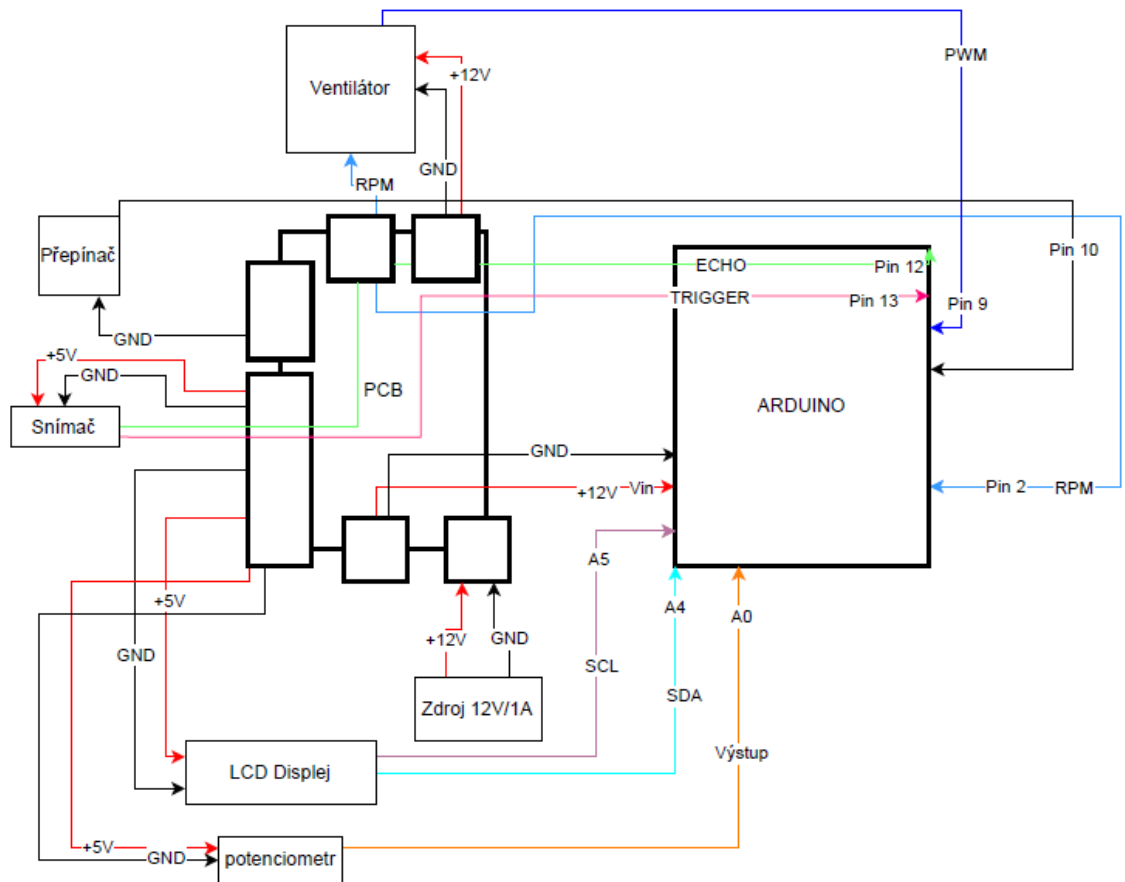


Obr. 2.1 – Schéma zapojení elektroniky



Obr. 2.2 – Návrh plošného spoje

Zapojení plošného spoje a připojení elektroniky k Arduino je na obr. 2.3.



Obr. 2.3 – Zapojení elektroniky systému

3 ZÁVĚR

Podle této příručky může být vyroben model vzduchové levitace při dodržení všech rozměrů a zapojení obsažených v této dokumentaci. Programové řešení je obsaženo v příloze A na CD.