

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Osazovací manipulátor
Jaroslav Novák

Bakalářská práce
2019

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav Novák**
Osobní číslo: **I16275**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Osazovací manipulátor**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Miniaturizace součástek sice umožňuje zvýšení efektivity a optimalizaci při návrhu, ale zároveň komplikuje následné osazení DPS, které vyžaduje extrémní přesnost umístění jednotlivých komponent. Cílem práce je návrh regulace pohonů jednoduchého 3D manipulátoru pro osazení DPS.

Teoretická část práce se bude zabývat popisem vhodných pohonů a řešení 3D manipulátoru a jejich řízení, srovnání jejich předpokládaných vlastností a výběr vhodného řešení. Praktická část pak bude obsahovat návrh a realizaci řízení manipulátoru s vakuovou pinzetou s možností ručního řízení polohy.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN technická literatura, 2003.336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.
[2] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.
[3] VLACH, J. Řízení a vizualizace technologických procesů. Praha: BEN technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 978-80-86056-66-X.
[4] BRTNÍK, B. Základní elektronické obvody. Praha: BEN technická literatura, 2011. 156s. ISBN 978-80-7300-408-8 [5] RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha : BEN, 2003. ISBN 0-12-752184

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Rozsival

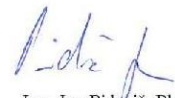
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2019**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Pidaňič, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2018

Prohlašuji:

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

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

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

V Pardubicích dne 9. 5. 2019

Jaroslav Novák

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Pavlu Rozsivalovi za vypůjčení elektronických součástek, a především za cenné rady při návrhu a realizaci osazovacího manipulátoru. Dále bych rád poděkoval rodině za podporu nejen u tvorby bakalářské práce, ale i během celého studia. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat přátelům, a především mé přítelkyni, která mi byla velkou oporou při celém studiu i při tvorbě bakalářské práce.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací jednoduchého osazovacího manipulátoru. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části bakalářské práce je popsána deska plošných spojů, rozdíly v osazování SMD a THD součástek, prvotní představy o vzhledu a funkci osazovacího manipulátoru a v neposlední řadě jsou zde popsány jednotlivé součásti zařízení. V praktické části je popsán návrh a kompletní zhotovení osazovacího manipulátoru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Deska plošného spoje, osazovací manipulátor, krokový motor, mikroprocesor

TITLE

Pick and place machine

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with the design and implementation of a simple mounting manipulator. The work is divided into theoretical and practical part. The theoretical part of the thesis describes the printed circuit board, differences in the mounting of SMD and THD components, the initial ideas of the appearance and function of the mounting manipulator and the individual components of the equipment are described. In the practical part is described the design and complete construction of the mounting manipulator.

KEYWORDS

Printed circuit board, pick and place machine, stepper motor, microprocessor

OBSAH

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
Seznam zkratek	10
Úvod	11
1 Teoretická část	13
1.1 Osazování desek plošných spojů	13
1.1.1 Deska plošných spojů	13
1.1.2 Základní kroky při výrobě desek plošných spojů	14
1.1.3 Možnosti osazení	16
1.1.4 Povrchová montáž.....	16
1.2 Možné způsoby realizace	18
1.2.1 Základní funkce osazovacího manipulátoru	18
1.3 Základní komponenty osazovacího manipulátoru	19
1.3.1 Pohony posuvných mechanismů	19
1.3.2 Mechanické komponenty	26
1.3.3 Osazovací mechanismy	30
1.3.4 Řídící elektronika.....	31
2 Praktická část	34
2.1 Návrh a realizace osazovacího manipulátoru	34
2.1.1 Volba vhodných komponentů	34
2.1.2 Návrh řídicí elektroniky	38
2.1.3 Mechanická konstrukce	43
2.1.4 Programová část.....	44
2.1.5 Oživení a testování osazovacího manipulátoru	47
2.2 Porovnání s komerčními osazovacími zařízeními	47
2.2.1 Popis procesu osazování v komerční sféře	47
2.2.2 Porovnání	48
Závěr	50
Citovaná literatura	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Deska plošného spoje [7]	16
Obrázek 2 - Charakteristika pájení SMD součástek [6]	17
Obrázek 3 - Možné schéma zapojení	19
Obrázek 4 - Krokový motor s pasivním rotorem [11]	20
Obrázek 5 - Krokový motor s aktivním rotorem [12]	21
Obrázek 6 - Hybridní krokový motor [8]	21
Obrázek 7 - Unipolární zapojení [14].....	22
Obrázek 8 - Bipolární zapojení a) sériové, b) paralelní [14]	22
Obrázek 9 - Možný rám konstrukce.....	26
Obrázek 10 - Vodící tyč a kuličkové pouzdro [16].....	27
Obrázek 11 - Rolničkové vedení [17].....	27
Obrázek 12 - Vedení s oběhovými kuličkami [18].....	28
Obrázek 13 - Trapézový šroub [19].....	28
Obrázek 14 - Kuličkové šrouby [20].....	29
Obrázek 15 - Ozubený řemen [22].....	29
Obrázek 16 - Vakuová pinzeta [35]	30
Obrázek 17 - Varianty přepínačů [29]	33
Obrázek 18 - Doporučené schéma zapojení od výrobce [31]	35
Obrázek 19 - patice pro driver krokového motoru	39
Obrázek 20 - a) patice pro enkodér, b) patice pro přepínač	40
Obrázek 21 - Napájecí část.....	40
Obrázek 22 - Schéma zapojení řídicí elektroniky	41
Obrázek 23 - finální podoba návrhu desky plošného spoje	42
Obrázek 24 - Proces osazování desky plošného spoje.....	43
Obrázek 25 - Rám osazovacího manipulátoru	44
Obrázek 26 - Vývojový diagram prvního bloku programu	45
Obrázek 27 - Vývojový diagram druhého bloku programu	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Označení materiálů pro plošné spoje [1] [4]	13
Tabulka 2 - Unipolární jednofázové řízení s plným krokem [10].....	23
Tabulka 3 - Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem [10].....	23
Tabulka 4 - Unipolární řízení s polovičním krokem [10].....	24
Tabulka 5 - Bipolární jednofázové řízení s plným krokem [10]	24
Tabulka 6 - Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem [10]	25
Tabulka 7 - Bipolární řízení s polovičním krokem [10]	25
Tabulka 8 - Drivery krokových motorů [25]	32
Tabulka 9 - Krokové režimy [30].....	36

SEZNAM ZKRATEK

EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor
SMD	Surface mount device
THD	Through Hole Device
SPI	Serial Peripheral Interface
AOI	Automated optic inspection
USB	Universal Serial Bus
SPI	Serial Peripheral Interface
CNC	Computer Numerical Control
LED	Light-Emitting Diode
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
PWM	Pulse Width Modulation
ALU	Aritmeticko-logická jednotka
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory
ROM	Read-Only Memory
SRAM	Static Random Access Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
RISC	Reduced Instruction Set Computer

ÚVOD

V současné době, kdy je ze strany odběratelů velká poptávka po co nejmenších a nejvýkonnějších zařízeních, je výrobce nucen vytvářet menší a výkonnější zařízení. Jedním z mnoha způsobů, jak toho lze docílit, je nárůst integrity součástek na deskách plošných spojů. Větší integrita je zajištěna pomocí technologie povrchové montáže, kde se využívají miniaturní součástky SMD. Osazování těchto součástek je manuálně značně obtížné a v některých případech až nemožné. Z toho důvodu existují zařízení, která dokáží SMD součástky rychle a efektivně osazovat. Tyto osazovací automaty jsou však velmi drahé a jejich cena se pohybuje ve stovkách tisících až milionech korun.

Hlavním úkolem této práce je návrh a realizace jednoduchého 3D manipulátoru pro osazování součástek na desky plošných spojů. Realizované zařízení by mělo být schopné rychle a efektivně osazovat součástky na desky plošných spojů. Zařízení by mělo splňovat podmínky jednoduchosti a jeho velikost ani hmotnost by se neměla přibližovat komerčním osazovacím zařízením. Ovládání manipulátoru by mělo být dle zadání řízeno ručně nikoliv softwarově. Nasátí součástky i následné držení po celou dobu manipulace bude zajištěno pomocí vakuové pinzety. Osobním cílem této práce je tedy navrhnout zařízení, jehož konstrukce a jednotlivé součásti budou výrazně levnější než součásti komerčních osazovacích zařízení. Osazovacích zařízení je na trhu mnoho, ale jsou drahé a jejich obsluha je obtížná. Dalším cílem této práce je zajistit snadné ovládání zařízení tak, aby jej mohly využít i osoby neznalé s prací s elektrickými zařízeními.

V teoretické části bakalářské práce je detailně popsána deska plošných spojů a postup výroby desek plošných spojů v sériové výrobě. Následně jsou porovnány rozdíly v osazování SMD součástek a součástek THD. Dále jsou zde popsány prvotní představy o vzhledu, ovládání a funkci jednotlivých funkčních bloků osazovacího manipulátoru. V neposlední řadě jsou popsány možné pohony posuvných mechanismů, řídicí elektronika, mechanické prvky a popis komerčních osazovacích hlav.

Praktická část popisuje detailní postup návrhu osazovacího manipulátoru a jeho následnou realizaci. V první části je popsán výběr vhodných součástek a stanovení důvodů, proč byly tyto součástky vybrány. Následně se práce zabývá návrhem a realizací desky plošného spoje pro

řídící elektroniku. Druhá část popisuje výběr mechanických komponentů a finální podobu osazovacího manipulátoru. V poslední části je zhotovené zařízení porovnáno s komerčními osazovacími zařízeními.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část obsahuje popis procesu výroby a osazování plošného spoje a popisy možností, jak lze osadit součástky na desku plošného spoje. V poslední řadě je zde popsána realizace jednotlivých bloků osazovacího manipulátoru.

1.1 Osazování desek plošných spojů

Následující kapitoly popisují desky plošných spojů, možnosti jejich osazení a požadavky pro správné osazování desek plošných spojů.

1.1.1 Deska plošných spojů

Deska plošného spoje se využívá k mechanickému připevnění elektronických součástek k desce a také k jejich propojení. Propojení je řešeno vodivými cestami, které jsou většinou měděné. Metod pro odstranění přebytečné mědi z desky je velká spousta. Tyto metody jsou probrány níže v kapitole 1.1.2. Pro správné zhotovení desky plošného spoje je zapotřebí zvolit správný materiál. Materiály se dělí podle mnoha kritérií. Při volbě materiálu je důležité zvážit náročnost aplikace tak, aby deska dokázala splnit požadavky uživatele [1].

Desky plošných spojů se dělí:

- Podle základního materiálu na: organické a neorganické
- Podle ohebnosti na: ohebné a neohebné

Organické substráty jsou tvořeny z epoxidové, fenolické nebo také polyamidové a silikonové organické pryskyřice. Při výrobě ohebných substrátů se již nic nepřidává a jsou tedy tvořeny pouze pryskyřicemi. Do výroby tuhých substrátů je podle potřeby tuhosti přidána jedna či více vrstev výztuže. Jako výztuž se nejčastěji používá rohož, skelná tkanina nebo také bavlněný papír. Výhodou organických substrátů je jejich nízká hmotnost a dielektrické vlastnosti [2] [3].

Tabulka 1 - Označení materiálů pro plošné spoje [1] [4]

FR1	Papír nasycený fenolovou pryskyřicí
FR2	Papír nasycený fenolovou pryskyřicí
FR3	Papír nasycený epoxidovou pryskyřicí
FR4	Tkanina ze skelných vláken syčená epoxidovou pryskyřicí
FR5	Tkanina ze skelných vláken syčená epoxidovou pryskyřicí (zvláště tepelně odolný druh)

Neorganické substráty jsou oproti organickým materiálům velmi odolné proti vysoké teplotě, jsou taktéž chemicky odolné a rozměrově stálé. Mají tedy nižší koeficient teplotní roztažnosti. Neorganické materiály mají mnoho nevýhod:

- Vyšší cena
- Vyšší hmotnost
- Křehkost
- U některých typů toxicita

Nejčastějším typem neorganických substrátů jsou keramické substráty. Obvykle se keramické materiály využívají jako podložky pro tlusté vrstvy, které vznikají vypalováním při vysokých teplotách. Tyto materiály se využívají díky jejich výborné tepelné odolnosti. Také jsou velmi odolné proti působení chemických látek [2] [3].

Možným využitím je i **Kompozitový substrát**. Tyto substráty jsou z nehomogenního materiálu, nejčastěji se skládají z pryskyřice sycenou tkaninou, buď papírovou nebo skelnou. Papír je velmi levný, ale jeho prokovení je komplikované. Materiály se skelnou tkaninou se naopak prokovují dobře a jsou využívány velmi často [2] [3].

Nejběžnější typ pro výrobu plošných spojů je tkanina ze skelných vláken sycená epoxidovou pryskyřicí, která je označena jako typ FR4. Z jedné, či z obou stran je nalepena měděná folie s tloušťkou 17 až 35 mikrometrů. Tloušťka laminátu je v rozmezí 1 až 1,5mm. Pro jednodušší výrobky se používají lamináty s vrstvou ze speciálního papíru nebo mohou být ze skelné tkaniny pouze vnější vrstvy a mezi nimi je netkaná textilie [1] [4].

1.1.2 Základní kroky při výrobě desek plošných spojů

Desku plošného spoje, je možné vytvořit mnoha způsoby. Jedním z výrobních postupů, které se v praxi využívají, je metoda subtraktivní. Dalšími využívanými výrobními postupy jsou aditivní a semiaditivní metoda. V následujícím textu jsou tyto metody popsány.

Při subtraktivním postupu se přebytečná měď na desce odstraňuje pomocí leptání v roztoku chloridu železitého. Dalším výrobním postupem je aditivní metoda, která spočívá v nanesení vodivých cest na desku. Jsou-li obě výrobní metody spojeny, vzniká semiaditivní výrobní metoda, která se využívá především pro prototypovou a malosériovou výrobu [1] [5].

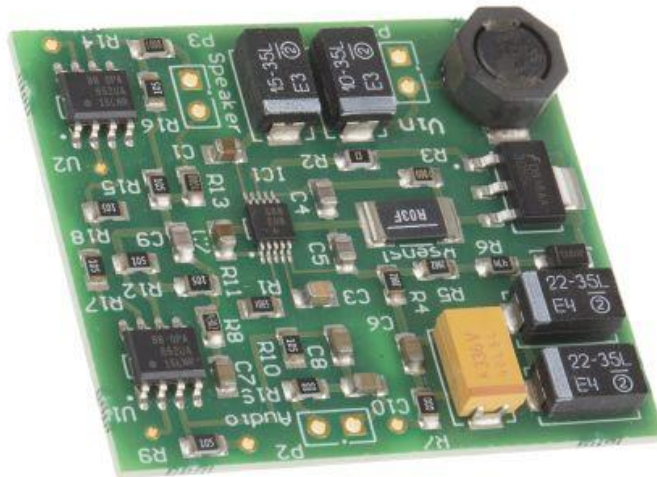
Ruční návrh desek plošných spojů je značně náročný a dochází při něm k častým chybám a nepřesnostem způsobených lidským faktorem. K návrhu plošných spojů se využívají programy, které vývojářům značně usnadňují vývoj a následnou tvorbu obvodů. Proces probíhá tak, že vývojář vytvoří schéma zapojení a program následně vygeneruje seznam spojů. Pomocí těchto spojů se následně vytváří předloha pro výrobu desky plošného spoje. Jedním z těchto vývojových programů je EAGLE. EAGLE byl vyvinut společností CadSoft Computer GmbH. V dnešní době známý pod názvem Autodesk Inc. V případě kusové výroby následuje vykreslení filmových matric. Proces vykreslení matric probíhá pomocí laseru, který vykresluje požadované motivy na fotocitlivou folii. Při sériové výrobě, se využívají kopie, které se vytvářejí osvitěním z matric na fotocitlivý materiál. Dalším důležitým krokem výroby desky plošných spojů, je formátování základního materiálu. Při formátování se deska nastříhne na požadované rozměry a následuje vrtání otvorů pro uchycení desky. Otvory jsou nejčastěji vrtány na souřadnicové vrtačce, ale v malovýrobních podmínkách je možné otvory vyvrtat i běžnou vrtačkou. Je důležité otvory očistit od ořepů způsobených vrtáním, aby nedocházelo k chybám při dalších krocích. Takováto deska je připravena na prokovení otvorů. Prokovení probíhá pomocí metody galvanického prokovení. Následuje laminace fotorezistu. Na očištěný a předeřtý panel se laminuje fotocitlivý polymer, který je osvícen pomocí výbojky. Negativní motiv získáme vyvoláním rezistu v 1 % sodě. Dalším krokem výrobního procesu je nanesení leptuvzdorného rezistu, pomocí kterého se galvanicky zesílí vodivý obrazec plošného spoje. Jako leptuvzdorný rezist se využívá 12 μ m silná vrstva cínu, která se nanáší galvanicky. Deska je tak připravena k leptání a následnému odstranění rezistu [1] [5].

Je dobré desku testovat. Testy probíhají opticky pomocí scanu. Desky plošných spojů se také testují elektricky, kde tester měří odpor mezi zadanými místy na desce. Desku je potřeba ochránit před zkratem a vnějšími zásahy. K tomu slouží nepájkivá maska, která se tepelně vytvrzuje. V posledním kroku výrobního procesu, se deska ponoří do tavidla a následně na čtyři sekundy do vany s roztavenou pájkou. Při vynoření se ofouknou přebytky pájky horkým vzduchem. Tímto procesem je vytvořena kompletní deska plošného spoje. V následující fázi je nutné desku osadit SMD součástkami [1] [5].

1.1.3 Možnosti osazení

V případě malé či kusové výroby, kde se využívají klasické THD součástky s vývody ve formě drátů či kolíčků, jsou vývody součástek ručně prostrčeny vyvrtanými otvory v desce. Díry v desce mohou být prokovené i neprokovené. Na opačné straně jsou pomocí pájky připájeny k měděným spojům. Tyto desky jsou však značně velké a v sériové výrobě nevyužitelné.

Při sériové výrobě se využívá technologie povrchové montáže. Součástky jsou připájeny přímo na povrch desky plošného spoje. Využívají se především bezvývodové součástky, případně součástky, které se pájí na povrch desky. Se zvyšující se technologickou vyspělostí je na deskách plošných spojů mnoho součástek, kterých jsou desítky až stovky. Byly vyvinuty vícevrstvé desky, které jsou vytvořeny slepením několika tenkých oboustranných desek plošných spojů [6].



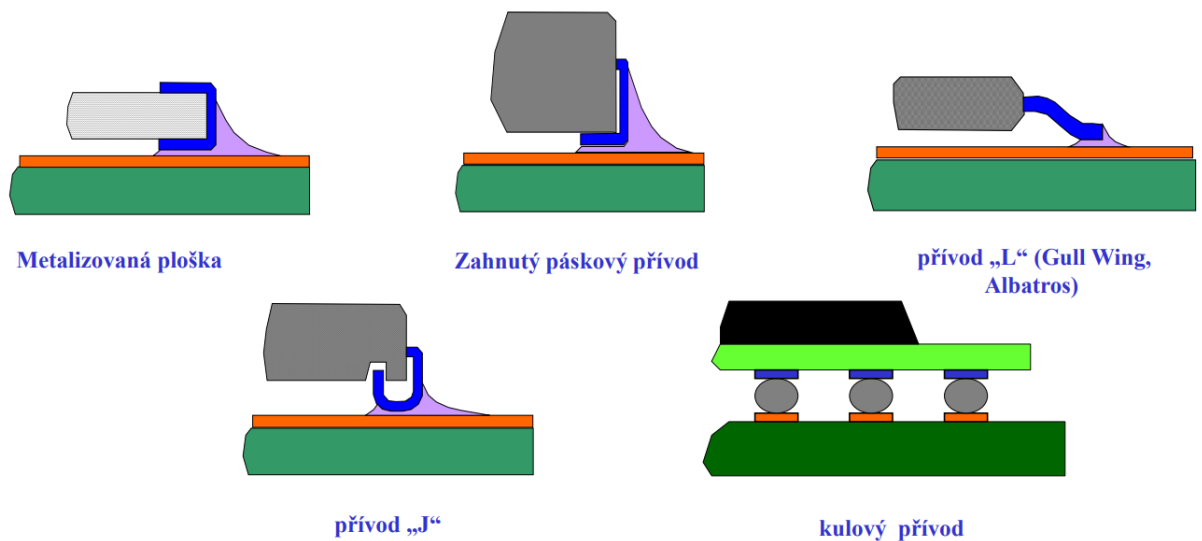
Obrázek 1 - Deska plošného spoje [7]

1.1.4 Povrchová montáž

Při povrchové montáži se předpokládá, že součástky nemají vývody ve formě drátů a jsou přímo pájeny na povrch desky plošného spoje. V dnešní době existuje celá řada součástek:

- Pasivní součástky – rezistor, kondenzátor, cívka
- Aktivační součástky – tranzistor, diody, integrované obvody

Povrchová montáž je tak stále využívanější z důvodu příznivého zmenšení rozměru a hmotnosti desky plošného spoje, zmenšení počtu prokovených děr plošek, vyšší spolehlivosti a nižší ceně desky [1] [2].



Obrázek 2 - Charakteristika pájení SMD součástek [6]

Minimalizace desky je velkou výhodou technologie povrchové montáže, ale existuje ještě velká řada výhod, díky kterým je výroba levnější a výhodnější:

- Přenos signálu je na kratší ploše, čehož se využívá při vysokofrekvenční technice
- Možnost osazovat desku z obou stran
- Není potřeba vrtat díry pro součástky s vývody, čímž se zrychlí proces výroby
- Osazování bezvývodových součástek na desku je daleko rychlejší a jednodušší

Mezi největší nevýhody povrchové montáže patří:

- Špatný odvod tepla způsobený vysokou integritou aktivních prvků na desce
- Obtížná ruční montáž součástek na desku

Při pájení sérií desek plošných spojů se řadu let používala technologie pájení vlnou. Před samotnou povrchovou montáží je potřeba THD součástky zastrkat do vyvrtaných děr desky. SMD součástky musí být na vrchní straně přilepeny. Deska plošného spoje je tak připravena k technologii pájení vlnou. Tato technologie spočívá v tom, že deska plošného spoje projíždí nad vlnou roztavené pájky, která následně připájí kontakty k desce. Největší nevýhodou zmíněné metody je, že součástky musí být shodně orientované. Některé integrované obvody tímto způsobem nelze zapájet. Velkým zlomem v montážních technologiích byl nástup technologie přetavení. V prvním kroku se na konkrétní plošky desky plošného spoje nanese pájka v podobě pájecí pasty. Na tato místa je pak možné osazovat součástky, které jsou následně zahřívány na požadovanou teplotu, která zajistí přitavení pájky k součástce. Je-li potřeba využití klasických i SMD součástek, je nutné kombinovat obě zmíněné pájecí technologie [1] [2].

1.2 Možné způsoby realizace

Následující kapitola popisuje možnosti realizace osazovacího manipulátoru, jeho základní komponenty, představu funkce jednotlivých bloků a požadavky na jednotlivé bloky osazovacího manipulátoru.

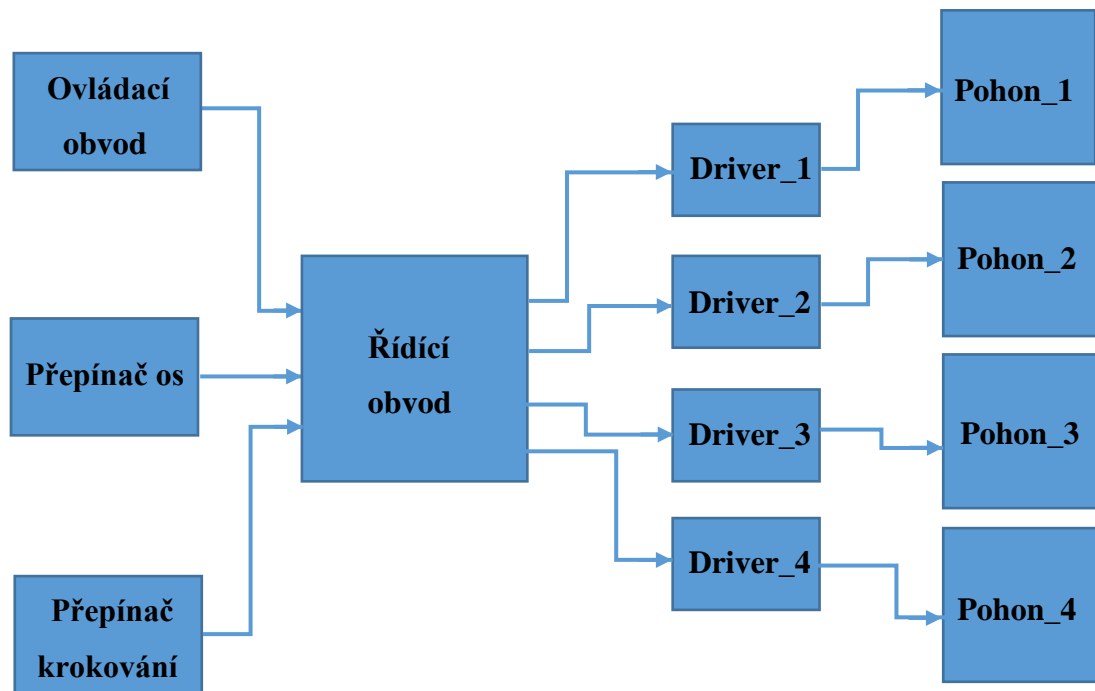
1.2.1 Základní funkce osazovacího manipulátoru

Osazovací manipulátor je zařízení, které slouží k osazování součástek na desku plošného spoje. Pro správnou funkci manipulátoru je potřeba zajistit:

- Pohyb jednotlivých os manipulátoru
- Možnost uchopení nebo nasátí součástky a následné osazení na desku plošného spoje
- Možnost ovládání manipulátoru

Pohyb posuvných mechanismů, neboli os manipulátoru, je zajištěn pomocí pohonů, které jsou zapotřebí minimálně čtyři, a to tři pohony pro pohyb os a jeden pro natáčení osazovacího mechanismu. Pohyb os manipulátoru by měl být dynamický, aby bylo možné součástky osazovat i na větší vzdálenosti s vyšší rychlostí. Osazování by mělo probíhat s velmi vysokou přesností, aby nedocházelo ke špatnému osazení. Řízení os osazovacího manipulátoru by mělo být zajištěno ručně, nikoliv softwarově. Pohyb a řízení os může být zajištěno pomocí inkrementálního snímače polohy, pomocí kterého je možné regulovat vždy jen jeden pohon. Proto je zapotřebí využití čtyř inkrementálních snímačů polohy – pro každý pohon jeden – nebo využít možnost

přepínání os. K přepínání os osazovacího manipulátoru je možné využít přepínač, pomocí kterého lze jednoduše přepínat jednotlivé osy manipulátoru. Stejný přepínač lze využít i k volbě velikosti mikrokrokování, při potřebě osadit součástku s velkou přesností nebo naopak zrychlit pohon a osadit součástku na vzdálenou část desky plošného spoje rychleji.



Obrázek 3 - Možné schéma zapojení

1.3 Základní komponenty osazovacího manipulátoru

Následující kapitoly popisují jednotlivé součásti jednoduchého osazovacího manipulátoru jako jsou pohony posuvných mechanismů, vakuová pinzeta, řídicí elektronika a mechanická část manipulátoru.

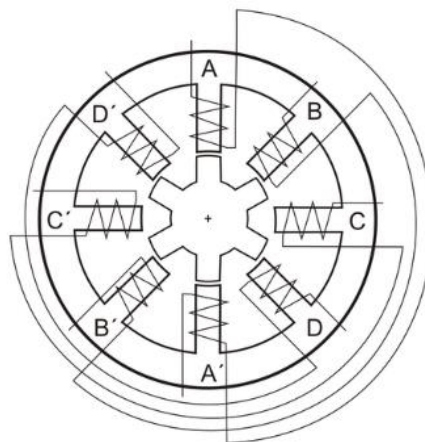
1.3.1 Pohony posuvných mechanismů

K pohonům posuvných mechanismů se nejčastěji využívají motory či servomotory. Motorů, které by splňovaly požadavky k pohonu posuvných mechanismů u osazovacího manipulátoru, je velká spousta například asynchronní, synchronní, stejnosměrné nebo krokové motory. Elektromotor je stroj, který přeměňuje elektrickou energii na energii mechanickou. K tomu většina z nich využívá účinků magnetického pole [8].

Stejnoseměrné motory s permanentním magnetem jsou jedny z nejpoužívanějších typů motorů v oblasti robotiky. Stejnoseměrné motory většinou pracují na vyšších otáčkách a nízkém momentu, což je u pohonů robotů nevýhodné. Velkou výhodou stejnosměrných motorů je dobrá cena, poměr výkonu a hmotnosti a jeho široká nabídka na trhu. Nejvhodnějším typem motoru pro posuv mechanismů u osazovacího manipulátoru je především krokový motor [8] [9].

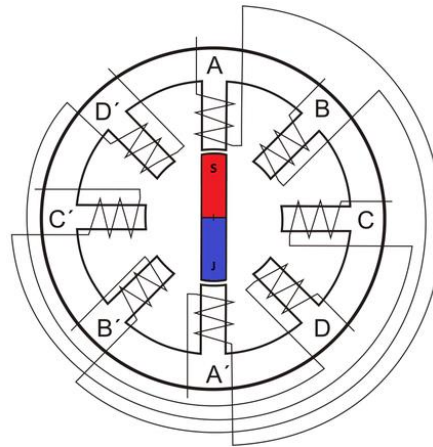
Krokové motory jsou jedním z nejvyužívanějších typů motorů v oblasti pohonů v elektrotechnice. Jejich základním principem je, že proud, který prochází cívkou statoru, vytváří magnetické pole. Toto pole přitahuje opačný pól rotoru magnetu. Pomocí vhodného zapojení cívek je vytvořeno rotující magnetické pole, které otáčí rotorem. Podle rychlosti přepínání cívek se mění otáčky rotoru. V současné době existuje mnoho typů krokových motorů, jako jsou krokové motory s aktivním rotorem, motory s pasivním rotorem a hybridní krokové motory [8] [9] [10].

Krokové motory s pasivním rotorem jsou taktéž označovány jako reakční či reluktanční motory. Jedná se o jeden z nejstarších typů krokových motorů. U této konstrukce motoru je stator tvořen svazkem ocelových plechů s osmi vyniklými pólovými nástavci nesoucími vinutí jednotlivých fází A, B, C, D. Rotor je tvořen podobně jako stator, tedy pomocí svazků plechů. Další možnou konstrukcí rotoru je, že je tvořen jedním kusem oceli. Mezi nástavci rotoru a statoru je velmi malá mezera v rozmezí 0,02 až 0,2 mm [8] [9].



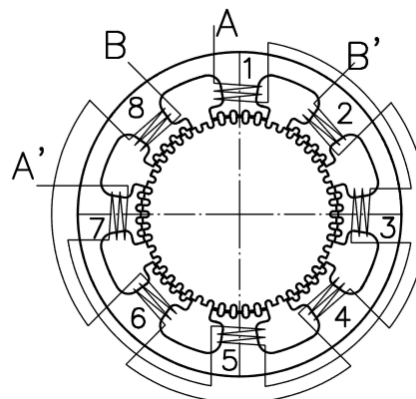
Obrázek 4 - Krokový motor s pasivním rotorem [11]

Krokové motory s aktivním rotorem jsou motory, které mají rotor tvořen permanentním magnetem. Vinutí statoru je vinuté stejně jako u pasivního motoru. Počet pólů musí být dvojnásobný oproti rotorovým pólům. Jejich výhodou oproti motorům s pasivním rotorem je, že mají větší kroutící moment [8] [9].



Obrázek 5 - Krokový motor s aktivním rotorem [12]

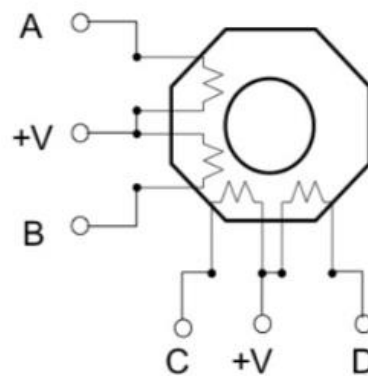
Hybridní krokové motory jsou v dnešní době bezpochyby ty nejpoužívanější. Rotor motoru je tvořen nemagnetickou hřídelí, na kterou jsou nalisovány dva pólové nástavce složené z plechů viz obrázek 6. Mezi nástavci je permanentní magnet. Tento magnet je axiálně polarizován, což způsobuje, že má každý nástavec jinou polaritu. Pólové nástavce jsou rozděleny na 50 zubů, které mají stejnou šířku, jako ty rotorové. Počet zubů určuje úhel kroku, kde 50 zubů je jeden krok o velikosti 1,8 stupňů. Pro správnou činnost krokového motoru je velmi důležité, aby byly rotorové pólové nástavce proti sobě pootočený o polovinu drážkové rozteče. Platí tedy, že v místě jednoho nástavce musí být i zub. Stator je tvořen osmi hlavními pólovými nástavci, které jsou dále rozděleny na pět zubů.



Obrázek 6 - Hybridní krokový motor [8]

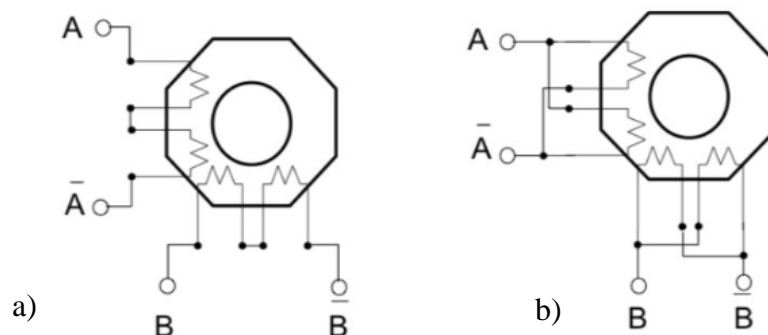
Vinutí krokových motorů lze v praxi zapojit dvěma způsoby. Zapojení může být unipolární a bipolární.

Při **unipolárním zapojení** krokového motoru je využito šest vodičů, z čehož jsou tři vodiče na každou fázi viz obrázek 7. Uprostřed jsou cívky spojeny a vytaženy do společného zemnicího vodiče. Existují také motory, které mají pět vodičů. Toto zapojení je konstruováno tak, že jsou zemnicí vodiče spojeny v jeden vývod. Unipolární provedení motoru s driverem je nejlevnější a konstrukčně nejjednodušší. Jejich nevýhodou je, že mají snížený provozní moment způsobený tím, že proud protéká pouze jedním směrem [8] [9] [13].



Obrázek 7 - Unipolární zapojení [14]

Při **bipolárním zapojení** krokového motoru jsou využity pouze 4 vodiče, z čehož náleží dva vodiče na každou fázi viz obrázek 8. Toto zapojení umožňuje napájení motoru oběma polaritami napětí, tím pádem zvyšuje efektivitu využití pohonného řetězce. Cívky jsou zde spojeny dvěma způsoby, a to a) sériově nebo b) paralelně.



Obrázek 8 - Bipolární zapojení a) sériové, b) paralelní [14]

Při sériovém zapojení viz obrázek 8 a) vzrůstá odpor a indukčnost motoru. Je tedy využíván především pro aplikace s nižšími rychlostmi. Motor je velmi výkonný v nízkých otáčkách a při narůstající rychlosti, kde vlivem vzrůstající indukčnosti sériového zapojení padají otáčky strmě dolů. Oproti tomu paralelní zapojení je výhodné pro aplikace s vysokými rychlostmi. Je zde však dvojnásobný proud oproti sériovému zapojení a odpor s indukčností je zhruba čtvrtinový [8] [9] [13].

V praxi existuje mnoho způsobů, jak řídit buzení cívek krokových motorů. Následující metody jsou popsány na zjednodušeném modelu motoru, kde jsou pouze čtyři cívky, tedy čtyři kroky na otáčku.

Unipolární jednofázové řízení s plným krokem je jedno z nejjednodušších zapojení, protože je hardwarově velmi jednoduché. Cívky jsou přepínány pouze ve čtyřech krocích viz tabulka 2, kde hodnota 0 znamená, že je cívka bez proudu. V případě hodnoty 1 je cívka pod proudem a magnetické pole cívky přitahuje rotor. Postupně se magnetuje vždy jen jedna cívka a stator je tak pootočen o definovanou vzdálenost [9] [10].

Tabulka 2 - Unipolární jednofázové řízení s plným krokem [10]

Krok	1.	2.	3.	4.
Cívka_1	1	0	0	0
Cívka_2	0	1	0	0
Cívka_3	0	0	1	0
Cívka_4	0	0	0	1

Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem probíhá opět ve čtyřech krocích viz tabulka 3. Velký rozdíl oproti minulému zapojení je v tom, že jsou v každém okamžiku stejnou polaritou magnetovány dvě sousední cívky. V následujícím kroku se opět přepnou o jeden pol. Výhodou tohoto zapojení je, že je zvýšen statický moment [9] [10].

Tabulka 3 - Unipolární dvoufázové řízení s plným krokem [10]

Krok	1.	2.	3.	4.
Cívka_1	1	1	0	0
Cívka_2	0	1	1	0
Cívka_3	0	0	1	1
Cívka_4	1	0	0	1

Unipolární řízení s polovičním krokem je řešení, které vznikne v případě spojení předchozích dvou řešení. V lichých krocích je řízení jednofázové a v sudých dvoufázové. Díky tomuto řízení viz tabulka 4. má motor o dvojnásobek zvýšený počet kroků na otáčku [9] [10].

Tabulka 4 - Unipolární řízení s polovičním krokem [10]

Krok	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Cívka_1	1	1	0	0	0	0	0	1
Cívka_2	0	1	1	1	0	0	0	0
Cívka_3	0	0	0	1	1	1	0	0
Cívka_4	0	0	0	0	0	1	1	1

Bipolární jednofázové řízení s plným krokem je způsob řízení, při kterém jsou buzeny dvě protilehlé cívky opačným magnetickým polem. Díky tomuto řízení je magnetické pole na statoru silnější a zvětšuje odebíraný proud i statický moment. Řídící sekvence je v tabulce 5, kde opačný směr magnetického pole je označen jako: Cívka_1-, Cívka_2-, Cívka_3-, Cívka_4- [9] [10].

Tabulka 5 - Bipolární jednofázové řízení s plným krokem [10]

Krok	1.	2.	3.	4.
Cívka_1+	1	0	0	0
Cívka_2+	0	1	0	0
Cívka_3+	0	0	1	0
Cívka_4+	0	0	0	1
Cívka_1-	0	0	1	0
Cívka_2-	0	0	0	1
Cívka_3-	1	0	0	0
Cívka_4-	0	1	0	0

Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem je řízení motoru, při kterém je dosaženo nejvyššího statického momentu. Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem ke své činnosti využívá všechny čtyři cívky krokového motoru v každém ze čtyř kroků viz řídicí sekvence v tabulce 6 [9] [10].

Tabulka 6 - Bipolární dvoufázové řízení s plným krokem [10]

Krok	1.	2.	3.	4.
Cívka_1+	1	1	0	0
Cívka_2+	0	1	1	0
Cívka_3+	0	0	1	1
Cívka_4+	1	0	0	1
Cívka_1-	0	0	1	1
Cívka_2-	1	0	0	1
Cívka_3-	1	1	0	0
Cívka_4-	0	1	1	0

Bipolární řízení s polovičním krokem je způsob řízení, při kterém podobně jako u unipolárního řízení dochází k tomu, že se střídá jednofázový a dvoufázový režim. Tímto způsobem je docílena vyšší přesnost natočení o dvojnásobek. Řídicí sekvence jsou znázorněny v tabulce 7 [9] [10].

Tabulka 7 - Bipolární řízení s polovičním krokem [10]

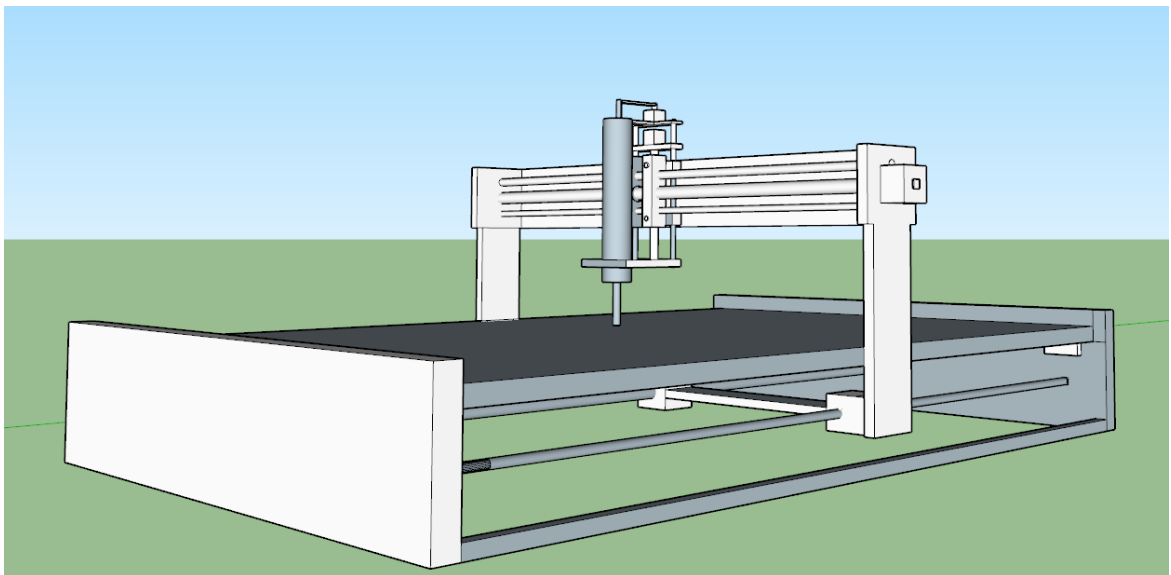
Krok	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Cívka_1+	1	1	0	0	0	0	0	1
Cívka_2+	0	1	1	1	0	0	0	0
Cívka_3+	0	0	0	1	1	1	0	0
Cívka_4+	0	0	0	0	0	1	1	1
Cívka_1-	0	0	0	1	1	1	0	0
Cívka_2-	0	0	0	0	0	1	1	1
Cívka_3-	1	1	0	0	0	0	0	1
Cívka_4-	0	1	1	1	0	0	0	0

1.3.2 Mechanické komponenty

Jednou z nejdůležitějších částí osazovacího manipulátoru je mechanická konstrukce. Při její tvorbě je velmi důležité vybrat vhodné konstrukční prvky tak, aby bylo vše funkční. Mezi nejdůležitější části mechanické konstrukce patří:

- Lineární vedení
- Lineární posuvné mechanismy
- Rám manipulátoru

Podoba **Rámu osazovacího manipulátoru** lze řešit mnoha konstrukčními způsoby, kde ne všechny varianty jsou vhodné pro funkci osazovacího manipulátoru. Manipulátor by měl být lehký. Z toho důvodu je ideální využití hliníkových profilů, které jsou velmi lehké a na trhu dostupné. Osazovací manipulátor by neměl dosahovat velkých rozměrů, je tedy důležité zvolit jednotlivé součásti a hliníkové profily tak aby splňovaly podmínky. Jednotlivé díly by neměly být ze dřeva, dřevotřísky a ani jiných hořlavých materiálů. Pohony posuvných mechanismů se mohou zahřát, díky čemuž by mohlo dojít k vznícení konstrukce. Jeden z možných návrhů osazovacího manipulátoru je uveden na obrázku 9.



Obrázek 9 - Možný rám konstrukce

Lineární vedení je přesný a jednoduchý vodící systém, který slouží k zajištění pohybu v ose stroje. Lineární vedení lze využít v mnoha odvětvích, jako například v potravinářství, elektroprůmyslu i důlním průmyslu. Z toho důvodu je na trhu mnoho druhů lineárního vedení jako jsou rolničková vedení, vedení s oběhovými kuličkami, vodící tyče s kuličkovými pouzdry a pohybové šrouby [15].

Vodící tyče s kuličkovými pouzdry jsou součástky, které se ideálně hodí k osazovacímu manipulátoru. Tyče jsou kalené a je možné je využít jako lineární vedení pro kuličková pouzdra [15].



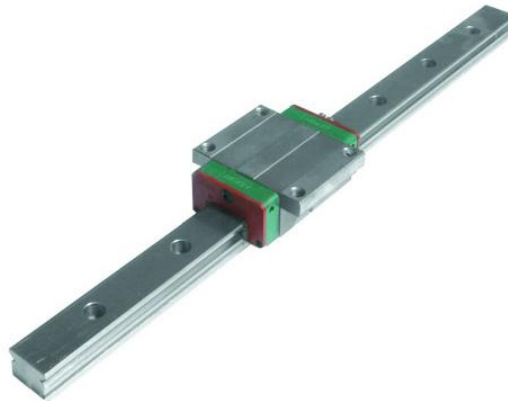
Obrázek 10 - Vodící tyč a kuličkové pouzdro [16]

Rolníčková vedení bývají tvořeny z kalené broušené oceli. Vedení se skládá z vodící kolejnice, rolny a nosné desky [15].



Obrázek 11 - Rolníčkové vedení [17]

Vedení s oběhovými kuličkami je velmi výhodné pro své výborné vlastnosti. Má vysokou dynamickou únosnost – C_{dyn} 11380–208360 N a velmi nízký koeficient valivého odporu. Jedná se o jednu z nejlepších variant lineárního vedení. Cena vedení je však vysoká [15].



Obrázek 12 - Vedení s oběhovými kuličkami [18]

Lineární posuvné mechanismy převádějí rotační pohyb krokového motoru na lineární přímočarý pohyb osy. Na trhu je opět velká spousta realizací, jako jsou trapézové šrouby, kuličkové šrouby a ozubené řemeny [15].

Trapézové šrouby se vyrábí v různých velikostech od 10x3 – 40x7 mm a délce 100 - Šrouby jsou vyráběny válcováním z oceli [15].



Obrázek 13 - Trapézový šroub [19]

Kuličkové šrouby jsou lepší variantou trapézového šroubu. Kuličky umístěné v matici zajišťují lepší kroutící moment a nehrozí zaseknutí. Jejich výhodou je vysoká tuhost a odolnost [15].



Obrázek 14 - Kuličkové šrouby [20]

Ozubené řemeny jsou vhodné pro řadu zařízení, jako jsou 3D tiskárny, frézky i pro osazovací manipulátor. Většina současných řemenů má kovové vyztužení, pomocí kterého je sníženo riziko opotřebení a protažení. Řemeny se dají využít v případech, kdy je potřeba umístit motory mimo osu. Můžeme tak ovládat dva kulové šrouby osy jedním krokovým motorem [21].



Obrázek 15 - Ozubený řemen [22]

1.3.3 Osazovací mechanismy

Součástky určené k povrchové montáži je potřeba v sériové výrobě nějakým způsobem osadit. Vzhledem k jejich drobným rozměrům je manipulace s nimi velmi náročná. Z toho důvodu existují zařízení pro to určená, která mají za úkol pomocí vakua nasát součástku a po celou dobu manipulace ji držet a v okamžiku umístění součástky na požadované místo je vakuum vypnuto. Pro osazování součástek v sériové výrobě se využívá vlastností osazovací hlavy. Cílem osazovací hlavy, je odebírání součástek z podavače pomocí pneumatického systému a osazování součástek na desku plošného spoje. Osazování probíhá velmi rychle s maximální přesností. Nasávání, držení a následné umístění součástky na desku je zajištěno podtlakem pomocí pneumatického systému. V praxi existuje mnoho typů osazovacích hlav. Mezi nejpoužívanější typy hlav patří pohyblivá hlava a kruhová hlava [23].

Pohyblivá hlava má pouze jednu sací trysku pro osazování. Tryska v jednom kroku nasaje součástku, osadí ji na předurčené místo a v dalších krocích proces opakuje. **Kruhová hlava** má několik sacích zařízení, někdy se jí říká hlava revolverová. Při jednom kroku nasaje několik součástek na sací zařízení a osadí je na desku plošného spoje. Proces se následně opakuje.

Při domácím osazování je možné využít vakuovou pinzetu. Vakuová pinzeta je nástroj, který slouží k lepší manipulaci s drobnými předměty. V osazovací technice se pinzeta využívá k nasávání a následnému osazení součástek na desku plošného spoje. Nasávání je díky nasávací hlavici bezpečné a jednoduché. Pinzeta se skládá ze sací rukojetě a přísavky, která je tepelně odolná pro možné manipulování s horkými součástkami. Další částí pinzety je vzduchová hadice. Vakuová pinzeta umožňuje manipulovat se součástkami typu SMD, CMOS a TTL. Pinzeta si lehce poradí s hladkým i neporézním povrchem s hmotností do 211 gramů. Hmotnost se může lišit podle konstrukce pinzet jednotlivých výrobců [23].



Obrázek 16 - Vakuová pinzeta [35]

1.3.4 Řídící elektronika

Hlavními úkoly řídicí elektroniky osazovacího manipulátoru je zajistit funkce:

- Řízení a ovládání krokových motorů
- Možnost přepínání mezi krokovými motory nebo je řídit odlišně
- Volbu velikosti kroku
- Spínání vakuové pinzety

Nejdůležitější součástí řídicí elektroniky osazovacího manipulátoru je mikroprocesor.




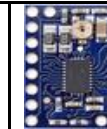
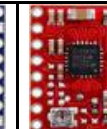


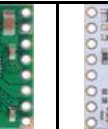
Mikroprocesorů, které by se daly využít jako řídicí část celého manipulátoru, je spousta. Na trhu existuje velká řada jednočipových mikropočítačů, které jsou vhodné pro tuto aplikaci. Jednočipové mikropočítače obsahují na jednom čipu:

- Řadič a ALU
- Paměť programu může být EPROM nebo Flash někdy i ROM
- Paměť datového typu R/W
- Podpůrné obvody pro řízení periferii:
 - Čítače/časovače, A/D a D/A převodníky, komunikační rozhraní, V/V porty

Jednočipové počítače jsou spolehlivé a jednoduché a jejich největší využití je u jednoúčelových aplikací [24].

Driver krokového motoru je zařízení, které slouží ke kontrole a řízení krokového motoru. V současné době je na trhu velká řada driverů viz tabulka 8. Většina z těchto driverů je pinově kompatibilní, jejich napájení, krokování a cena se u některých typů odlišuje. Drivery jsou navrženy k nepřetržitému otáčení s přesným řízením polohy motoru. Tyto drivery umožňují nastavitelné řízení proudu, krokové rozlišení a obsahují překladače, pomocí kterých lze ovládat krokové motory s využitím jednoduchých směrovacích a krokových vstupů [25]. Princip funkce driveru je popsán v kapitole 2.1.1.

Tabulka 8 - Drivery krokových motorů [25]

								
Driver chip:	A4988	DRV8825	DRV8834	DRV8880	MP6500	TB67S249	STSPIN820	STSPIN220
Min U:	8 V	8.2 V	2.5 V	6.5 V	4.5 V	10 V	7 V	1.8 V
Max U:	35 V	45 V	10.8 V	45 V	35 V	47 V	45 V	10 V
Max I:	1 A	1.5 A	1.5 A	1 A	1.5 A	1.6 A	0.9 A	1.1 A
Špičkový I:	2 A	2.2 A	2 A	126 A	2.5 A	4.5 A	1.5 A	1.3 A
Krokování:	1/16	1/32	1/32	1/16	1/8	1/32	1/256	1/256
Počet vrstev:	2	4	4	4	4	4	4	4
Cena za kus:	135 Kč	203 Kč	135 Kč	158 Kč	135 Kč	226 Kč	177 Kč	135 Kč

Ovládání krokových motorů, pomocí kterých se následně pohybují jednotlivé osy manipulatoru. Pohyb pohonů posuvných mechanismů je možné zajistit pomocí inkrementálního snímače polohy.

Inkrementální snímače polohy neboli enkodéry jsou součástky, které slouží jako náhrada otáčivých potenciometrů, které se využívají k nastavování hlasitosti u autorádií nebo pro nastavování parametrů u osciloskopů. Enkodéry je také možné využít k převádění mechanického rotačního pohybu hřídele na elektrický signál. Inkrementální snímače je možné dělit na:

- Mechanické enkodéry
- Optické enkodéry

Mechanické enkodéry jsou levnější, ale jejich spolehlivost a přesnost není tak vysoká jako u optických enkodérů. Enkodéry je možné využít k přesnému řízení pohybu motoru, k přesnému úhlu natočení či rychlosti natočení. Mezi jejich největší výhody patří jejich nízká hmotnost a malý rozměr pouzdra, které je velmi odolné [26] [27]. Princip funkce inkrementálního snímače polohy je uveden v kapitole 2.1.1.

Přepínače jsou zařízení, která je možné ovládat mechanickou pákou, otočným mechanismem nebo houpacím mechanismem. Jsou to zařízení, která mají dva nebo více elektronických kontaktů, které jsou připojeny k vnějším obvodům. Každý kontakt může být v jednom ze dvou stavů. Buď stav sepnutý, při kterém jsou kontakty spojeny a je možné vézt elektrický proud, anebo stav rozepnutý, při kterém jsou kontakty oddělené a spínačem neprotéká elektrický proud. Tato zařízení jsou vytvářena v mnoha velikostech a stylech, je možné je využít v mnoha

aplikacích jako je například spínač světla. Přepínače je možné využít k přepínání pohonů pro posuv jednotlivých os a pro volbu velikosti krokování [28].



Obrázek 17 - Varianty přepínačů [29]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části je detailní popis návrhu a realizace jednotlivých bloků osazovacího manipulátoru, volba jednotlivých součástek, výsledná podoba mechanické konstrukce a porovnání vytvořeného zařízení s komerčními osazujícími stroji.

2.1 Návrh a realizace osazovacího manipulátoru

Následující kapitoly popisují volbu vhodných komponentů a realizaci jednotlivých bloků osazovacího manipulátoru.

2.1.1 Volba vhodných komponentů

Před samotným návrhem řídicí elektroniky je potřeba zvolit vhodné komponenty pro osazovací manipulátor jako jsou krokové motory, obvody určené pro řízení krokových motorů, součástky určené pro ovládání manipulátoru, mikroprocesor a v poslední řadě i nasávací mechanismus.

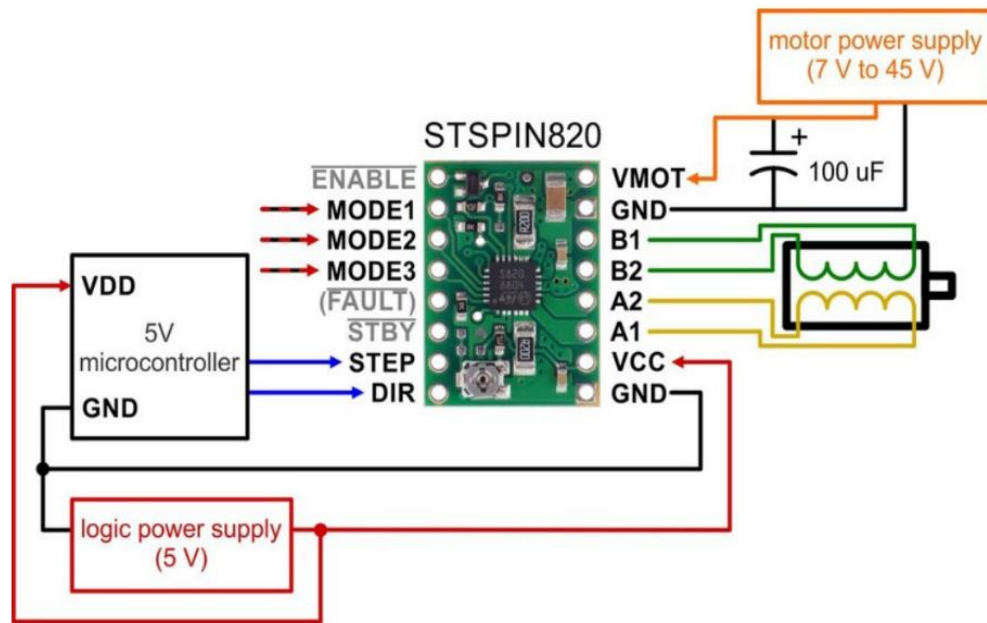
Volba krokových motorů

Jako pohon posuvných mechanismů byl vybrán krokový motor s označením D42hsc1413b-24. Pro osazovací manipulátor je potřeba zakoupení čtyř krokových motorů tohoto typu. Jedná se o unipolární krokové motory s šesti vývody. Vzhledem k četným zkušenostem s Pololu driversy, které jsou uzpůsobené výhradně pro řízení bipolárních krokových motorů, je potřeba tento unipolární krokový motor zapojit bipolárně. Toto zapojení je zajištěno tím, že se fázové vodiče nezapojí a využijí se pouze čtyři vodiče, které jsou propojeny s driverem. Krokový motor je řízen pomocí driveru, který díky čtyřem výstupům generuje impulsy v určité délce a pořadí. Pomocí těchto impulsů z driveru jsou následně buzeny cívky rotoru. Podle uzpůsobení a počtu impulsů se následně krokový motor pootáčí.

Volba driveru pro krokové motory

Jako obvod pro řízení krokových motorů byl vybrán driver STSPIN820 Stepper Motor Driver Carrier od firmy STMicroelectronics. Jedná se o modul určený pro řízení bipolárních krokových motorů. Mezi jeho přední vlastnosti patří velký rozsah mikrokrokování: Plný krok, poloviční krok, 1/4 krok, 1/8 krok, 1/32 krok, 1/128 krok a 1/256 krok.

Je jím možné řídit krokový motor pomocí pouhých dvou vývodů. Pin DIR je určený pro směr a pin STEP slouží k ovládání kroků. Možné napájecí napětí je v rozmezí od 7 V do 45 V. Bez chlazení lze dodávat 0,9 A proudu na fázi. Přidáním chladiče k modulu je možné zvýšení proudu na fázi až na 2 A. Driver obsahuje ochranu proti přehřátí či nežádoucímu zkratu. Driver patří mezi ty dražší, ale i přes to byl vybrán díky svým příznivým vlastnostem [30].



Obrázek 18 - Doporučené schéma zapojení od výrobce [31]

Popis jednotlivých pinů driveru:

- ENABLE pin slouží k vypínání nebo zapínání všech výstupů driveru. Při nastavení ENABLU pomocí mikroprocesoru na logickou hodnotu 1 způsobí vypnutí všech výstupů. Při nastavení logické úrovně na 0 je možné jednotlivé výstupy nastavovat podle potřeb aplikace.
- MODE1, MODE2, MODE3 piny umožňují výběr z osmy krokových režimů, pro správnou funkci je potřeba tyto piny držet v logice nízké nebo vysoké viz tabulka 9.

Tabulka 9 - Krokové režimy [30]

MODE1	MODE2	MODE3	Rozlišení
Low	Low	Low	Plný krok
High	Low	Low	Poloviční krok
Low	High	Low	1/4 krok
High	High	Low	1/8 krok
Low	Low	High	1/16 krok
High	Low	High	1/32 krok
Low	High	High	1/128 krok
High	High	High	1/256 krok

- FAULT pin slouží k detekci chybových stavů, které hlásí pomocí nízkých stavů na pinech ENABLE. Tento pin není k dispozici ve výchozím nastavení, aby nedocházelo k potížím.
- STBY pin slouží k nastavení nízké spotřeby, čehož se využívá, když je stroj nečinný. Je-li pin STBY připojen k vysokému stavu, přechází driver do režimu nízké spotřeby. V tomto stavu se většina pinů deaktivuje. Opětné připojení na hodnotu 0 způsobí normální funkci driveru.
- STEP pin slouží k posunu motoru. Každá vzestupná hrana impulsu na vstup STEP způsobí jeden mikrokrok krokového motoru. Velikost mikrokroku je volena pomocí stavů na pinech MODE1, MODE2, MODE3, kterých může být až osm.
- DIR pin slouží k volbě směru krokování, jak již bylo zmíněno výše, vzestupná hrana každého impulsu na vstup STEP způsobí jeden krok krokového motoru, směr kroku je volen pinem DIR.
- Piny určené k napájení driveru vyžadují logické napájení na GND a VCC, které by mělo být v rozmezí 3-5V. Napájecí napětí na piny VMOT A GND slouží pro napájení krokového motoru, které je v rozmezí 7V AŽ 45V. Zde je zapotřebí použít 100μf kondenzátor sloužící k ochraně driveru před napětovými špičkami.
- B1, B2, A1, A2 piny slouží k ovládání jednoho bipolárního krokového motoru. Piny B1 a B2 slouží k buzení jedné cívky krokového motoru, piny A1 a A2 k buzení druhé cívky krokového motoru [30].

Volba inkrementálního snímače polohy

Pro ovládání osazovacího manipulátoru byl zvolen rotační enkodér – PEC11R-4215 F-S0012. Výběr tohoto enkodéru proběhl na základě doporučení pro své dobré vlastnosti i výhodnou cenu. Enkodér je zařízení, které převádí rotační pohyb hřídele na sekvence digitálních impulsů. Princip enkodéru spočívá v tom, že enkodér generuje dva výstupní obdélníkové signály, které jsou vzájemně posunuty o 90 stupňů. Je možné využít jakýkoliv z těchto dvou výstupů pro určení otočené polohy a pomocí výpočtu impulsů se zjistí aktuální poloha. Určení směru otáček je komplikovanější a musí se zde sledovat oba výstupní signály současně. V případě, když se hřídel otočí směrem doprava, výstupní signál A bude před výstupním signálem B. Pokud se budou počítat kroky při změnách z vysokého stavu na nízký nebo z nízkého na vysoký, jsou oba výstupní signály opačné. V případě, kdy je hřídel pootočena v opačném směru doleva, mají výstupní signály stejné hodnoty. Je tedy velmi jednoduché snímat směr a polohu otáčení hřídele enkodéru [26] [32].

Volba přepínačů

K přepínání os manipulátoru i pro volbu velikosti krokování byl vybrán pěticestný jedno pólový otočný přepínač MA05L1NCQD. Tento přepínač funguje na podobném principu jako několik obyčejných spínačů s jedním společným vývodem. Ostatní vývody musí být podle potřeby připojeny přes pull-up rezistor k mikroprocesoru. Přepínač tedy zajistí vždy jen jeden stav, čehož se v bakalářské práci využívá k volbě krokování a přepínání krokových motorů. Výběr tohoto přepínače proběhl na základě předchozích zkušeností s tímto produktem.

Volba mikroprocesor

V první řadě bylo potřeba spočítat počet potřebných pinů pro periferie manipulátoru. Následoval výběr mikroprocesoru. Výběr proběhl mezi mikroprocesory od firmy Microchip Technology / Atmel. Jedná se převážně o 8bitové a 32bitové čipy typu RISC. Byl vybrán mikroprocesor s označením ATMEGA2560-16AU. Jedná se o 8 bitový mikroprocesor architektury AVR, který obsahuje 256 kb programovatelné Flash s funkcemi pro čtení a zápis. 4 kB EEPROM, 8 kB SRAM a 86 obecných I/O linek. Mikroprocesor má 32 univerzálních pracovních registrů, čítač v reálném čase a šest čítačů/časovačů. PWM, 4 USART, 16 kanálový 10 bitový A/D převodník a rozhraní JTAG pro ladění mikroprocesoru. Rozsah provozního napětí je 1,8 až 5,5 V. Tento mikroprocesor byl vybrán pro své již zmíněné výborné vlastnosti, pro četné zkušenosti

s programováním procesorů tohoto typu a v poslední řadě z důvodu, že se jedná o arduino kompatibilní mikroprocesor [33].

Volba nasávací pinzety

K nasátí a následnému držení součástky při manipulaci slouží vakuová pinzeta. Výběr pinzety proběhl na základě doporučení od vedoucího práce. Tato pinzeta splňuje všechny předpoklady pro správné nasátí a následnou manipulaci s SMD součástkami. Spínání a vypínání vakua bude řešeno pomocí tlačítka.

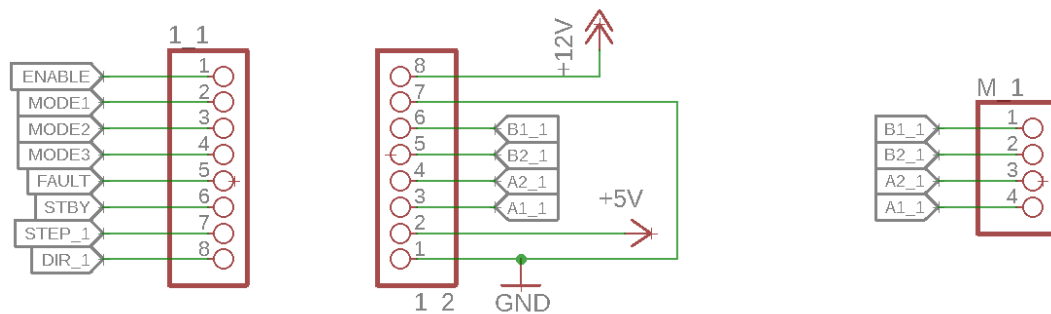
2.1.2 Návrh řídicí elektroniky

Při tvorbě řídicí elektroniky pro řízení osazovacího manipulátoru je potřeba navrhnout desku plošného spoje. Ta by měla být co nejmenší a jednotlivé součástky by měli být logicky rozmístěné po desce plošného spoje. Návrh desky plošného spoje byl vytvořen v programu EAGLE. EAGLE je program, který značně usnadňuje vývojářům vývoj a následné vytvoření desek plošných spojů. Nejprve je zapotřebí vytvořit schéma zapojení z kterého se následně vygenerují spoje pro návrh finální desky.

Schéma zapojení

Cílem desky plošného spoje je řízení čtyř krokových motorů. Aby řízení nemuselo probíhat pomocí velkého množství tranzistorů, dají se použít integrované obvody pro to určené, které mají i zpětnou vazbu na proud a dokáží precizně mikrokrokovat. Dá se tedy navrhnout deska, která obsahuje procesor a přímo tyto obvody, nebo deska s paticemi na tyto moduly. Při návrhu byla vybrána varianta s paticemi pro možnou výměnu driverů v případě poškození vlivem vnějších či softwarových zásahů nebo chyb. Existují i chytřejší drivery, které dokáží využít i SPI sběrnici. Ty jsou však drahé a zbytečně komplikované. Pro osazovací manipulátor stačí obyčejné drivery, které se vkládají do již zmíněných patic. Na obrázku 18 je možné vidět tři patice.

Patice 1_1 a 1_2 slouží pro umístění driveru STSPIN820 a patice M_1 slouží k připojení vývodů pro krokový motor.



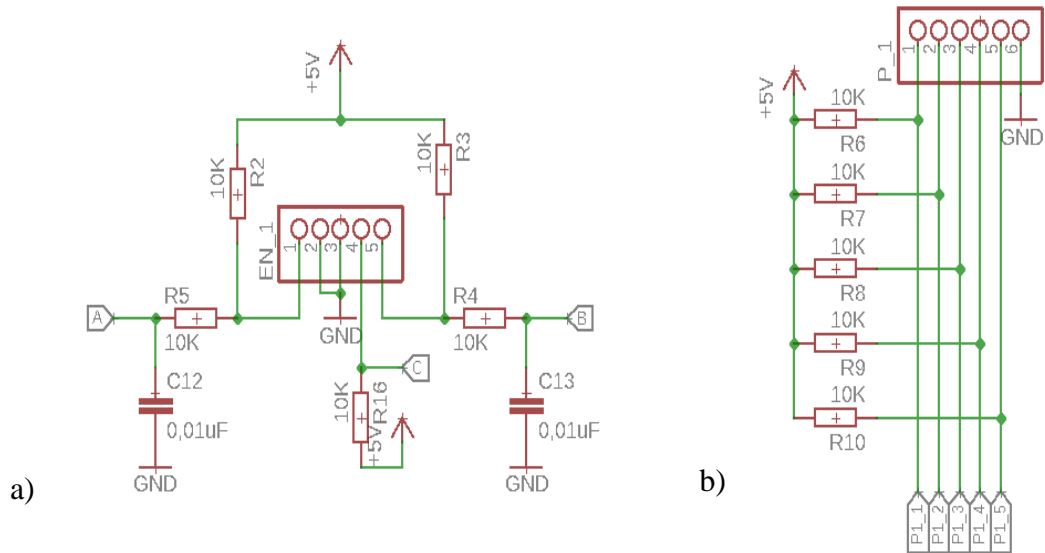
Obrázek 19 - patice pro driver krokového motoru

Ovládání manipulátoru je zajištěno pomocí enkodéru. Enkodérem je možné řídit vždy jen jeden krokový motor, zvažovalo se tedy využití čtyř enkodérů – pro každý motor jeden. Při testování před samotnou výrobou desky plošného spoje bylo zjištěno, že je tato varianta ovládání značně obtížná a nepraktická. Proto byla vybrána varianta, kde je pouze jeden enkodér, kterým se ovládá vždy jen jedna osa. Enkodér má taktéž zabudované tlačítko, které je možné využít k aktivaci ENABLE pinu na driveru. ENABLE pin způsobuje vypnutí všech výstupů driveru. Schéma zapojení enkodéru je na obrázku 20 a). Na obrázku jsou vidět vývody A, B, C. Vývody A a B jsou určené pro převod mechanického pohybu hřídele enkodéru na sekvence digitálních impulsů. Vývod C je pomocí pull-up rezistoru držen na logické hodnotě 1, stiskem tlačítka je docílen stav 0, mikroprocesor bude tedy reagovat na nízkou hodnotu.

Přepínání jednotlivých motorů, pomocí kterých jsou následně poháněny posuvné mechanismy je zajištěno pomocí přepínače. Jak je patrné na obrázku 20 b), přepínač má pět poloh, jedna poloha tedy nebude využita. V poslední řadě je potřeba zajistit možnost přepínání mikrokrokování. K tomuto účelu je využit stejný přepínač, pomocí kterého je možné řešit volbu velikosti kroku, kde jednotlivé stavy přepínače zajišťují:

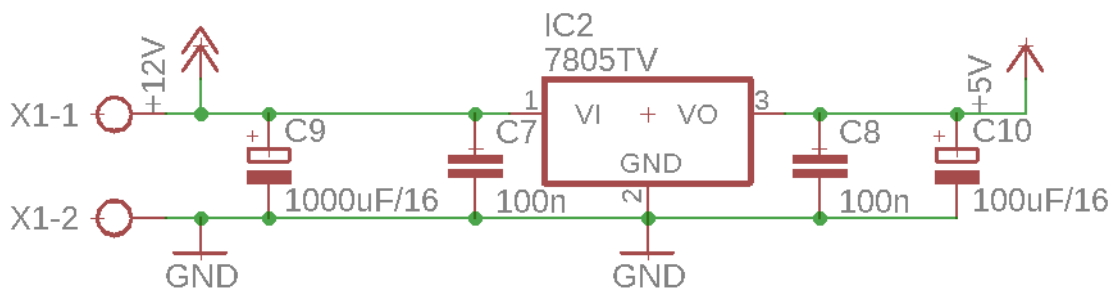
- Stav 1 = plný krok
- Stav 2 = poloviční krok
- Stav 3 = 1/8 krok
- Stav 4 = 1/32 krok
- Stav 5 = 1/256 krok

Přepínače jsou doplněny o pull-up rezistory o hodnotě 10kΩ. Úkolem pull-up rezistorů je držet na pinech P1_1, P1_2, P1_3, P1_4 a P2_1, P2_2, P2_3, P2_4 logickou hodnotu 1, aby nedocházelo k nedefinovaným stavům. Mikrokontrolér tedy reaguje na logickou hodnotu 0.



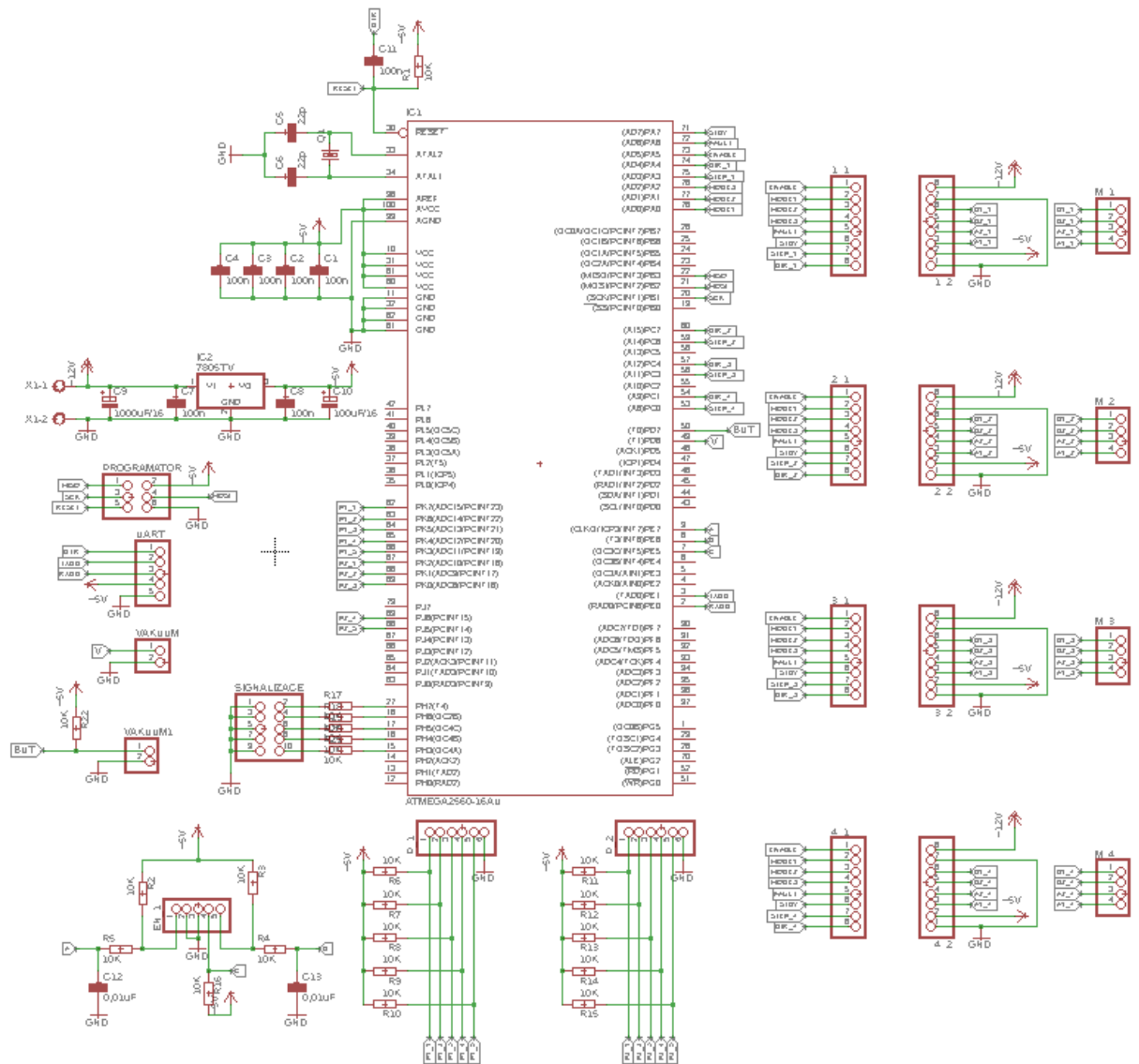
Obrázek 20 - a) patice pro enkodér, b) patice pro přepínač

Napájecí část se skládá z několika komponentů, jedním z nich je konektor pro připojení napájecího adaptéru. Další částí je stabilizátor 7805TV, který je doplněn kondenzátory. Úkolem kondenzátorů je vyhlazování vstupního a výstupního napětí stabilizátoru. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 21.



Obrázek 21 - Napájecí část

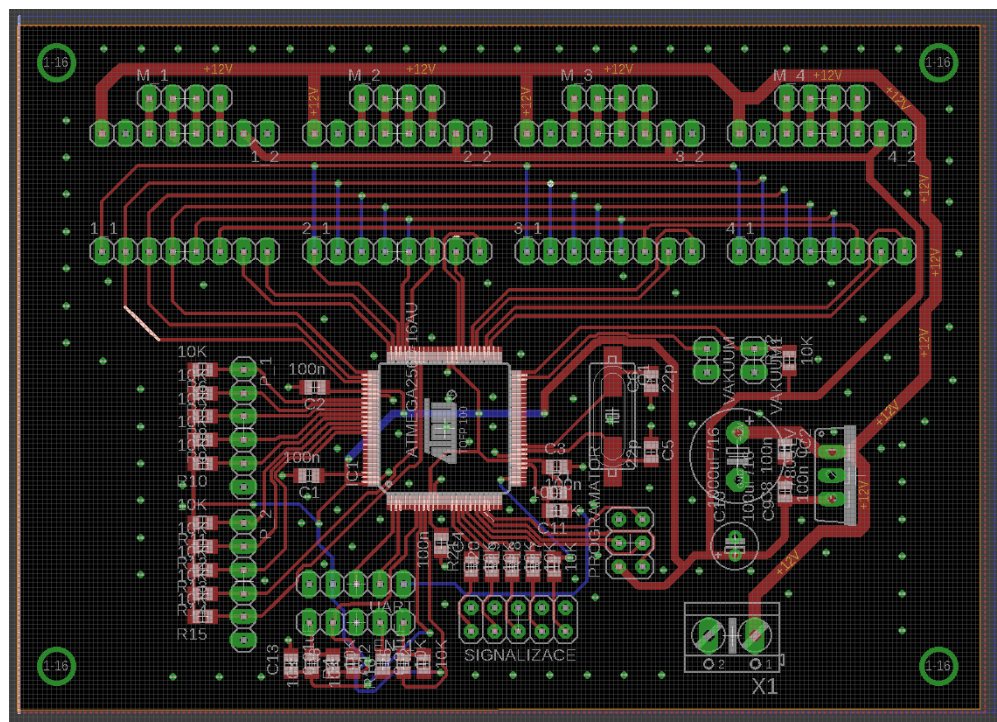
Dále byl vyveden jeden pin pro tlačítko, kterým bude řešeno spínání a vypínání vakua nasávací pinzety. Řídící elektroniku je možné programovat pomocí SPI. Další variantou programování je využití převodníku USB / UART, pro které byly vytvořeny patice pro možnost připojení viz obrázek 22. V návrhu je využito pěti pinů, které jsou využity k indikaci ve formě pěti LED diod. Po výpočtu potřebných pinů byl zvolen mikroprocesor atmega 2560. Zapojení jednotlivých součástek proběhlo na základě prostudování dokumentů od výrobce, kde byly uvedeny doporučená zapojení pro napájení, krystal a další součásti.



Obrázek 22 - Schéma zapojení řídicí elektroniky

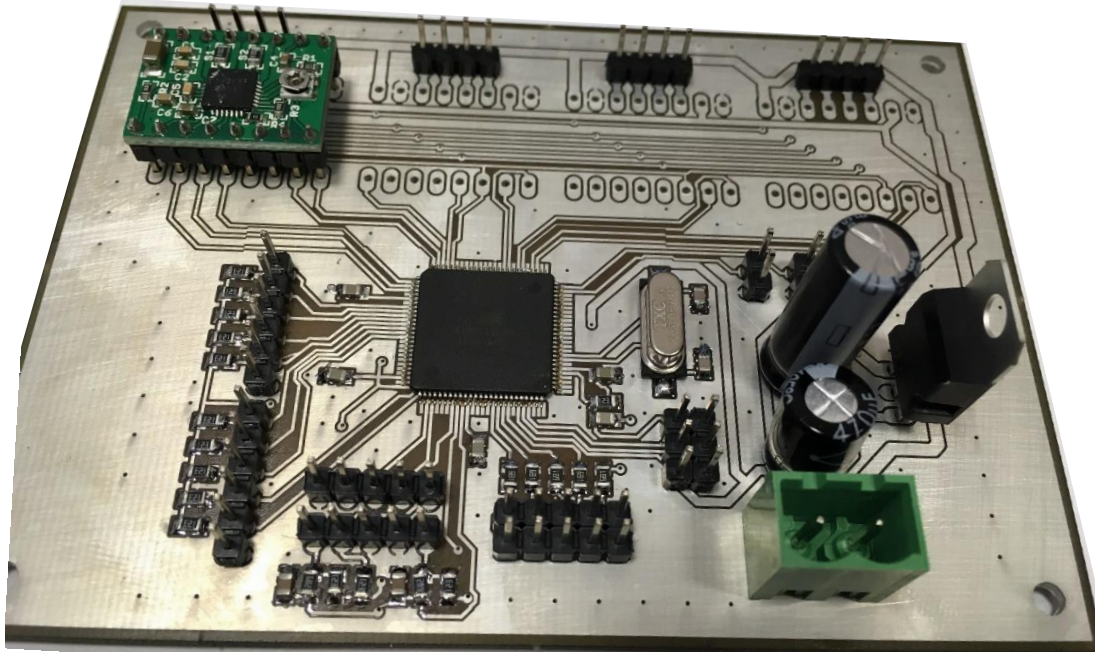
Výroba desky plošného spoje

Ze schématu zapojení viz obrázek 22 program následně vygeneroval seznam spojů, z kterých se následně vytváří finální podoba desky plošného spoje. Proces vývoje je zdlouhavý a v některých případech i velmi náročný. Prvním krokem při návrhu desky je určení počtu vrstev desky. Počet vrstev desky je určen na základě hustoty rozmístění součástek a počtem uzlů na desce. Při vývoji desky plošného spoje řídicí elektroniky osazovacího manipulátoru bylo zjištěno, že bude zapotřebí vytvořit oboustrannou desku. Následující krok vývoje je rozmístění jednotlivých součástek po desce. Vývojář musí dbát opatrnosti, aby nedošlo k chybám způsobeným lidským faktorem. Rozmístění jednotlivých součástek, na deskách plošných spojů je klíčový krok vývoje. Kvalita a způsob rozmístění součástek je zásadní pro správnou funkci zařízení. Následně po rozmístění součástek na desce je možné přistoupit k poslednímu vývojovému kroku, kterým je vedení spojů. Vedení spojů probíhá ve dvou vrstvách a je tedy zapotřebí vytvářet prokovení mezi těmito vrstvami. Délka spojů by neměla být příliš dlouhá. Vlivem zvyšující se délky rostou parazitní vlastnosti jako je indukčnost, kapacita, odpor a impedance. Tyto vedlejší vlastnosti způsobují odrazy na vedení a mají také vliv na rychlost a šíření elektrického signálu [1].



Obrázek 23 - finální podoba návrhu desky plošného spoje

Návrh desky v programu EAGLE je tak kompletní, je možné přejít k její výrobě. Výroba desky proběhla pomocí laserového automatu s označením protolaser S4. Automat prostřednictvím programu automaticky odstranil přebytečnou měď na desce plošného spoje. Měď je odstraňována pomocí výkonného laseru. Deska tak byla připravena k osazení součástkami. Na obrázku 24 je zobrazena deska v procesu pájení součástek.



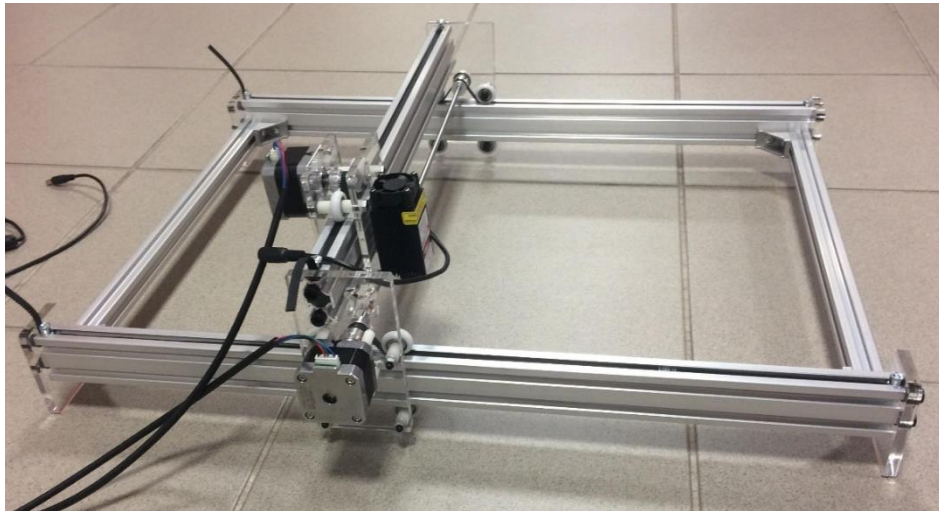
Obrázek 24 - Proces osazování desky plošného spoje

2.1.3 Mechanická konstrukce

Rám osazovacího manipulátoru

Při návrhu mechanické konstrukce osazovacího manipulátoru, bylo zvažováno mezi mnoha konstrukčními variantami. Největší roli při volbě mechanické konstrukce hrála cena. Byla zvažována varianta vlastního návrhu rámu, kde by se jednotlivé nosné díly nechaly na zakázku zhotovit pomocí CNC frézy. Tato varianta by byla velmi nákladná a komplikovaná. Dále byla zvažována varianta zakoupení mechanického rámu pro 3D tiskárnu, tyto rámy jsou však také cenově nedostupné a nesplňují požadavky pro rychlý pohyb os manipulátoru. Z toho důvodu

byl zakoupen mechanický rám pro laserovou frézku. Tento rám byl vybrán díky své příznivé ceně a splňujícím požadavkům pro funkci osazovacího manipulátoru.



Obrázek 25 - Rám osazovacího manipulátoru

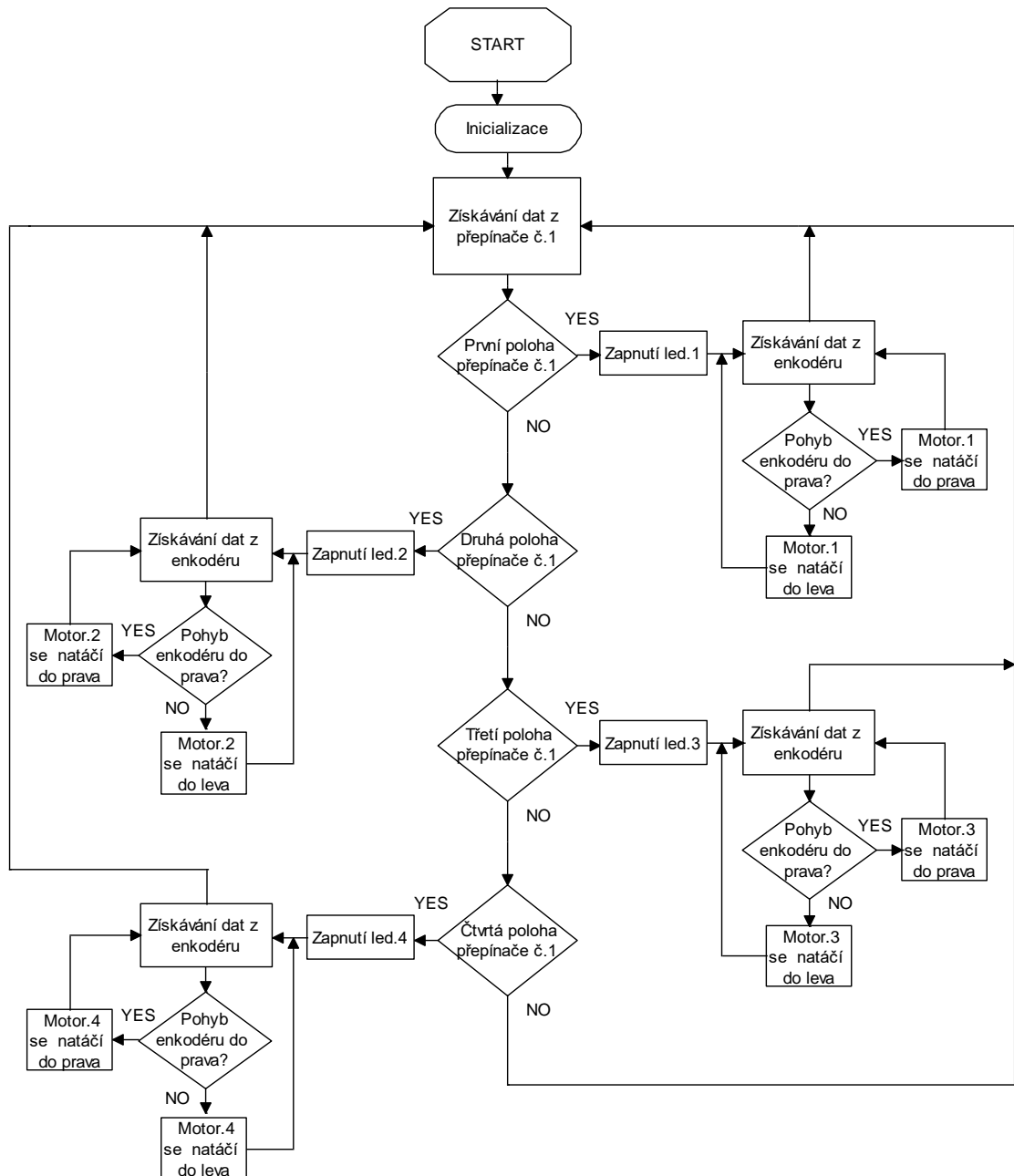
Pohyb lineárního vedení

Osazovací manipulátor by měl pracovat co nejrychleji, z toho důvodu není možné využít lineární posuvný mechanismus v podobě trapézového ani kuličkového šroubu. Trapézové a kuličkové šrouby se využívají především pro posuv posuvných mechanismů u 3D tiskáren. Tento posuv je velmi pomalý a nesplňuje požadavky, které jsou kladeny pro osazovací manipulátor. Pro manipulátor byla zvolena varianta, která se využívá převážně u laserových frézek. Pohyb posuvných mechanismů je zajištěn pomocí ozubeného řemene, který je napnutý napříč osami. Tento posuv splňuje požadavky na rychlost i přesnost osazování součástek na desku. Řemen se nepropíná díky kovovým výtuhám uvnitř řemene. Jako lineární vedení jsou využity hliníkové profily na rámu manipulátoru.

2.1.4 Programová část

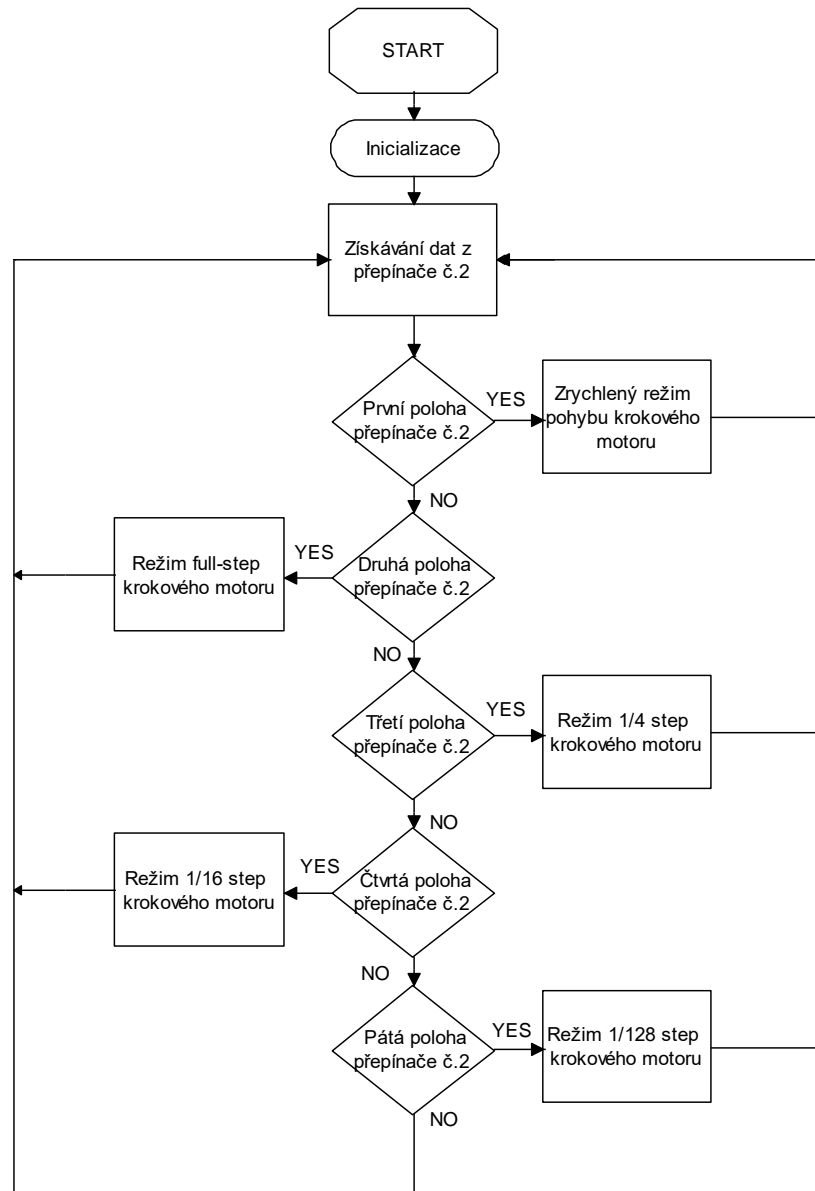
Program byl vyvíjen ve vývojovém prostředí Visual Studio 2017. Práce je napsána v programovacím jazyce Wiring. Samotné nahrávání programu do řídicí elektroniky bylo provedeno pomocí externího USB / UART převodníku. Zmíněný programátor obsahuje čip CP2102, který vykonává převod z USB signálu na signály sériové linky. Před samotným programováním bylo zapotřebí nahrát bootloader.

Celý program pro zařízení se skládá z několika dílčích bloků. Do těchto bloků patří funkce jako je detekce pohybu hřídele enkodéru a detekce přepnutí přepínače pro volbu os. Na obrázku 25 je uveden zjednodušený vývojový diagram pro tyto funkce.



Obrázek 26 - Vývojový diagram prvního bloku programu

Dalším blokem programu je detekce polohy přepínače pro volbu velikosti mikrokování krokových motorů. V neposlední řadě detekce spínání a vypínání vakua nasávací pinzety a úsporný režim zařízení způsobený pomocí ENABLE pinu, který zajistí, že nejsou krokové motory pod napětím.



Obrázek 27 - Vývojový diagram druhého bloku programu

Při startu programu nejprve probíhá inicializace, kde jsou nastaveny vstupně výstupní piny. Následně jsou získávána řídicí data z přepínačů, kde první přepínač určuje volbu os manipulátoru a druhý volbu velikosti mikrokrokování, které je zajištěno správným přivedením řídicích signálů na MODE piny u driveru, který následně zajišťuje velikost krokování. Taktéž jsou získávána data z enkodéru, která indikují pootáčení hřídele enkodéru. Ve směru, kterým se pootáčí hřídel enkodéru, je následně pootočena i hřídel krokového motoru, pomocí kterého je zajištěn pohyb posuvných mechanismů ve zvoleném směru. Pomocí tlačítka je možné sepnout nebo vypnout vakuum nasávací pinzety. Také je tu možnost pomocí tlačítka uvést krokové motory do režimu spánku.

2.1.5 Oživení a testování osazovacího manipulátoru

Po osazení součástek na desku plošného spoje byla deska očištěna a vizuálně zkontrolována, zda se na ní nenacházejí žádné zkratky. Žádné zkratky na desce nebyly nalezeny, v případě jejich nalezení je potřeba takováto zkratovaná místa odstranit. Následovalo nahrání programu pomocí externího USB / UART programátoru a jeho odzkoušení. Při zkoušce by měly reagovat krokové motory na pootáčení hřídele enkodéru. Směr pootáčení krokového motoru by měl být shodný se směrem otáčení enkodéru. Při přepínání poloh u přepínače č.1, by se měla volit jedna ze čtyř os osazovacího manipulátoru. Dalším přepínačem se volí režimy velikosti mikrokrokování a v neposlední řadě je potřeba ověřit funkce nasávání vakuové pinzety, režim úspory krokových motorů při jejich neaktivitě a zda je celá mechanická konstrukce plně funkční. Po kompletní kontrole všech součástí bylo zjištěno, že vše pracuje tak, jak má.

2.2 Porovnání s komerčními osazovacími zařízeními

Následující kapitoly popisují proces osazování v sériové výrobě a porovnání vytvořeného projektu s komerčními zařízeními

2.2.1 Popis procesu osazování v komerční sféře

Proces osazování SMD součástek je velmi komplikovaný proces, který se skládá z několika výrobních kroků. Prvním krokem procesu je nanášení pájecí pasty na desku. Pasta se nanáší na několik desek současně, tyto desky jsou v takzvaných panelech, kde může být i několik desek najednou. Pájecí pasta je nanášena pomocí sítotiskového stroje, který zároveň kontroluje rovnoměrnost, tloušťku, množství i tvar nanášené pájecí pasty. Dalším krokem procesu je osazení

SMD součástek do pasty na desce. Jednotlivé součástky jsou v takzvaných reelech či kotoučích. Tyto kotouče jsou umístěny v podavači feederu, který je zasunut v osazovacím automatu. Automat na základě programu umísťuje jednotlivé součástky na předurčená místa na desce. Cílem osazovacího automatu je také kontrolovat jednotlivé součástky, zda jsou ty správné a je možné jejich osazení na určené místo na desce. Kontrola probíhá formou výpočtů vývodů součástek a následnou kontrolou se vzorem uloženým v programu. Je tak velmi jednoduché odhalit nesprávné využití součástky nebo chybu v nabití feederu. SMD součástky jsou tak osazeny do pasty na desce. Dalším krokem je přetavení pájecí pasty. Osazené desky se posílají skrz přetavovací pec, ve které dochází k přetavení pájecí pasty. Součástky jsou tak vodivě propojeny s deskou plošného spoje. V případech, kdy je potřeba zapájet některé větší komponenty či součástky, se využívá takzvaná metoda, při které se pájí vlnou. U malého počtu prototypů je možné dopájet nějaké součásti ručně. Deska je tak pomocí SMT linek osazena a součástky na ní jsou zapájené. V tuto chvíli je zapotřebí desku zkontrolovat. Je možné využít kontrolu AOI, při které se jednotlivé součástky kontrolují, zda jsou na správných pozicích a jsou kvalitně zapájeny.

Při prototypovém osazování, kde není potřeba osazovat velké série plošných spojů, se využívají ručně ovládané manipulátory. Pohyb os X a Y je zajištěn pohybem ruky ve směru osy. Manipulátor se skládá ze stolu s pohyblivými rameny a z hlavy s nasávací pipetou, která má mnoho náhradních násavek pro různé součástky. Součástí manipulátoru je často i monitor, který pomocí kamerky poblíž nasávací pipety zobrazuje obraz, díky kterému je možné přesněji osazovat součástky na desku plošného spoje. Před samotným osazováním je nutné nanést pájecí pastu. Následuje osazování součástek, při kterém je zapotřebí lidského pohybu ruky. Osazování je jednoduché a pro malovýrobní potřeby se jedná o efektivní řešení [34].

2.2.2 Porovnání

Zařízení popsaná v kapitole 2.2.1 jsou velmi drahá. Osazovací automaty stojí stovky tisíc korun, ručně poháněný manipulátor je levnější variantou, ale ceny těchto zařízení se pohybují kolem 40 000,- Kč, někdy až 50 000,- Kč. Jedna z největších motivací pro výrobu osazovacího manipulátoru byl pokus o navržení zařízení, které nebude takto nákladné a splní požadavky pro kvalitní osazování desek plošných spojů. Osazovací manipulátor je zařízení, jehož konstrukce a možnosti řízení se inspiroují a vychází ze zmíněných zařízení v kapitole 2.2.1. Bylo by velmi komplikované vytvářet zařízení podobné osazovacímu automatu, pro jeho komplikované softwarové řízení i pro jeho mechanickou konstrukci. Naopak výroba zařízení podobající se ručně ovládanému manipulátoru je celkem jednoduchá. Bylo tedy vytvořeno zařízení, které se podobá

spíše ručně ovládanému manipulátoru. Jeho pohon není ruční, ale je zajištěn pomocí krokových motorů, které jsou pohony posuvných mechanismů. Ovládání není zajištěno softwarově, ale pomocí enkodéru a přepínačů. Toto řešení není schopné konkurovat v efektivitě, sofistikovanosti ani rychlosti osazování osazovacího automatu. Je však možné se vyrovnat a v některých parametrech i překonat ručně ovládaný manipulátor. Je to tedy zařízení, které uživateli umožní osazovat SMD součástky i v domácích podmínkách. Největší výhodnou vytvořeného osazovacího manipulátoru je však jeho cena. Kompletní konstrukce se všemi součástkami a potřebnými díly vyšla na 5000,- Kč. Do uvedené ceny není započtena výroba řídicí elektroniky. Výroba desky plošného spoje proběhla na Fakultě elektrotechniky a informatiky Univerzity Pardubice. Další výhodou je snadné uživatelské ovládání a příznivá hmotnost konstrukce [34].

ZÁVĚR

Miniaturizace součástek sice umožňuje zvýšení integrity komponentů na deskách plošných spojů, zvýšení efektivity a optimalizaci při návrhu, ale díky těmto miniaturním rozměrům SMD součástek je ruční osazování i manipulace s nimi velmi obtížná. Osazování SMD součástek vyžaduje extrémní přesnost, které není ručně možné dosáhnout.

V teoretické části bakalářské práce byl popsán způsob výroby desky plošného spoje a způsoby, kterými je možné osazovat SMD a THD součástky na desky plošných spojů. V teoretické části bakalářské práce jsou v neposlední řadě popsány i prvotní představy o mechanické konstrukci a popisy jednotlivých dílů a součástek, které je možné využít při tvorbě zařízení.

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zrealizovat zařízení, kterým bude možné osazovat SMD součástky na desky plošných spojů. Tímto zařízením je jednoduchý osazovací manipulátor. Osobním cílem bylo zkonstruovat zařízení, jehož obsluha bude jednoduchá tak, aby s ním mohly pracovat i osoby s nulovou praxí. Dalším osobním cílem bakalářské práce byla nízká cena jednotlivých komponentů tak, aby si jej mohly sestavit osoby k domácímu využití a nejen firmy, jak je tomu u komerčních osazovacích automatů, které jsou velmi nákladné.

Všechny zadané cíle byly splněny. Konstrukce a jednotlivé komponenty osazovacího manipulátoru jsou velmi levné, kde celková cena nepřesahuje šest tisíc korun. Vytvořené zařízení také splňuje požadavky pro jednoduchou uživatelskou obsluhu, které je dosaženo díky enkodéru a přepínačům, kterými se manipulátor ovládá. Osazovací manipulátor také splňuje předpoklady pro přesné a dynamické osazování SMD součástek na desky plošných spojů. Manipulátor tak splnil všechny požadavky pro jeho funkci. Ovládání a následné osazení součástek na desku plošného spoje vyžaduje vysokou přesnost. Zařízení tento požadavek splňuje více než dobře díky enkodéru. Enkodérem je převáděn mechanický pohyb hřídele na signály. Pomocí těchto signálů jsou následně skrze driver STSPIN820 poháněny pohony posuvných mechanismů. Tímto způsobem se pohybují jednotlivé osy osazovacího manipulátoru. Osy manipulátoru jsou přepínány pomocí přepínače. Stejný přepínač byl využit i k volbě velikosti krokování krokových motorů.

Při vývoji a následném sestavování manipulátoru došlo k mnoha problémům a chybám, které bylo potřeba vyřešit. Jedním z těchto problémů byl vývoj desky plošného spoje, při kterém zprvu došlo ke spoustě vývojových chyb a nepřesností. Mnoho z těchto problémů vzniklo z důvodu nedostatku zkušeností s navrhováním plošných spojů ve vývojovém prostředí EAGLE.

Mechanickou konstrukci není třeba nijak vylepšovat, konstrukce i výběr jednotlivých komponentů a součástí byl správný. V úvahu připadá možné vylepšení řídicí elektroniky. Ke zlepšení ovládání je možné využití joysticku, kterým by byl nahrazen enkodér. Joystickem je možné dosáhnout jednoduššího uživatelského ovládání. Otázkou je, zda toto ovládání bude efektivnější a bude jím možné osazovat s takovou přesností jako s enkodérem. Nejlepším vylepšením manipulátoru by bylo zvolit ovládání pomocí softwaru, osazování by tak probíhalo automaticky.

CITOVANÁ LITERATURA

- [1] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: Principy a pravidla praktického návrhu*. 1. Věšínova 5, Praha 10: BEN, 2010. ISBN 978-807-300-266-4.
- [2] CAGA, Radek. *Moderní technologie výroby desek plošných spojů* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/98955/CAG0005_FEI_B2649_2602R014_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.
- [3] KATMEYER, Jan. *Technologie pro výrobu desek plošných spojů* [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/76500/F3-BP-2018-Kaltmeyer-Jan-Kaltmeyer_technologie%20pro%20vyrobu%20DPS.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Ivana Beshajová Pelikánová, Ph.D.
- [4] 13. blok Technologie tištěných spojů: Deska plošných spojů. In: *Univerzita Pardubice* [online]. Pardubice: UPCE, b.r. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://fei-learn.upceucebny.cz/course/view.php?id=158>
- [5] Virtuální průvodce výrobou plošného spoje (PCB): základní výrobní kroky představeny ve videích. *SQP International: Prototypes producer* [online]. Česká republika: SQP, 2019 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <http://www.plosnyspoj.cz/edu/>
- [6] ŠANDERA, Josef. *Součástky pro povrchovou montáž, manipulace* [online]. In: . b.r., s. 56 [cit. 2019-03-22].
- [7] Deska plošných spojů PAA-StepUpBTL-01 pro zesilovač PAA. *RS: Components* [online]. Warszawa, b.r. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/moduly-audio-zesilovacu/7868957/>
- [8] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony senzory řízení*. 1. Praha 10: BEN, 2005. ISBN 970-80-7300-475-0.
- [9] RAJNOCH, David. *Řízení kamerového slideru* [online]. Brno, 2014 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85276.

Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Roman Mego.

- [10] ŘEZÁČ, Kamil. Krokové motory: princip funkce, metody řízení. *Robotika.cz* [online]. Česká republika, b.r. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [11] Krokový motor s pasivním rotorem. In: *Kvd* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.kvd.zcu.cz/cz/materialy/POS/HTML/66/Ob24.png>
- [12] Krokový motor s aktivním rotorem. In: *Kvd* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.kvd.zcu.cz/cz/materialy/POS/HTML/57/Ob52.png>
- [13] KROKOVÝ MOTOR - ZPŮSOBY ZAPOJENÍ. *Eufactory* [online]. Brno, b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://shop.eufactory.com/blog/14_krokove-motory-zapojeni
- [14] KROKOVÝ MOTOR - ZPŮSOBY ZAPOJENÍ. In: *FUfactory* [online]. Česká republika, b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://shop.eufactory.com/img/cms/biuni.jpg>
- [15] LINEÁRNÍ VEDENÍ. *T.E.A.: Technik* [online]. Česká republika, b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/linearni-vedeni/>
- [16] VODÍČÍ TYČE STANDARD W. In: *T.E.A.: TECHNIK* [online]. Popůvky: T.E.A. TECHNIK s.r.o., b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.teatechnik.cz/img/produkty/vodici_tyce/vodici_tyce/w.jpg
- [17] LINEÁRNÍ VEDENÍ LINTREK. In: *T.E.A.: TECHNIK* [online]. Popůvky: T.E.A. TECHNIK s.r.o., b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.teatechnik.cz/img/produkty/linearni_vedeni/rolnickova_vedeni/lintrek.jpg
- [18] LINEÁRNÍ VEDENÍ S OBĚHOVÝMI KULIČKAMI HG. In: *T.E.A.: TECHNIK* [online]. Popůvky: T.E.A. TECHNIK s.r.o., b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.teatechnik.cz/img/produkty/linearni_vedeni/s_obehovymi_kulickami/hg.jpg
- [19] TRAPÉZOVÉ ŠROUBY Z OCELI. In: *T.E.A.: TECHNIK* [online]. Popůvky: T.E.A. TECHNIK s.r.o., b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.teatechnik.cz/img/produkty/pohybove_srouby/trapezove_srouby/trapezove_srouby.jpg

- [20] UCHYCENÍ TYP EF,EK. In: *T.E.A.: TECHNIK* [online]. Popůvky: T.E.A. TECHNIK s.r.o., b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: https://www.teatechnik.cz/img/titulka_bckg_uprava.jpg
- [21] ŘEMEN GT2 1 METR: Řemen GT2 otevřený - 1 metr, vyztužený kovovým drátkem. *Materialpro3d* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/nahradni-dily-pro-3d-tiskarny/remen-gt2/>
- [22] ŘEMEN GT2 1 METR. In: *Materialpro3d* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://cdn.myshoptet.com/usr/www.materialpro3d.cz/user/shop/big/1381_remen-gt2.jpg?58c1d726
- [23] KUČERA, Petr. *AUTOMATICKÉ STROJNÍ OSAZOVÁNÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ* [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/14200/1/BP%20v%2004..pdf>. Bakalářská práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Vedoucí práce Silvan Pretl.
- [24] DUDÁČEK, Karel. Mikrokontroléry. *Home zcu cz* [online]. Plzeň, 2001 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dudacek/Pot/mikrokontrolery.pdf>
- [25] Stepper Motor Drivers. *Pololu: Corporation* [online]. b.r. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/category/120/stepper-motor-drivers>
- [26] PAŠTYKA, Jan a Ondřej HRUŠKA. *Rotační enkodér* [online]. 1. Praha, 2017 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/lpe/rotary_encoder/Rotary_Encoder.pdf
- [27] VOJÁČEK, Antonín. Rotační enkodéry pro řízení pohonů a pohybu. *HW: Server* [online]. 2017 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rotacni-ekodery-pro-rizeni-pohonu-a-pohybu.html>
- [28] Switch. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Switch>
- [29] Switch. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3a/Switches-electrical.agr.jpg>
- [30] STSPIN820 Stepper Motor Driver Carrier. *Pololu Corporation* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/product/2878>

- [31] STSPIN820. In: *Pololu Corporation* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://a.pololu-files.com/picture/0J9651.850.jpg?a7d1eb0ad543daf3dbdc0d5228d3fa18>
- [32] Rotary Encoder. *HowToMechatronics* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/rotary-encoder-works-use-arduino/>
- [33] Microchip Technology ATmega256x 8-bit Microcontrollers. *Mouser Electronics* [online]. Brno, b.r. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/new/microchip/microchip-atmega2560-mcus/>
- [34] BÍLEK, Petr. Pohled do zákulisí výroby prototypů Turris MOX. In: *CZ.NIC* [online]. Turris, 2018 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://blog.nic.cz/2018/07/31/pohled-do-zakulisi-vyroby-prototypu-turris-mox/>
- [35] Náhradní vakuová pinzeta ke stanicím 852A+, 852A++ a k pinzetě 932. In: *HOTAIR* [online]. Ostrava, b.r. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.hotair.cz/detail/nahradni-dily/horkovzdušne-stanice/nahradni-vakuova-pinzeta-ke-stanicim-852a-852a-a-k-pinzete-932.html>

PŘÍLOHY

Veškeré přílohy obsahující program pro řídicí elektroniku, návrh desky plošného spoje i samotnou práci ve formě pdf jsou uloženy v souboru NovakJ_OsazovacíManipulator_PR_Příloha_2019.zip.