



## **Středoškolská technika 2024**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Robotické rameno**

**Filip Švejda**

**Střední škola strojírenská a elektrotechnická**

**Nová Paka**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou ročníkovou práci vypracoval(a) samostatně a použil(a) jsem pouze uvedené podklady a literaturu.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Nové Pace dne.....

podpis.....

### **Poděkování**

Rád bych vyjádřil upřímné poděkování Ing. Luboši Malému a Vojtěchu Zívalovi za jejich pomoc.

## **Anotace**

Cílem této práce bylo navrhnout a zkonstruovat funkční robotické rameno s možností ovládní pomocí ovladače. Důraz byl kladen na zajištění spolehlivé komunikace mezi ovladačem a Arduinem. Součástí práce byla i tvorba programu pro Arduino, který umožňuje ukládání a načítání poloh ramene.

## **Annotation**

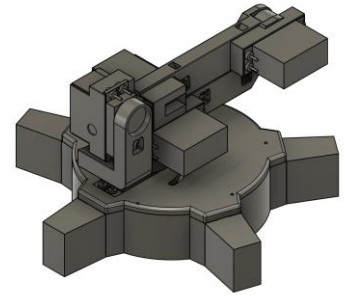
The goal of this thesis was to design and construct a functional robotic arm that can be controlled using a controller. Emphasis was placed on ensuring reliable communication between the controller and the Arduino. The thesis also included the development of an Arduino program that allows for saving and loading arm positions.

# Obsah

Úvod.....	1
1 Význam součástek .....	1
1.1 Čip pro řízení servomotorů PCA9685.....	1
1.2 Multiplexor 74HC151N .....	1
1.3 Demultiplexor 4555N.....	2
1.4 Binární čítač 74HCT390N .....	2
1.5 Enkodéry .....	3
1.6 Arduino nano.....	3
1.7 MODUL SD KARTY.....	3
1.8 LED diody.....	4
1.9 Servomotory.....	4
2 Regulace a technologie .....	5
2.1 PWM regulace.....	5
2.2 CMOS technologie.....	5
2.3 SPI.....	5
2.4 I2C.....	5
2.5 BCD .....	6
2.6 Pull-down rezistory .....	6
2.7 Neurčitý stav .....	6
3 Funkce celku .....	7
3.1 Části robotického ramena.....	7
3.1.1 Řídicí obvod .....	7
3.1.2 Ovládací obvod.....	8
4 Problémy při výrobě .....	9
4.1 Čítače.....	9
4.1.1 Problémy při spuštění.....	9
4.1.2 Problémy při provozu:.....	10
4.2 Komunikace s SD kartou .....	11
4.3 Špatný návrh .....	11
5 Stručný návod k použití .....	12
5.1 Spuštění.....	12
5.2 Posun ramene .....	12
5.3 Ukládání a načítání poloh .....	13
5.3.1 Uložení polohy .....	13
5.3.2 Načtení polohy .....	13
5.4 Připojení SD karty.....	13
5.5 Vypnutí .....	13
Závěr .....	14
Obrázek výrobku.....	18
Tabulka použitých součástek .....	19
Použitá literatura .....	21

# Úvod

Toto je komplexní dokumentace robotického ramene, která zahrnuje detailní popis jeho komponent, principů fungování a návod k použití. Cílem této dokumentace je poskytnout uživatelům hlubší pochopení funkcí ramene a usnadnit jeho používání.



Obrázek 1

## 1 Význam součástek

V této části budou rozebrány podrobněji součástky.

### 1.1 Čip pro řízení servomotorů PCA9685

Vzhledem k použití servomotorů s integrovanou řídicí elektronikou zpracovávající PWM signály jsem pro řízení celého projektu zvolil platformu Arduino.

Pro minimalizaci využití pinů na Arduino jsem zvolil čip **PCA9685**. Jedná se o šestnáctikanálový PWM ovladač, který umožňuje řídit až 16 servomotorů nebo jiných zařízení vyžadujících PWM signál. Tento čip komunikuje s Arduinem pomocí rozhraní **I2C**, takže bylo nutné zapojit pouze napájení, data (SDA) a clock (SCL).

Pro programování jsem použil bezplatnou a snadno použitelnou knihovnu **HCPCA9685.h**.

Čip PCA9685 je součástí zakoupeného modulu pro regulaci PWM. Z důvodu použité metody výroby desky plošných spojů (frézování) bylo nutné zakoupit celý modul, jelikož nebylo možné na desce vytvořit dostatečně malé plošky pro připájení čipu samostatně.

### 1.2 Multiplexor 74HC151N

V tomto obvodu jsem využil multiplexor 74HC151N k detekci stavu více tlačítek a následnému sériovému přenosu dat do Arduina. Multiplexor umožňuje vybrat jeden z osmi vstupů a směřovat ho na jediný výstup. Výběr vstupu se provádí pomocí adresových vstupů (jinak nazývaných "vstupy pro výběr"), kam se přenáší BCD kód. Díky tomuto řešení jsem snížil počet kabelů nutných pro propojení s Arduinem.

### 1.3 Demultiplexor 4555N

Demultiplexor 4555N slouží k převodu binárního kódu na jeden ze čtyř výstupů.

V našem případě je dekodér součástí světelného rozhraní v ovládacím obvodu. Na jeho vstup je přivedeno napájení a ze čtyř výstupů vedou kabely ke čtyřem LED diodám.

Vždy svítí jen jedna z nich, indikující aktuální režim pohybu robotického ramene.

### 1.4 Binární čítač 74HCT390N

Obvod 74HCT390N je dvoudekádový kaskádový čítač, který obsahuje dva samostatné čtyřbitové čítače, přičemž každý čítač dokáže počítat od 0 do 9 (dekáda). 74HCT390N je vysokorychlostní CMOS logický obvod. Díky tomu je 74HCT390N vhodný pro aplikace, kde je důležité rychlé sčítání. Jelikož bylo potřeba do multiplexoru a demultiplexoru posílat BCD kód a zároveň minimalizovat počet kabelů z Arduina, zvolil jsem integrovaný obvod **74HCT390N** s dvěma dekádovými BCD čítači. Tento obvod reaguje na sestupnou hranu signálu, tzn. aktivuje se při přechodu signálu z vysokého na nízký stav.

Obvod 74HCT390N má také 2 resetovací vstupy pro vymazání každého čítače, které jsem využil v obvodu pro inicializaci po zapnutí. Pokud bych tak neučinil, mohly by čítače po zapnutí nabrat libovolnou hodnotu a Arduino, které z multiplexoru čte stisknutá tlačítka, by mohlo nesprávně přiřadit tlačítka, což by vedlo k nesprávné funkci. Díky rychlosti 74HCT390N je možné přepínat velkou rychlostí multiplexor a demultiplexor. To umožňuje rychlé čtení tlačítek, ale také umožňuje tak rychlé přepínání demultiplexoru, že se může zdát, že svítí více LED diod najednou. Dále umožňuje nenápadné přepínání, takže se může zdát, že se diody posouvají jiným směrem. Toho využívám pro zobrazování světelných oběma směry.

## 1.5 Enkodéry

Enkodér je elektronická součástka, která převádí pohyb na sérii elektrických impulsů. Enkodéry jsem použil v interaktivním ovládacím rozhraní, aby uživatel mohl jednoduše a intuitivně ovládat rameno. Enkodéry mají 3 vstupy pro snímání otáčení a dokáží snímat jak rychlost, tak směr otáčení. Použité enkodéry měly v sobě integrované i tlačítko, takže disponovaly o 2 vstupy navíc. Tlačítko v enkodéru je spínací.

## 1.6 Arduino nano

**Arduino Nano** je malá kompletní breadboard deska mikrokontroléru založená na mikrokontroléru ATmega328P. Jedná se o univerzální mikrokontrolér. Pracuje s mini-B USB kabelem.

**Programování:** Arduino Nano se programuje v **Arduino IDE**, bezplatném a open-source vývojovém prostředí. IDE nabízí intuitivní grafické rozhraní a jednoduchý jazyk podobný C++ pro psaní programů.

## 1.7 Modul SD karty

Z důvodu nedostatku prostoru v krabičce pod ramenem není modul SD karty přímo připájen na desku plošných spojů. Místo toho je externě připojen zvenčí krabičky, čímž je zajištěna snadná přístupnost pro výměnu SD karet. Modul byl zvolen i z důvodu obtížnosti výroby tištěného spoje s malými plochami. Díky tomu se nemusely frézovat při použití integrovaného modulu. Modul SD karty umožňuje ukládat a načítat data z robotického ramene.

MISO (Master In, Slave Out): tento pin přenáší data ze SD karty do Arduina.

MOSI (Master Out, Slave In): tento pin přenáší data z Arduina do SD karty.

SCK (Serial Clock): tento pin synchronizuje přenos dat mezi Arduinem a SD kartou.

SS (Slave Select): tento pin vybírá SD kartu pro komunikaci s Arduinem.

Kromě těchto čtyř pinů je nutné připojit i napájení (3,3 V) a zem (GND).

**Před použitím modulu SD karty se ujistěte, že je karta naformátována ve formátu FAT16 nebo FAT32.**



## 1.8 LED diody

LED dioda (Light Emitting Diode) je polovodičová součástka, která vyzařuje světlo při průchodu elektrického proudu v propustném směru. Na rozdíl od žárovek, které fungují na principu zahřívání vlákna, LED diody emitují světlo rekombinačním procesem volných nosičů náboje v polovodiči. Oproti normálním diodám na nich vzniká větší úbytek napětí, jinak jsou její vlastnosti stejné. Proud propouští jen v jednom směru. Při protékajícím proudu emitují světlo. V obvodu jsou používány modré 5mm LED diody. Modré LED diody indikují režim pohybu robotického ramene.

## 1.9 Servomotory

Servomotor je typ motoru, který se liší od běžných motorů tím, že umožňuje přesné ovládání polohy hřídele. Toho je dosaženo pomocí zpětné vazby a řídicí elektroniky, která zajišťuje, aby se hřídel motoru otáčela o požadovaný úhel.

### Části servomotoru:

1. **Motor:** obvykle stejnosměrný nebo střídavý, kartáčový nebo bezkartáčový. Může to být i rotační nebo lineární motor, v závislosti na požadovaném pohybu.
2. **Zpětná vazba:** poloha hřídele je sledována snímačem, například potenciometrem. Informace o poloze jsou odesílány do řídicí elektroniky.
3. **Řídicí elektronika:** porovnává požadovanou polohu (danou řídicím signálem) s aktuální polohou (získanou ze zpětné vazby). Na základě tohoto rozdílu řídicí elektronika reguluje napájení motoru tak, aby se hřídel otáčela nebo posunula na požadovanou pozici.

V servomotoru hraje klíčovou roli pulzně šířková modulace (PWM). Tato technika umožňuje řídicí elektronice serva přesně ovládat rychlost a úhel otáčení hřídele motoru. Mé robotické rameno využívá servomotory MG996 s kovovými převody.

## **2 Regulace a technologie**

### **2.1 PWM regulace**

PWM (Pulse Width Modulation) je metoda modulace šířky pulzu, která se používá pro regulaci výkonu elektronických zařízení. V mém případě využívám PWM regulaci k řízení servomotorů. Princip PWM regulace spočívá v tom, že se střídá perioda zapnutí a vypnutí napájení. Poměr doby zapnutí k celkové periodě se nazývá tzv. duty cycle (pracovní cyklus). Čím je duty cycle vyšší, tím větší je průměrný výkon dodávaný do zařízení.

### **2.2 CMOS technologie**

CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) je technologie výroby integrovaných obvodů, která využívá tranzistory MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor). Tato technologie se vyznačuje nízkou spotřebou energie, vysokou odolností proti rušení a možností integrace velkého počtu tranzistorů na jeden čip.

### **2.3 SPI**

(Serial Peripheral Interface) je sériové rozhraní pro propojení mikroprocesorů a periferních zařízení. Umožňuje komunikaci mezi více zařízeními na jedné sériové sběrnici. V mém případě se SPI používá pro komunikaci mezi Arduinem a modulem SD karty.

### **2.4 I2C**

I2C (Inter-Integrated Circuit) je sériové rozhraní pro propojení integrovaných obvodů. Umožňuje komunikaci mezi více zařízeními na jedné sériové sběrnici. I2C se používá v mém projektu pro komunikaci mezi Arduinem a čipem PCA9685 pro řízení servomotorů.

## 2.5 BCD

Binární kódovaný desetinný kód, kde se každá desetinná číslice kóduje čtyřmi bity.

V ovládacím obvodu se BCD kód používá k dekodování adresových vstupů multiplexoru a demultiplexoru.

## 2.6 Pull-down rezistory

Pull-down rezistory (v češtině se používá i název rezistory k zemi) jsou pasivní elektronické součástky, které se zapojují mezi vstupní nebo výstupní pin integrovaného obvodu a zem (GND). Jejich funkcí je zajistit definovaný logický stav „0“ (nízký napěťový stav) v době, kdy není k pinu připojen žádný jiný signál.

V mém zapojení jsem pull-down rezistory využil hned několikrát. U každého tlačítka se nachází jeden takovýto rezistor, který „stahovat“ napětí k zemi a zabraňuje tak výskytu neurčitého stavu.

Při stisknutí tlačítka se v obvodu objeví vysoký stav, jelikož tlačítko spojí napájecí napětí s vstupem na multiplexoru. Po uvolnění tlačítka by se na vstupu bez pull-down rezistoru mohl objevit neurčitý stav. Díky pull-down rezistoru se však na vstupu objeví zem a stav bude nízký.

## 2.7 Neurčitý stav

Neurčitý stav je napěťová úroveň na pinu, která není ani nízká (logická "0"), ani vysoká (logická "1"). Může být způsobena rušením, vadným komponentem nebo odpojeným signálem. Neurčitý stav může vést k nestabilnímu nebo neočekávanému chování obvodu. Také proto se veškeré vstupy všech integrovaných obvodů ošetřují.

## 3 Funkce celku

Nyní se zaměříme na to, jak součástky fungují dohromady a jak funguje celý systém robotického ramene. Bližší informace o jednotlivých součástkách naleznete na předchozích stranách.

### 3.1 Části robotického ramene

Robotické rameno se skládá ze dvou hlavních částí:

1. **ovládací obvod:** tato část je rozhraní, které komunikuje mezi strojem a uživatelem,
2. **řídící obvod:** tato část přijímá data z ovládacího obvodu, a je zodpovědná za příjem a zpracování dat z enkodérů a tlačítek a také za odesílání řídicích signálů do servomotorů a LED diod.

#### Komunikace mezi částmi

Ovládací a řídicí obvod jsou propojeny přes rozhraní 9 drátů. Z těchto 9 drátů:

- 2 slouží pro napájení (GND a VCC 5V)
- 7 slouží pro komunikaci:
  - 4 dráty slouží k snímání otočení enkodérů a tím pádem k ovládní.
  - 2 dráty slouží pro odesílání informací z řídicího obvodu do ovládacího
  - 1 drát slouží pro odesílání stavu tlačítek do řídicího obvodu.

#### 3.1.1 Řídící obvod

Řídící obvod je srdcem robotického ramene a zajišťuje veškerou logiku jeho pohybu.

Skládá se z:

- **Arduina Nano:** mikrokontrolér, který slouží jako mozek celého systému. Arduino zpracovává data z enkodérů a tlačítek, řídí servomotory a komunikuje s ovládacím obvodem,
- **modulu na řízení servomotorů:** deska s obvody, které regulují pohyb servomotorů. Modul přijímá řídicí signály z Arduina a převádí je na PWM regulaci pro serva.

- **rozhraní:** konektory, který umožňují propojení řídicího a ovládacího obvodu a modulu SD karty.
- **modulu SD karty:** umožňuje ukládat a načítat uložené pozice ramene z paměti.
- **vstupu pro napájení servomotorů:** konektor pro připojení externího napájecího zdroje pro serva.

### 3.1.2 Ovládací obvod

Ovládací obvod slouží jako rozhraní mezi uživatelem a robotickým ramenem. Skládá se z interaktivního ovládacího rozhraní a světelného rozhraní.

#### Interaktivní ovládací rozhraní:

- **enkodérů:** otočných ovladačů, které uživatel používá k manuálnímu napolohování ramene. Enkodéry generují impulsy, které jsou dekodovány v ovládacím obvodu.
- **tlačítek:** tlačítek sloužících k načtení a uložení uložených pozic ramene.
- **světelného rozhraní:** LED diod, které indikují aktuální režim pohybu ramene.

#### Zpracování signálů

Výstupy enkodérů vedou přímo do rozhraní, jelikož je není nutné v ovládacím obvodu dále zpracovávat. Naproti tomu výstupy tlačítek je nutné zpracovat v ovládacím obvodu pomocí multiplexorů. Multiplexor vybírá požadovaný signál z více vstupů na základě informace z řídicího obvodu. Informace z řídicího obvodu je zpracována přes čítač, který následně do multiplexoru posílá BCD kód.

## 4 Problémy při výrobě

Při výrobě robotického ramene se vyskytlo několik neočekávaných problémů, které bylo nutné vyřešit. Níže uvádím podrobný popis těchto problémů a jejich řešení:

### 4.1 Čítače

#### 4.1.1 Problémy při spuštění

Při tvorbě ovládací části došlo k několika problémům s čítači. Jak již bylo zmíněno na předchozích stránkách, čítače sloužily k vytváření BCD kódu pro multiplexor a demultiplexor. Arduino z multiplexoru čte stavy všech tlačítek.

Problém s čítači se projevil po spuštění obvodu. Z neznámého důvodu se na čítači objevil jiný stav, než byl očekáván. To mohlo být způsobeno indukovaným napětím na deskách v drahách, které ovlivnilo stav čítače.

V důsledku této chyby nebyla řídicí deska synchronizována s ovládací částí, což vedlo k problémům se zobrazováním módů pohybu a čtením stavu tlačítek. LED diody indikující aktuální pohybový mód nebyly synchronizovány s řídicím modulem, čímž docházelo k zobrazování nesprávného módu. Tato chyba mohla uživatele zmást, protože při každém zapnutí se módy zobrazovaly jinou LED diodou.

Kromě nesprávného fungování světelného rozhraní tato chyba ovlivnila i funkci interaktivního ovládacího rozhraní. Tlačítka na ovladači (včetně tlačítek enkodérů) tak měla nesprávnou funkci a uživatel nemohl s ramenem správně pracovat.

#### **Řešení:**

Pro opravu této chyby byl použit obvod pro vymazání čítače po zapnutí. Na vývod čítače byl přidán kondenzátor a rezistor, které zajistí, že po zapnutí bude na vývodu po dobu několika prvních milisekund vysoká úroveň, čímž se obvod resetuje.

### **4.1.2 Problémy při provozu**

Po vyřešení prvního problému s čítači se stále vyskytovaly problémy s LED diodami. Při provozu se často stávalo, že diody začaly náhodně problíkávat a ze světelného rozhraní nebylo možné zjistit aktuální mód ramene. Bylo nutné zjistit příčinu této chyby, například chyba se neprojeví hned po zapnutí, ale až po několika vteřinách provozu, nebo se chyba projeví při stisknutí tlačítek či otáčení enkodéru.

#### **Odstranění chyby:**

Nejprve byl zkontrolován kód, zda neobsahuje chybu, která by mohla posílat do čítače vysoký stav. Žádná taková chyba v kódu nalezena nebyla. Dále byla zkontrolována deska plošných spojů na případné zkratky.

Další hypotézou bylo indukování napětí na drahách. Pokus o ověření této hypotézy připojením měřicího přístroje však chybu eliminoval a žádné indukované napětí nebylo naměřeno.

Byl proveden pokus o vyřešení problému přidáním kondenzátorů pro potlačení rušení, avšak bez úspěchu.

Následně byla znovu prostudována dokumentace čítače. V dokumentaci sice nebylo nalezeno žádné vysvětlení problému, ale bylo zjištěno, že čítač počítá sestupné hrany. Po kontrole kódu bylo zjištěno, že PIN čítače zůstává v nízkém stavu, což mohlo být příčinou chyby.

#### **Řešení:**

Kód byl upraven tak, aby PIN čítače v nečinném stavu zůstal ve vysokém stavu. Po této úpravě kód chybu eliminoval a diody fungovaly správně.

## 4.2 Komunikace s SD kartou

Při nahrávání nového programu do Arduina, který zahrnoval i komunikaci s SD kartou pro ukládání a načítání poloh ramene, se objevil problém. Arduino se s modulem SD karty nedokázalo vůbec spojit.

Zaměřil jsem se na zjištění příčiny problému. Pomocí osciloskopu jsem se pokusil detekovat komunikaci mezi Arduinem a modulem SD karty. Zjistilo se, že mezi těmito komponentami žádná komunikace neprobíhala.

Při bližším zkoumání jsem došel k závěru, že použité Arduino bylo poškozené a nefungovala na něm SPI komunikace, která je nezbytná pro komunikaci s modulem SD karty.

Řešením bylo nutné zakoupit nové Arduino. Po výměně Arduina vše fungovalo správně a komunikace s modulem SD karty byla bezproblémová.

## 4.3 Špatný návrh

**Při výrobě tištěného spoje došlo k záměně dvou součástek - rezistoru a kondenzátoru. To způsobilo, že schéma nefunguje správně.** Z důvodu úspory jsem se rozhodl nevyrábět novou desku plošných spojů, ale vyměnil jsem součástky C1 a R17 a C2 a R18. Opravené schéma, které je nyní používáno, naleznete v příloze nahrané na Google učebnu. Úprava schématu se týká i řídicí části. Chyba vznikla z nepozornosti a bylo použito staré schéma.

**V učebně na Google disku naleznete jak staré, tak i opravené schémata.**



## 5 Stručný návod k použití

### 5.1 Spuštění

1. **Zapojte napájení:** rameno má dva napájecí zdroje:
  - Pro logickou část: 5 V stejnosměrné stabilizované.
  - Pro servomotory: 6 V stejnosměrné stabilizované s minimálním proudem 0,8 A
2. **Vyčkejte 5 sekund:** po zapnutí se rameno inicializuje a posune do výchozí polohy. Během inicializace se dioda na ovladači rozsvítí. Jakmile se rozsvítí dioda LED 1, rameno je připraveno k použití.
3. **Pokud svítí jiná dioda:**
  - odpojte napájení 5V a znovu ho připojte. A opakujte 2. krok.
4. **Rameno je nyní v provozu.**

### 5.2 Posun ramene

Rameno má 3 módy posunu a 1 mód nastavení rychlosti. Módy lze měnit pomocí tlačítek v enkodérech T6 a T7. T6 je posun módů vzad. T7 je posun módů vpřed.

1. **Mód 1:** pracuje se servomotory L1 a L2. Levý enkodér ovládá L1 a pravý enkodér L2. Tento mód indikuje LED 1.
2. **Mód 2:** pracuje se servomotorem R1 a servomotorem nasazovací hlavy. Levý enkodér ovládá servomotor R1. Tento mód indikuje LED 2.
3. **Mód 3:** pracuje se servomotory R2 a L3. Tento mód indikuje LED 3.
4. **Mód 4:** ovládání rychlosti pohybu ramene. Pootočením jakéhokoli enkodéru doprava se rychlost ramene zvýší o 1 (maximální rychlost 5). Pootočením jakéhokoli enkodéru doleva se rychlost ramene sníží o 1. Tento mód indikuje LED 4.

## 5.3 Ukládání a načítání poloh

Rameno dokáže uložit až 5 poloh. Každé z tlačítek 1-5 slouží k uložení jedné polohy.

### 5.3.1 Uložení polohy

1. **Držte stisknuté jedno z tlačítek 1-5.**
2. **Jakmile se diody rozsvítí a začnou blikat, pusťte tlačítko.** Poloha se uloží.

**Pokud se diody nerozsvítí:**

- Zkontrolujte, zda je vložena SD karta.
- Pokud je SD karta vložena, zkontrolujte, zda není poškozená.

### 5.3.2 Načtení polohy

1. **Krátce stiskněte jedno z tlačítek 1-5.** Rameno se posune do uložené polohy.

**Pokud se rameno neposune:**

- Zkontrolujte, zda je vložena SD karta.
- Zkontrolujte, zda se nenacházíte již v uložené poloze.

## 5.4 Připojení SD karty

Pro ukládání a načítání poloh je nutné vložit SD kartu. Je doporučeno vložit kartu před zapnutím ramene. Pokud je rameno již zapnuté, stiskněte po vložení SD karty jedno z tlačítek 1-5 pro inicializaci karty.

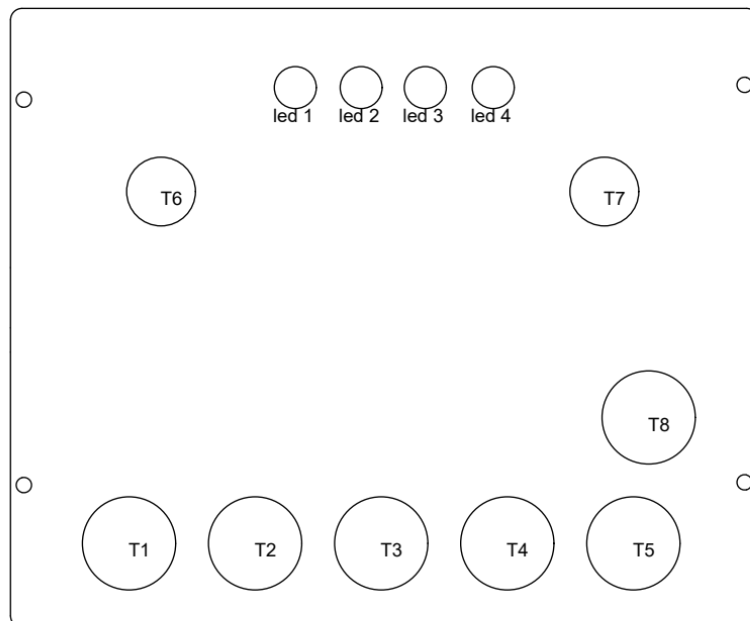
## 5.5 Vypnutí

1. Stiskněte červené tlačítko T8 na ovladači pro uložení ramene do domácí polohy.
2. Odpojte napájení.

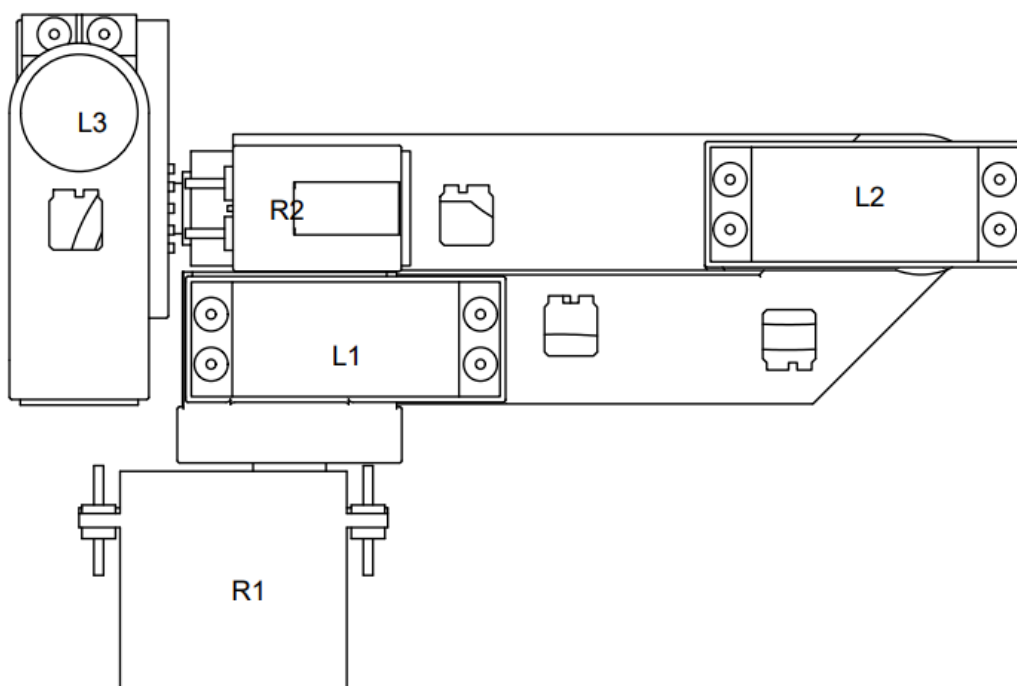
## **Závěr**

Vývoj robotického ramene byl náročný proces, během kterého se vyskytlo několik neočekávaných problémů. Tyto problémy musely být vyřešeny, aby rameno fungovalo správně. Díky pečlivému testování a analýze se podařilo všechny problémy vyřešit a rameno nyní funguje bezchybně.

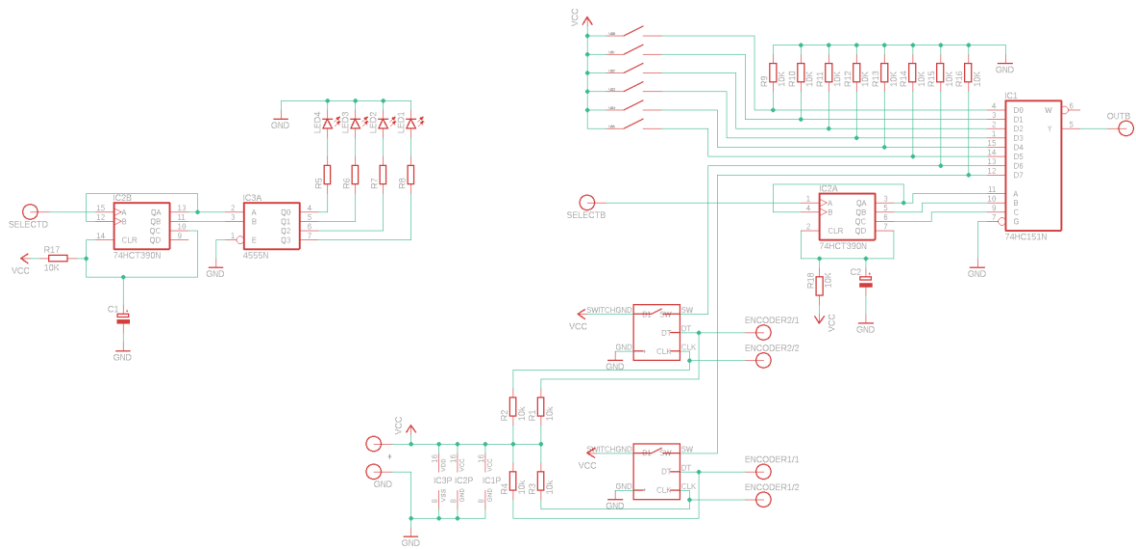
Tato dokumentace slouží jako komplexní návod pro uživatele robotického ramene. Obsahuje detailní popis komponent, principů fungování a návod k použití. Cílem této dokumentace je poskytnout uživatelům hlubší pochopení funkcí ramene a usnadnit jeho používání.



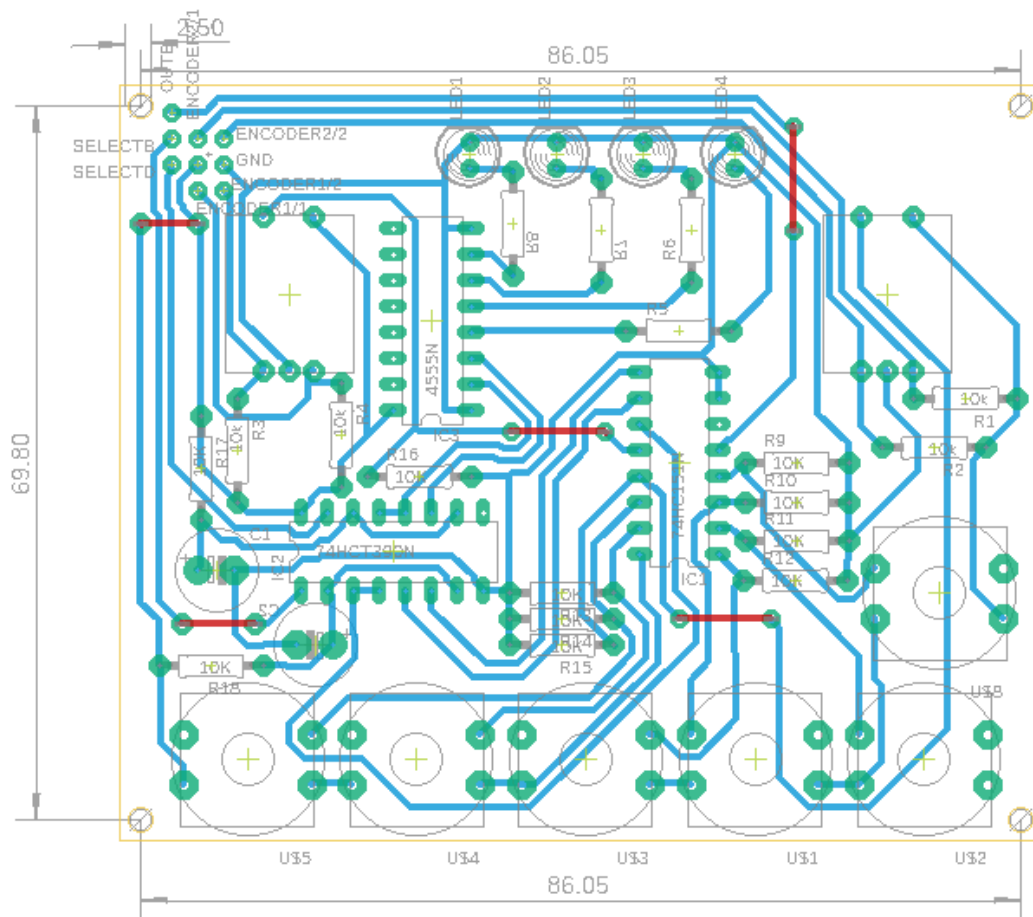
Obrázek 2



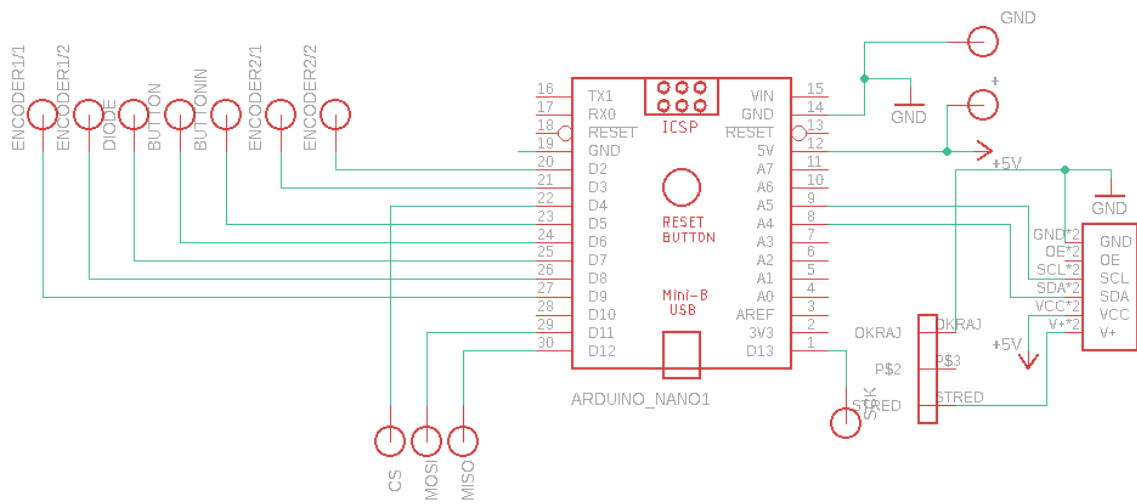
Obrázek 3



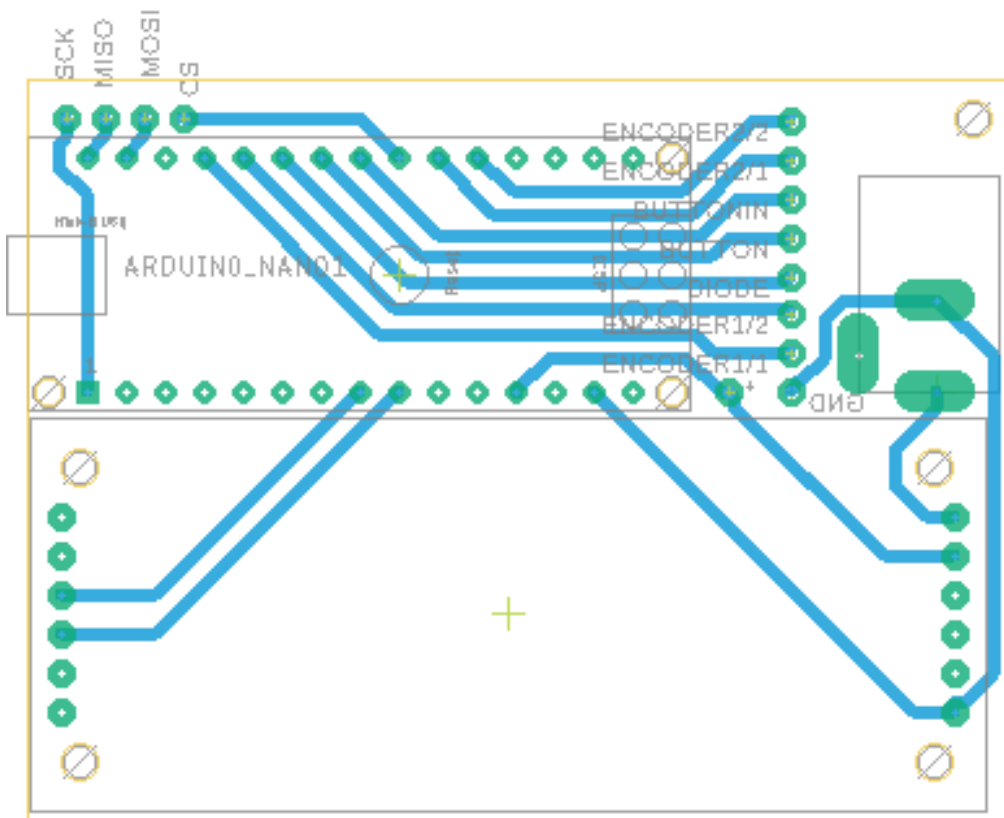
Obrázek 4



Obrázek 5

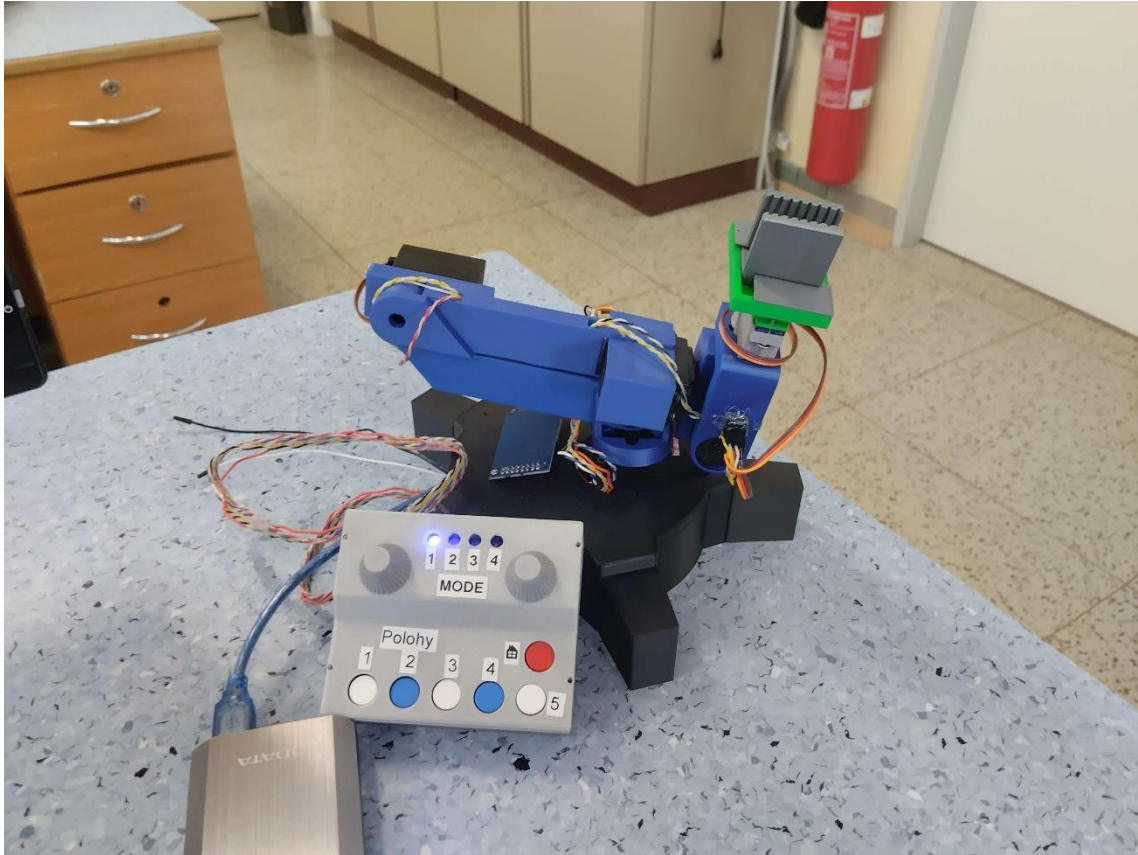


Obrázek 6



Obrázek 7

## Obrázek výrobku



*Obrázek 8*

## Tabulka použitých součástek

název	hodnota
C1	100 $\mu$ f
C2	100 $\mu$ f
IC1	74HC151N
IC2	74HCT390N
IC3	4555N
LED1	modrá
LED2	modrá
LED3	modrá
LED4	modrá
R1	10k
R2	10k
R3	10k
R4	10k
R5	10k
R6	10k
R7	10k
R8	10k
R9	10k
R10	10k
R11	10k
R12	10k
R13	10k
R14	10k
R15	10k
R16	10k
R17	10k
R18	10k



Tabulka obrázků

<b>Obrázek 1</b> .....	<b>1</b>
<b>Obrázek 2</b> .....	<b>15</b>
<b>Obrázek 3</b> .....	<b>15</b>
<b>Obrázek 4</b> .....	<b>16</b>
<b>Obrázek 5</b> .....	<b>16</b>
<b>Obrázek 6</b> .....	<b>17</b>
<b>Obrázek 7</b> .....	<b>17</b>
<b>Obrázek 8</b> .....	<b>18</b>

## **Použitá literatura**

[PCA9685 Servo Driver Arduino circuit diagram and Code \(electronicclinic.com\)](#)

[16-channel-pwm-servo-driver.pdf \(adafruit.com\)](#)

[Servo MG90S 180° s kovovými převody | dratek.cz](#)

[CD4555 Datasheet\(PDF\) - Intersil Corporation \(alldatasheet.com\)](#)

[Multiplexer: What is it? \(And How Does it Work\) | Electrical4U](#)

[Pull-up Resistors and Pull-down Resistors Explained \(electronics-tutorials.ws\)](#)

[74HCT390N datasheet\(2/7 Pages\) PHILIPS | Dual decade ripple counter \(alldatasheet.com\)](#)