



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY  
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

**ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY**

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

**ŘÍDICÍ JEDNOTKA PRO ŘÍZENÍ POLOHY  
EXPERIMENTÁLNÍHO POLOHOVACÍHO STOLKU**

CONTROL UNIT FOR POSITIONING CONTROL OF THE EXPERIMENTAL POSITIONAL TABLE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Lukáš Fries**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Martin Adámek, Ph.D.**

**BRNO 2017**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

**Student:** Lukáš Fries

**ID:** 174293

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2016/17

## NÁZEV TÉMATU:

**Řídicí jednotka pro řízení polohy experimentálního polohovacího stolku**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou řízení polohy pomocí mikrokontroleru Atmel ATmega328. Nastudujte programování tohoto procesoru.

Navrhněte, realizujte a otestujte řídicí jednotku pro ovládání polohy experimentálního stolku. Pro řízení použijte mikrokontroler Atmel ATmega328. Nastudujte a vyzkoušejte možnost zpracování dat pomocí počítače. Zhodnoťte možnosti realizovaného zařízení.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 6.2.2017

**Termín odevzdání:** 8.6.2017

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Adámek, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**  
předseda oborové rady

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

## **ABSTRAKT**

Práce se věnuje teoretické charakteristice použitých komponentů a jejímu fungování. Hlavní část je zaměřena na praktický návrh a sestavení funkčního zařízení pro řízení polohy stolečku, který je součástí nespecifikovaného pracoviště. Pozornost je soustředěna zejména na ATmega328, které je součástí modulu Arduina pro ovládání podřazených systémů. Dokument popisuje blíže komunikaci s počítačem, který může být zvolen jako ovládací prvek polohovacího aparátu. Změna polohy je zajištěna dvěma krokovými motorky. Primární ovládání bylo navrženo pomocí tlačítek a informace o poloze je operátorovi sdělena skrze displej. Celý koncept podléhá požadavkům na spolehlivost a přesnost s akcentem na jednoduchou obsluhu.

Klíčová slova: Polohovací stoleček, krokový motor, ATmega328, řídicí jednotka

## **ABSTRACT**

The work is devoted to the theoretical characteristics of the used components and its functioning. The main part is focused on practical design and build a functional device for control the position of the table, which is part of some unspecified workplace. Attention is mainly concentrated on the ATmega328, which is part of the module Arduino for control sub systems. The document describes a closer communication with the computer, which can be selected as a control element positioning apparatus. Change of position is provided by two stepper motors. The primary control was designed using buttons and the position information is the operator transmitted to the display. The whole concept is subject to the requirements on the reliability and accuracy with an emphasis on simple operation.

Keywords: Positioning table, stepper motor, ATmega328, control unit

## Bibliografická citace díla:

FRIES, L. *Řídicí jednotka pro řízení polohy experimentálního polohovacího stolku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2017. 44 s., 4 s. příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Adámek, Ph.D.

## Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma **Řídicí jednotka pro řízení polohy experimentálního polohovacího stolku** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **8. června 2017**

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu *bakalářské* práce Ing. Martinu Adámkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **8. června 2017**

.....  
podpis autora

# Obsah

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Úvod .....                                    | 9  |
| 1 Polohovací systémy .....                    | 10 |
| 1.1 Požadavky.....                            | 10 |
| 1.2 Typy polohovacích zařízení .....          | 10 |
| 1.2.1 Podle konstrukce .....                  | 10 |
| 1.2.2 Podle použitého pohonu.....             | 11 |
| 1.2.3 Podle stupňů volnosti .....             | 11 |
| 1.3 Parametry.....                            | 12 |
| 1.3.1 Přesnost .....                          | 12 |
| 1.3.2 Radiální a axiální házení .....         | 12 |
| 1.3.3 Opakovatelnost.....                     | 12 |
| 1.3.4 Ortogonalita.....                       | 12 |
| 1.3.5 Horizontální a vertikální přímost ..... | 13 |
| 1.4 Průmyslově vyráběné polohovací stoly..... | 13 |
| 2 ATmega328 .....                             | 14 |
| 2.1 Způsoby programování.....                 | 14 |
| 2.1.1 Paralelní programování .....            | 14 |
| 2.1.2 Sériové programování .....              | 15 |
| 3 Arduino .....                               | 16 |
| 3.1 Výbava.....                               | 16 |
| 3.2 Parametry.....                            | 17 |
| 3.2.1 Požadavky .....                         | 17 |
| 3.3 Vývojové desky Arduino.....               | 17 |
| 4 Programování.....                           | 18 |
| 4.1 Programovací prostředí .....              | 18 |
| 4.2 Program .....                             | 19 |
| 4.2.1 Jazyk.....                              | 19 |
| 4.3 Processing .....                          | 20 |
| 4.3.1 Ovládací prvky .....                    | 21 |
| 4.3.2 Komunikace Arduina .....                | 21 |
| 5 Komunikace mikroprocesoru.....              | 22 |

|       |                                                               |    |
|-------|---------------------------------------------------------------|----|
| 5.1   | UART .....                                                    | 22 |
| 5.2   | I <sup>2</sup> C .....                                        | 22 |
| 5.3   | SPI .....                                                     | 23 |
| 6     | Krokové motorky .....                                         | 24 |
| 6.1   | Konstrukce .....                                              | 24 |
| 6.2   | Princip funkce .....                                          | 24 |
| 6.2.1 | Vlastnosti .....                                              | 25 |
| 6.3   | Řízení krokového motorku .....                                | 25 |
| 7     | LCD displeje .....                                            | 26 |
| 7.1   | Princip .....                                                 | 26 |
| 7.2   | Struktura displeje .....                                      | 27 |
| 7.2.1 | Aktivace .....                                                | 27 |
| 7.3   | Řízení .....                                                  | 27 |
| 8     | Návrh a realizace řízení polohovacího stolku .....            | 28 |
| 8.1   | Požadavky návrhu .....                                        | 28 |
| 8.1.1 | Polohovací stoleček .....                                     | 28 |
| 8.2   | Blokové schéma .....                                          | 29 |
| 8.3   | Prvky řídicí jednotky .....                                   | 30 |
| 8.3.1 | Budič krokových motorků .....                                 | 30 |
| 8.3.2 | Arduino NANO .....                                            | 31 |
| 8.3.3 | LCD displej .....                                             | 32 |
| 8.3.4 | Krokový motorek .....                                         | 32 |
| 8.4   | Hlavní řídicí deska .....                                     | 33 |
| 8.4.1 | Senzory .....                                                 | 35 |
| 8.5   | Programové vybavení .....                                     | 35 |
| 8.5.1 | Firmware .....                                                | 35 |
| 8.5.2 | Software .....                                                | 36 |
| 8.5.3 | Vývojový diagram programu pro ATmega328 bez konfigurace ..... | 37 |
| 8.5.4 | Vývojový diagram programu pro ATmega328 s konfigurací .....   | 38 |
| 8.6   | Oživení .....                                                 | 39 |
| 8.6.1 | Zkouška .....                                                 | 40 |
| 9     | Závěr .....                                                   | 41 |

# Úvod

Polohovacích systémů existuje na trhu celá řada, ale většinou se jedná o zakázky šité na míru. Polohování usnadňuje lidem práci, ale často kromě komfortu zajišťuje i dosažení přesných pozic, kterých manuální obsluhou nelze docílit. Své uplatnění nalézají ve zdravotnictví, výzkumu, strojírenství, elektrotechnice, stavebnictví, potravinářství a určitě by se našla celá řada dalších odvětví, kde se polohovací systémy používají.

Polohovací stoly, mohou být flexibilní v různé míře. Zásadní informace o možnostech pohybu udávají tzv. stupně volnosti. Změna polohy stolečků bývá zajištěna nejčastěji servomotory a krokovými motory. Levnější varianty řízení mohou obsahovat běžné stejnosměrné nebo střídavé motory doplněné ozubeným převodovým soukolím. Paradoxně stolečky s převodovým soukolím dosahují vyšších přesností.

Stoleček, který je popsán níže v této práci a pro který byla navržena řídicí jednotka, má 2 stupně volnosti a řídí ho mikroprocesor ATmega328. Posuv je realizován krokovými motorky a možný je jak chod vpřed tak vzad. Údaje o aktuální poloze sděluje displej umístěný na čelním panelu krabice zařízení nebo počítač. O změnu polohy se stará čtveřice tlačítek nebo klávesové šipky počítače.

Vzhledem k tomu, že aktuální polohu rotorů nesnímá žádný snímač, údaj o pozici je uváděn výpočtem z množství a velikosti vykonaných kroků. K výchozímu bodu je možné instalovat optozávory, které jsou konfigurovány pro budoucí využití. Ty zajišťují, kalibraci souřadnic a vymezují stolečku pracovní prostor.

Pracovní oblast, ve které je umožněn volný pohyb, popisují souřadnice  $x$  a  $y$  v jednotkách mm a  $\mu\text{m}$ . Pohyb je možný jak v kladných osách tak záporných, z čehož vyplývá, že výchozí bod si může uživatel zvolit sám dle vlastního uvážení. Program je napsán tak, aby bylo možné řízení stolečku modifikovat, dle aktuálních požadavků.

# 1 Polohovací systémy

Konec 20. století sebou přinesl nový formát průmyslové výroby, která vyžadovala uzpůsobení výrobních linek a automatizovaných pracovišť. Pozornost se soustředila na polohovací systémy, které z velké části ovlivňovali výrobní chod a kvalitu produktů. Polohování zajišťuje přepravu materiálu na jiné pracoviště, umožňuje změnu pozice při samotném výrobním procesu nebo pouze uvádí objekty do pohybu pro testování. Polohovacím stolům se někdy říká indexovací stoly. [1]

## 1.1 Požadavky

Základní požadavky, které by měli splňovat všechny polohovací systémy, jsou shrnuty do následujících bodů. [2]

- rychlost
- přesnost
- minimální setrvačnost
- snadná obsluha
- flexibilita
- odolnost (životnost)
- stabilita

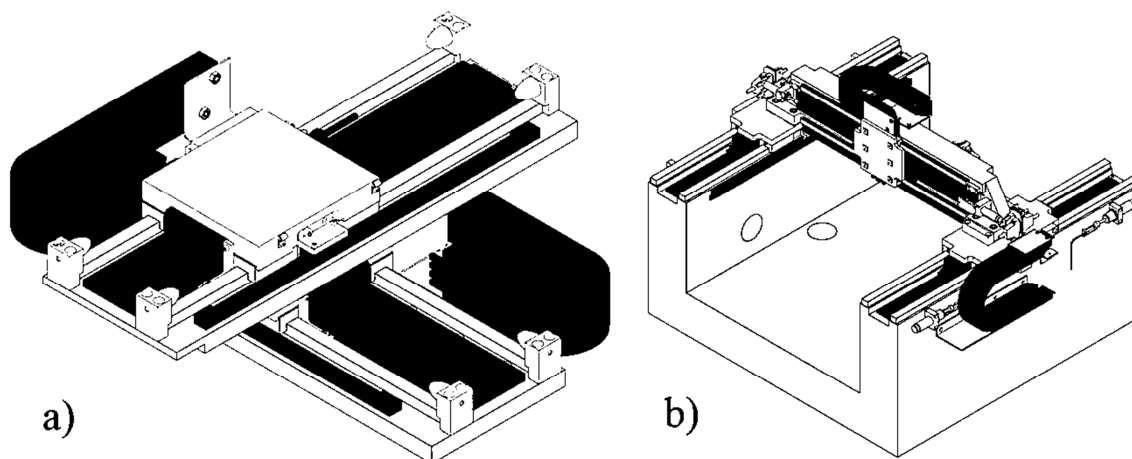
## 1.2 Typy polohovacích zařízení

Každý druh manipulačního nebo obráběcího zařízení vyžaduje vlastní dopravník, který má své specifické vlastnosti, kterých se docílí odlišnou konstrukcí a typem pohonů. Při výběru je zásadní volit takový formát, který splní konstrukční požadavky. Proto je možné polohovací systémy dělit.

### 1.2.1 Podle konstrukce

Konstrukce ovlivňuje, jakým způsobem se bude dopravník pohybovat a s jakou přesností. Má tedy přímý dopad na možnosti, které stůl bude nabízet. Buď bude stůl otočný, posuvný, vystředovací nebo kombinovaný.

Otočné stoly zajišťují přístup do všech horizontálně vedených stran, a proto většinou zastávají roli nejrůznějších podavačů. Přeprava se nehodí na dlouhé vzdálenosti. Posuvné stoly mohou mít konstrukci xy tabulky, nebo portálového systému. Tabulka xy a portálový systém je zobrazen na Obr. 1. Umožňují přímočarý pohyb a hodí se i na překonávání větších vzdáleností. Vystředovací stoly umožňují náklon do stran a využívají gravitační sílu k transportu. Ke spatření jsou často v místech, kde je nutný přesun mezi dopravníky. [3]



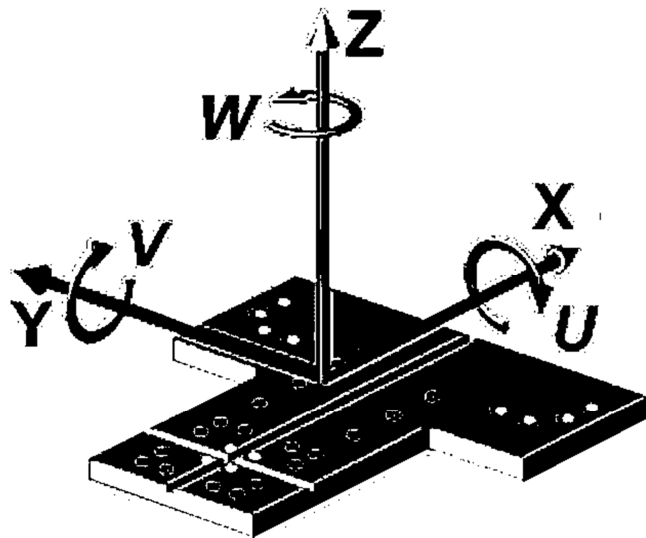
Obr. 1: a)  $xy$  tabulka, b) portálový systém [3]

### 1.2.2 Podle použitého pohonu

Typ použitého pohonu je základním prvkem zmíněných systémů. Rozlišují se hydraulické, pneumatické, piezoelektrické a elektrické pohony. Pneumatické využívají stlačeného vzduchu a umožňují přímočarý pohyb. Hydraulické fungují na podobném principu jako pneumatické, pouze místo vzduchu používají kapaliny. Hydraulické dosahují mnohonásobně větších sil než pneumatické, a proto se hodí pro dopravníky těžkých materiálů. Elektrické pohony zdaleka nedosahují takových sil jako pneumatické nebo hydraulické, ovšem jsou mnohem levnější, nevyžadují složitý rozvodový systém a lépe se dají řídit. Co se týká přesnosti nejlepších výsledků lze docílit piezoelektrickými motorky.

### 1.2.3 Podle stupňů volnosti

Za stupeň volnosti se považuje směr pohybu. V mechanice se jedná o směry posuvu a natočení podél souřadnicových os. Je tedy zřejmé, že v prostoru existuje 6 stupňů volnosti. Tři stupně se týkají posuvu podél os  $x$ ,  $y$ ,  $z$  a tři stupně otáčení kolem zmíněných os. Na Obr. 2 jsou označeny písmeny  $u$ ,  $v$  a  $w$ . Kombinací posuvného a rotačního pohybu lze dosáhnout všech 6 stupňů volnosti. Stupně volnosti vypovídají o základních možnostech polohování a jakosti. Více stupňů, ale vede k vyšší náročnosti na řízení a konstrukci celého systému. [4]



Obr. 2: Stupně volnosti označené šipkami [5]

## 1.3 Parametry

### 1.3.1 Přesnost

Přesnost udává odchylku skutečné pozice od požadované pozice. Obvykle se udává v úhlových vteřinách nebo metrických jednotkách ( $\mu\text{m}$ ). Přesnost je ovlivněna setrvačností pohonu, jeho řízením, typem a mechanikou. Největší vliv na přesnost má výrobní přesnost mechanických komponentů a minimalizace vůlí zejména v pojezdových částech. [6]

### 1.3.2 Radiální a axiální házení

Jedná se o parametry otočných stolů. Axiální házení udává vzdálenost vrchní plochy od vodorovného vychýlení vlivem pohybu. Radiální házení je polohová chyba se svislým vychýlením. Na radiální házení má mimo jiné vliv přesnost umístění středového otvoru při výrobě. [6]

### 1.3.3 Opakovatelnost

Jde o vlastnost systému dosáhnout opakovaně stejné pozice. Pokud se jedná o jednostrannou opakovatelnost, pak je opakování zkoušeno z jedné strany. Pokud se snaží systém dosáhnout stejného bodu z více směrů, pak jde o vícestrannou opakovatelnost. Opakovatelnost má vliv na četnost kalibrací při polohování. Měřené hodnoty se vlivem užívání mění a často se zkoušky periodicky opakují. [6]

### 1.3.4 Ortogonalita

Určuje míru pravoúhlosti souřadnicových os. V případě nepravoúhlosti vzniká při pohybu po jedné ose chyba na druhé, popřípadě třetí ose. Měří se tak, že stoleček

překoná vzdálenost z krajních poloh na jedné ose a z druhé osy se odečte drobná odchylka. Na nesouost má vliv zejména přesnost uložení pojezdů os a mechanické namáhání v průběhu užívání. [6]

### **1.3.5 Horizontální a vertikální přímost**

Při posuvu po horizontálních nebo vertikálních osách se vlivem nerovnosti os může stát, že dojde ke kolísání v některých oblastech dráhy. Minimalizaci takto vzniklých tolerancí lze předejít dokonalou přímostí os a pojezdových dílů. [6]

## **1.4 Průmyslově vyráběné polohovací stoly**

Tuzemské společnosti se zaměřují především na mechanicky polohovatelné stoly, zejména k obráběcím strojům. Poskytují samostatné komponenty k sestavení, včetně řídicích prvků.

Firma ETEL dodává polohovací stoly s přímočarým pohybem ve formě rovinných, portálových i stupňovitých platforem. Je možné si sestavit vlastní polohovací systém z nabízených os a pohonů. [3]

Další možností je zboží od firmy Ciessettrade, která má v nabídce mechanické indexovací stoly. Ty mají svou přednost zejména v tuhosti, čímž lze zajistit velice přesné polohování. Systémy jsou doplněné brzdou, která zajistí pevnou stabilizaci polohy. [7]

Mikron Moravia se věnuje především mechanickým otočným stolům, které je možné použít jak pro obráběcí konvenční stroje, tak pro moderní automatizované CNC stroje. [8]

## 2 ATmega328

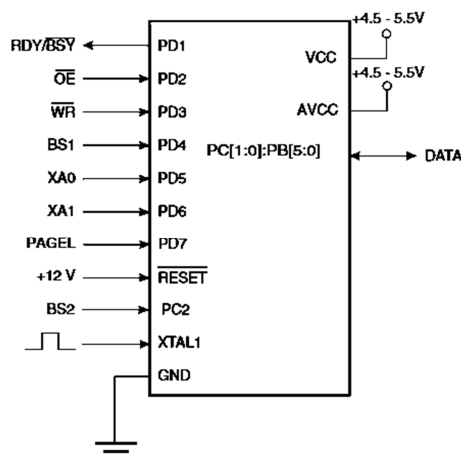
Jedná se o 8 bitový mikroprocesor od rodiny AVR. Obsluha je tvořena instrukční sadou RISC a možnosti řízení se omezují na 23 vstupně/výstupních pinů. Velikost paměti flash je 32 KB, EEPROM 1 KB a SRAM 2 KB. Dalšími technickými parametry je 32 8-bitových pracovních registrů, dva 8-bitové čítače/časovače, 16-bitový čítač/časovač, reálný čítač času s externím oscilátorem, 6 PWM kanálů, 8-kanálový 10-bitový A/D převodník. Ostatním mikroprocesorům konkuruje komunikacemi USART, SPI a I<sup>2</sup>C. Mikroprocesor se vyrábí ve 4 provedení pouzder PDIP, TQFP, MLF a QFN. [9]

### 2.1 Způsoby programování

Mikroprocesor potřebuje pro svou plnohodnotnou funkčnost program, který obsluhuje periferie jednočipu. Základ tvoří sepsání programu v příslušném jazyce a převedení do strojového kódu. Strojový kód je soubor instrukcí, které říkají, jak se má mikroprocesor chovat. Po přeložení do strojového kódu následuje zpravidla jeho nahrání do samotného řadiče. Nahrávání programu je možné více způsoby. Každý mikroprocesor disponuje řadou komunikačních rozhraní, které umožní uživateli vybrat si vhodnou alternativu pro jeho řešení. Mikroprocesory přicházejí z výroby ve výchozím nastavení, které podmiňují způsob prvotního přístupu ke konfiguračním bitům a paměti pro program. K usnadnění zavádění programu do čipu se využívají tzv. programátory, což jsou pomocné obvody, které zajišťují spolehlivý přenos programu a pohodlný přístup k mikrokontroléru. [9]

#### 2.1.1 Paralelní programování

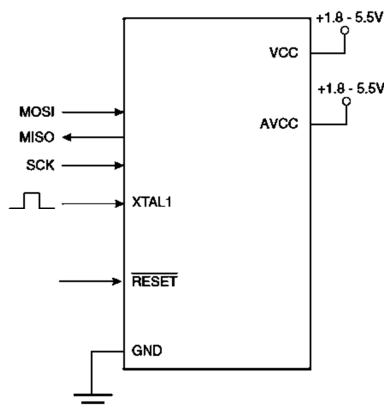
Kombinací jedniček a nul na vymezených pinech se docílí konkrétního úkonu na hardwarovém rozhraní. Při programování je nutné splnit řadu kritérií. Na začátku se přivede zemnicí potenciál na RESET a Vcc. Následuje časová prodleva 10 μs a zvýší se napětí (kolem 11 V) na pinu RESET po dobu 20 až 60 μs. Vstup do programovacího módu zajišťují 4 nuly na pinech P<sub>AGEL</sub>, X<sub>A1</sub>, X<sub>A0</sub> a B<sub>S1</sub> (Obr. 3). Příštích 300 μs je umožněn přenos informací. O jaký typ informace jde, rozhoduje dvojice pinů X<sub>A0</sub> a X<sub>A1</sub>. Pokud je pin X<sub>A0</sub> v logické jedničce a X<sub>A1</sub> v logické nule, pak se programování týká přenosu dat. Pokud je stav opačný, nahrává se příkaz. Oba nulové stavy určují přenos adres. Žádnou akci indikují dvě jedničky. Instrukční bity volí místo pro cílový přenos. Programování je přerušeno nulou na pinu RESET nebo nedodržením programovacích podmínek. [9]



Obr. 3: Ukázka paralelního programování mikroprocesoru ATmega328 [9]

### 2.1.2 Sériové programování

Využívá se SPI rozhraní. Programovací algoritmus je stejně jako u paralelního programování k zahájení nezbytný. Vzestupná hrana na pinu SCK je pro zápis, sestupná hrana pro čtení. Po připojení napájení na pin Vcc a zemního potenciálu na RESET a SCK se po 20 ms pošle sériová instrukce. Nejprve se posílá instrukce, dále adresa a jako poslední samotná data. Přivedením logické nuly na pin RESET se programování přeruší. Ukázka sériového programování je na Obr. 4. [9]



Obr. 4: Ukázka sériového programování mikroprocesoru ATmega328 [9]

## 3 Arduino

Vzhledem k požadavku komunikace a dostupnosti této platformy bylo pro tuto práci zvoleno řešení využívající většinový potenciál Arduina. Jedná se o specifickou open-source platformu, která má za cíl zpřístupnit a zjednodušit realizace aplikací pracujících s mikrokontroléry. Původ Arduina nalezneme v Itálii roku 2005, kdy začal vývoj první desky. Vzhledem k jednoduchosti programování a snadné dostupnosti se projekt uchytil a našel si výraznou oblibu nejen v řadách studentů, ale i mnoha společnostech, jejichž management je z části nebo úplně spjat s vývojem elektronických zařízení. Na trhu existuje celá řada podobných zařízení, která se o Arduino opírá a jejím znakem může být název, který může obsahovat podoby přípon *duino* nebo *ard*. [10]

### 3.1 Výbava

Desky jsou osazeny mikrokontroléry AVR společnosti Atmel nejčastěji typu Atmega. Součástí bývá v základu resetovací tlačítko, programovací port, led diody indikující připojení k počítači a indikace samotného programového přenosu. K zakoupení jsou i tzv. shieldy, což jsou rozšíření základu o již hotovou ovládanou část. Tou může být displej, motorek, senzory apod. Výhodou těchto rozšíření je, že uživatel se dále nemusí starat o návrh, výrobu a odpadá i starost s připojením. Uživatel nemusí nic pájet, stačí pouze zasunout kontakty do konektorů umístěných v základní desce s mikroprocesorem. Ovšem ne každé Arduino je kompatibilní se všemi shieldy. Mikroprocesor obsahuje nahraný bootloader, který zajišťuje defaultní nastavení pro správný chod (např. fuse bity). Na Obr. 5 je vidět Arduino UNO. [10]



Obr. 5: Arduino UNO [11]

## 3.2 Parametry

Mikroprocesor obsahuje výstupní piny, které mají buď čistě přidělenou funkci (reset, napájení) nebo jsou multifunkční a mohou být použity jako vstup/výstup a nebo mají mimořádnou úlohu (komunikace, externí hodinový signál atd.). V příručkách je možné se setkat s pojmy analogový/digitální výstup. Tento parametr bývá často uváděn na předních stránkách katalogů prodejců. Kromě toho, že na výstup může být zapsána logická jednička nebo nula (digitální I/O), může být výstupní pin využit jako analogový převodník. Ten je na této platformě velmi snadně ovladatelný stejně jako PWM výstup. Pulzně šířková modulace bývá základní výbavou téměř každého mikroprocesoru, protože jím lze realizovat regulace bez použití většího množství externích součástek. Od množství PWM kanálů se odvíjí i cena a velikost desky.

### 3.2.1 Požadavky

Hlavní požadavky jsou kladeny na velikosti a typy pamětí, napájení, max. hodinový signál, případně interní vlastnosti, geometrické vlastnosti, zatížitelnost výstupních pinů a již zmíněná kompatibilita s rozšiřujícími shieldy. U údaje s pamětí se musí pamatovat na to, že část je již vyhrazena pro bootloader. O možnostech periférií, časovačů a komunikačních rozhraní je možné se dočíst v příložených dokumentacích použitého mikroprocesoru.

## 3.3 Vývojové desky Arduino

V případě, nákupu fyzického Arduina, je zapotřebí zohlednit, že ne každá deska je vhodná pro zvolenou aplikaci. Proto je vhodné se nejdříve seznámit s výbavou zakoupené sestavy. K dostání je celá řada desek, lišících se v pracovním kmitočtu, množstvím pracovních pinů a jejich funkcí. Aby zákazník nemusel vždy sáhnout po výkonných deskách, jsou k dostání i levné méně výkonné desky, které často úplně postačí i na méně pokročilé aplikace.

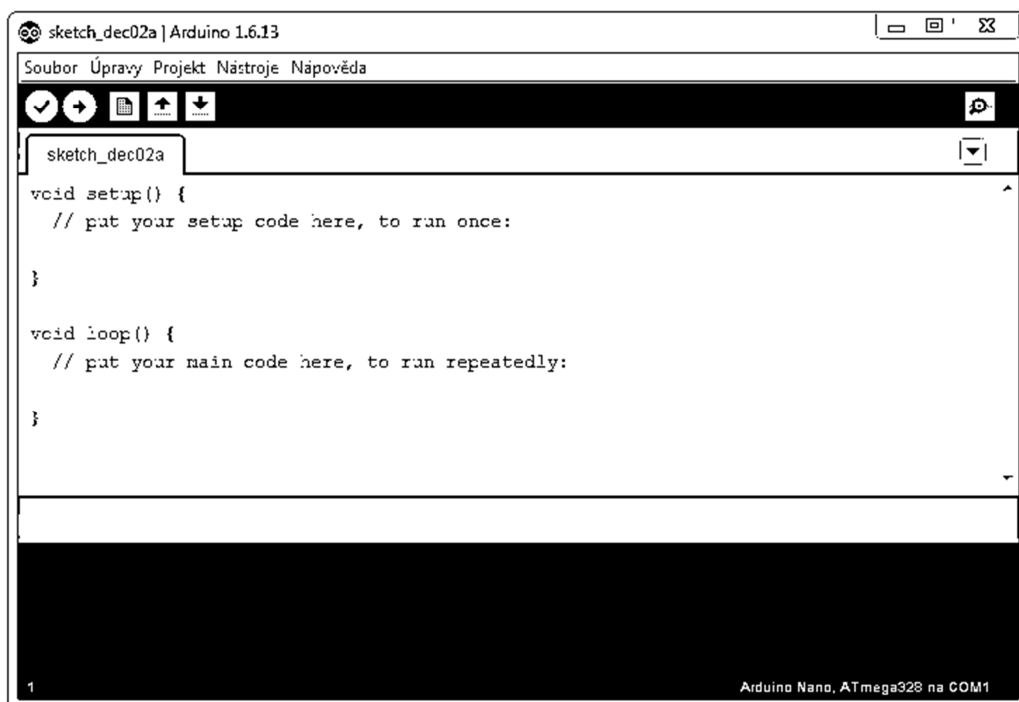
## 4 Programování

Programy byly napsány v jazyce Wiring a Processing, které vychází z jazyků C/C++. Tyto jazyky nabízejí snadné ovládání všech periférií mikroprocesoru. Knihovny jsou opatřeny řadou užitečných funkcí, které se běžně používají a šetří programátorům čas a tím výrazně snižují cenu prototypů zhotovených na platformě Arduino. Funkce se starají o podrobnější práce uvnitř samotného čipu, např. adresování speciálně funkčních registrů a eliminují nutnost znát vnitřní fungování mikroprocesoru např. přerušovací vektory, zápis do registrů atd. [10]

### 4.1 Programovací prostředí

Arduino má vlastní programovací prostředí nazvané Arduino IDE (Obr. 6). Jde o program napsaný v jazyce Java. Tento software je neustále ve vývoji a s příchodem nových vývojových desek se musí verze Arduina IDE aktualizovat.

V panelu nástroje je nutné před samotným programováním nastavit příslušnou desku, typ mikroprocesoru a případně programátor. Pod lištou výběrových nabídek je panel rychlých nástrojů, které urychlují práci. Úplně vlevo je tlačítko pro kompilaci. Vedle je nástroj pro nahrání programu do mikroprocesoru. Vpravo jsou volby pro uložení, vytvoření nového programu a vložení již vytvořeného programu nebo šablony. V dolní části okna je prostor pro výpis informací o kompilaci, nahrávání nebo chybových hlášení. Velké bílé pole uprostřed okna je pro samotný kód programu.



Obr. 6: Arduino IDE

## 4.2 Program

Každý program by měl obsahovat 2 základní bloky, *setup()* a *loop()*. *Setup()* je blok programu, který se vykoná vždy po připojení napájení nebo resetu. Do této části spadají inicializace a deklarace proměnných a nastavení výchozích parametrů pro chod programu. Část označená funkcí *loop()* je smyčka, která se bude provádět opakovaně. Je to prostor vyhrazený pro kontrolu vstupních veličin a výstupní odezvy. [10]

### 4.2.1 Jazyk

Základním pracovním prvkem jsou proměnné. Ukládají se v nich hodnoty dočasné i výsledné. Podle účelu použití je nutné vždy zvolit vhodný typ. Mikroprocesor nedisponuje tak velkou pamětí jako běžné uživatelské osobní počítače, a proto se musí s pamětí šetřit. Pokud programátor ví, že proměnná nebude nabývat hodnot větších než 255, je zbytečné volit typy jako *double* nebo *float*. V tabulce č. 1 je výpis dostupných proměnných typů. [12]

Tabulka 1: Typy proměnných [10]

| název       | bitů    | význam                        |
|-------------|---------|-------------------------------|
| char        | 8       | celé číslo, znak              |
| short       | 16      | krátké celé číslo             |
| int         | 16/32   | celé číslo                    |
| long        | 32      | dlouhé celé číslo             |
| long long   | 64      | velmi dlouhé celé číslo       |
| enum        | 8/16/32 | výčtový typ                   |
| float       | 32      | racionální číslo              |
| double      | 64      | dlouhé racionální číslo       |
| long double | 80      | velmi dlouhé racionální číslo |

Dalším základním kamenem jsou funkce. Vytváří se, aby psaný program byl co nejčitelnější a dal se napsat za co nejkratší dobu. Jde o programové bloky, které se volají příkazem. Zda se jedná o funkci, se pozná podle toho, že vždy končí kulatými závorkami. Mohou být definovány v programu nebo samostatně a přiloženy v knihovně.

```
int a=2, b=3;                                // deklarace proměnných
int vysledek;
int soucet(int x, int y)                     // tělo funkce
{
    return x+y;
}
void loop()                                 // hlavní smyčka programu
{
    Vysledek = soucet(a, b);
}                                           // do proměnné vysledek se uloží 5
```

V případě, že je potřeba opakovaně provádět nějakou část programu použije se cyklus. Nejčastěji používanými cykly je *for*, *while* a *do while*. Standardně má cyklus nějakou vstupní podmínku. Při nesplnění se vykoná činnost popsaná v těle cyklu. Níže je vidět rozklad *for* cyklu. Proměnná *a* se bude inkrementovat 6 krát, než bude splněna podmínka.

```
int b=2;
for(int a=0; a>5; a++)    // prvotní příkaz, podmínka, nesplnění
{
    b = a*b;              // příkaz cyklu
}
```

Podmíněné funkce mají své opodstatnění všude tam, kde je nutné získat informace o parametrech proměnných. Základní podmínky jsou *if*, *if else* a *switch*. *Switch* je přepínač, který má ve funkci vstupní proměnnou, podle které se určuje, jaký příkaz má být vykonán. Jak funguje funkce *if else* je vidět níže.

```
int a;
if( a < 5 )
{
    a++;                // pokud je a menší než pět, inkrementuje se
}
else
{
    a=0;                // pokud ne, nastaví se a do 0
}
```

## 4.3 Procesing

Tento programovací jazyk byl zvolen kvůli jednodušší tvorbě grafických objektů a programovací blízkosti Arduina. Vychází z jazyka Java a účelem je zpřístupnění grafického programování i těm, kteří nejsou v programování zblhlí. Díky procesingu, který umí komunikovat s periferiemi, je možné vizuálně zpracovat data z Arduina a odesílat do něho příkazy.

Pro vykreslování se nejprve vymezuje kreslicí plocha a to funkcí *size(x,y)*. Za *x* a *y* se dosazuje vzdálenost. Barva se volí funkcí *color()*. Do závorek se píše různá syntaxe volby barev. Může to být syntaxe *red*, *green*, *blue*, kde se kombinací vybere odstín nebo se napíše rovnou požadovaná barva. Sytost barev lze nastavit číselnou hodnotou zapsanou za požadovanou barvou. Zvolenou barvou lze pak vykreslit například pozadí, funkcí *background()*. [12]

Při kreslení objektů funkce *stroke()* nastavuje barvu okrajů objektu a *fill()* barvu výplně. Zprůhlednění okraje nebo výplně se dělá předponou *no*, před funkcí. Objektem může být bod (*point(x,y)*), úsečka (*line(x1, y1, x2, y2)*) nebo geometrický útvar. Čtyřúhelník se kreslí funkcí *quad(x1, y1, x2, y2, x3, y3, x4, y4)*. [12]

Pro čtverce a obdélníky, které mají stejně dlouhé protilehlé strany existuje funkce *rect(x1, y1, x2, y2)*. Do funkce se vpisují souřadnice výchozího bodu. Zda výchozí bod bude středem nebo rohem pro kreslený objekt záleží na funkci *rectMode()*.

Výchozí bod se označuje jako středový (CENTER) nebo rohový (CORNER). Ve funkci *rect()* se první souřadnice soustředí na pozici výchozího bodu a poslední souřadnice určují vzdálenosti protilehlých stran. V případě, že se do funkce *rect()* zapíše pátý parametr, dojde k zaoblení rohů. Zaoblit rohy je možné i u každého rohu zvlášť. Pro trojúhelník slouží funkce *triangle()*. Kreslí se stejně jako čtyřúhelník. [12]

Pro oblé tvary se užívá funkce *ellipse(x1, y1, sirka, vyska)*. Při práci s částmi kružnic lze využít funkci *arc(x1, y1, sirka, vyska, p, k)*. Za *p* a *k* se dosadí míry pro počátek a konec výřezu. [12]

### 4.3.1 Ovládací prvky

Processing umí zpracovávat vstupní data z klávesnice i myši. Pro zjištění stavu stisknutí tlačítka myši slouží funkce *mouseClicked()*. Tato funkce, ale informuje o aktivaci libovolného tlačítka, v případě selektivního výběru konkrétního tlačítka je nutné použít funkci *mouseButton()*. Funkce rozlišuje tlačítka LEFT, CENTER a RIGHT. *MouseDragged()* se vykoná v případě, že se myš pohybuje a zároveň je stisknuto libovolné tlačítko. Pokud se myš pouze pohybuje, vykoná se funkce *mouseMoved()*. Aby bylo možné definovat přesnou chvíli aktivace, existují funkce, které jsou náchylné na sestupnou nebo vzestupnou hranu impulsu. *MousePressed()* se vykoná v momentě stisku a *mouseReleased()* v okamžiku uvolnění tlačítka. Práci s myší usnadní i proměnné *mouseX* a *mouseY*, ve kterých jsou uloženy souřadnice. [12]

### 4.3.2 Komunikace Arduina

Komunikace mezi processingem a Arduinem probíhá po sériové lince. Lze použít firmware Firmata, který se nahraje do Arduina. Do Processingu se vloží knihovna Arduina a celý program lze napsat v jednom programovacím prostředí. Druhý způsob je ten, že se zvlášť napíše program v Arduiono IDE a Processingu. Oboje má své výhody a nevýhody. Pokud se program pro Arduino napíše v Arduino IDE a Processing pouze data zpracovává, nijak se neomezují možnosti Arduina. K výpisu dostupných zařízení slouží funkce *Arduino.list()*. K přístupu Arduina se používá funkce *new Arduino* (*this, Arduiono.list()* [0], 57600). 3. Parametr ve funkci nastavuje rychlost přenosu. Při komunikaci mimo Arduino se místo slova *Arduino* ve funkcích používá *Serial*. Funkce *available()* vrací počet bytů čekajících od sériové linky. Pro příjem slouží *readStringUntil()*. Na odesílání dat do Arduina existuje funkce *write()*. [12]

## 5 Komunikace mikroprocesoru

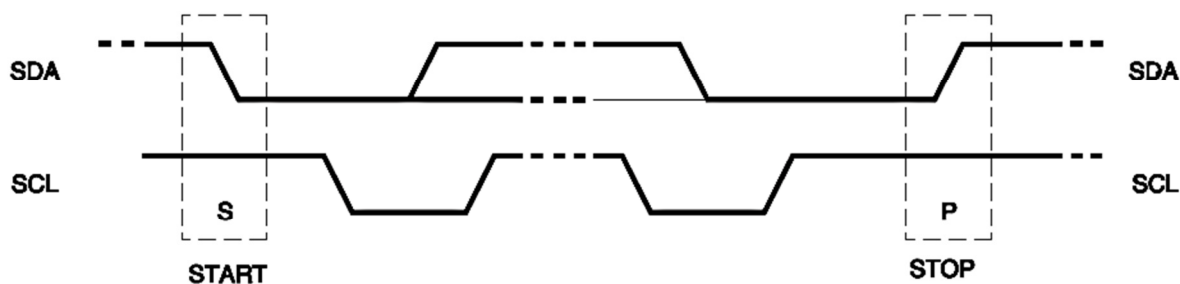
Aby se mohli ovládat externí zařízení počítačem nebo mohli zpracovávat a vyhodnocovat informace podané od mikroprocesoru je zapotřebí zvolit vhodný způsob komunikace, kterým se budou zařízení dorozumívat. Taktéž pokud se bude přistupovat do externích pamětí nebo ovládat displej musí se sáhnout po některém typu komunikace. Existuje celá řada způsobů, jak mohou být informace předávány. U AVR MEGA jsou známy pod zkratkami I<sup>2</sup>C, UART, JTAG a SPI.

### 5.1 UART

Je sériový přenos dat vodiči TxD a RxD. UART lze použít ke komunikaci široké škály datových protokolů a jedná se vůbec o nejrozšířenější typ komunikace. Rx je vstupní pin a Tx je výstupní pin UARTU. Komunikace může být plně duplexní, tedy mikrokontrolér může zároveň data číst a odesílat. Přenos je řízen interním hodinovým signálem. Na datových vodičích je v klidovém stavu logická 1. Jakmile se objeví logická 0 (START bit) v předem nastavených časových intervalech dojde ke čtení a zápisu dat. Ten je ukončen STOP bitem. Vysílací i přijímací zařízení musí být předem informovány, jak dlouhé datové pásmo se posílá. Rychlost přenosu se nastavuje konfiguračními bity a udává se v Baudech/s. Proces přenosu se liší podle komunikačního protokolu. Např. RS-232 obsahuje další vodiče pro řízení datového toku apod. [13]

### 5.2 I<sup>2</sup>C

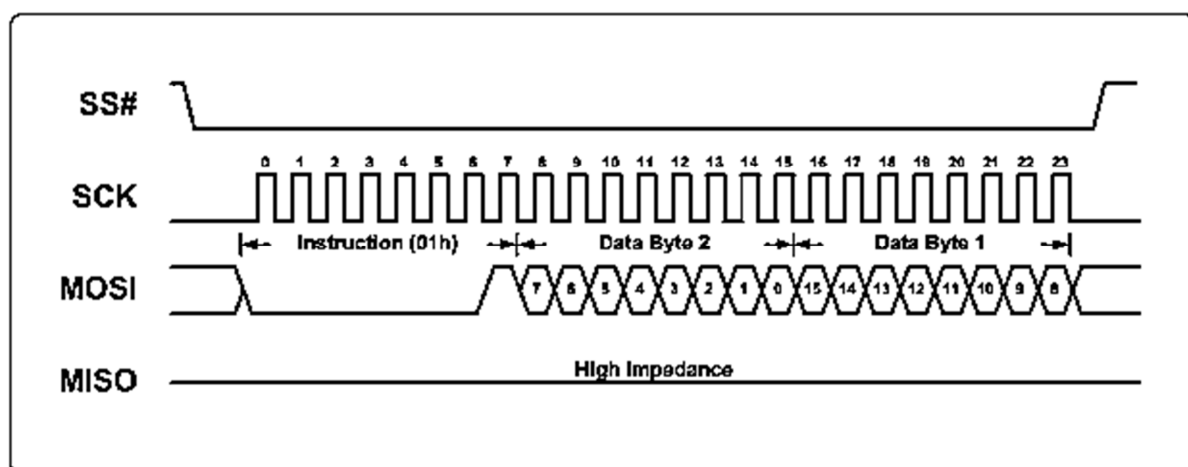
Firma Atmel ji označuje zkratkou TWI (Two wire interface). Jak již z názvu napovídá, jde o dvou vodičově řízený přenos. První vodič SCL přenáší hodinový signál a druhý SDA přenáší jednotlivé bity. Přenos probíhá následovně. Nejprve se odešle START bit, který odstartuje přenos. Následně se odešle unikátní 8mi-bitová adresa mikrokontroléru, se kterým bude komunikovat. Pokud je adresa po porovnání se SLAVE zařízením shodná, dojde k odeslání potvrzovacího bitu ACK. Po tom už dochází k přenosu jednotlivých datových Bytů, které musí být vždy potvrzeny bitem ACK. Celý přenos se ukončí STOP bitem. Unikátní adresa každého jednočipu je pevně stanovena výrobcem, ale má vyhrazeno několik bitů na jejich úpravu pro případ použití více stejných obvodů. Na Obr. 7 jsou vidět START a STOP bity, pro které platí podmínky bitu SCL rovnajícím se logické jedničce. [14]



Obr. 7: Podmínky přenosu I<sup>2</sup>C komunikace

### 5.3 SPI

SPI je sériová komunikace vedená 4 vodiči MOSI, MISO, SCK, SS. Každý vodič má svoji úlohu. Podle toho, které zařízení je nadřazené ostatním se nazývají MASTER nebo SLAVE. MASTER je nadřazený a vysílá hodinový signál na vodiči SCK. Kromě toho určuje, se kterým zařízením se bude bavit prostřednictvím vodiče SS (někdy označován SC). Aktivací SS vodiče na logickou 0 vybírá komunikačního partnera. Vodiče MOSI a MISO slouží k přenosu samotných dat. MOSI posílá bity od nadřazeného do podřazeného zařízení, zatímco u MISO vodiče to je právě naopak. Zda zápis a čtení dat probíhá na náběžnou nebo sestupnou hranu, je ovlivněno konfiguračními bity. Na Obr. 8 je vidět přenos dat do SLAVE zařízení. [15]



Obr. 8: SPI komunikace [16]

## 6 Krokové motorky

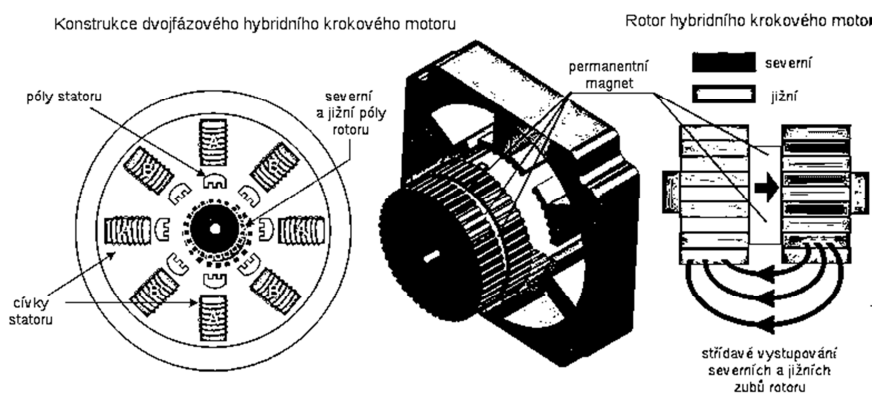
Krokový motorek slouží ke stejnému účelu jako všechny motory a to je převod elektrické energie na mechanickou energii. Hlavní předností tohoto typu motoru je přesné natočení s požadovaným počtem kroků (od toho název krokový motorek). Značnou nevýhodou je řízení, které přináší starosti se spínáním a vysokou spotřebu i v situacích, kdy se motorkem nepohybuje (pro udržení stabilní polohy musí některou z cívek protékat proud).

### 6.1 Konstrukce

Motor (Obr. 9) se skládá z rotoru tvořeným buď železným jádrem, nebo permanentními magnety a statorem složeným z cívek. Cívky tvoří póly statoru. Počet pólů je obvykle 4. Rotor tvořený permanentními magnety se skládá ze dvou částí a to severního a jižního pólu ve tvaru disků. Tyto disky jsou axiálně drážkovány a jsou na nich vytvořeny zuby, které musí korespondovat se zuby statorových pólů. [17]

Podle konstrukce se rozlišují motory s variabilní reluktancí (VR), permanentními magnety (PM) a hybridní. U motorů s variabilní reluktancí lze dosahovat větších otáček, ale s malým krouticím momentem. Avšak motory s PM mají dostatečně velký moment síly, ale za cenu malých rychlostí. Z tohoto důvodu vznikly hybridní krokové motorky, které spojují výhody obou předchozích typů. [17]

Zákazník se může ještě setkat s tzv. lineárními krokovými motorky, kde nejde o nic jiného než o rozložený stator do napřímené polohy. Tyto motory zajišťují lineární posuvy a místo stupňů se uvádí minimální vzdálenost posuvu v metrických jednotkách.



Obr. 9: Konstrukce hybridního krokového motorku [18]

### 6.2 Princip funkce

Podle počtu zubů lze definovat úhel natočení rotoru na jeden krok. Cívkami, které jsou aktivovány, protéká elektrický proud, který vytvoří orientované magnetické pole. V každém pólu, který je aktivovaný dojde ke srovnání zubů naproti sobě. Póly jsou od

sebe vzdáleny a umístěny tak, aby nebyly zuby na každém pólu naproti sobě, ale aby vykazovaly mezi sebou vůli. Vůle se s dalšími póly zvětšuje. Tato nerovnoměrnost způsobí že, když se zuby na některém z pólů vyrovnají, na jiném pólu se mezi zuby vytvoří mezera. Střídavým spínáním cívek se tedy rotor snaží dorovnávat zuby naproti sobě a vzniká tak rotační pohyb. [17]

### 6.2.1 Vlastnosti

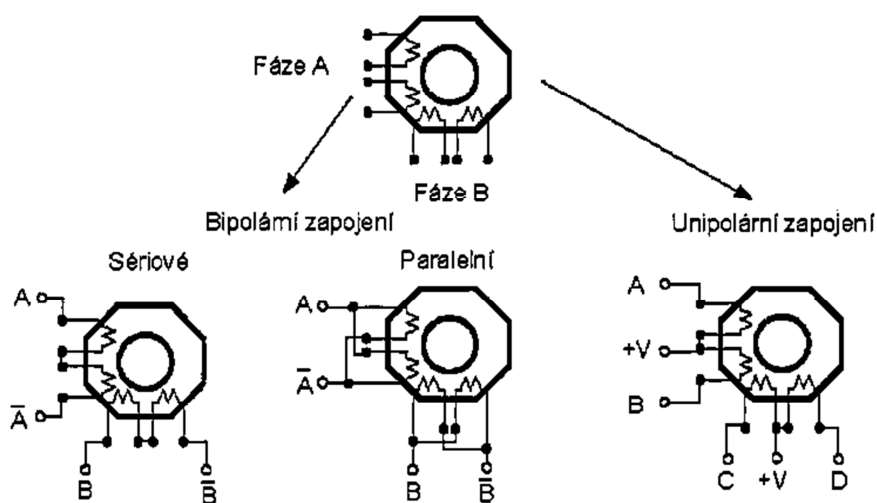
Výběr krokového motorku je ovlivněn minimálním úhlem pootočení, který bývá nejčastěji  $1,8^\circ$ , ale může být i  $3,6^\circ$  nebo  $0,9^\circ$ . U levnějších typů je to mnohem více, ale ty se nehodí příliš pro přesné polohování nebo vyžadují další převody s ozubenými koly. Moment síly je taktéž důležitý, obzvlášť u systémů, na které působí gravitační síla. Udává se obvykle v jednotkách Newton na metr (Nm). [19]

## 6.3 Řízení krokového motorku

Řízení musí být slučitelné s konstrukcí daného typu motoru. V praxi se objevují řízení s unipolárním, bipolárním, jedno a dvoufázovým, s plným nebo polovičním krokem.

Při bipolárním řízení jsou napájeny 2 protilehlé situované cívky, přičemž druhá cívka je zapojena tak, aby dosáhla opačného magnetického pole. Díky tomu lze dosáhnout vyššího momentu síly, ale za cenu vyšší spotřeby. [20]

Unipolární řešení nabízí jednodušší konstrukci s nižšími náklady, avšak menší krouticí moment může být nedostatkem. Na Obr. 10 je znázorněno zapojení vinutí. U dvoufázového řízení se spínají 2 sousedící cívky. Výhodou je, že poloha rotoru se drží mezi sepnutými cívkami. Zda se jedná o řízení s plným nebo polovičním krokem se pozná podle toho, jestli se kombinuje dvoufázové a jednofázové řízení, či nikoliv. Když se kombinuje, pak jde o řízení s polovičním krokem. Pokud ne, pak je motor řízen s plným krokem. [20]



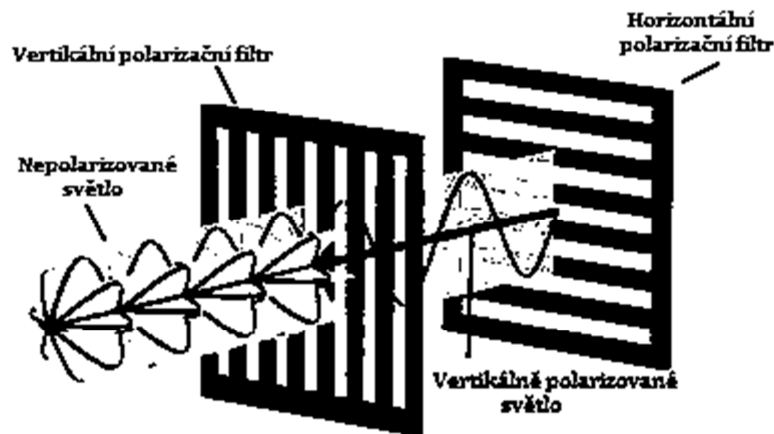
Obr. 10: Způsoby zapojení vinutí [21]

## 7 LCD displeje

Počátky LCD displejů sahají už na konec 19. století, kdy při pokusech s vybranými zahřívanými látkami byl pozorován ojedinělý stav mezi tekutou a krystalickou strukturou. Látkám v tomto stavu se později začalo říkat tekuté krystaly. Zkratka LCD je odvozením od anglického názvu Liquid Crystal Display (displej s tekutými krystaly). Po dlouholetém zkoumání si vědci všimli, že světlo procházející přes vrstvu tekutých krystalů, se ohýbá podle struktury krystalů. V této době ovšem nebyla kladena příliš velká poptávka po zařízeních, které by něco zobrazovaly a tak velký rozmach této technologie přišel až mnohem později. Displeje mohou zobrazovat text, čísla a znaky. Této skupině displejů se říká alfanumerické. Pokud zobrazuje i obrázky jedná se o grafický displej. Podle počtu dostupných barev se rozdělují na monochromatické a barevné. [22]

### 7.1 Princip

Světlo se šíří ve formě elektromagnetického vlnění. Nejedná se tedy o hmotné částice. Vlnění je charakterizováno vektory elektrické a magnetické intenzity. Směr vektorů se mění, a pokud dojde k polarizaci, vlnění se usměrní a začne se šířit bez vychylování. K polarizaci může dojít při odrazu nebo průchodem krystalu. Na Obr. 11 je vidět změna smyslu vlnění při průchodu polarizačním filtrem. Při postavení druhého filtru otočeném o  $90^\circ$  dojde k úplné eliminaci světelného záření. Z toho plyne, že úhlem natočení filtrů dochází k regulaci jasu. [23]



Obr. 11: Polarizace světla [24]

Protože natáčení filtrů by bylo složité, přichází na řadu funkce tekutých krystalů. Ty jsou uloženy mezi polarizační filtry. Přiložením napětí dochází k natočení krystalů do horizontální roviny a průchod světla je zastaven druhým polarizačním filtrem.

V opačném případě světlo projde, protože vlnění horizontální orientace je krystaly převedeno na vertikální. Aby byla zajištěna změna orientace vlnění, jsou na elektrodách vytvořeny drážky, které krystaly srovnávají do šroubovice. Při průchodu proudu je obvyklé, aby pixel byl pro světlo prostupný, ale v některých aplikacích tomu může být naopak. [25]

## **7.2 Struktura displeje**

Celá obrazovka je tvořena miniaturními body nazývanými pixely, které mohou být samostatně ovládány. Zdrojem světla bývá nejčastěji elektroluminiscenční výbojka umístěná v zadní části displeje nebo reflektor. Každý pixel má přiřazený tranzistor, který reguluje velikost napětí mezi elektrodami, čímž mění i jas. Barevné displeje mají pixely tvořené třemi malými subpixely. Každý z nich má před druhým polarizačním filtrem umístěn ještě barevný filtr. Barevný filtr může být červený, modrý nebo zelený. Skládáním těchto tří barev pak vznikají další barvy. U barevných displejů mají tranzistor i subpixely. Korekcí jasu jednotlivých subpixelů lze vytvářet nejrůznější odstíny a hloubky barev. [25]

### **7.2.1 Aktivace**

Podle způsobu aktivace jednotlivých pixelů se rozlišují pasivní a aktivní displeje. Pasivní jsou levnější, ale méně kvalitní. Aktivace pasivní spočívá v souřadnicovém spínání pixelů. Napětí se přivede na osu x, y a příslušný tranzistor se aktivuje. To ovšem vede k zašednutí i okolních pixelů. Aktivní displeje mají pixely řízeny samostatně svým vlastním tranzistorem. Nedochází k ovlivňování okolních pixelů a je možné zobrazovat snímky s vyšší frekvencí. Používají se tenkovrstvé tranzistory, podle kterých vznikla i zkratka TFT displejů. [25]

## **7.3 Řízení**

Většina displejů je dodávána s řídicími integrovanými obvody tzv. řadiči. Ty usnadňují zákazníkům ovládání a komunikaci. Řadič obsahuje veškerou řídicí logiku, paměť, buzení a generátory znaků. Alfnumerické displeje obsahují znakové sady a některé mohou být v případě potřeby uživatelem rozšířeny nebo upraveny.

## 8 Návrh a realizace řízení polohovacího stolku

Pro řídicí jednotku byla navržena deska plošného spoje s hlavními řídicími obvody a je umístěna do umělohmotné krabičky. Velikost krabičky byla zvolena až po návrhu desky. Musela se zohlednit výška osazených komponentů, zvolené distanční sloupky a rozložení osazených modulů do panelu včetně konektorů. Ovládací panel disponuje čtveřicí tlačítek umístěnými na čelní straně řídicí jednotky. Po připojení k počítači je umožněno i ovládání klávesovými šipkami. Informace o poloze sdělí displej nebo počítač. LCD zobrazovač vypisuje vzdálenost od výchozí pozice, která je stanovena mechanicky uživatelem před zapnutím řídicí jednotky nebo pomocí počítače klávesou „K“. Po konfiguraci výchozí pozici vymezují optozávory. Udávaná vzdálenost je v jednotkách milimetrů a mikrometrů. Řídicí jednotka byla navržena pro napájení stejnosměrným adaptérem s napětím 24 V. Podmínkou adaptéru je kromě napětí i vhodný koncový souosý konektor, který má vnitřní průměr 2,1 mm a vnější 5,5 mm.

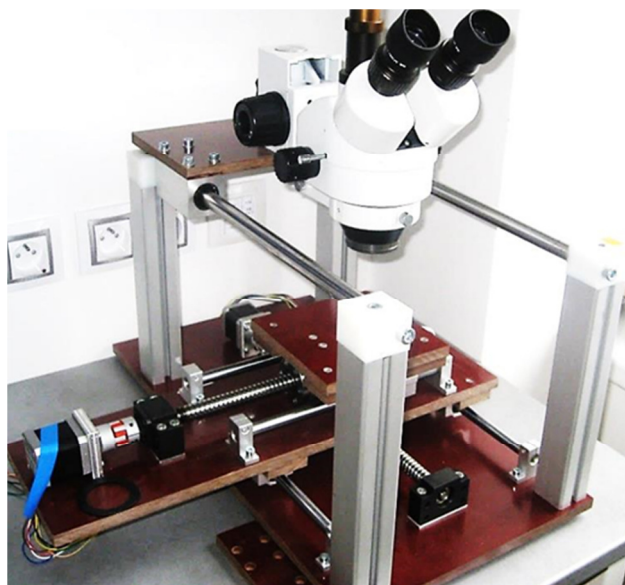
### 8.1 Požadavky návrhu

Návrh a realizace podléhají požadavkům, které mají vliv na výběr montážních komponentů, i výrobním postupu. Řídicí modul si kladl za cíl splnit níže uvedená kritéria.

- přesné řízení polohy
- minimální poruchovost
- malé rozměry (DPS, krabička)
- jednoduchá obsluha s možností konfigurace
- nízká cena s ohledem na kvalitu

#### 8.1.1 Polohovací stoleček

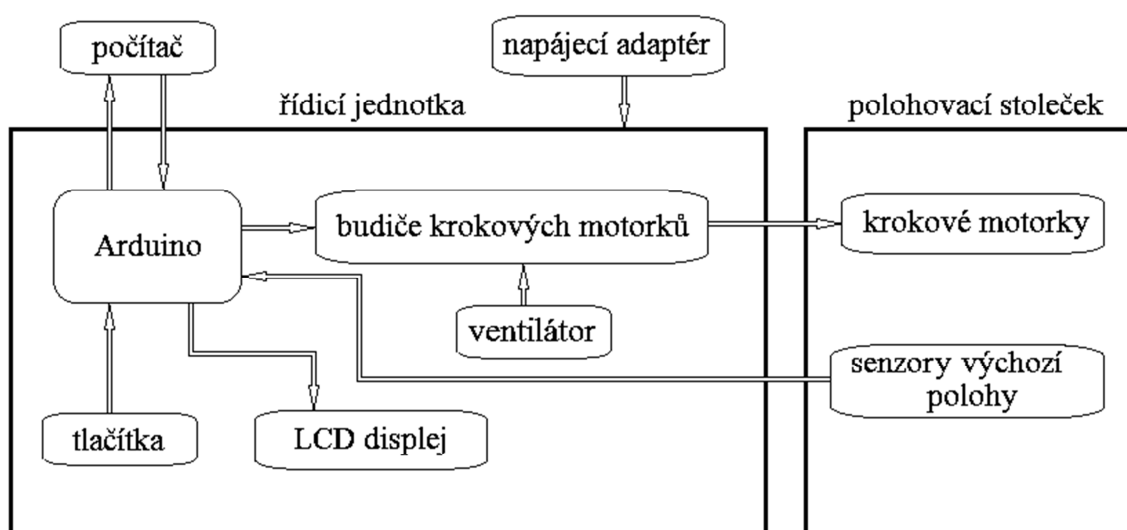
Návrh řídicí jednotky bylo nutné uzpůsobit již hotovému stolku, pro který je jednotka realizována. Polohovací stoleček je osazen dvěma krokovými motorky, které posouvají stoleček v osách  $x$  a  $y$ . Instalace řídicí jednotky je podmíněna zákazem jakýchkoliv technických úprav a zásahů do stolečku. Tato podmínka znemožnila použít senzory, které měli být součástí polohovacího aparátu. Z toho důvodu byl program upraven tak, aby bylo možné řídit polohu stolku bez senzorů, i přes to, že jsou senzory dále součástí přívodního kabelu pro motorky. Vzhled již hotového stolečku je na Obr. 12.



Obr. 12: Polohovací stoleček osazený mikroskopem

## 8.2 Blokové schéma

Uspořádání hlavních komponentů je znázorněno v blokovém schématu na Obr. 13. Jednotlivé prvky v blokovém schématu zastupují obvodové celky, které jsou propojeny přímými vodivými cestami na desce plošného spoje a svazky vodičů. Moduly Arduino a výkonových stupňů jsou implantovány společně na jedné desce plošného spoje. Rozhraní některých bloků je realizováno pomocí zámkových konektorů typu PSH. Pomocné obvodové prvky v blokovém schématu nejsou, nicméně jsou pro chod zařízení nezbytné. Snímače a motory jsou připojeny ke konektoru více žilovým kabelem o průměru 3,3 mm se 4 lanky (průměr 0,19 mm). Kabel je dlouhý 125 cm a odpor se pohybuje kolem 13 mΩ.



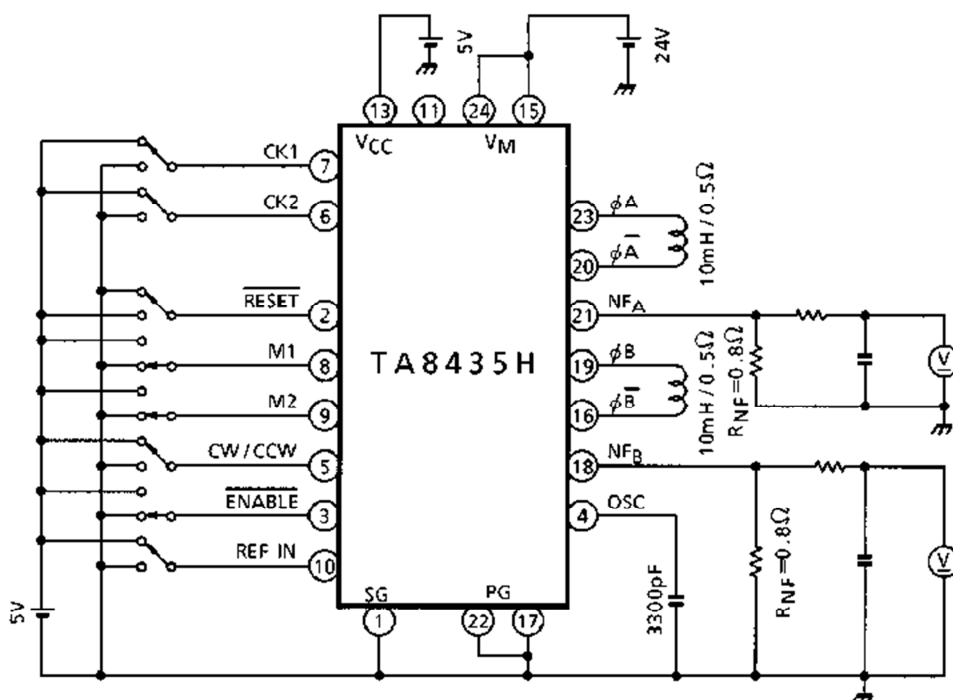
Obr. 13: Blokové schéma polohovacího systému

## 8.3 Prvky řídicí jednotky

### 8.3.1 Budič krokových motorků

Dostupná je celá řada budičů moderních typů. Některé, například TB62213FNG nebo TB62215FNG disponují minimálními ztrátami a nepotřebují chlazení. V případě konstrukce by tedy byl zvolen některý z těchto moderních typů, ale vzhledem k snadné dostupnosti jinak nevyužitých budičů byl pro tuto práci zvolen obvod TA8435H, který je od firmy Toshiba. [26]

Jde o dvou fázový bipolární řadič, který je napájen 5 V a pro chod je nutný hodinový signál, který podle dokumentace musí mít délku impulzu alespoň 1  $\mu$ s. Na vinutí krokových motorků dokáže přivést napětí do výše až 40 V a jmenovitý proud až 1,5 A, špičkově až 2,5 A. Jeho vstupními piny lze řídit pohyb vpřed i vzad. Uvnitř je tepelná ochrana zajišťující chod do 85 °C. Součástka je navržena pro montáž na pasivní chladič. Rozměry otvorů pro montáž mají průměr 3,9 mm a jsou od sebe vzdáleny 30 mm. Obvod má 2 výstupy  $Nf_A$  a  $Nf_B$  (Obr. 14) určené pro regulaci proudu cívkami. Stačí zapojit dostatečně výkonově dimenzované odpory mezi zmíněné výstupy a zem. Obvyklé hodnoty odporů jsou 0,8  $\Omega$  s 2 W zatížitelností. Možnost nastavení mikrokrokování obstarávají vstupy M1 a M2. Binární kombinací lze nastavit plný, poloviční, čtvrtý a osminový krok. V případě použití krokového motorku, kde jeden krok činí otočení hřídele o 1,8°, je při osminovém kroku možné dosáhnout pootočení o pouhých 0,225°. [27]



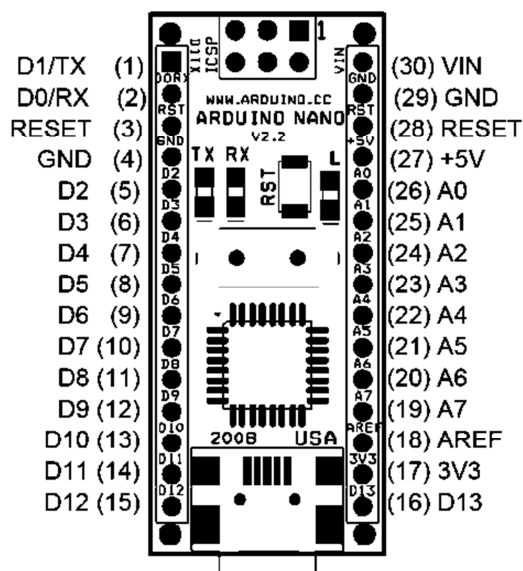
Obr. 14: Schéma výkonového stupně TA8435H

### 8.3.2 Arduino NANO

Řídicím modulem je Arduino NANO. Je to jedna z nejmenších vývojových desek na trhu. Při výběru byl zohledněn maximálně využitelný potenciál desky, který by ovšem postačil na pokrytí všech požadavků zařízení. Programuje se přes USB a obsahuje ICSP rozhraní (SPI, I<sup>2</sup>C). Díky tomu, že modul obsahuje převodník CH340G na komunikaci je ideální pro tuto práci. Na Obr. 15 je vidět rozložení vývodů a součástek.

#### Parametry:

- pracovní napětí 5 V
- doporučené vstupní napětí 7-12 V
- MCU ATmega328
- 14 digitálních I/O
- 8 analogových vstupů
- 6 PWM kanálů
- 16 MHz krystal
- maximální proud jednoho pinu 40 mA
- flash 32 kB
- SRAM 2 kB
- EEPROM 1 kB



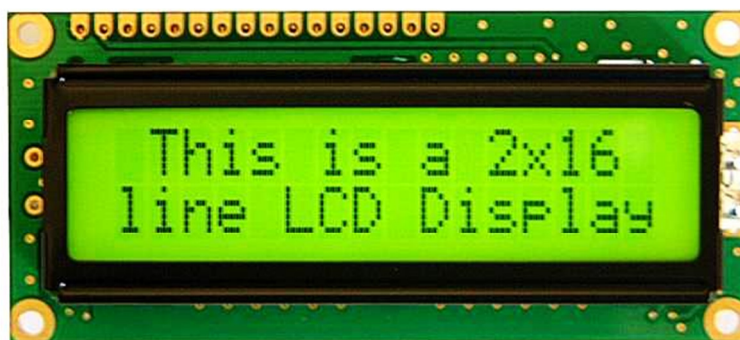
Obr. 15: Arduino NANO s vývody

### 8.3.3 LCD displej

Displej byl vybrán pasivní alfanumerický ATM1602B (Obr. 16). Jde o dvouřádkový zobrazovač, který může na jednom řádku zobrazit až 16 znaků s možností podsvícení. Obsahuje řadič HD44780.

**Parametry:**

- vstupní napětí 5 V
- vstupní proud  $I_{dd}$  1,5 mA
- rozměry 64,5x16,4 mm
- životnost 50 000 h

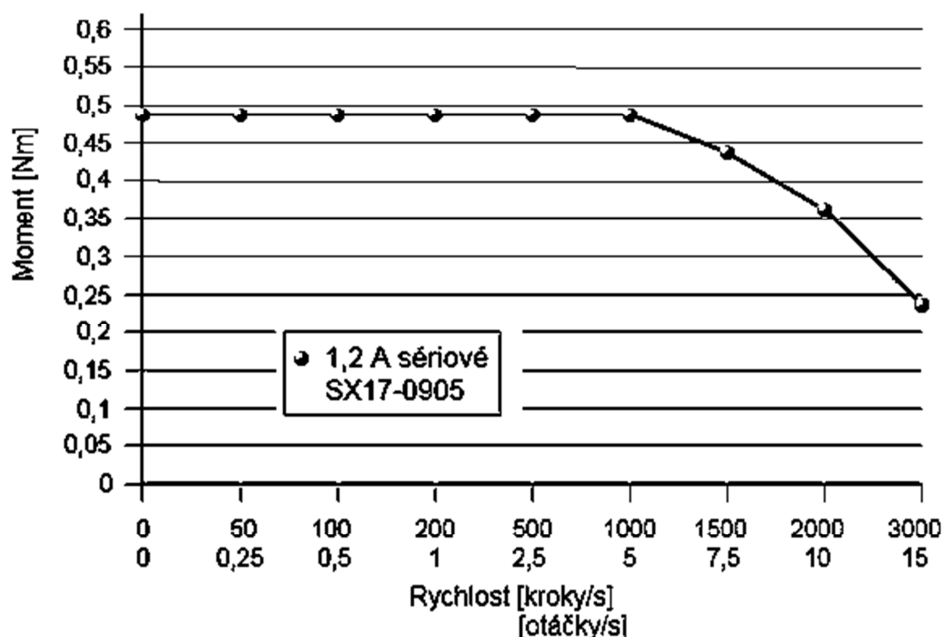


Obr. 16: Displej ATM1602B se zobrazeným textem [24]

Displej je řízen řadičem HD44780. Je to integrovaný obvod pro řízení alfanumerických displejů firmy Hitachi a je součástí LCD displeje. Je vybaven integrovanou znakovou sadou, obsahující písmena, číslice a některé znaky. Podle druhu znakové sady se tyto řadiče vyrábějí v řadách, které jsou určeny pro vybrané trhy. Sada disponuje 8 uživatelskými znaky, které jsou volné a mohou být využity pro speciální symboly. Komunikace je paralelní 4-bitová, nebo 8-bitová a je doplněna 3 řídicími bity. Způsob komunikace se nastavuje po zapnutí displeje. Řadič zajišťuje i nastavení jasu. [28]

### 8.3.4 Krokový motorek

K posunu os byly vybrány 2 krokové motory SX17-0905. Jsou od české firmy Microcon a jde o dvoufázové hybridní motory. Řada SX této společnosti se vyznačuje vysokými momentovými silami v porovnání s velikostí. Standardní délka kroku je  $1,8^\circ$ . Její příruba je NEMA17 a její statický moment může být až 0,8 Nm. Při sériovém zapojení je jmenovitý proud 0,88 A, indukčnost 12,8 mH a odpor 8  $\Omega$ . Při paralelním zapojení může být jmenovitý proud až 1,77 A, indukčnost 3,2 mH a odpor 2  $\Omega$ . Hmotnost příruby je 380 g. Moment setrvačnosti rotoru je 68 gcm<sup>2</sup>. Na Obr. 17 je vidět vliv rychlosti otáčení rotoru na moment síly. [29]



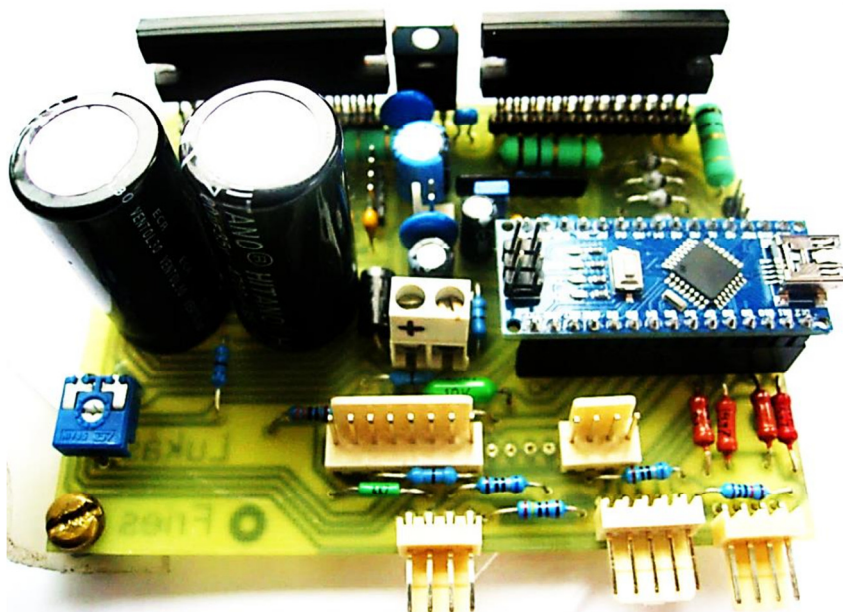
Obr. 17: Graf momentové charakteristiky s jednotkou SD20X a napájecím napětím 48 VDC [30]

## 8.4 Hlavní řídicí deska

Schéma hlavní řídicí desky je v příloze (Obr. 24). Pravá část schématu obsahuje součástky výkonových stupňů, které zajišťují proudy v patřičných sekvencích do vybraných cívek. Který krokový motorek konkrétní budič řídí je zjevné z popisků. Jumpery JP1 a JP2 nastavují omezený (umístění zkratovací propojky) nebo plný proud cívek. Výchozí nastavení je pro omezený proud a to z důvodu nadměrného ohřevu při použití plného kroku. Použití jumperů se lze částečně vyhnout vhodnou volbou odporů R2, R4, R7 a R8. Odporové sítě RN1 a RN2 mají společný vývod označený tečkou.

Budič je řízen signály z Arduina (Step a direction), které udávají tempo a směr pohybu. Velikost kroku je na každém budiči volena individuálně. Diody Byv27-200 jsou univerzální rychlé diody, které jsou zapojeny inverzně, aby ochránily řídicí obvod, před indukční zátěží, při přepínání jednotlivých cívek. Proudová zatížitelnost diod je až 10 A.

Levá dolní část schématu zajišťuje stabilizované napájení pro arduino, senzory a chlazení. Soustava tlačítek je rozpínacího typu a každému tlačítku je předřazen odpor pro omezení ztrát při stisku. Trimr R3 slouží k nastavení jasu displeje. Dioda D9 odděluje akumulovanou energii z kondenzátorů a adaptéru při odpojení přívodního kabelu. Aby vyšší napětí z adaptéru nepoškodilo pin arduina, který vstupní napětí snímá, je použit dělič z odporů R15 a R20. Na řídicí desku jsou integrovány pomocné odpory pro oba snímače. Kolektory obou snímačů jsou spojeny a napájeny pomocnými napětími z arduina (5 V a 3,3 V). Při dosažení kterékoliv kombinace z aktivovaných snímačů se na společném kolektoru objeví vždy jedinečná hodnota napětí, která je určena A/D převodníku.

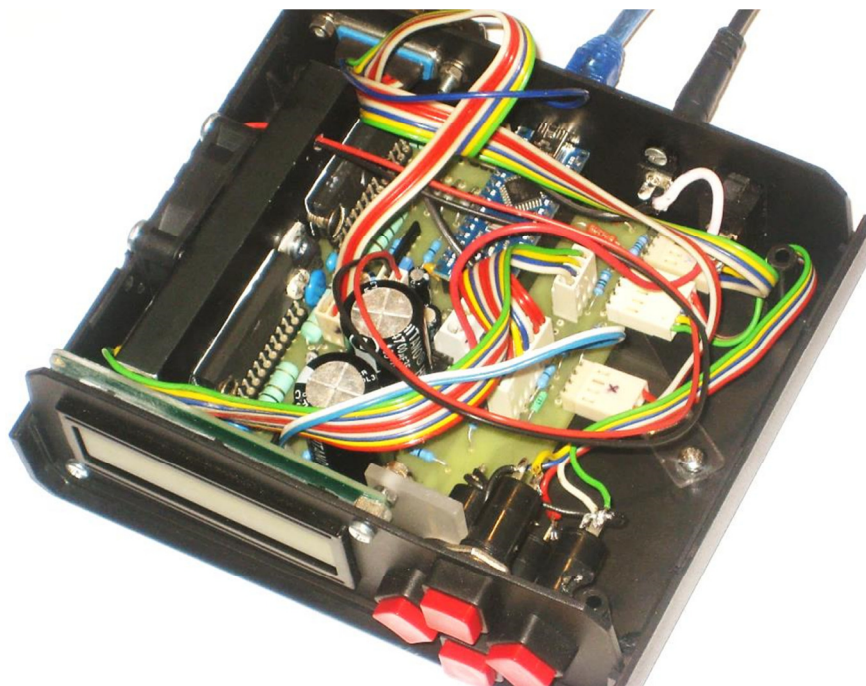


**Obr. 18: Osazená řídicí deska**

Jednovrstvá deska plošného spoje (Obr. 18) s rozměry 75 mm x 100 mm je z materiálu FR4 a byla zhotovena fotocestou v prostorách školy. Osazená je z jedné strany pouze vývodovými součástkami a zapájena olověnou pájkou Sn60Pb40. Arduino NANO je osazeno v pinové patici na okraji desky tak, aby USB konektor přesahoval a mohl být zapuštěn do zadního panelu krabičky. Zapuštění do panelu zabrání poškození konektoru vlivem opakovaného připojování kabelu a usnadňuje finální instalaci. Připojení krokových motorků a senzorů je umožněno jediným 15 pinovým konektorem typu CANON. Horní řada 8 pinů je vyhrazena pro motory a dolních 7 pro senzory, které mají společný zemnicí pin. Společný konektor pro senzory a motory je také přirozenou ochranou před neodborným zapojením jednotky. Díky tomu nemůže nastat případ, kdy budou motory krokovány a nebudou snímány krajní polohy stolku.

Budiče a stabilizátor jsou upevněny na společném hliníkovém profilu, doplněným ventilátorem na 12 V s výkonem 1,08 W. Při instalaci komponentů na chladič byla použita v dostatečném množství teplo vodivá pasta, která zlepšuje odvod ztrátového tepla. Ventilátor je umístěn na boční straně krabičky, která byla dodatečně opatřena otvory pro nasávání studeného vzduchu. Celkový pohled na zapojenou, oživenou a otevřenou řídicí jednotku je na Obr. 19.

Stoleček je konstruovaný tak, že 1 otáčka rotoru vykoná posuv o 0,5 cm. Krokový motorek, který je použit, může na jednu otáčku vykonat až 1600 kroků. Minimální rozlišovací schopnost je teoretickým výpočtem stanovena na 3,125  $\mu\text{m}$ . Při výpočtu skutečné vzdálenosti jsou do výpočtu zahrnuty i desetinná čísla i přes to, že displej zobrazuje pouze celá čísla.



Obr. 19: Otevřená řídicí jednotka propojená kabeláží

### 8.4.1 Senzory

Polohové snímače tvoří dvě optozávory TCST 2103. Pracují na vlnové délce 950 nm a fyzický prostor mezi vysílačem a přijímačem je široký 3 mm. Náběžná a sestupná hrana má délku kolem 10  $\mu$ s. [31] Pracovní bod vyzařovací diody byl zvolen kolem 20 mA. Maximální proud vysílací diody je 60 mA. Kolektor je schopen přenášet proud až 100 mA.

## 8.5 Programové vybavení

ATmega328 je z pohledu způsobilosti zcela využita. Všem pinům modulu je přiřazena konkrétní úloha. Žádný z výstupních pinů mikroprocesoru nezůstal bez využití. 4 piny obstarávají tlačítka, 4 výstupy jsou určeny k řízení budičů, 4 volí mikrokrokování, 6 obstarává chod displeje, 1 kontroluje výpadek napájení, 1 snímá stavy senzorů a 2 slouží ke komunikaci s počítačem. Program nahraný v mikrokontroléru je nadřazen nad program v počítači, který umožňuje pohodlnější manipulaci se stolečkem.

### 8.5.1 Firmware

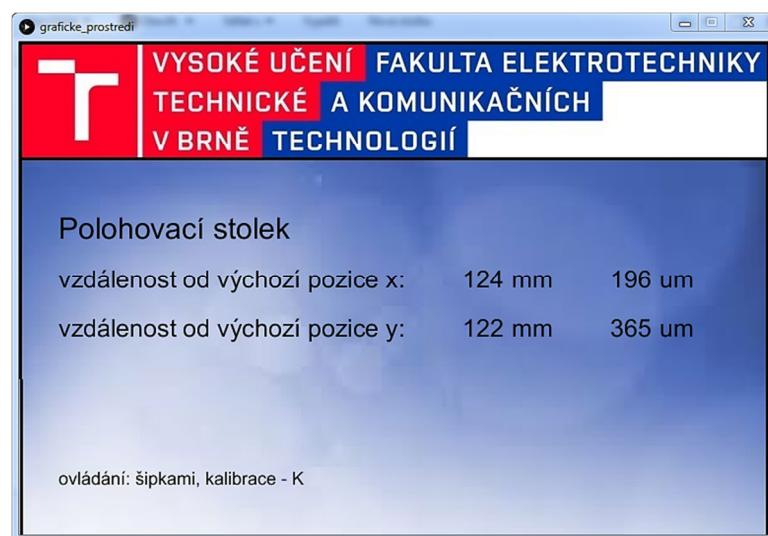
V úvodní části programu se provedou inicializace proměnných, vstupů, výstupů, přerušení, komunikace, displeje a z paměti EEPROM se načte poslední uložená souřadnice. V hlavní smyčce programu se nejprve zkontroluje, zda nečekají nějaká data na sériové lince. Pokud ne, proběhne zevrubná kontrola všech tlačítek. Program zaznamenává veškerý pohyb včetně uvolnění tlačítka. Při stisku dojde k vykonání kroku. Primární velikost kroku je nastavena na 1/8 (nejpomalejší). Když je tlačítko

drženo, dojde k pozvolnému zrychlování. Zrychlení je realizováno zvětšováním kroku a násobením počtu provedených kroků za uplynulý čas. Uvolnění tlačítka uvede rychlost do původního stavu (nejnižší). Díky tomu je umožněn současný pohyb osy  $x$  a  $y$  i s rozdílnými rychlostmi. Současný stisk protilehlých tlačítek uvede stoleček do nepohyblivého stavu a displej výpisem varuje před nedovoleným stiskem. Po každém vykonaném kroku dojde k výpočtu překonané vzdálenosti a aktualizaci displeje. Externí přerušeni má za úkol v momentě výpadku napájení zajistit uložení posledních dosažených souřadnic.

Pokud je použita konfigurace, probíhá neustále kontrola, zda se stoleček nachází v pracovní oblasti. V případě vybočení z předepsaných souřadnic, se stoleček vrátí zpět za nejbližší hranici do vymezených prostor pro pohyb. Přesun stolečku do výchozí pozice uvede souřadnice do nulových hodnot, čímž dojde ke kalibraci a zabránění dalšímu pohybu do nedefinované oblasti.

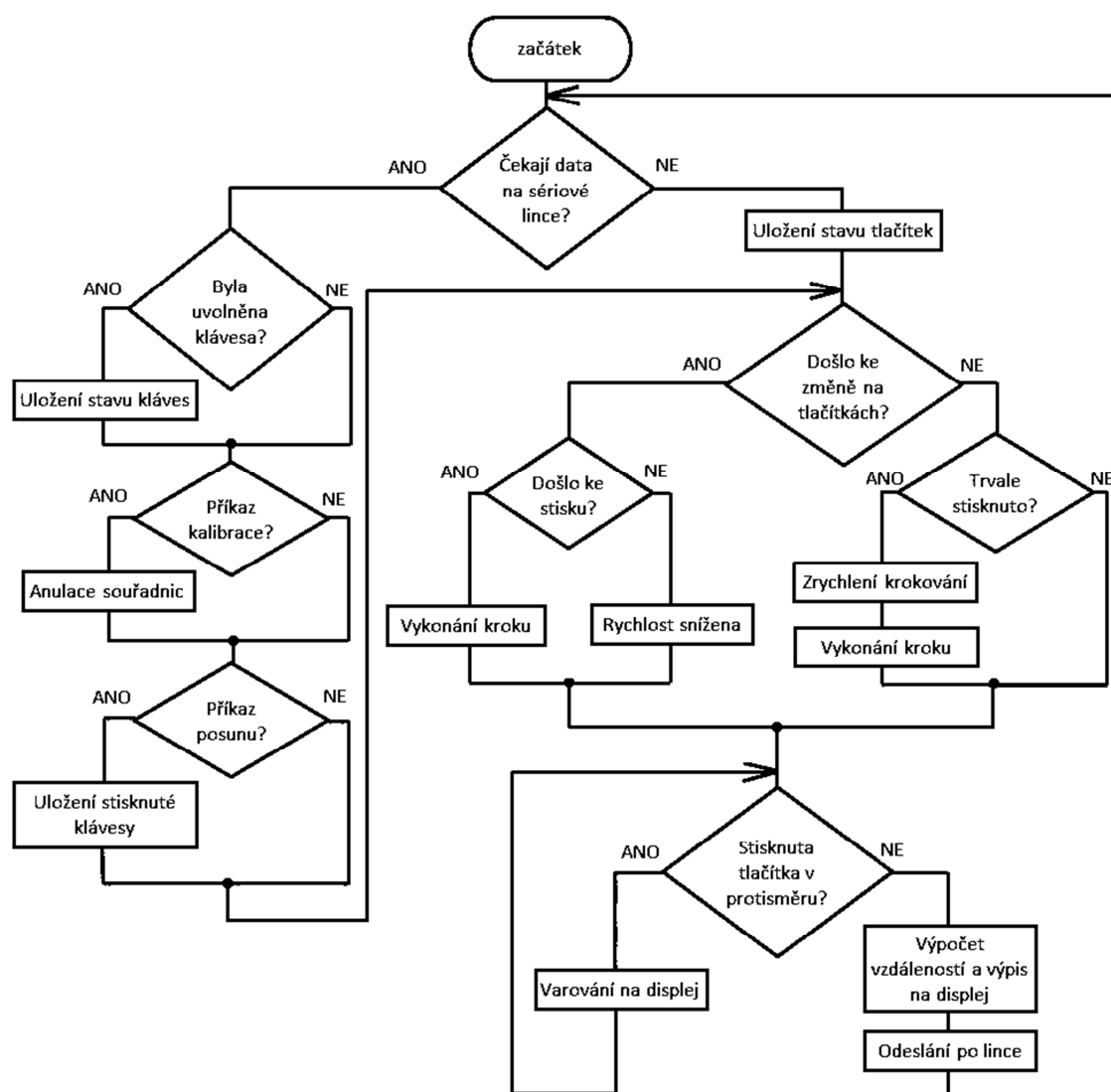
## 8.5.2 Software

Připojením jednotky k počítači a otevřením příslušného programu určenému k ovládání stolečku je možné za pomoci šipek dosáhnout stejných výsledků jako manuálními tlačítky na panelu. Nevýhodou ovládání počítačem je, že nelze polohovat obě osy současně. Pracovní okno (Obr. 20), kromě hlavičky obsahuje výpis vzdáleností, nápovědu k ovládání a spoustu prostoru pro možnost doplnění přídatných funkcí dle požadavků uživatele. Program pro grafické okno byl napsán v jazyce Processing a na dílčím zpracování dat řídicí jednotky se podílí pouze nepřímo. Počítač kontroluje stisk kláves a v případě stisku některé ze šipek nebo klávesy „k“ dojde k odeslání dat do Arduina. Příkaz klávesy „K“ je pro řídicí jednotku signál, že má uvést stoleček do výchozí polohy. ATmega328 odesílá údaje o vzdálenosti neustále a v grafickém okně probíhá nepřetržitě aktualizace souřadnic.



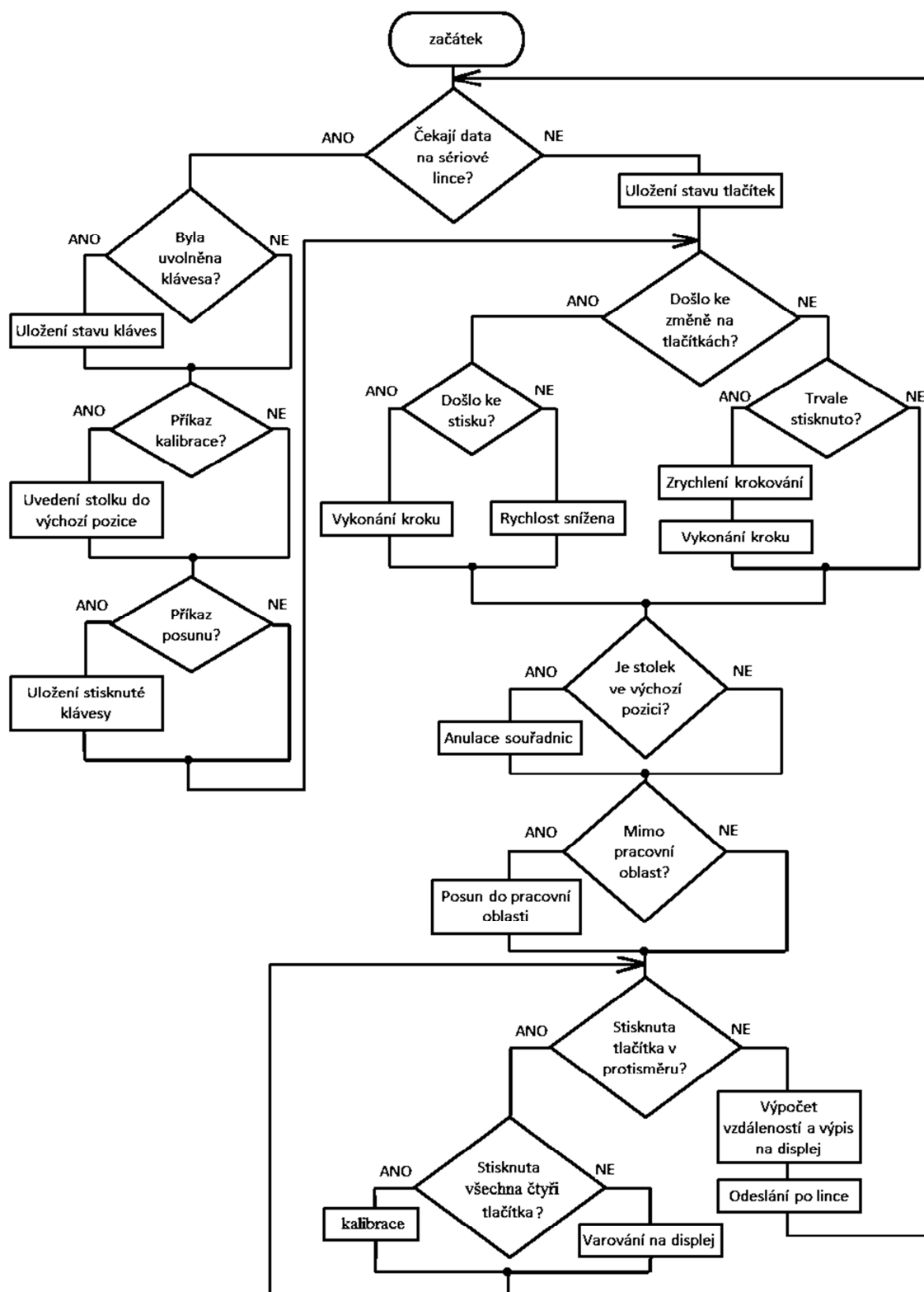
Obr. 20: Okno grafického prostředí

### 8.5.3 Vývojový diagram programu pro ATmega328 bez konfigurace



Obr. 21: Vývojový diagram bez konfigurace

## 8.5.4 Vývojový diagram programu pro ATmega328 s konfigurací



Obr. 22: Vývojový diagram s konfigurací

## 8.6 Oživení

Při ožívování a konečném zhodnocení byly nalezeny nedostatky, které by v příštím návrhu byly odstraněny. Hlavním nedostatkem bylo špatné připojení pinu ENABLE, který bývá využíván k odpojení napájení na výstupech budiče. Využití této funkce lze nalézt v možnosti úspory elektrické energie v okamžicích, kdy není nutné krokovat s motorkem a nehrozí nekontrolovatelný pohyb například vlivem gravitace. Rozhodnutí bylo ENABLE nevyužít a pin byl připojen k napájení, což vedlo k trvalému výpadku na výstupu budiče. Náprava byla provedena přerušením původní cesty k 5 V a přemostěním na zem.

Ne zcela ideální byl úsudek zvolit napájení Arduina 12 V. Podle dokumentace je napájení Arduina limitováno rozsahem 5,5 až 12 V. Hraniční napětí 12 V snižuje životnost stabilizátoru, který se více zahřívá a jeho poškození vede k úplnému zničení ostatních obvodů, zejména mikroprocesoru ATmega328.

Nejvíce opotřebovávanou částí jsou tlačítka. Z toho důvodu byl pečlivě vybírán typ, který má masivnější tělo a nevadí vícečetná stisknutí. Po krátkém užívání se ovšem vyskytnul problém s kontaktem v prostorách pružinky. Tlačítko má výhodu, že je rozebíratelné a bylo možné jej opravit, nicméně poruchovost vybraných tlačítek je vyšší než u běžně užívaných typů. Lepší mechanická odolnost si vybrala daň v podobě větších rozměrů (především hloubkových) a neuvážený výběr vedl k tomu, že tělo jednoho tlačítka bylo zapotřebí upravit, aby nebránilo k uzavření krabičky.

Další problém se vyskytl při výrobě desky plošného spoje. Předloha pro osvit byla vyexportována v nevektorovém formátu, což vedlo k deformaci okrajů tenkých a šikmě vedených cest. Současně s příliš malou izolační vzdáleností mezi některými cestami taženými mezi pájecími ploškami budiče došlo k několika zkratům, které byly odstraněny žiletkou.

Větší pozornost by si zasloužilo i mechanické uložení komponentů do krabičky. Více místa pro chladič by umožnilo méně zásahů do zakoupeného chladiče, který je už nyní ohnutý tak aby splnil maximální možnou výšku 5 cm. Navíc musel být v horním okraji oříznut, kvůli konektoru, který mohl být více centrován ke středu. Absence izolačních podložek na regulátoru a budičích způsobuje trvalý zemní potenciál na chladiči. To zvyšuje riziko při poruše izolace některého z vodičů. Po vícečetném zvážení lze usoudit, že větší rozměr krabičky by zlepšil bezpečnost a spolehlivost řídicí jednotky. Oživená a zkompleťovaná řídicí jednotka je na Obr. 23.



Obr. 23: Vzhled hotové řídicí jednotky

### 8.6.1 Zkouška

Po odstranění výše zmíněných závad byla řídicí jednotka otestována a shledána jako funkční. Občas se projeví defekt na spodním tlačítku. Nekontrolovaný trvalý stisk lze přerušit opakovaným stiskem. Trvalé sepnutí se ovšem vyskytuje ojediněle. Řízení pomocí počítače je funkční a zcela plní svůj sekundární účel řízení. Pouze v některých případech je nutné okno programu uzavřít a opět otevřít, případně zkontrolovat USB kabel.

Z neznámých důvodů byl polohovací stoleček poškozen a bylo znemožněno otestování polohování v plném rozsahu. Některé zkoušky není třeba provádět, protože se na nich neprojeví kvalita řízení. Například zkouška ortogonalit souvisí pouze s mechanickou konstrukcí polohovacího stolečku, která není obsahem této práce. Ostatní zkoušky opakovatelnosti a přesnosti nemohli být provedeny z důvodu špatného technického stavu polohovacího stolečku.

## 9 Závěr

Účelem práce bylo seznámit se s polohovacími systémy, jejichmi možnostmi a pochopit problematiku řízení polohování. Při výběru z množství konceptů řešení byly zohledněny požadavky pro návrh, dostupnost montážního materiálu s přihlédnutím na jednoduchost a spolehlivost konstrukce.

K řízení bylo vybráno Arduino NANO, jejímž jádrem je mikroprocesor ATmega328 a zároveň obsahuje převodník sériové komunikace CH340, čímž výrazně rozšiřuje možnosti řízení. Přistoupení k volbě řízení Arduinem, bylo po podrobném rozboru dostupných řešení a zvážení užití Processingu k tvorbě grafického prostředí. Řídicí modul Arduina prokázal svou jedinečnost ve všestranném využití v oblasti řízení a dostupnosti i pro méně zdatné programátory.

Grafické prostředí bylo vytvořeno v jazyce Processing a kromě komfortu disponuje vysokým potenciálem pro další rozšíření možností řízení a odečítání vzdáleností.

Jako výkonové stupně byly zvoleny obvody TA8435, které se osvědčily jako vhodné, ovšem větší množství ztrátového tepla muselo být vyřešeno aktivním chlazením z důvodu nedostatečného rozvržení prostoru pro pasivní chladič. Výkonový stupeň je spolehlivý a díky možnosti vložení do patice je případná výměna snadno realizovatelná.

Polohovací stoleček má v horní části hlavici, která je vhodná pro montáž různých zařízení. Aby bylo možné využít stoleček pro experimentální účely různých druhů (mikroskop, vrtačka, osvit), polohování musí být dostatečně přesné. Proto je výchozí krokování nastaveno na 1/8 kroku. Údaje o souřadnicích sděluje obsluze jednoduchý displej v jednotkách milimetrů a mikrometrů. Duální užití jednotek usnadňuje odečítání vzdáleností z displeje.

Řízení je ochuzeno o možnost odpojení napájení cívek krokových motorků, což bylo opomenuto z důvodu vysoké vytíženosti mikroprocesoru. Kompenzaci je možno nalézt v konfiguraci tvořené senzory snímající krajní polohy.

Finální testovací zkoušky, které by prověřili kvalitu seřízení, nebylo možné provést z důvodu špatného technického stavu polohovacího stolečku.

## Seznam použité literatury

- [1] **Hrčková, Mária a Koleda, Pavol.** Návrh otočného stola pre automatizované pracovisko. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2015. stránky 133–142.
- [2] **Dvořák, Luděk.** Nové otočné stoly pro polohování obrobků. *tribotechnika*. [Online] Techpark, 2016. [Citace: 1. Prosinec 2016.] Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22015/nove-otocne-stoly-pro-polohovani-obrobku.html>. VVS/1–900/90–22538.
- [3] **ETEL.** Konstrukce pohybového systému. *ETEL*. [Online] [Citace: 2. prosinec 2016.] Dostupné z: <http://www.etel.ch/cz/pohybove-systemy/definice/>.
- [4] **Kochaníček, Ludvík.** Kinematika robotů, stupně volnosti - 1. část. *ELEKTROTECHNIKA*. [Online] [Citace: 4. Prosinec 2016.] Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=44833&docGroup=-1&cmd=0&instance=1>.
- [5] **Piezo Nano Positioning.** F-206 Hexapod Automated Fiber Optic 6-Axis Alignment System & 6D MicroMotion Robot. *Piezo Nano Positioning*. [Online] [Citace: 26. Listopad 2016.] Dostupné z: <http://www.hexapods.net/F206-Hexapod.htm>.
- [6] **ETEL.** Pohybový systém - Definice. *ETEL*. [Online] [Citace: 2. prosinec 2016.] Dostupné z: <http://www.etel.ch/cz/pohybove-systemy/definice/>.
- [7] **Ciessettrade.** Automatický mechanický indexovací stůl. *Ciessettrade*. [Online] [Citace: 29. Listopad 2016.] Dostupné z: <http://www.ciessettrade.cz/produkty/oml/otocne-stoly/automaticky-mechanicky-indexovaci-stul/>.
- [8] **Kratochvíl, Pavel.** Mikron Moravia. *Průmyslové spektrum*. TRENDY/OBRÁBĚNÍ, 2016, 6, str. 26.
- [9] **ATMEL CORPORATION.** *Datasheet ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P*. San Jose : Atmel Corporation, 2015.
- [10] **Voda, Zbyšek.** *Průvodce světem Arduina*. Bučovice : Nakladatelství Martin Stráž, Bučovice, 2015. str. 240. ISBN: 978-80-87106-90-7.
- [11] **ARDUINO.** ARDUINO. *Arduino UNO*. [Online] [Citace: 20. listopad 2016.] Dostupné z: <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-uno>.

- [12] **Bílek, Petr.** Datové typy, bloky, deklarace a definice. *Sallyx.org*. [Online] 13. Červen 2014. [Citace: 1. prosinec 2016.] Dostupné z: <http://www.sallyx.org/sally/c/c05.php>.
- [13] **Fisher, J.** *Přednáška UART, RS232, 422, 485*. [Prezentace] Praha : ČVUT, Fakulta elektrotechniky. Katedra měření, 2013. Aplikace vestavěných systémů.
- [14] **Frýza, Tomáš.** *Řízení sériové komunikace*. [Prezentace] Brno : VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2014.
- [15] **Dudáček, Karel.** Sériová rozhraní. Sériová rozhraní SPI, Microwire, I2 C a CAN. *Domovské stránky uživatelů*. [Online] 2002. [Citace: 4. Prosinec 2016.] Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova\\_rozhрани.pdf](http://home.zcu.cz/~dudacek/NMS/Seriova_rozhрани.pdf).
- [16] **CORELIS.** SPI Interface. *CORELIS*. [Online] [Citace: 4. Prosinec 2016.] Dostupné z: [http://www.corelis.com/education/SPI\\_Tutorial.htm](http://www.corelis.com/education/SPI_Tutorial.htm).
- [17] **pohonnatechnika.** Princip - Krokový motor. *Pohonnatechnika.cz*. [Online] [Citace: 25. listopad 2016.] Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>.
- [18] **SERVO-DRIVE.** Speciální krokové motory na míru. *SERVO-DRIVE.cz*. [Online] [Citace: 5. Prosinec 2016.] Dostupné z: [http://www.servo-drive.cz/specialni\\_krokovy\\_motory\\_krokovy\\_motory\\_na\\_miru.php](http://www.servo-drive.cz/specialni_krokovy_motory_krokovy_motory_na_miru.php).
- [19] **Semrád, Michal.** Řízení krokových motorků. Brno : VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav automatizace a měřicí techniky, 2012. str. 47. Bakalářská práce. Vedoucí práce Ing. Lukáš Kopečný, Ph.D..
- [20] **Nekvasil, Vladimír.** Ovládání krokových motorů – didaktická pomůcka. Praha : ČVUT, Fakulta elektrotechnická. Katedra řídicí techniky, 2008. str. 31. Bakalářská práce. Vedoucí práce Ing. Jan Havlík.
- [21] **MICROCON.** ZAPOJENÍ VINUTÍ. *MICROCON*. [Online] [Citace: 30. Listopad 2016.] Dostupné z: <http://www.microcon.cz/>.
- [22] **Kabát, Zdeněk.** Technologie: TFT LCD displeje. *Svět Hardware*. [Online] oXy Online s.r.o., 17. březen 2003. [Citace: 22. Listopad 2016.] <http://www.svethardware.cz/technologie-tft-lcd-displeje/7555>.
- [23] **Kovač, Pavel.** Tekuté krystaly - Jak to všechno začalo. *Svět Hardware*. [Online] oXy Online s.r.o., 21. Červenec 2005. [Citace: 22. Listopad 2016.] <http://www.svethardware.cz/tekute-krystaly-jak-to-vsechno-zacalo/12311>.

- [24] **George, Ligo.** Interfacing LCD with PIC Microcontroller – Hi Tech C. *electroSome*. [Online] 22. Červenec 2013. Dostupné z: <https://electrosome.com/interfacing-lcd-with-pic-microcontroller-hi-tech-c/>.
- [25] **ČVUT.** LCD monitory. *Populárně naučný portál*. [Online] ČVUT. [Citace: 23. Listopad 2016.] <http://popular.fbmi.cvut.cz/optoel/Stranky/lcdmonit.aspx>.
- [26] **Pandatron.** Toshiba zjednodušuje řízení krokových motorů. *Pandatron.cz*. [Online] 27. Říjen 2010. [Citace: 26. Listopad 2016.] Dostupné z: [http://pandatron.cz/?1653&toshiba\\_zjednodusuje\\_rizeni\\_krokovych\\_motoru](http://pandatron.cz/?1653&toshiba_zjednodusuje_rizeni_krokovych_motoru). ISSN 1803-6007.
- [27] **TOSHIBA.** TA8435H. *Datasheetcatalog.com*. [Online] 16. Červenec 2001. [Citace: 26. Listopad 2016.] Dostupné z: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/T/A/8/4/TA8435H.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/T/A/8/4/TA8435H.shtml).
- [28] **HITACHI.** [Online] [Citace: 2. Prosinec 2016.] Datasheet. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>.
- [29] **MICROCON.** Hybridní dvoufázové krokové motory řady SX. *MICROCON*. [Online] [Citace: 22. listopad 2016.] Dostupné z: <http://www.microcon.cz/>.
- [30] **MICROCON.** Momentové charakteristiky řady SX16, SX17, SX23. *MICROCON*. [Online] [Citace: 25. listopad 2016.] Dostupné z: <http://www.microcon.cz>.
- [31] **VISHAY INTERTECHNOLOGY.** *Datasheet, TCST2103, TCST2202, TCST2300*. New York : Vishay Semiconductors, 2009.
- [32] **Pandatron.** Ovládání znakových LCD s řadičem HD44780 – 1. díl. *Pandatron*. [Online] Pandatron.cz, 17. Březen 2009. [Citace: 25. listopad 2016.] Dostupné z: [http://pandatron.cz/?685&ovladani\\_znakovych\\_lcd\\_s\\_radicem\\_hd44780\\_%96\\_1\\_](http://pandatron.cz/?685&ovladani_znakovych_lcd_s_radicem_hd44780_%96_1_). ISSN 1803-6007.
- [33] **Arduino-shop.** Vývojové platformy. *Arduino-shop*. [Online] ECLIPSE s.r.o. [Citace: 3. Prosinec 2016.] <http://arduino-shop.cz/176-vyvojove-platformy>.

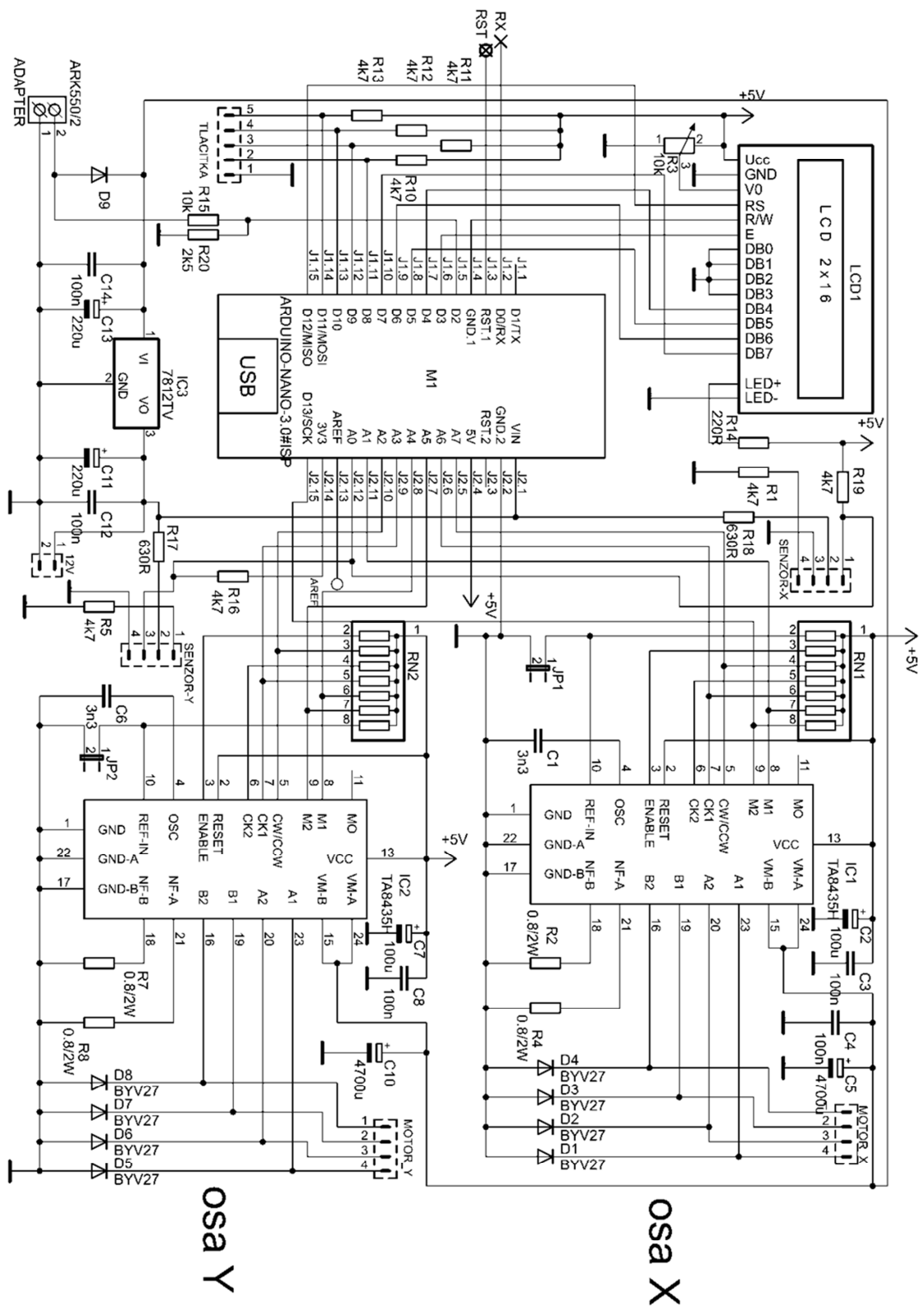
## Seznam obrázků

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1: a) xy tabulka, b) portálový systém [3] .....                       | 11 |
| Obr. 2: Stupně volnosti označené šipkami [5] .....                         | 12 |
| Obr. 3: Ukázka paralelního programování mikroprocesoru ATmega328 [9] ..... | 15 |
| Obr. 4: Ukázka sériového programování mikroprocesoru ATmega328 [9] .....   | 15 |
| Obr. 5: Arduino UNO [11] .....                                             | 16 |
| Obr. 6: Arduino IDE .....                                                  | 18 |
| Obr. 7: Podmínky přenosu I <sup>2</sup> C komunikace .....                 | 23 |
| Obr. 8: SPI komunikace [16] .....                                          | 23 |
| Obr. 9: Konstrukce hybridního krokového motorku [18] .....                 | 24 |
| Obr. 10: Způsoby zapojení vinutí [21] .....                                | 25 |
| Obr. 11: Polarizace světla [24] .....                                      | 26 |
| Obr. 12: Polohovací stoleček osazený mikroskopem .....                     | 29 |
| Obr. 13: Blokové schéma polohovacího systému .....                         | 29 |
| Obr. 14: Schéma výkonového stupně TA8435H .....                            | 30 |
| Obr. 15: Arduino NANO s vývody .....                                       | 31 |
| Obr. 16: Displej ATM1602B se zobrazeným textem [24] .....                  | 32 |
| Obr. 17: Graf momentové charakteristiky s jednotkou SD20X [30] .....       | 33 |
| Obr. 18: Osazená řídicí deska .....                                        | 34 |
| Obr. 19: Otevřená řídicí jednotka propojená kabeláží .....                 | 35 |
| Obr. 20: Okno grafického prostředí .....                                   | 36 |
| Obr. 21: Vývojový diagram bez konfigurace .....                            | 37 |
| Obr. 22: Vývojový diagram s konfigurací .....                              | 38 |
| Obr. 23: Vzhled hotové řídicí jednotky .....                               | 40 |
| Obr. 24: Schéma hlavní desky .....                                         | 47 |
| Obr. 25: Motiv pro negativní fotorezist .....                              | 48 |
| Obr. 26: Osazovací výkres .....                                            | 48 |

## Seznam příloh

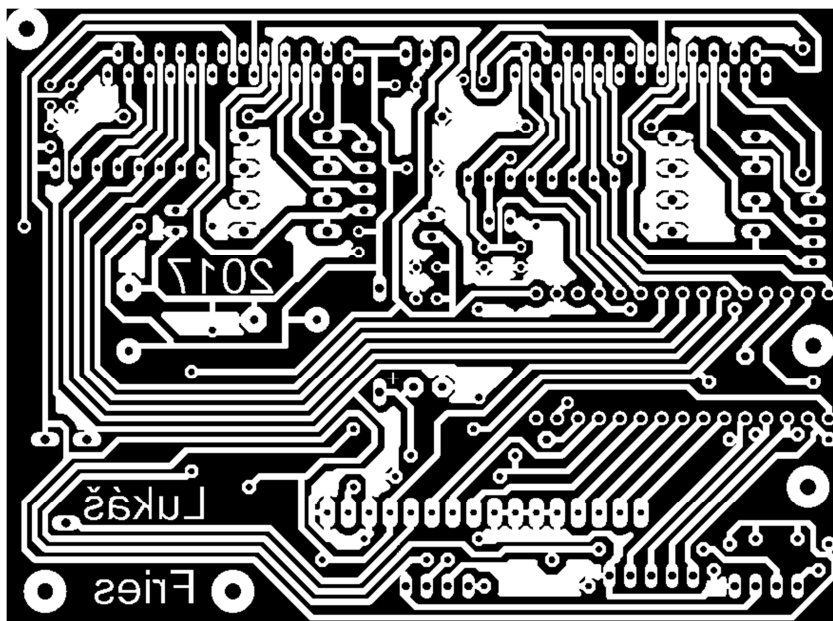
|   |                           |    |
|---|---------------------------|----|
| A | Schéma obvodu.....        | 47 |
| B | Předloha DPS.....         | 48 |
| C | Elektronická příloha..... | 49 |

## A Schéma obvodu

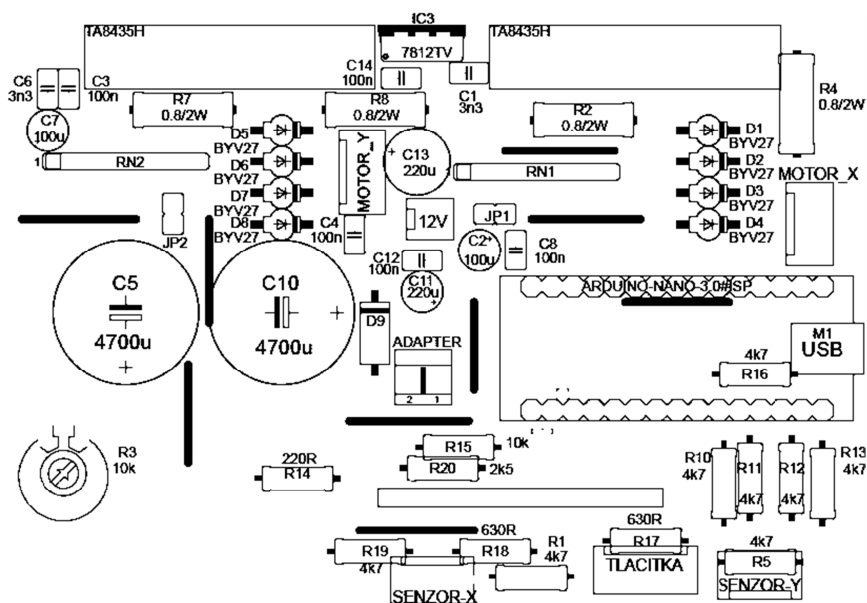


Obr. 24: Schéma hlavní desky

## B Předloha DPS



Obr. 25: Motiv pro negativní fotorezist



Obr. 26: Osazovací výkres

## **C Elektronická příloha**

Obsahem elektronické přílohy uložené na přiloženém CD je navržené schéma obvodu v programu Eagle, desky plošného spoje, program napsaný v jazyce Processing a firmware Arduina. Ve složce s programy pro Arduino je i konfigurační program. Schéma obvodu obsahuje opravu špatně připojeného pinu ENABLE i nápravu na DPS. Opravena byla i širší izolační vzdálenosti cest mezi piny budiče. CD také obsahuje dokumentaci některých výrobních komponent a el. verzi této práce.