

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

NÁVRH A REALIZACE MODELÁŘSKÉHO CNC LASERU

Jan Tesner

Bakalářská práce

2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Tesner**
Osobní číslo: **I15024**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Návrh a realizace modelářského CNC laseru**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

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

Cílem práce je návrh a realizace modelářského CNC laseru s možností 2D pohybu, v XY souřadném systému. Bude určen zejména pro řezání a gravírování tenkovrstvých materiálů. Jako řezací a gravírovací nástroj bude použit nízkovýkonový laser. Posun gravírovacího nástroje bude zajištěn pomocí krokových motorů s příslušnými elektronickými obvody umožňující jejich mikrokrokování. K napájení zařízení bude použit zdroj bezpečného napětí. Ovládání řídicí elektroniky bude realizováno standardním USB rozhraním. Pro řízení stroje bude použit volně šiřitelný (GRBL) firmware mikropočítače. Konstrukční řešení zařízení bude koncipováno zejména na jeho bezpečný provoz. Součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace, včetně demonstračního příkladu pro ověření funkčnosti stroje.

Řešení BP:

1. Seznamte s koncepčním řešením CNC laserových gravírovacích strojů (zpracujte rešerši).
2. Navrhněte mechanické konstrukční řešení zařízení v návrhovém CAD software.
3. Navrhněte zapojení elektronické řídicí jednotky (zvolte vhodné konstrukční komponenty).
4. Realizujte mechanickou a elektronickou část CNC zařízení.
5. Nakonfigurujte a otestujte firmware mikropočítače.
6. Otestujte funkčnost celého zařízení s následným zhodnocením a uvedením výsledků testování v textu práce.
7. Vytvořte přehlednou výrobní dokumentaci k realizovanému zařízení, včetně uživatelského návodu a příložených testovacích souborů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4

MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

D. MATOUŠEK, Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

6. prosince 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

11. května 2018



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.



Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. prosince 2017

Prohlášení

Prohlašuji:

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

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

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

V Pardubicích dne 18. 5. 2018

Jan Tesner

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracování této bakalářské práce.

V Pardubicích dne 18. 5. 2018

Jan Tesner

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací modelářského CNC laseru. V teoretické části jsou rozebrány základní principy a parametry laserů a dalších součástí CNC laseru, jako jsou například krokové motory a jejich drivery pro řízení. Praktická část se poté věnuje jak mechanické konstrukci, tak konstrukci elektroniky CNC laseru a popsání bezplatného programu pro řízení CNC laseru.

KLÍČOVÁ SLOVA

CNC, laser, krokový motor, driver, lineární vedení, GRBL

TITLE

DESIGN AND REALIZATION OF LOW-POWER CNC LASER

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with the design and realization of low-power CNC laser. In the theoretical part are analyzed the basic principles and parameters of lasers and other parts of CNC laser, such as stepper motors and their controllers. The practical part deals with both the mechanical design and the design of the CNC laser electronics and the description of the free CNC laser control program.

KEYWORDS

CNC, laser, stepper motor, driver, linear guides, GRBL

OBSAH

Seznam zkratk a značek	9
Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí	10
Seznam ilustrací	11
Seznam tabulek	13
ÚVOD	14
1 TEORETICKÁ ČÁST	15
1.1 REŠERŠE LITERATURY	15
1.2 LASER	16
1.2.1 Princip	17
1.2.2 Pracovní prostředí laseru	19
1.2.3 Diodový laser	21
1.2.4 Ostatní typy laserů	27
1.3 KROKOVÝ MOTOR	29
1.3.1 Princip	29
1.3.2 Typy krokových motorů	30
1.3.3 Řízení krokového motoru	33
1.3.4 Nestabilita polohy krokového motoru	34
1.4 ŘÍDICÍ DESKA ELEKTRONIKY	35
1.5 ARDUINO NANO	36
1.5.1 Vstupy a výstupy	36
1.5.2 Paměť mikropočítače ATmega328P	37
1.5.3 Komunikace s osobním počítačem	37
1.5.4 Napájení desky řídicí elektroniky	37
1.6 DRIVER KROKOVÉHO MOTORU – A4988	37
1.6.1 Vstupy a výstupy	38
1.6.2 Mikrokrokování	40
1.6.3 Další vlastnosti A4988	41
2 PRAKTICKÁ ČÁST	42
2.1 SOFTWARE OSOBNÍHO POČÍTAČE	42

2.1.1	Prostředí programu EleksCAM.....	42
2.1.2	Propojení řídicí desky s PC.....	43
2.2	FIRMWARE MIKROPOČÍTAČE GRBL.....	44
2.2.1	Konfigurace parametrů	44
2.3	MECHANICKÁ KONSTRUKCE.....	49
2.3.1	Lineární vedení	50
2.3.2	Pohyb lineárního vedení.....	50
2.3.3	Rám.....	52
2.3.4	Osa X.....	52
2.3.5	Osa Y.....	54
2.4	KONSTRUKCE ELEKTRONIKY.....	54
2.4.1	Zdroj laserového paprsku.....	54
2.4.2	Pohon lineárního vedení.....	55
2.4.3	Řídicí elektronika.....	57
2.5	BEZPEČNOST	58
3	UVEDENÍ DO PROVOZU A ZHODNOCENÍ.....	60
4	ZÁVĚR	61
	POUŽITÁ LITERATURA	62
	PŘÍLOHY	64

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CNC	Computer Numerical Control
DFB	Distributed Feedback
DH	Double Heterostructure
QW	Quantum Well
ROM	Read Only Memory
SCH	Separate Confinement Heterostructure
VCSEL	Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers

SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

f	frekvence, Hz
I	proud, A
k	celé číslo
A	mřížková konstanta
λ	vlnová délka světla, nm
M	krouticí moment, Nm
n	index lomu
P	výkon, W
U	napětí, V

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Mini CNC laser.....	15
Obr. 1.2 – Elekslaser A3	16
Obr. 1.3 – Obecné schéma laseru	17
Obr. 1.4 – Základní princip laseru	17
Obr. 1.5 – Popis laserové diody	21
Obr. 1.6 – Struktura laserové diody	23
Obr. 1.7 – Struktura DH laseru	24
Obr. 1.8 – Struktura QW laseru	24
Obr. 1.9 – Struktura SCH laseru	25
Obr. 1.10 – Struktura DFB laseru	26
Obr. 1.11 – Struktura VCSEL laseru	26
Obr. 1.12 – Charakteristika krouticího momentu	29
Obr. 1.13 – Řízení krokového motoru	30
Obr. 1.14 – Princip krokového motoru s variabilní reluktancí	31
Obr. 1.15 – Princip krokového motoru s permanentním magnetem.....	32
Obr. 1.16 – Průřez hybridním krokovým motorem	33
Obr. 1.17 – Bipolární řízení s plným krokem	34
Obr. 1.18 – Bipolární řízení s polovičním krokem	34
Obr. 1.19 – Popis řídicí desky Mana SE	35
Obr. 1.20 – Popis desky Arduino Nano	36
Obr. 1.21 – Popis driveru krokového motoru – A4988	38
Obr. 1.22 – Signál krokového motoru s driverem A4988	40
Obr. 2.1 – Prostředí programu EleksCAM	43
Obr. 2.2 – Výběr módu zařízení	45
Obr. 2.3 – Nepodepřené tyče	50
Obr. 2.4 – Ozubený řemen GT2	51
Obr. 2.5 – Napínáky řemenu.....	51
Obr. 2.6 – Rám CNC laseru	52
Obr. 2.7 – Zadní strana osy X.....	53
Obr. 2.8 – Přední strana osy X.....	53
Obr. 2.9 – Osa Y	54

Obr. 2.10 – Diodový 5W laser	55
Obr. 2.11 – Krokový motor Nema17	56
Obr. 2.12 – Blokové schéma řídicí elektroniky	57
Obr. 2.13 – Zdroj bezpečného napětí.....	58
Obr. 2.14 – Ochranné brýle	59
Obr. 3.1 – Vygravírovaný obrázek	60

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Možnosti nastavení driveru	39
Tab. 2.1 – Nastavení invertování signálu STEP	46
Tab. 2.2 – Nastavení výstupní kontroly	47
Tab. 2.3 – Parametry diodového laseru	55
Tab. 2.4 – Parametry krokového motoru Nema 17.....	56
Tab. 2.5 – Parametry zdroje napětí	58

ÚVOD

V 50. letech 20. století v USA a Japonsku vznikaly první NC stroje, které byly jednoduše vyrobeny řídicím systémem s elektronkovými obvody. Během vývoje se objevily limity NC strojů a tak se začaly stroje vybavovat počítači. Tak vznikly první CNC stroje, které už měly možnost lepší kontroly stroje a možnost rychlejšího programování. Tím se zvýšila kvalita výroby a výkonnost, ale omezila se zmetkovitost a cena výroby. V této práci se budu zabývat návrhem a konstrukcí CNC stroje na gravírování a řezání tenkovrstvých materiálů.

Tento CNC stroj bude pro tuto funkci vybaven 5 W diodovým laserem, který se bude moci pohybovat v XY souřadném systému. Mezi hlavní výhodou tohoto řešení je bezkontaktní práce pomocí laserového paprsku a minimální odpad při řezání materiálů.

Pohyb CNC laseru bude zajištěn pomocí krokových motorů Nema17, dva krokové motory na ose Y z důvodu velikosti této osy a jeden krokový motor na osu X. Krokové motory budou řízeny pomocí driverů A4988, které mají funkci mikrokrokování. Celý stroj bude řízen pomocí řídicí desky Mana SE, která umožňuje pohyb právě ve dvou osách a komunikuje s PC přes Micro USB. Řídicí deska poté umí překládat G kód, který jí program posílá pomocí bezplatného firmware GRBL.

Konstrukce se bude skládat z několika hliníkových částí, které se poté opracují v domácí dílně. Lineární vedení jednotlivých os bude zajištěno pomocí dvou velikostí kalených vodicích tyčí. Kabeláž bude prakticky uspořádána a vedena v řetězových kabelových lávkách.

Hlavní cíl práce je celková přesnost pohybu CNC stroje a tím pádem i přesnost řezání a gravírování různých předmětů, dále finanční nenáročnost oproti profesionálním CNC strojům a celková bezpečnost stroje.

1 TEORETICKÁ ČÁST

V této části bude uveden popis tohoto tematického okruhu s podrobnějším vysvětlením základních principů hardware, návrhů obdobných zařízení a samotné funkce použitého hardware CNC laserů.

1.1 REŠERŠE LITERATURY

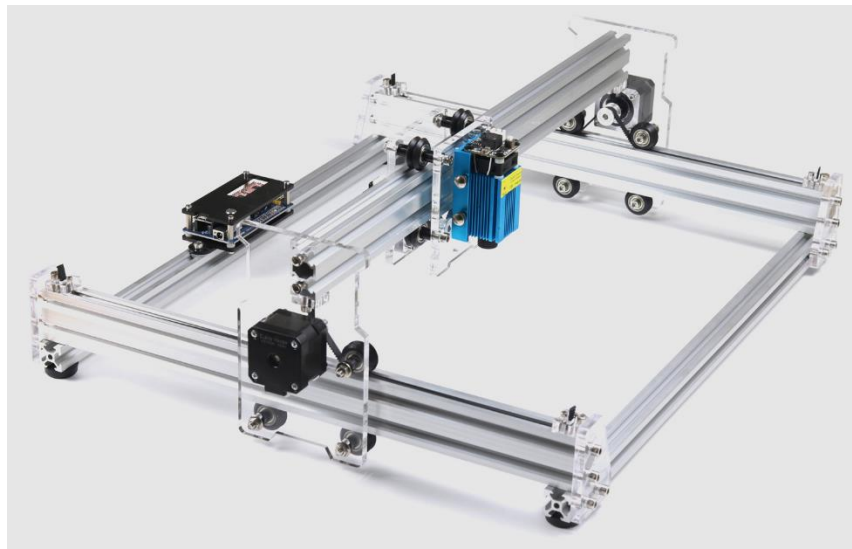
Při hledání inspirace pro návrh CNC laseru bylo nalezeno pouze malé množství projektů pro řešení tohoto tématu. Většina z nich byla zajímavá, ale stále to nesplňovalo základní předpoklady modelářského CNC laseru. Proto byl CNC laser navržen od základu a při výrobě postupně upravován.

V článku „Mini laserová gravírka a řezačka“ na webu „robodoupe.cz“ se můžeme dozvědět základní informace o projektu stavby malého CNC laseru (viz obr. 1.1), kdy při stavbě konstrukce autor používá knihařskou kartonovou lepenku o síle 3 mm. Pro pohyb os používá krokové motory se šroubovým posuvem. Laser má uchycen na pohyblivé ose X. Materiál se poté opracovává na pohyblivém stole osy Y. K řízení celého stroje je použita deska Arduino Nano s drivery motorů Pololu A4988. Jako software používá autor Grbl-Panel s GRBL (viz kapitola 2.2) knihovnou pro Arduino.



Obr. 1.1 – Mini CNC laser (Fulda, 2017)

Výrobce EleksMaker prodává hotovou stavebnici CNC laseru o velikosti 600×460×180 mm (viz obr. 1.2). Pro mechanickou konstrukci jsou zde zvoleny hliníkové profily systému KOMBI, které jsou spojené držáky z plastu. K pohybu os zde slouží krokové motory Nema17 ovládané drivery Pololu A4988. Osu Y pohání dva krokové motory, které převádí rotační pohyb na posuvný pomocí pevně uchyceného ozubeného řemenu. Osa Y je rovněž spojena s osou X, takže v tomto případě pracovní plocha není v pohybu. Osy se pohybují po hliníkových profilech pomocí vozíků s kolečky. Jako software zde může být použit například EleksCAM, T2 Laser nebo BenBox, které podporují GRBL knihovnu pro Arduino.

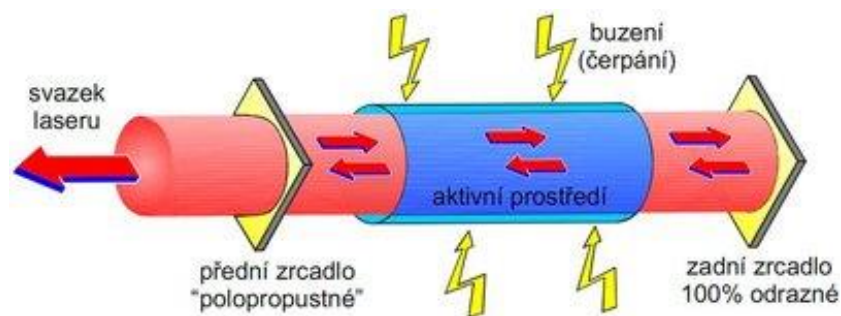


Obr. 1.2 – Elekslaser A3 (Eleksmaker, 2016)

1.2 LASER

Slovo LASER je zkratka z anglického spojení Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, neboli zesilování světla stimulovanou emisí záření.

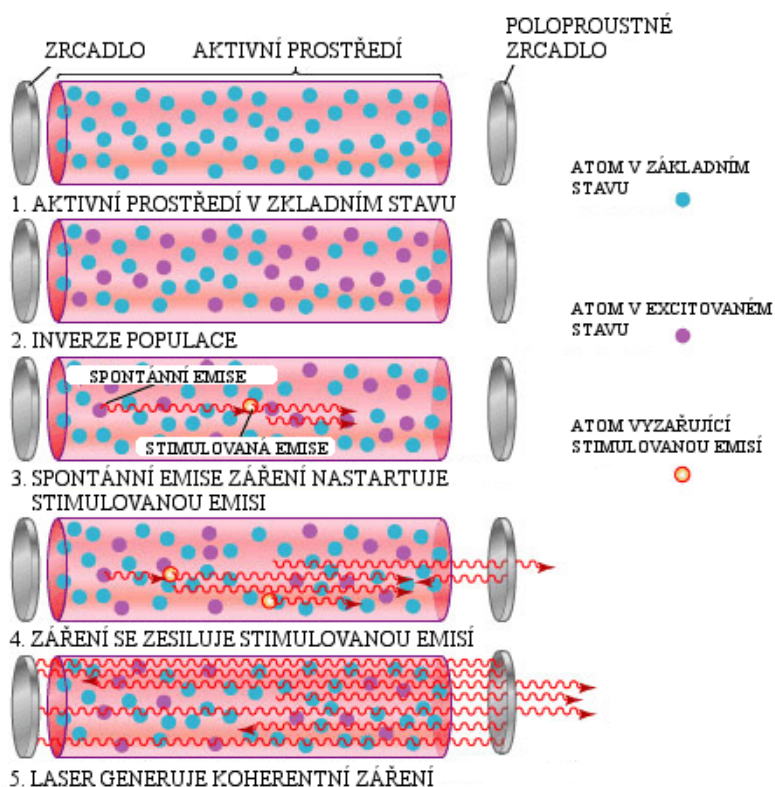
Laser se tedy obecně označuje jako optický zesilovač (viz obr. 1.3), který generuje koherentní elektromagnetické záření většinou ve viditelné, ultrafialové nebo infračervené oblasti spektra pomocí stimulované emise záření aktivních částic (atomů, molekul, iontů, elektronů) vybuzených vnějším zdrojem energie.



Obr. 1.3 – Obecné schéma laseru (Kořán, 2013)

1.2.1 Princip

Princip laseru není zcela jednoduchý (viz obr. 1.4), protože při sebemenší chybě nám laser nebude fungovat. Takže pro pochopení si nejdříve musíme projít šest hlavních pojmů.



Obr. 1.4 – Základní princip laseru (Kořán, 2013)

Interakce fotonu a elektronu

Pokud do některého z elektronů vletí foton, elektron absorbuje veškerou energii fotonu a přemístí se na vyšší energetickou hladinu. Elektron ale na vyšší energetické hladině dlouho nevydrží a díky spontánní emisi se elektron přemístí zpátky na jeho základní energetickou hladinu a vypustí foton se stejnou energií pryč, ale náhodným směrem. Pokud poletí dva fotony stejným směrem se stejnou vlnovou délkou a s nulovým posunutím, spojí se. Je to tím, že fotony mají částicový i vlnový charakter, takže z dvou vln dojde k vytvoření jedné vlny, která má dvojnásobnou amplitudu i energii (Kachtík, 2011).

Metastabilní hladina

V aktivním prostředí laseru, kde se vytváří paprsek, musejí být prvky, které obsahují tzv. metastabilní hladinu. Pokud foton narazí do elektronu, elektron se přemístí na vyšší energetickou hladinu a spadne právě na metastabilní hladinu. Největší rozdíl mezi vyššími hladinami a metastabilní hladinou je ten, že elektron zůstane na metastabilní hladině až o sto tisíc krát déle. To nám zaručí, že elektron vyčká na jiný foton, který ho stimuluje a vyšle foton, se kterým se spojí (Kachtík, 2011).

Inverze populace

Laser by nefungoval bez inverze populace, ke které dochází při větším množství elektronů na metastabilní hladině, než je množství elektronů na základní hladině. Protože máme ze zdroje stálý přísun energie ve formě fotonů, každý foton přemístí jeden elektron na vyšší energetickou hladinu a poté na metastabilní hladinu. Tímto způsobem se většina elektronů dostane na metastabilní hladinu, kde elektrony čekají na přílet stimulujícího fotonu. Po příletu stimulujícího fotonu odkudkoliv se budou fotony stimulovat navzájem a donutí všechny elektrony k přemístění na základní hladinu a k vyslání jednoho fotonu. Poté se všechny fotony i se stimulujícím fotonem spojí do jedné vlny s větší amplitudou a dojde k zesílení světla stimulovanou emisí záření. Tato vlna letí stejným směrem jako stimulovaný foton a tím pádem nám nezaručuje, že poletí požadovaným směrem laserového paprsku. Po vrácení elektronu z metastabilní hladiny na základní hladinu se celá akce opakuje tím, že nám zdroj pošle další foton (Kachtík, 2011).

Stimulovaná emise

Všechny tyto akce zatím proběhly pouze na jednom atomu. Pokud zvětšíme počet atomů třeba o milión, tak v každém atomu proběhne ta samá akce a elektrony opět čekají na metastabilní hladině na přilet stimujícího fotonu. Po přiletu jednoho nebo třeba stovky stimujících fotonů zároveň vypustí atomy zesílené fotony všemi směry a pro ostatní atomy působí jako stimující fotony. Díky tomu se elektrony musí opět přemístit na základní hladinu a vypustit fotony, které se spojí se stimujícími fotony a tím dochází k zesílení fotonů a zesílení světla. Zvýšením počtu atomů nám ale opět nezaručí funkčnost laseru, protože fotony létají různými směry (Kachtík, 2011).

Rezonátor

Rezonátor u laseru se skládá ze dvou částí a to z odrazivého zrcadla a polopropustného zrcadla. Tato zrcadla jsou vůči sobě rovnoběžná a vůči ose laseru kolmá. Většina fotonů ze začátku vyletí ihned z laseru, ale objeví se tu i foton, který poletí rovnoběžně s osou laseru a začne se při létání mezi zrcadly spojovat s dalšími fotony. Najednou začne těchto rovnoběžně letících fotonů přibývat a špatně letících fotonů ubývat. Tady vidíme další důvod potřeby metastabilní hladiny, protože se nám fotony rychle neuvolňují špatným směrem, ale čekají na fotony letící správným směrem. Tímto způsobem se nám už laser rozběhne a špatně letící fotony po čase vymizí úplně (Kachtík, 2011).

Polopropustné zrcadlo

Pokud se foton dostane na určitou úroveň, polopropustné zrcadlo nechá foton projít ven a tím se nám vytvoří požadovaný laserový paprsek. V opačném případě, pokud foton nedosáhne určité úrovně, polopropustné zrcadlo pošle foton zpět (Kachtík, 2011).

1.2.2 Pracovní prostředí laseru

Aktivní prostředí

Aktivní prostředí tvoří látka obsahující oddělené kvantové energetické hladiny elektronů. Z těchto hladin přeskakují elektrony ze základní hladiny na vyšší hladiny a poté na metastabilní hladinu a zpátky na základní hladinu. Aktivní prostředí se poté dále dělí na plynové, pevnolátkové, diodové a kapalinové (Kachtík, 2011).

Rezonátor

Rezonátor se u laseru využívá k zesilování světla. Rezonátor jsou vlastně dvě vzájemně rovnoběžná zrcadla kolmá na osu laseru. První zrcadlo je polopropustné a druhé nepropustné. U nepropustných zrcadel se většinou využívá dielektrického zrcadla nebo kvalitního leštěného kovu. V některých případech se u laserové diody používá rozhraní aktivního prostředí se vzduchem.

Rezonátor se nepoužívá u některých laserů, kterým stačí jeden průchod aktivním prostředím k získání dostatečně velké energie. Pracují tzv. super radiačně a patří mezi ně například měděný nebo dusíkový laser. Dále se nepoužívá u laserových zesilovačů, kde se laserový paprsek zesiluje průchodem aktivním prostředím a prochází dále bez jakéhokoliv odražení od zrcadla.

Zrcadla jsou obvykle rovinná, ale mohou být i zakřivená. Na stabilitě záření v rezonátoru záleží zejména na poloměru zakřivení zrcadla a také na délce rezonátoru (Kachtík, 2011).

Zdroj záření

Zdroj záření je potřeba k dodání potřebné energie elektronům v aktivním prostředí k tomu, aby se elektrony mohly přemísťovat z nižší energetické hladiny na vyšší energetickou hladinu.

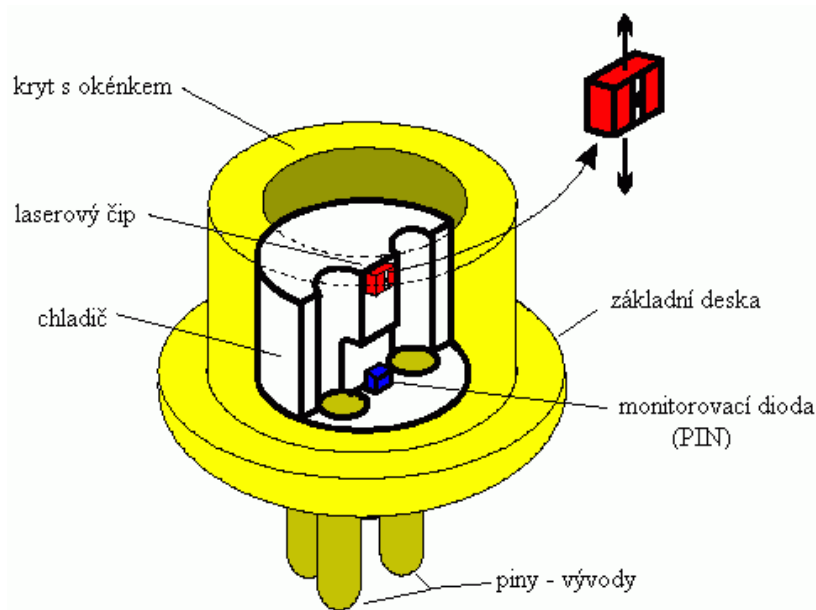
Za zdroj záření můžeme považovat například výbojku, chemickou reakci nebo jiné lasery (Kachtík, 2011).

Laserový paprsek

Laserový paprsek, který vychází z aktivního prostředí přes polopropustné zrcadlo, je koherentní a monochromatický neboli nerozbíhavý a jednobarevný (Kachtík, 2011).

1.2.3 Diodový laser

Diodový laser patří do skupiny polovodičových laserů, který se skládá z polovodičové diody (viz obr. 1.5), kde na jejím PN přechodu dojde k přeměně elektrické energie na světlo. Na rozdíl od LED diod má laser mnohem užší spektrum, tudíž je světlo vycházející z laseru koherentní.



Obr. 1.5 – Popis laserové diody (Lukáš, 2001)

Princip

Princip laserové diody je jako u všech ostatních laserů založen na procesu stimulované emise. Aktivní prostředí tvoří PN přechod, kde dochází k dodání elektronů a děr. Životnost těchto elektronů a děr pro polovodičové materiály bývá typicky několik nanosekund.

Poté dochází k rekombinaci při vyzáření fotonu v náhodném směru a náhodné fázi a polarizaci záření. Ke stimulované emisi může dojít pouze v případě, že se do aktivního prostředí dostane foton s energií rovnou rozdílu energetických hladin předtím, než nastane rekombinace nebo spontánní emise. V tomto případě foton stimuluje přechod elektronu do nižší energetické hladiny a také emisi dalšího fotonu, který bude mít stejný směr, fázi i polarizaci jako stimulující foton.

Se stimulovanou emisí souvisí důležitý parametr laserové diody, a to tzv. prahový proud nebo prahové napětí. Pokud je hodnota proudu pod hodnotou prahového proudu, dochází pouze ke spontánní emisi a ke generování nekoherentního záření. Naopak pokud je hodnota proudu

nad hodnotou prahového proudu, dochází ke stimulované emisi a k rychlému vzrůstu výkonu laserové diody, která začne produkovat koherentní záření. Hodnota tohoto prahového proudu bývá většinou v rozmezí 40 - 250 mA a hodnota prahového napětí okolo 1,8 V. Tyto prahové hodnoty jsou nicméně hodně závislé na teplotě, kde na 1 °C vzroste prahový proud přibližně o 15 %.

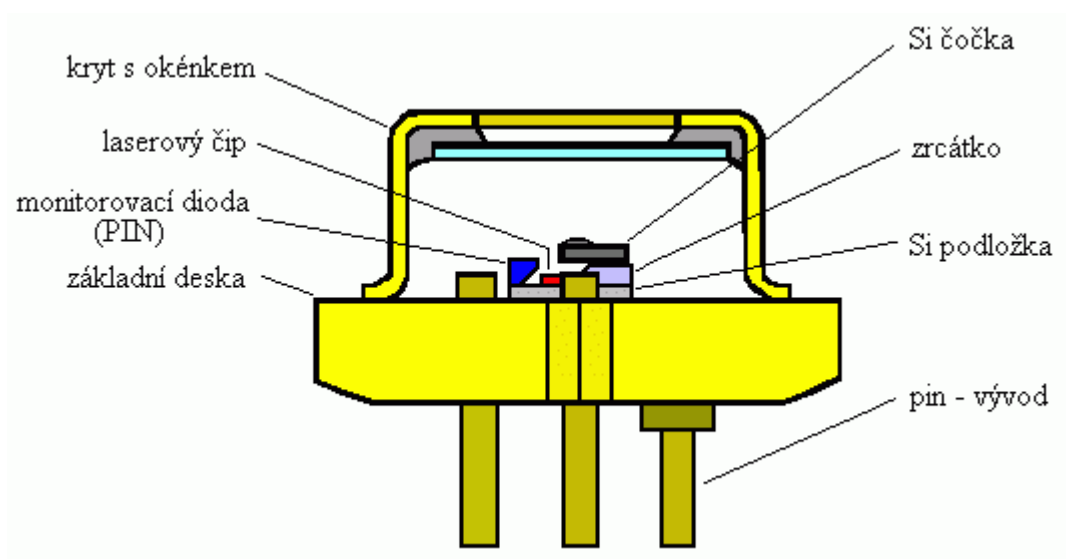
Jako optický rezonátor je u laserových diod použit tzv. Fabry-Perotův rezonátor, kde dochází k odštípnutí krystalu v krystalografických rovinách, nebo v některých případech se místo zrcadel používá z důvodu zvýšení kvality produkovaného záření hranol či difrakční mřížka.

Struktura

Vlastnosti laserové diody hodně ovlivňuje materiál, ze kterého je dioda vyrobena. Polovodiče s tzv. přímým přechodem, kde je minimum vodivostního pásu při stejné hodnotě vlnového čísla, jako je maximum valenčního pásu, mají mnohonásobně větší pravděpodobnost zářivé rekombinace (viz obr. 1.6). Může se jednat jak o spontánní, tak o stimulovanou emisi. Mezi tyto polovodiče patří sloučeniny, jako například Galium arsenid, Galium nitrid, Galium antimonid nebo Indium fosfid.

Pokud ale máme jednoprvkové polovodiče, jako například křemík a germanium s tzv. nepřímým přechodem, kde je minimum i maximum daných energetických pásů vzájemně posunuto, tak je pravděpodobnost zářivé rekombinace velmi malá.

I když vyrobíme laserovou diodu z jediného materiálu, buď z jednoprvkového polovodiče, nebo ze sloučeniny, stále bude dioda velmi neefektivní a může fungovat jen v impulzním režimu. Je to kvůli potřebě velkého množství energie, která by ji při kontinuálním režimu zničila. Pro vylepšení vlastností přechodu a možnosti využití laserové diody v kontinuálním režimu se používá tzv. heteropřechod, kde se využívají dva různé materiály s odlišnou šířkou zakázaného pásu, ale s hodně blízkou mřížkovou konstantou.

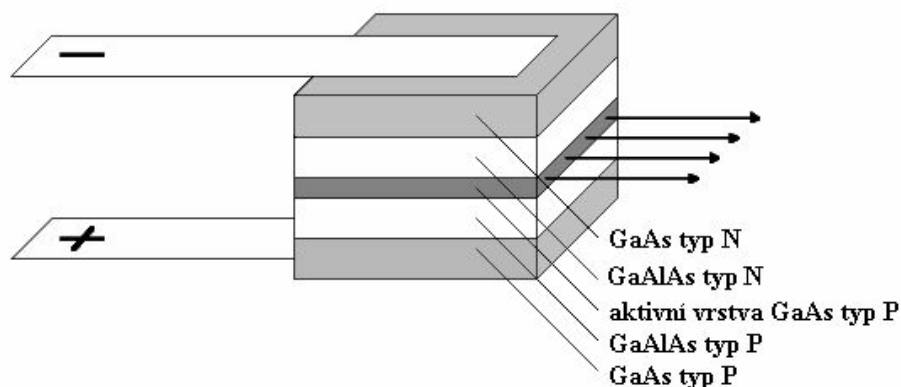


Obr. 1.6 – Struktura laserové diody (Lukáš, 2001)

Druhy diodového laseru

DH laser

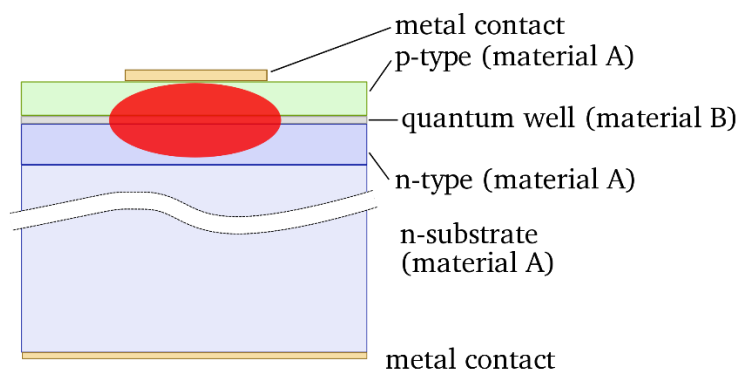
DH je zkratka z anglického spojení Double Heterostructure neboli dvojí heteropřechod. U DH laserů je materiál s užším zakázaným pásem spojen dvěma vrstvami materiálu se širším zakázaným pásem (viz obr. 1.7). Většinou se používá kombinace GaAS s $\text{Al}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$. Mezi výhody DH laseru patří, že aktivní oblast se soustředí do tenké střední vrstvy, která je obklopena velkými potenciálovými bariérami a tím pádem se více párů elektron – díra účastní zesilování záření. Tyto páry se poté „neroztékají“ do vedlejších vrstev. Také se díky dobrému indexu lomu světlo odráží od heteropřechodů zpátky do aktivní oblasti. Účinnost těchto DH laserů dosahuje hodnot kolem 75 %.



Obr. 1.7 – Struktura DH laseru (Lukáš, 2001)

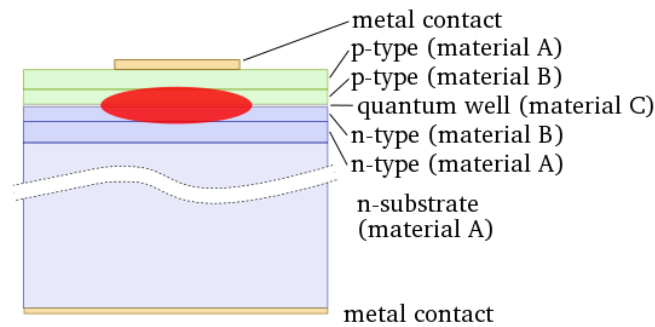
QW laser

QW je zkratka z anglického spojení Quantum Well neboli kvantová jáma. QW lasery jsou speciální případ DH laserů, kde je prostřední vrstva odlišná materiálem a tak tenká, že s ostatními sousedními vrstvami vytváří pravoúhloú potenciálovou jámu (viz obr. 1.8). V této potenciálové jámě mohou elektrony mít pouze určitou diskrétní hodnotu energie. Obvyklá tloušťka vnitřní vrstvy se pohybuje kolem 10 nm, čímž máme za výsledek velmi úzkou spektrální charakteristiku. Mezi další výhody patří nižší teplotní závislost prahového proudu a také jeho výrazně menší hodnota, která se pohybuje od desetin až po několik desítek mA.



Obr. 1.8 – Struktura QW laseru

Dále se můžou použít další dvě vrstvy s nízkým indexem lomu pro lepší omezení světla v aktivní oblasti, kde jsou tyto další dvě vrstvy na dosavadních třech vrstvách. V tomto případě je to laser SCH neboli Separate Confinement Heterostructure (viz obr. 1.9). Účinnost QW laserů je větší oproti obyčejným DH laserům zhruba o 5 %.



Obr. 1.9 – Struktura SCH laseru

DFB laser

Mezi další druh diodového laseru patří DFB laser (viz obr. 1.10). DFB je zkratka z anglického spojení Distributed Feedback neboli rozprostřená zpětná vazba. U DFB laserů je naleptána difrakční mřížka těsně u aktivní vrstvy, která tu slouží jako optický rezonátor. Tudíž zde není potřeba odrážet světlo od krystalu a alespoň jedna z vrstev je pokryta antireflexivní vrstvou. Velké uplatnění mají DFB lasery v kategorii optických komunikací. Difrakční mřížka také slouží jako optický filtr, který odráží zpátky do aktivní oblasti laseru jen velmi úzké spektrum vlnových délek, které je menší jak 1 nm. Vlnová délka se poté určuje mřížkovou konstantou, kde musí být splněna Braggova difrakční podmínka, která se zapisuje ve tvaru

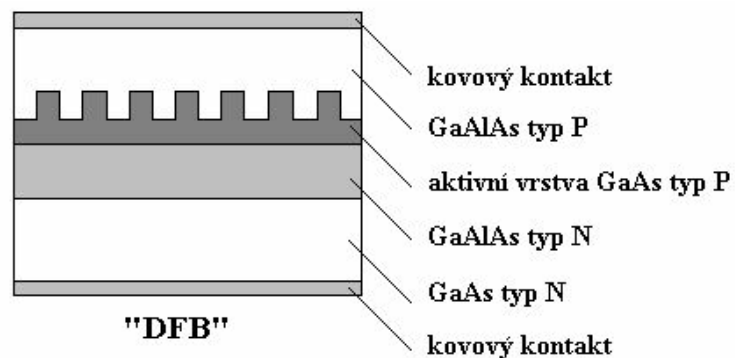
$$n \cdot \lambda = k \cdot \Lambda, \quad (1.1)$$

kde n značí index lomu,

λ vlnovou délku světla,

k celé číslo,

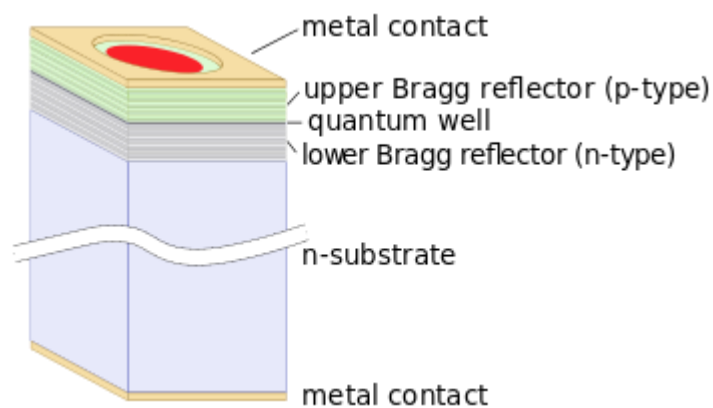
Λ mřížkovou konstantu.



Obr. 1.10 – Struktura DFB laseru (Lukáš, 2001)

VCSEL laser

Jako poslední druh laseru tu máme VCSEL laser (viz obr. 1.11). VCSEL neboli Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers na rozdíl od hranově vyzařujících laserů, které vyzařují paprsek rovnoběžně s aktivní vrstvou, VCSEL laser vyzařuje kolmo na rovinu aktivní vrstvy. Tyto lasery je možné testovat už na čipové „oplatce“, protože laser vyzařuje z horní části čipu a tím pádem snižuje náklady na výrobu. Mezi další výhody patří menší rozbíhavost laseru, která je kolem 10° oproti přibližně 30° u hranově vyzařujících laserů. Také díky vysoké odrazivosti Braggových zrcadel se snižuje hodnota prahového proudu, ale s prahovým proudem poté klesá i vyzařovaný výkon. Účinnost VCSEL laserů se pohybuje kolem 80 %.



Obr. 1.11 – Struktura VCSEL laseru

Vlastnosti diodového laseru

U některých laserových diod se generuje jediná vlnová délka, která se poté může nepatrně měnit s proudem a teplotou. Vygenerovaná vlnová délka závisí jak na velikosti dutiny, tak na polovodiči a jeho zakázaném pásu.

Vygenerovaný laserový paprsek, který nám vychází z čipu laserové diody, je bez další regulace rozbíhavý a nesymetrický přibližně 30° ve svislém směru a 10° ve vodorovném směru. Poté je pro zaostření a proti rozbíhavosti laserového paprsku použita čočka. Pokud je potřeba kruhová stopa laserového paprsku, je potřeba z důvodu asymetrie laserového paprsku cylindrická čočka. Pokud je ale použita pro úpravu laserového paprsku symetrická čočka, má to za následek eliptickou stopu laserového paprsku, která je nežádoucí při řezání či gravírování všech možných materiálů.

1.2.4 Ostatní typy laserů

Mimo polovodičové lasery se tu nacházejí další tři hlavní skupiny laserů a to lasery pevnolátkové, kapalinové a plynové. Stejně jako polovodičové lasery se ostatní typy využívají v průmyslu i v informační technice, zejména se ale využívají v medicíně pro různé chirurgické zákroky.

Pevnolátkové

U pevnolátkových laserů je aktivní prostředí tvořeno krystalickými nebo amorfními izolanty s příměsí vhodných iontů. Excitace bývá většinou optická. Pevnolátkové lasery mohou pracovat ve více režimech při různých pracovních podmínkách. Jsou stabilní a nemají velké nároky na údržbu. Záření laserového paprsku má vlnové délky v rozmezí infračerveného a viditelného světla.

Mezi nejznámější představitele pevnolátkových laserů patří laser rubínový, kde aktivní prostředí tvoří krystal syntetického rubínu. Přesto dnes mezi pevnolátkovými lasery je nejrozšířenější laser neodymový, který má zelené světlo nebo infračervené záření a využívá se zejména v medicíně. Další je typ s neodymovým sklem, který může produkovat velmi silné záření, protože může být vyroben v libovolných rozměrech a v pulzním režimu dokáže za 10 až 12 sekund vyvinout výkon až 106 MW. Díky tomu je využíván jako zdroj laserového vybuzení termionukleární reakce (Kusala, 2004).

Kapalinové

Kapalinové lasery mají aktivní prostředí tvořené z vodního či alkoholového roztoku organického barviva. Tyto lasery pracují s cheláty a jejich výhodou je dokonalá homogenita a možnost neomezeně velkého objemu.

Kapalinové lasery se také označují jako lasery barvivové a mají využití ve spektroskopii a informační technice. Mezi další důležité vlastnosti barvivových laserů patří přeladitelnost a tím pádem možnost změny vlnové délky laserového záření laseru. Tuto možnost změny vyzářeného světla nám zajišťuje použití různých barviv. Například barviva polymethinová nám generují červené až infračervené záření v oblasti 700 až 1500 nm, xanthenová barviva, která pracují ve viditelném spektru 400 až 500 nm a nakonec scitilátorová barviva pracující v ultrafialové oblasti spektra menší než 400 nm (Kusala, 2004).

Plynové

U plynových laserů tvoří aktivní plynové prostředí atomy, ionty nebo molekuly. Plynové lasery mohou pracovat ve velmi velkém rozsahu vlnových délek v kontinuálním nebo pulzním režimu. K excitaci dochází obvykle díky elektrickému výboji ve zředěném plynu, zřídka se používá excitace optická. Mezi jejich vlastnosti patří homogenní aktivní prostředí, díky kterému mají výborné parametry, zato jejich nevýhoda je poměrně malý výkon.

K jejich nejrozšířenějším typům patří helium-neonový laser, který má červené záření, poté argonový nebo helium-kadmiový laser, který má červenooranžové, zelené nebo modré záření. Nejpoužívanějším jak v průmyslu, tak v medicíně, je CO₂ infračervený laser.

CO₂ infračervený laser patří do kategorie molekulárních plynových laserů, které mají vysokou účinnost a mohou produkovat velké množství energie. Díky této energii a fokusace paprsku se dá tento laser použít jako tzv. „laserový skalpel“ k bezdotykovému řezání tkání.

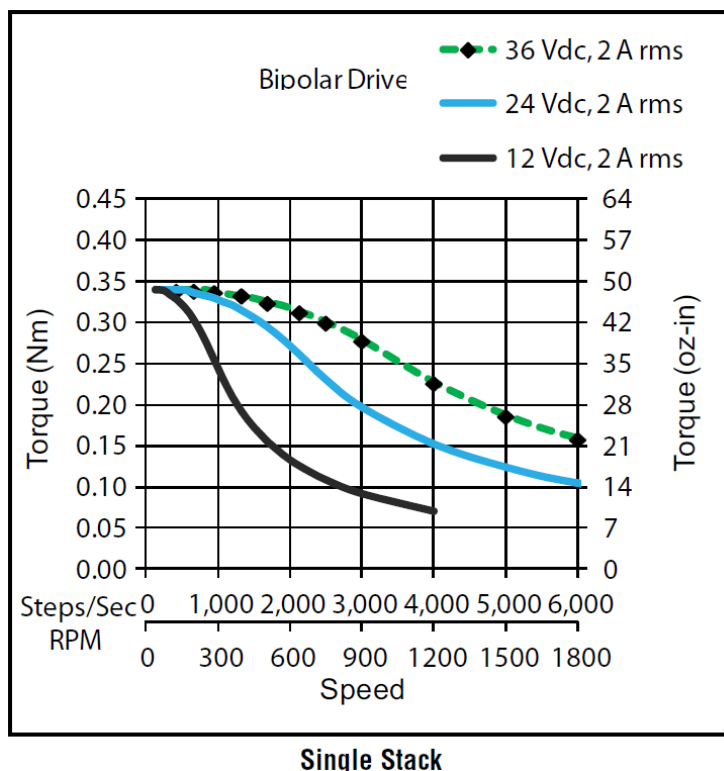
Další typ plynových laserů jsou lasery excimerové, které jsou nejdůležitější plynové lasery pro ultrafialovou oblast. Pokud je aktivní prostředí v základním stavu, tak se jeho složky navzájem odpuzují, tudíž tento laser může existovat pouze v excitovaných elektronových stavech. Jeho záření má velmi malou absorpční hloubku ve tkáni, proto se opět využívá v medicíně na odstraňování mikroskopických vrstev tkáně (Kusala, 2004).

1.3 KROKOVÝ MOTOR

Krokové motory se nejčastěji využívají v průmyslu pro přesný pohyb stroje bez dalších zpětných vazeb. Pro modelářské účely je krokový motor také vyhovující z důvodu nízké ceny a malých nákladů na údržbu.

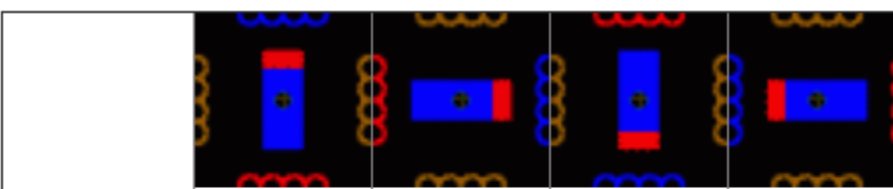
1.3.1 Princip

Krokový motor je speciální synchronní motor, kde se točivé magnetické pole v rotoru točí stejně velkou rychlostí jako točivé magnetické pole ve statoru. Vytváření tohoto točivého magnetického pole se neděje pomocí střídavého proudu, ale pomocí buzení jednotlivých cívek statoru v určitý čas. S rychlostí přepínání cívek můžeme určovat rychlost otáček krokového motoru, které jsou v řádu stovek otáček za minutu. Při vyšších otáčkách motoru může docházet k tzv. přeskočení kroku z důvodu poklesu krouticího momentu (viz obr. 1.12).



Obr. 1.12 – Charakteristika krouticího momentu (PBC Linear, 2014)

Základní princip pohybu si můžeme vysvětlit na obr. 1.13, kde nám v první poloze prochází proud první a třetí cívkou a tím nám vzniká magnetický tok, který teče oblastí s nejnižším magnetickým odporem, tedy rotorem. Druhou a čtvrtou cívkou v tuto dobu neprotéká žádný proud. Při přepnutí na druhou polohu se nám aktivuje druhá a čtvrtá cívka, které vytvoří magnetický tok na jiném místě. Tím pádem se rotor natočí tak, aby opět kladl co nejnižší magnetický odpor. Ve zbývajících dvou polohách jde pouze o otočení polarity cívek.



Cívka 1	-	0	+	0
Cívka 2	0	-	0	+
Cívka 3	+	0	-	0
Cívka 4	0	+	0	-

Obr. 1.13 – Řízení krokového motoru (Řezáč, 2002)

Na rozdíl od ostatních synchronních motorů má krokový motor nespojitý průběh, kdy rotor může dosahovat pouze určitý počet stavů neboli kroků. Krokové motory mají většinou rozlišení okolo 200 kroků na otáčku. Rozlišení jde poté ještě navýšit použitím driveru motoru, který umožňuje mikrokrokování.

1.3.2 Typy krokových motorů

Motor s variabilní reluktancí

Stator tohoto motoru se skládá z vrstev izolovaných ocelových plechů vytvarovaných do šesti pólů A/A', B/B' a C/C' na které se navijí měděný drát (viz obr. 1.14). Pro udržení plechů pohromadě se stator umísťuje do pláště. Rotor z měkkého železa s řadou zubů je připojen k hřídeli, která je v ložiskách na obou koncích motoru. Po připojení proudu na vinutí statoru se vytvoří magnetické pole v páru pólů a rotorové zuby, které jsou nejbliž, se přitáhnou k pólu statoru. Pokud se proud tekoucí prvním vinutím přeruší a proud začne téct dalším vinutím, rotor vykoná jeden krok. Pro otočení směru otáčení se musí poslat sekvence pulsů

v opačném směru. Tento typ krokového motoru může docílit vysoké rychlosti otáček, zato s menším točivým momentem, tudíž se tento motor moc často nepoužívá.



Obr. 1.14 – Princip krokového motoru s variabilní reluktancí
(Pohonná technika, 2013)

Motor s permanentními magnety

Motor s permanentním magnetem na rozdíl od motoru s variabilní reluktancí, se skládá z rotoru bez zubů a s trvalým magnetem (viz obr. 1.15). Stator je tvořen dvěma polovinami desek, které jsou vyrobeny z oceli s vyraženými zuby ohnutými kolem rotoru. Kolem těchto zubů je pak navinuta cívka měděného drátu, kde se při přivedení proudu na příslušný pár cívek otočí motor opět o jeden krok. Na obrázku níže můžeme vidět motor s třemi jižními a třemi severními póly rotoru, kde je krokový úhel 30° . Pokud ale zvětšíme počet pólů, bude mít motor lepší krokový úhel s vysokým momentem a dobrým tlumením.



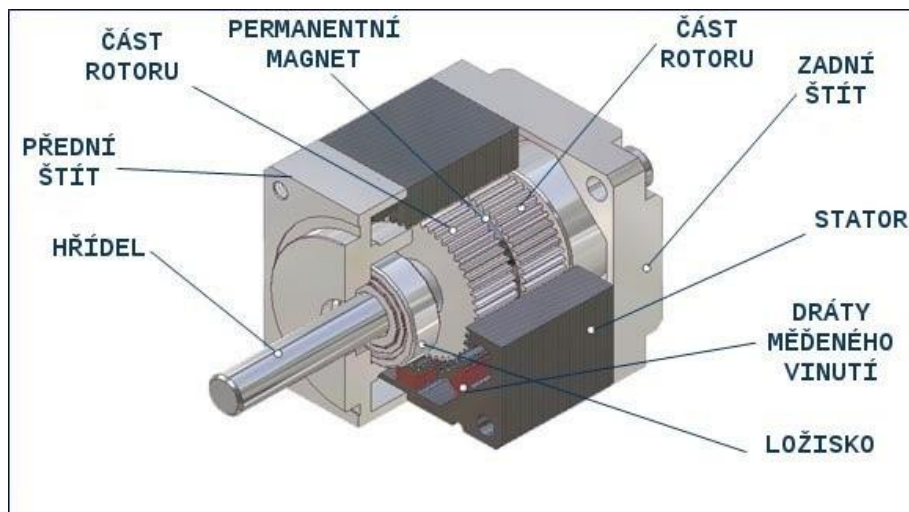
Obr. 1.15 – Princip krokového motoru s permanentním magnetem
(Pohonná technika, 2013)

Hybridní krokový motor

Hybridní krokový motor se skládá ze dvou hlavních částí, a to ze statoru a rotoru (viz obr. 1.16). Stator je tvořen sadou cívek. U našeho krokového motoru jsou to cívky čtyři, a to cívky A+/A- a cívky B+/B-, protože používáme dvoufázový krokový motor s bipolárním zapojením. Pólové nástavce statoru mají vroubkování se stejnou roztečí, jako je rozteč vroubkování u laminátových polovin rotoru.

Krokový motor je dále tvořen rotorem s hřídelí usazenou na kuličkových ložiskách a dvěma laminátovými polovinami, které jsou rozděleny na severní a jižní pól. Obě laminátové poloviny jsou pootočené tak, aby ozubení na severní straně odpovídalo vybrání zubů na jižní straně.

Mezi laminátovými polovinami se ještě nachází permanentní magnet z neodymu, který nám právě zajišťuje rozdělení na severní a jižní pól a v současné době patří mezi nejsilnější trvalé magnety i při malých rozměrech.



Obr. 1.16 – Průřez hybridním krokovým motorem (Palla, 2014)

1.3.3 Řízení krokového motoru

Jednofázové řízení

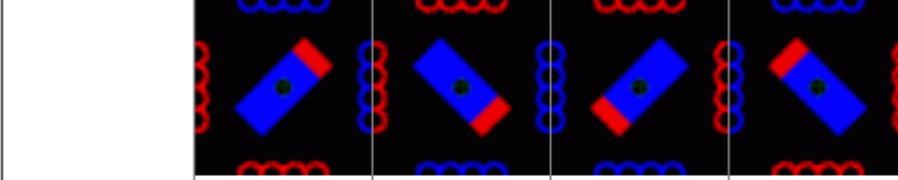
U jednofázového řízení se generuje magnetické pole pouze pomocí jedné cívky při unipolárním zapojení nebo případně pomocí jedné dvojice cívek při bipolárním zapojení (viz obr. 1.13).

Dvoufázové řízení

U dvoufázového řízení se generuje shodně orientované magnetické pole pomocí dvou sousedních cívek (viz obr. 1.17). Tato metoda nám přináší vyšší krouticí moment, ale mezi nevýhody patří dvojnásobná spotřeba oproti jednofázovému řízení.

Bipolární řízení s plným krokem

Při řízení s plným krokem potřebujeme na otáčku přesně tolik kroků, kolik zubů má stator krokového motoru.

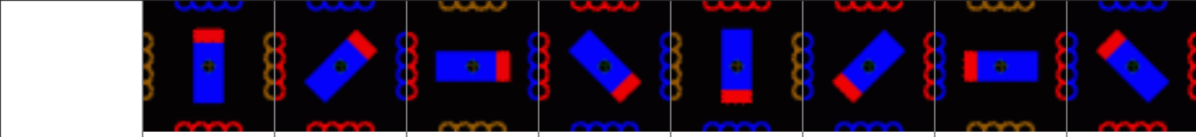


Cívka 1	-	+	+	-
Cívka 2	-	-	+	+
Cívka 3	+	-	-	+
Cívka 4	+	+	-	-

Obr. 1.17 – Bipolární řízení s plným krokem (Řezáč, 2002)

Bipolární řízení s polovičním krokem

Řízením polovičním krokem dosáhneme střídáním kroků s jednofázovým a dvoufázovým řízením (viz obr. 1.18). Dosáhneme díky tomu dvojnásobné přesnosti.



Cívka 1	-	-	0	+	+	+	0	-
Cívka 2	0	-	-	-	0	+	+	+
Cívka 3	+	+	0	-	-	-	0	+
Cívka 4	0	+	+	+	0	-	-	-

Obr. 1.18 – Bipolární řízení s polovičním krokem (Řezáč, 2002)

1.3.4 Nestabilita polohy krokového motoru

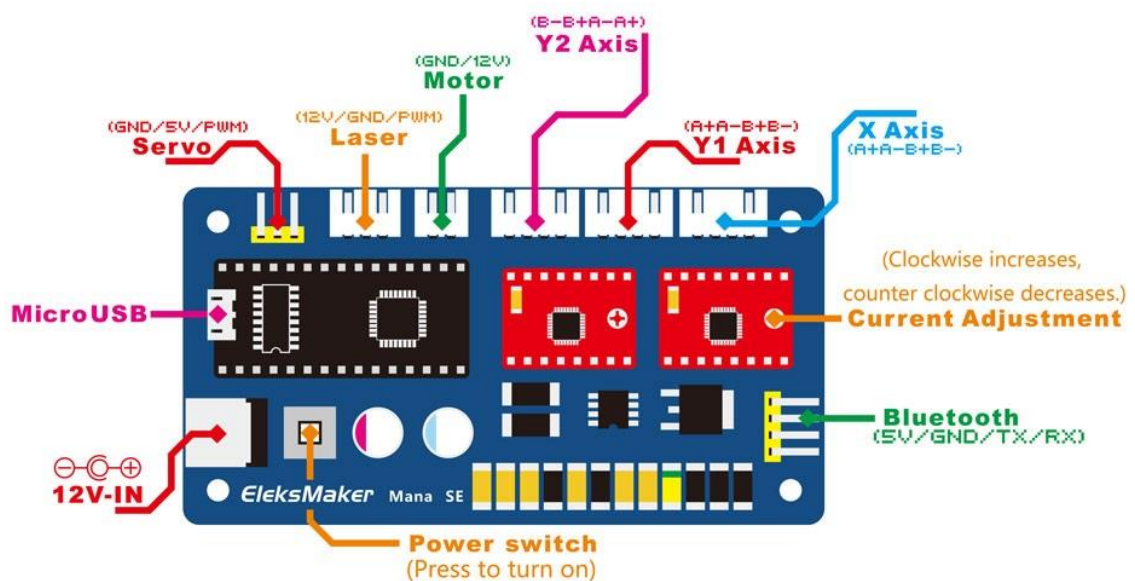
Mezi problémy krokových motorů patří nestabilita středního rozsahu. Tento problém zjistíme tak, že při konkrétní frekvenci dochází ke snižování krouticího momentu. Důvodem tohoto problému je vzájemné působení frekvence vlastní rezonance motoru při jeho pohybu. Pokud se krokový motor dostane do nestabilního bodu, může nastat, že dojde k nadměrnému

fázovému zpoždění účinného proudu v každé cívice a poté ke snížení nebo odstranění tlumících účinků, které nám zabraňují v rezonanci motoru (Filip, 2013).

U krokových motorů s plným krokem je právě plynulost a stabilita pohybu nejhorší, za to u krokových motorů používajících mikro kroky je plynulost a stabilita pohybu nejlepší, to si poté vysvětlíme u driverů pro krokové motory (viz kap. 1.6).

1.4 ŘÍDICÍ DESKA ELEKTRONIKY

Řídicí deska je určena pro laserové gravírování či laserové řezání různých materiálů a skládá se z tří hlavních částí (viz obr. 1.19). Skládá se ze základní desky, upravené verze Arduino Nano a nakonec z driverů A4988 pro krokové motory. Dále se na řídicí desce nacházejí pro nás potřebné konektory pro připojení napájení, laseru a krokových motorů. Tato řídicí deska podporuje pohyb ve dvou osách X a Y. Osa Z je při používání laseru zbytečná, protože laser má svůj způsob zaostřování laserového paprsku. Řídicí deska je napájena pomocí 12V zdroje a celá deska komunikuje s PC pomocí Micro USB.



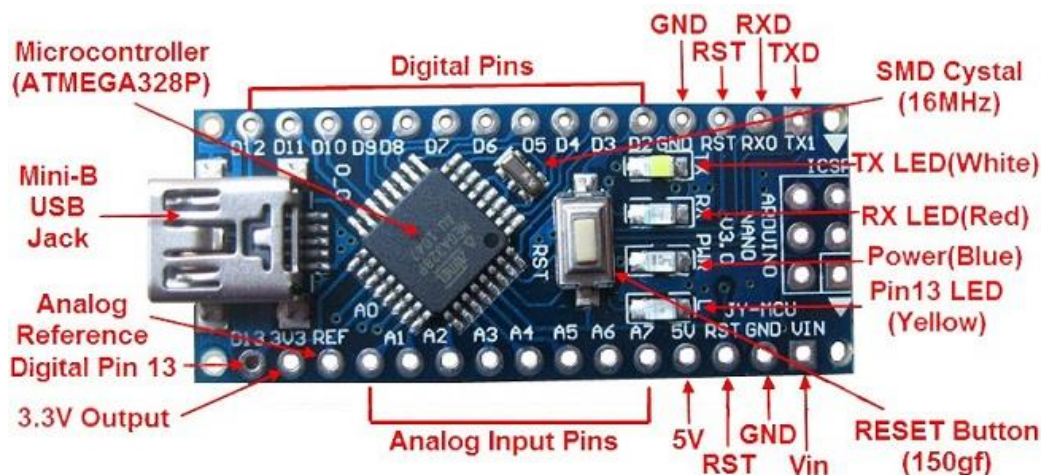
Obr. 1.19 – Popis řídicí desky Mana SE (Banggood, 2016)

1.5 ARDUINO NANO

Arduino Nano, jak už z názvu vyplývá, je zmenšená verze Arduino Uno s čipem ATmega328P, které chybí pouze napájecí konektor a tím pádem komunikuje a je napájena pouze přes Micro USB konektor. Tím, že Arduino Nano používá stejný čip jako Arduino Uno, mají tyto dvě desky stejnou velikost paměti a frekvenci krystalů 16 MHz.

1.5.1 Vstupy a výstupy

Arduino Nano má celkem 22 pinů (viz obr. 1.20). Digitálních pinů je zde 14 a lze je použít jako vstup nebo výstup pomocí funkcí `pinMode`, `digitalWrite` a `digitalRead`. Zbýlých 8 pinů jsou analogové vstupy, z nichž každý vstup poskytuje 10bitové rozlišení neboli 1024 různých hodnot. Pracovní napětí pinů je 5 V a maximální proudové zatížení každého pinu je 40 mA. Mezi další vlastnosti pinů patří interní pull-up rezistor s hodnotou kolem 20 až 50 k Ω , který je ve výchozím nastavení odpojen. Kromě těchto vlastností mají některé piny specializované funkce. Například 6 ze 14 digitálních pinů poskytují 8b PWM výstup pomocí funkce `analogWrite`. Dále tu máme pin s referenčním napětím pro analogové vstupy, kdy se používá `analogReference` (Smolík, 2011).



Obr. 1.20 – Popis desky Arduino Nano (ePro Labs, 2016)

1.5.2 Paměť mikropočítače ATmega328P

Jeho hlavní flash paměť tvoří 32 KB a z toho 2 KB používá zavaděč. Flash paměť je místo, kam se ukládá program a jeho používané knihovny. Mezi další paměti zde patří 2KB SRAM, kde se program vytváří a manipuluje se s proměnnými při spuštění. Nakonec se zde nachází 1KB EEPROM, kterou mohou programátoři využít k ukládání dlouhodobých informací. Paměť flash a EEPROM jsou paměti nevolatilní, to znamená, že při vypnutí napájení informace zůstávají uloženy. Naopak paměť SRAM je volatilní a při výpadku napájení se informace ztratí (Smolík, 2011).

1.5.3 Komunikace s osobním počítačem

Další důležitá vlastnost Arduina Nano je komunikace s PC či různými dalšími zařízeními. Tuto vlastnost nám zajišťuje UART TTL sériová komunikace, kterou najdeme na digitálních pinech 0 (RX) a 1 (TX). Tyto piny jsou dále propojeny s FTDI čipem. FTDI čip FT232RL nám na desce Arduina slouží k sériové komunikaci s PC přes Micro USB a ovladače FTDI nám slouží k vytvoření virtuálního COM portu. Tento FTDI čip nám slouží pouze tehdy, je-li deska Arduina napájena přes Micro USB (Smolík, 2011).

1.5.4 Napájení desky řídicí elektroniky

Mimo Micro USB konektor lze řídicí desku Arduino Nano napájet 6 až 20 V pomocí neregulovaného externího napájení přes pin 30 nebo pomocí 5V regulovaného externího napájení přes pin 27. Po připojení všech napájení je automaticky vybráno jako zdroj nejvyšší napětí (Smolík, 2011).

1.6 DRIVER KROKOVÉHO MOTORU - A4988

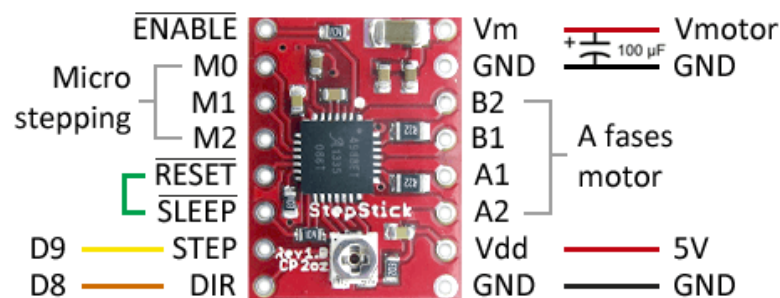
A4988 je driver s podporou mikrokrokování pro řízení bipolárních krokových motorů (viz obr 1.21), který má zabudovaný překladač pro snadnou obsluhu. To znamená, že můžeme řídit krokový motor s pouhými dvěma vývody z našeho regulátoru nebo jeden vývod pro ovládání směru otáčení a druhý vývod pro ovládání kroků.

Tento konkrétní driver nabízí pět různých rozlišení, a to řízení s plným krokem, polovičním krokem a poté i krok rozdělený na čtyři, osm i šestnáct kroků. Driver také obsahuje

potenciometr pro nastavení výstupního proudu, tepelnou ochranu při přehřátí a ochranu proti přechodovému proudu.

Logické napětí driveru je od 3 V do 5,5 V, kde z Arduina Nano dostáváme napětí 5 V a maximální proud driveru na fázi jsou 2 A při dostatečném chlazení čipu nebo 1 A kontinuálního proudu na fázi bez přídavného chlazení (Nedelkovski, 2015).

1.6.1 Vstupy a výstupy



Obr. 1.21 – Popis driveru krokového motoru – A4988 (Llamas, 2016)

A4988 - Pin ENABLE

Tento vstup zapíná nebo vypíná všechny FET výstupy. Při nastavení na logickou hodnotu 1 jsou výstupy vypnuté. Při nastavení úrovně na logickou hodnotu 0 umožňuje interní řízení výstupy nastavit podle potřeby. Překladač zadává příkaz STEP a DIR. Piny MSx, stejně jako interní sekvenční logika, zůstávají aktivní nezávisle na stavu vstupu.

A4988 - Piny MS0-2

Tyto tři piny slouží pro výběr jednoho z pěti stupňů rozlišení podle níže uvedené tab. 1.1. Piny mají vnitřní pull-down odpory, takže při odpojení všech tří pinů bude řídicí deska pracovat v režimu plného kroku.

Tab. 1.1 – Možnosti nastavení driveru

MS1	MS2	MS3	Rozlišení
LOW	LOW	LOW	Plný krok
HIGH	LOW	LOW	Poloviční krok
LOW	HIGH	LOW	Čtvrtinový krok
HIGH	HIGH	LOW	Osminový krok
HIGH	HIGH	HIGH	Šestnáctinový krok

A4988 - Pin RESET

Pin RESET nastaví překladače do předdefinovaného domovského stavu a vypne všechny výstupy FET. Všechny vstupy STEP jsou ignorovány až do doby, než je vstup RESET nastaven na logickou hodnotu 1.

A4988 - Pin SLEEP

Pin SLEEP nám slouží pro minimalizaci spotřeby energie při nečinnosti stroje. Logická hodnota 0 na pinu SLEEP nám uvede driver do režimu spánku. V tomto režimu se deaktivuje většina vnitřních obvodů včetně výstupních FET obvodů a regulátoru napětí. Logická hodnota 1 nám poté opět dovoluje normální provoz.

A4988 - Pin STEP

Při přechodu z logické hodnoty 0 na logickou hodnotu 1 na vstupu STEP postupuje signál překladačem a posune motor o jeden přírůstek. Překladač řídí vstup do DAC (digitálně analogový převodník) a směr proudu v každém vinutí. Velikost přírůstku je určen kombinovaným stavem MSx vstupů.

A4988 - Pin DIR

Tento pin DIR nám určuje směr otáčení motoru. Změny na tomto vstupu se ale projeví až při příchodu vzestupné hrany.

A4988 - Napájecí piny

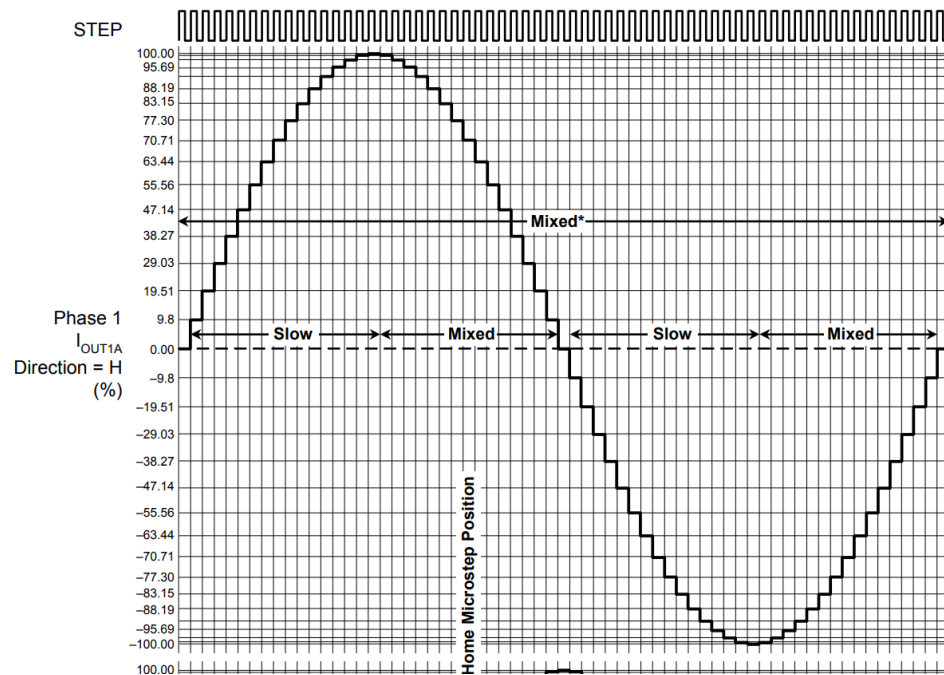
Mezi další piny patří piny VMOT a VDD. Pin VMOT je potřeba připojit k napájecímu zdroji od 8 V do 35 V a slouží nám k napájení krokového motoru. U tohoto pinu je také nutné použít oddělovací kondenzátor mezi VMOT a GND s minimálně 47 μF pro ochranu driveru od napěťových špiček. Druhý pin VDD nám slouží k napájení driveru, kde je potřeba od 3 V do 5,5 V.

A4988 - Piny 1A, 1B, 2A, 2B

Tyto piny nám slouží k připojení bipolárního motoru. Pomocí pinů 1A a 1B se zapojuje první cívka krokového motoru a pomocí pinů 2A a 2B ta druhá cívka krokového motoru.

1.6.2 Mikrokrokování

Mezi nejdůležitější vlastnost driveru patří možnost mikrokrokování. Na rozdíl od pohybu po celých krocích a půlkrocích, kde se krokový motor pohybuje při tvarovém kmitu poněkud hrubě, se nám při pohybu po mikrokrocích začne vytvářet skoro sinusoidní signál (viz obr. 1.22). Čím víc se nám začne tvarový kmit podobat sinusoidě, tím budeme mít hladší, přesnější a tišší způsob ovládání krokového motoru.



Obr. 1.22 – Signál krokového motoru s driverem A4988 (Allegro MicroSystems, 2012)

Krokový motor se může pohybovat dopředu a dozadu pomocí střídání fáze. Jeden krok u krokových motorů ve většině případů znamená jedno pootočení o 90 elektrických stupňů a 1,8 mechanického stupně. Takže pro jedno celé mechanické otočení s 1,8 stupňovým krokem ujdou krokové motory 200 kroků. Tohle základní rozlišení poté můžeme pomocí driveru rozšířit až na 3 200 kroků na jedno otočení krokového motoru. Rozlišení krokových motorů v tomto případě není to samé jako přesnost krokových motorů. Je to dané mechanickou odezvou krokového motoru na výstupní signály zesilovače, která není lineární a magnetické pole vytvářející krouticí moment motoru také není ideálně nepoddajné (Filip, 2013).

1.6.3 Další vlastnosti A4988

Mezi ostatní vlastnosti driveru patří například automatická detekce, výběr režimu tlumení (Slow, Mixed, Fast), synchronizace chodu krokových motorů, režim nízké spotřeby energie, tepelnou ochranu výkonových obvodů a ochranu proti nadměrnému zkratovému proudu.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

V této části se budeme věnovat vybíráním materiálů a komponentů pro konstrukci celého CNC laseru a jeho ovládání pomocí bezplatného software.

2.1 SOFTWARE OSOBNÍHO POČÍTAČE

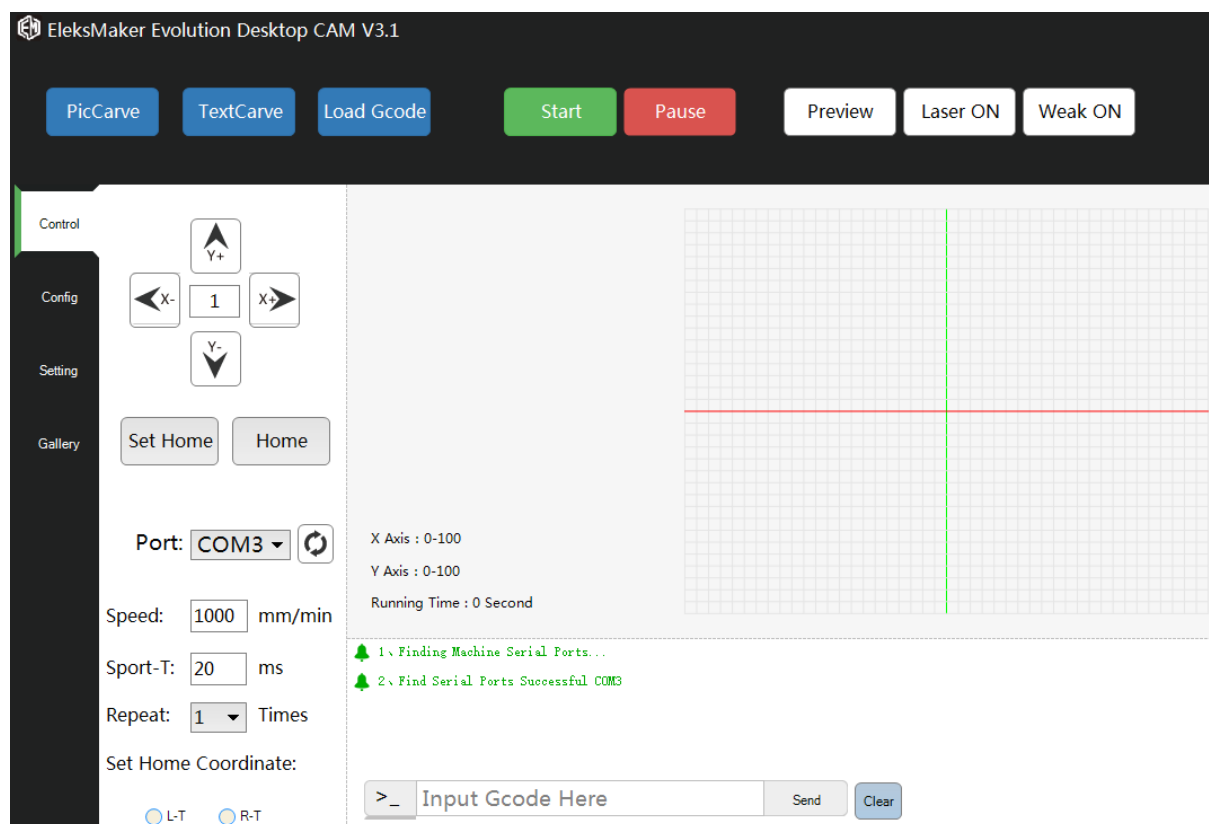
Pro ovládání CNC laseru existuje mnoho různých software, které jsou jak zdarma, tak existují i placené verze. Placený software bývá většinou více propracovaný a umožňuje nám více možností nastavení CNC laseru. V této práci budu využívat bezplatný software EleksCAM, který je od výrobce Eleksmaker, odkud je i řídicí deska Mana SE. Jak už bylo řečeno, bezplatný software neumožňuje takovou možnost nastavení jako placený software, tudíž zde například nejde tolik pracovat s koncovými spínači, například při hledání referenčních bodů. Na začátku práce se strojem se musí ručně nastavit poloha os na počátek a poté pomocí parametrů \$130 a \$131 nastavit maximální možnou dráhu osy. Koncové spínače poté po sepnutí jen hlásí chybu a stroj zastaví.

2.1.1 Prostředí programu EleksCAM

Prostředí programu je velice jednoduché a intuitivní. Na obr. 2.1 můžeme vidět rozložení horního panelu, kde první modré tlačítko slouží pro načtení obrázku, který program následně převede do G kódu. Dalším tlačítkem můžeme vygenerovat libovolný text různého formátování. Třetí tlačítko slouží pro načtení už předem připraveného G kódu, který byl převeden například ze softwaru Auto CAD, kde si můžeme nakreslit například výkres na celou pracovní plochu CNC laseru a tím ušetřit místo i materiál při řezání laserem. Jako další tu jsou tlačítka pro začátek řezání či gravírování a tlačítko na pozastavení běžícího programu. Mezi poslední patří velmi užitečné tlačítko, kdy nám program pomocí laseru ukáže velikost například gravírovaného obrázku a tím pádem zjistíme, či se nějaká z os nezastaví při práci o koncové spínače. Poslední dvě tlačítka z horního panelu jsou pro zapnutí a vypnutí, buď plného výkonu laseru, nebo slabého výkonu laseru, který se většinou používá pro nastavení zaostření laseru.

Na levém panelu se potom nacházejí čtyři záložky. První je pro ovládání CNC laseru, kde můžeme například po krocích posouvat s jednotlivými osami a nastavit jejich počáteční souřadnice a další parametry pro pohyb os. Další dvě záložky jsou pro nastavení dalších

parametrů CNC laseru nebo slouží například pro resetování ROM paměti mikropočítače a nahrání aktuální verze GRBL.



Obr. 2.1 – Prostředí programu EleksCAM

2.1.2 Propojení řídicí desky s PC

Pro správnou komunikaci mikropočítače s PC je potřeba nainstalovat driver, který se dá nainstalovat přímo z programu. Po instalaci driveru už uvidíme v našem případě COM3 (viz obr. 2.1), u každého počítače to může být jiné číslo. Poté můžeme úspěšně propojit mikropočítač s PC a začít s komunikací.

Další na řadě je načtení nejnovějšího firmware do ROM paměti mikropočítače pro správné fungování CNC laseru. Načíst firmware můžeme opět přímo z programu v záložce Setting. Po těchto dvou krocích by naše zařízení mělo fungovat.

V některých případech může dojít na problém přímo ve Windows, kdy je jako výchozí oddělovač nastavena čárka. Jenže G kód pracuje pouze s tečkami. Tudiž při načtení obrázku a vygenerování G kódu s čárkami se při začátku gravírování zapne pouze laser pomocí příkazu M3 a potom už program kódu nerozumí a krokové motory stojí na místě. Při změně čárek na tečky v nastavení Windows se tento problém okamžitě odstraní a vše funguje správně.

2.2 FIRMWARE MIKROPOČÍTAČE GRBL

Volně šiřitelný firmware GRBL se používá pro řízení modelářských CNC strojů pomocí G kódu, jako je tomu i u profesionálních CNC strojů. Využívají je právě ti, kteří chtějí mít vlastní CNC stroj za minimální náklady.

Firmware GRBL pracuje s podmnožinou standardu RS274 a dokáže pracovat s většinou CAM programů bez jediné chyby, protože program je napsán modulárně. GRBL dokáže komunikovat s PC pomocí USB portu bez dalších zvláštních vlastností.

Tento firmware je určený pro platformu Arduino a komunikuje většinou s procesorem ATMEGA328P, který se nachází na desce Arduino Uno nebo Arduino Nano. Díky vlastnostem těchto čipů dokáže program přesně načasovat výstupní signály i s krokovací frekvencí větší než 30 kHz. V programu je také zakomponováno inteligentní řešení akcelerace a decelerace rychlosti pohybu všech os a díky tomu může CNC stroj dosahovat větších pracovních rychlostí bez ztráty pozice při rychlé změně směru pohybu.

GRBL může pracovat v XYZ souřadném systému bez rotačních os. Celkové množství G kódů je omezeno na základní příkazy z důvodu předpokládaného nevyužití všech příkazů u modelářských CNC strojů (Robodoupě, 2016).

2.2.1 Konfigurace parametrů

Pro správné fungování CNC stroje se musí nakonfigurovat parametry dle potřeby pomocí příkazového řádku v prostředí programu. Většina parametrů se může upravovat přímo za běhu programu. Soubor s konfigurací se ukládá do EEPROM paměti a je přenositelný mezi další verze GRBL. Konfigurace parametrů lze načíst přímo z programu v záložce Setting, kde vybereme řídicí desku Mana SE a při stisku tlačítka Select Machine vybereme mód Elekslaser, při kterém se nám nastaví základní parametry pro běh CNC laseru (viz obr. 2.2). Tyto základní parametry je ale většinou potřeba upravit podle konstrukce našeho CNC laseru. Například pro správný pohyb jednotlivých os je potřeba nastavit parametr pro invertování pohybu osy tak, aby při pohledu na CNC laser z přední strany šla osa X od nulové hodnoty zleva doprava a osa Y ze zdola nahoru.



Obr. 2.2 – Výběr módu zařízení

\$0 – Step pulse

Tento parametr je spojený s námi užívaným driverem a nastavujeme s ním minimální délku kroku. Základní hodnota je 10 μ s a při velkém zvětšení této hodnoty mohou nastat problémy, takže v praxi se tato hodnota nemění (Libáň, 2017).

\$1 – Step idle delay

Pomocí této hodnoty parametru se řídí prodleva pro vypnutí napájení u krokových motorů. Základní hodnota je 25 s, to znamená, že po vykonání pohybu jsou krokové motory po dobu 25 s pod napětím a tím pádem zabrzděné. Po uplynutí této doby se napájení vypne a může nastat problém, že si omylem při manipulaci se strojem pohneme s jednou z os a ztratíme tak nastavení velikosti pracovní plochy (Libáň, 2017).

\$2 – Step port invert

Tato hodnota určuje logické úrovně pro řízení driverů u krokových motorů, neboli dokáže invertovat jednotlivé signály STEP. Pro uložení do firmwaru se využívá hodnota Setting Value podle tab. 2.1 (Libáň, 2017).

Tab. 2.1 – Nastavení invertování signálu STEP

Hodnota parametru	Invertování osy X	Invertování osy Y
0	N	N
1	Y	N
2	N	Y
3	Y	Y

\$3 – Direction port invert

Nastavením tohoto parametru lze invertovat signál DIR pro řízení směru pohybu os. Pro vybrání správné hodnoty použijeme hodnoty z tab. 2.1 (Libáň, 2017).

\$4 – Step enable invert

Tento parametr dokáže invertovat logickou úroveň pro zapnutí driverů krokových motorů. Přednastavená hodnota je 0, pro invertování je potřeba změnit hodnotu na 1, ale většinou tento parametr bývá nezměněn (Libáň, 2017).

\$5 – Limit pins invert

Používá se pro invertování logiky vyhodnocování koncových spínačů. Pokud se objeví na vstupu koncového spínače logická 1, program to vyhodnotí jako rozpojený kontakt. Po přivedení LOG 0 se v programu ukáže sepnutí určitého koncového spínače. Po změně tohoto nastavení je třeba restartovat procesor pro užití této změny (Libáň, 2017).

\$10 – Status report

U tohoto nastavení určujeme, jaká data jsou zpětně zobrazována v programu. Základní hodnota je 1, kdy se odesílá pouze současná poloha laserové hlavy. Máme ale možnost zobrazovat více parametrů za cenu zhoršení latence stroje. Z tohoto důvodu se doporučuje používat co nejméně těchto dat (Libáň, 2017).

Tab. 2.2 – Nastavení výstupní kontroly

Parametr	Hodnota
Poloha laserové hlavy	1
Pracovní pozice	2
Plánovač vyrovnávací paměti	4
RX vyrovnávací paměť	8
Koncové spínače	16

V tab. 2.2 můžeme vidět hodnoty pro nastavení výstupní kontroly. Pokud chceme například zobrazit pozici laserové hlavy a stav koncových spínačů, musíme zadat hodnotu 17.

\$11 – Junction deviation

Tento parametr nám udává, kdy má krokový motor začít brzdit před prudkou změnou směru, aby zabránil ztrátě kroků motoru. Pokud nám tedy bude docházet při změně směru ke ztrátě kroků, je dobré tuto hodnotu zmenšit (Libáň, 2017).

\$12 – Arc tolerance

Tímto parametrem nastavujeme, jak nám bude program vykreslovat kruhové objekty. Program nám nikdy nevykreslí dokonalou kružnici, ale vždy vykreslí křivku. Zmenšením hodnoty se nám bude kružnice vykreslovat přesněji, ale z důvodu většího počtu křivek na kružnici může dojít k výpočetnímu zatížení a tím pádem ke zpomalení (Libáň, 2017).

\$20 – Soft limits

S tímto parametrem povolujeme softwarové koncové polohy. Pro povolení musíme mít zajištěné referování všech os pomocí koncových spínačů. Následný načtený kód se poté analyzuje a zjistí, zda se některá z os nedostane mimo pracovní prostor stroje a případně vypne laser a pohyb stroje (Libáň, 2017).

\$21 – Hard limits

Tento parametr je podobný parametru \$20 tím, že místo softwarových koncových spínačů používá fyzické koncové spínače. Při spuštění programu nedochází k analýze kódu a tím pádem po najetí na koncový spínač dochází ke spuštění alarmu a celkovému zastavení stroje. Pro vypnutí alarmu je nutné resetovat celý stroj a zadat nové referenční body z důvodu možnosti ztracení kroku motoru (Libáň, 2017).

\$22 – Homing cycle

Při povolení tohoto parametru musíme při každém spuštění stroje provést referenci všech os. Je to z důvodu možnosti používat tlačítko Home. Pokud budeme mít tento parametr nastaven na hodnotu 0 a pokusíme se stisknout tlačítko Home, hlásí program chybovou hlášku (Libáň, 2017).

\$23 – Homing dir invert

Změnou tohoto parametru můžeme určit, jakým směrem se budou pohybovat osy při hledání referenčních bodů. V základním nastavení se osy pohybují směrem do kladných hodnot. Pro změnění tohoto nastavení stačí použít opět pravdivostní tabulku z parametru \$2 (Libáň, 2017).

\$24 – Homing feed, \$25 – Homing seek

Při hledání referenčních bodů se osa pohybuje rychlostí nastavenou pomocí parametru \$25 a při sepnutí koncového spínače se osa nepatrně vrátí a sníží rychlost, aby se zvýšila přesnost nalezení polohy referenčního bodu. Tato rychlost se poté nastavuje pomocí parametru \$24 (Libáň, 2017).

\$26 – Homing debounce

Při sepnutí koncového spínače může dojít k zákmitům a trvá mu pár ms, než se ustálí v sepnutém stavu. Protože by tyto zákmity mohl procesor detekovat, zavádí se pro eliminování tohoto jevu krátká prodleva. Tato hodnota parametru bývá nastavena na 250 ms (Libáň, 2017).

\$32 – Laser mode

Ve výchozím nastavení je GRBL nastaveno pro práci s CNC frézou, proto musíme toto nastavení přepnout na práci s CNC laserem, kde se poté bude laser pohybovat pomocí příkazů G1, G2 a G3 (Libáň, 2017).

\$100, \$101 – XY steps/mm

Tento parametr patří mezi nejdůležitější parametry. Nastavujeme si pomocí něho počet kroků na 1 mm pohybu na dané ose. Na tento parametr existují i kalkulačky, které po zadání parametrů stroje vypočítají ideální hodnotu (Libáň, 2017).

\$110, \$111 – XY Max rate

Těmito parametry můžeme nastavit maximální rychlost jednotlivých os. Používá se ideálně hodnota, při které mají motory dostatečně velký kroučící moment (Libáň, 2017).

\$120, \$121 – XY Acceleration

Tyto parametry jsou pro nastavení akcelerace jednotlivé osy. Ideální je vyzkoušet jednotlivé osy při maximální možné akceleraci, kdy se začínají ztrácet kroky u krokového motoru a poté tento parametr o 10 až 20 % snížit (Libáň, 2017).

\$130, \$131 – XY Max travel

Pomocí tohoto parametru nastavujeme softwarové koncové polohy neboli velikost pracovní plochy. Pro správnou funkčnost tohoto parametru musí být zapnut parametr \$22 (Libáň, 2017).

2.3 MECHANICKÁ KONSTRUKCE

Pro samotnou mechanickou konstrukci bylo potřeba zhodnotit použití různých materiálů pro správné fungování celého CNC stroje. Hodnotila se hlavně cena, ale zase ne až tak ve velké míře, aby to mohlo ovlivnit přesnost pohybu CNC stroje. Vybrané hliníkové díly pro konstrukci rámu a os byly upraveny v dílně podle potřeby.

2.3.1 Lineární vedení

Důležitou věcí pro sestavení os CNC stroje je lineární vedení. U lineárního vedení očekáváme velkou tuhost bez možnosti průhybu osy a co nejmenší třecí odpor při pohybu vozíků s ložisky. Také je důležité mít lineární vedení pevně spojeno s rámem CNC stroje, aby nedošlo k nežádoucímu pohybu osy.

Nepodepřené tyče

Jako lineární vedení byly vybrány nepodepřené tyče (viz obr. 2.3). Tyto broušené tyče jsou na povrchu kalené asi do 5 mm. Patří mezi nejpoužívanější lineární vedení u modelářských CNC strojů. Na osu X byly použity dvě tyče s průměrem 12 mm o délce skoro půl metru a na ose Y s průměrem 16 mm, což zajišťovalo tuhost celé osy bez sebemenšího průhybu i při délce přesahující jeden metr.



Obr. 2.3 – Nepodepřené tyče (Robolink, 2015)

2.3.2 Pohyb lineárního vedení

Pro pohyb lineárního vedení musíme zajistit správný převod z rotačního pohybu krokových motorů do pohybu posuvného. To zajistíme pevným uchycením krokového motoru k dané ose, aby nedocházelo k přeskokování kroků nebo nepřesnosti pohybu dané osy. Mezi vhodné pohyby lineárního vedení patří například ozubený řemen.

Ozubený řemen

Díky dobrým vlastnostem byl pro pohyb lineárního vedení vybrán ozubený řemen GT2 (viz obr. 2.4). Při napínání nedochází k nežádoucímu propínání řemenu z důvodu kovových lanek uvnitř řemenu po celé jeho délce. Tento ozubený řemen má šířku 6 mm s oblými zuby, které mají rozteč 2 mm.



Obr. 2.4 – Ozubený řemen GT2 (Banggood, 2016)

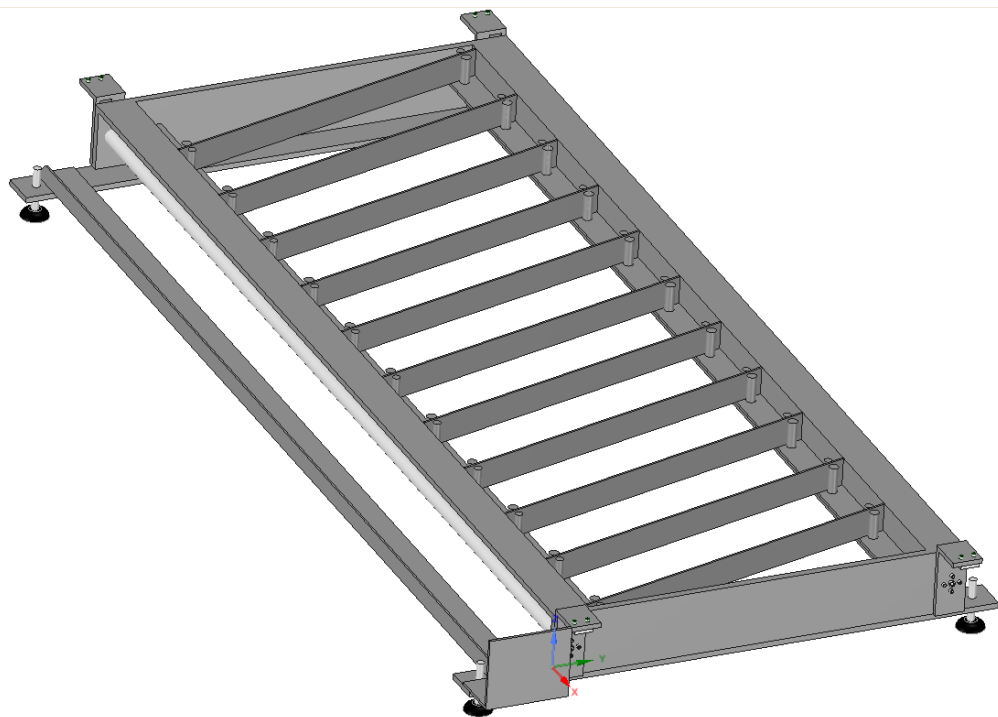
Pro správné napnutí řemenu byly použity napínáky, které pomáhají k co největšímu obepnutí řemenu kolem řemenice (viz obr. 2.5). To nás chrání před přeskokováním kroku. Tyto napínáky byly vytvořeny doma v dílně na soustruhu.



Obr. 2.5 – Napínáky řemenu

2.3.3 Rám

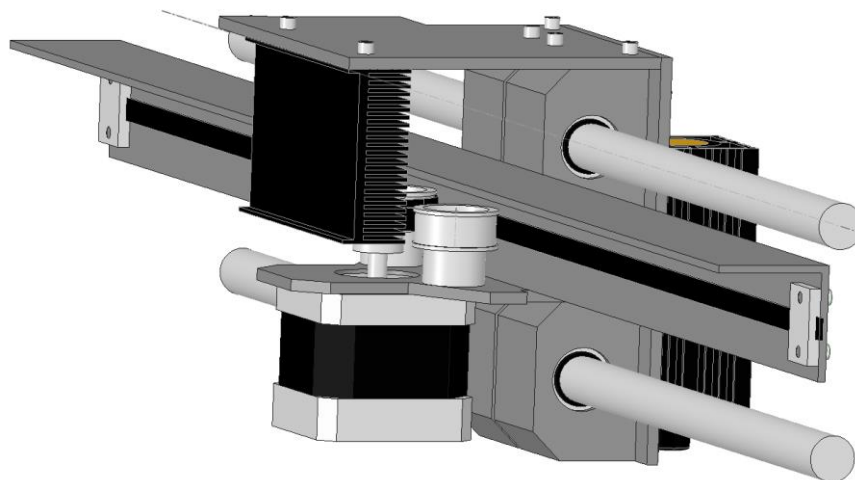
K sestavení rámu byly použity hliníkové profily různých druhů (viz obr. 2.6). Základ tvoří dva L profily spojené pomocí dvou hliníkových plechů, do kterých jsou poté upevněny vodící tyče s průměrem 16 mm. Pracovní plocha se skládá z hliníkových lamel, které jsou vyoseny z důvodu menšího opotřebení laserem a v případě nutnosti jsou snadno vyměnitelné. Pro vyrovnání celého CNC laseru slouží nastavitelné nohy. Kabeláž v kabelových řetězech bude vedena hliníkovou lištou, která vede až k panelu, kde budou konektory pro propojení s řídicí elektronikou.



Obr. 2.6 – Rám CNC laseru

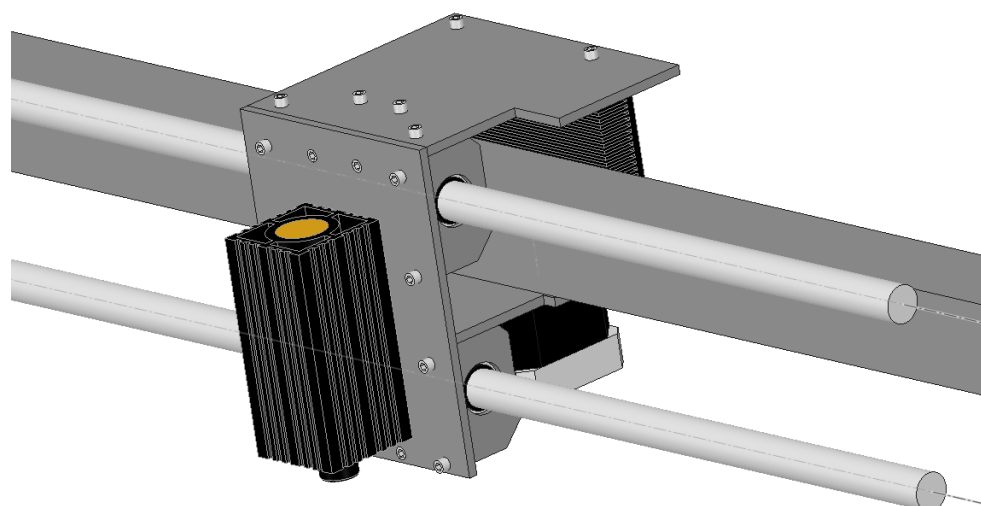
2.3.4 Osa X

Osa X je tvořena dvěma vodícími tyčemi o průměru 12 mm a délce 465 mm (viz obr. 2.7). Vodící tyče jsou zkráceny na setinu přesně, aby nedošlo k nežádoucímu pnutí jak na ose X, tak na ose Y, protože tyto vodící tyče jsou spojeny s bočnicemi osy Y. Pohon je zajištěn pomocí krokových motorů, připevněných na vrcholu spodních domečků pro ložiska. Řemen je upevněn na hliníkové liště pro kabelový řetěz. Na zadní stranu se poté dá upevnit chladič, na který se namontuje řídicí elektronika laseru.



Obr. 2.7 – Zadní strana osy X

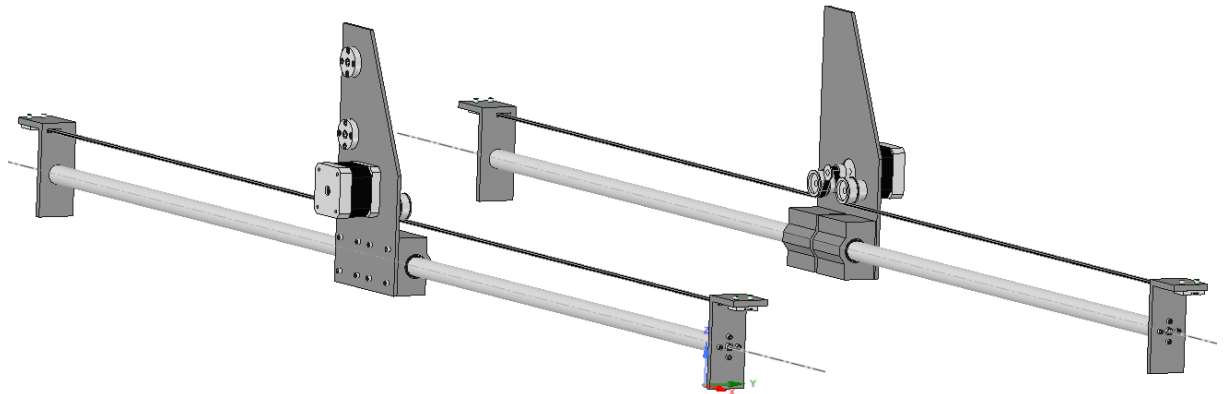
Laser se potom pevně upevní na přední stranu osy X (viz obr. 2.8), protože pro nastavení laserového paprsku nám bude sloužit nastavitelná čočka laseru. Na laser se poté pro lepší chlazení namontuje malý větrák. Všechna kabeláž povede odsud kabelovými řetězy až k panelu s konektory.



Obr. 2.8 – Přední strana osy X

2.3.5 Osa Y

Osa Y je tvořena dvěma vodícími tyčemi s průměrem 16 mm a délkou přes jeden metr (viz obr. 2.9), které jsou upevněny do rámu. Díky velkému průměru tyčí nedochází k průhybu osy. Jako pohon zde jsou použity už dva krokové motory na rozdíl od jednoho krokového motoru na ose X, kde není potřeba takový výkon pro pohyb. Řemen je pevně uchycen na každém konci osy a podepřen rámem CNC laseru.



Obr. 2.9 – Osa Y

2.4 KONSTRUKCE ELEKTRONIKY

Pro výběr součástek na CNC laser hrála roli hlavně cena. Krokové motory, drivery, řídicí deska, zdroj a laser vyšly cenově nejlépe v Číně, kde byly nakonec objednány. Kvalitou se elektronika neliší od elektroniky u nás, protože většina obchodníků s tímto sortimentem většinou také objednává z Číny.

2.4.1 Zdroj laserového paprsku

Jako zdroj laserového paprsku byl vybrán diodový laser o výkonu 5 W (viz obr. 2.10), který bohatě stačí na gravírování a řezání materiálu od papíru až po tvrdé dřevo. Na řezání kovových materiálů by bylo zapotřebí výkonnějšího laseru. U výkonnějších laserů bohužel stoupá s výkonem lineárně i pořizovací cena. K laseru se prodává i elektronika s TTL obvody. Pro napájení laseru je potřeba 12V zdroj napětí s minimální možností odběru 5 A. Mezi jeho další parametr patří vlnová délka v rozmezí 445 až 450 nm, díky které má modrý laserový paprsek. Všechny jeho parametry můžeme vidět v tab. 2.3.



Obr. 2.10 – Diodový 5W laser (Banggood, 2016)

Tab. 2.3 – Parametry diodového laseru

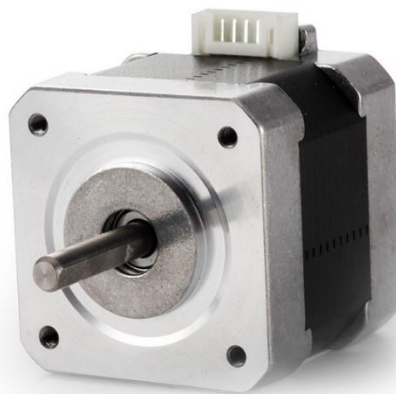
Parametr	Hodnota
Rozměry	33×33×85 mm
Výkon	5 W
Napájení	12 V
Odběr proudu	5 A
Vlnová délka	445 – 450 nm
Frekvence	0 – 20 kHz

2.4.2 Pohon lineárního vedení

Jako pohon lineárního vedení u modelářských CNC laserů se ve většině případů používá hybridní krokový motor s možností mikrokrokování. Je to z důvodu nízké ceny za velmi dobrou přesnost pohybu a malých nákladů na údržbu.

Krokový motor

Pro pohon lineárního vedení byl vybrán dvoufázový hybridní krokový motor Nema17 (viz obr. 2.11). Tento typ motoru je nejpoužívanější jak u modelářských 3D tiskáren, tak právě u CNC laserů. Maximální proud na jednu fázi je 1,7 A. Základní počet kroků na jednu otáčku je 200 s možností rozšíření těchto kroků na 3200 nebo 6400 kroků na otáčku. Osa je tvořena hřídelí o průměru 5 mm, na kterou se poté upevní řemenice pro ozubený řemen. Ostatní parametry jsou uvedeny v tab. 2.4.



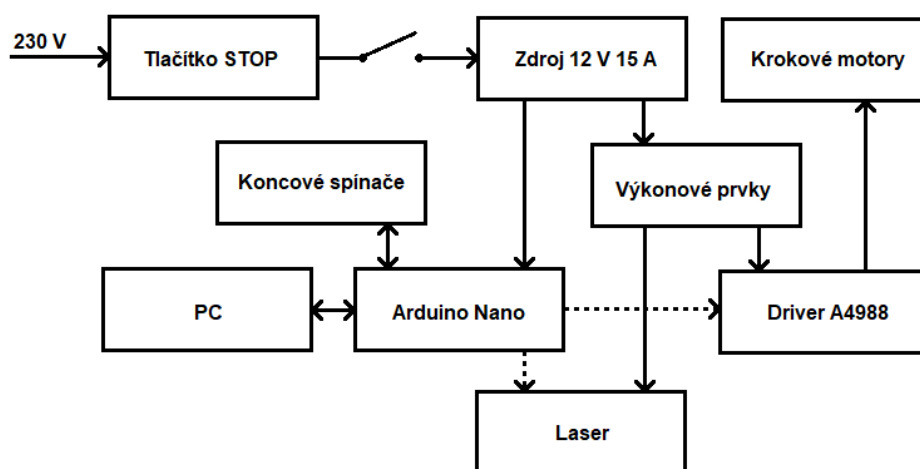
Obr. 2.11 – Krokový motor Nema17 (AliExpress, 2017)

Tab. 2.4 – Parametry krokového motoru Nema17

Parametr	Hodnota
Rozměry	42×42×38 mm
Definovaný proud	1,7 A/fáze
Krouticí moment	0,36 Nm
Průměr osy	5 mm
Počet kroků na otáčku	200

2.4.3 Řídicí elektronika

Celá řídicí elektronika je umístěna do plastové krabičky o velikosti 90×230×215 mm. Řídicí deska Arduino Nano a zdroj napětí jsou uchyceny na distančních sloupcích. Mezi konektorem se síťovým napětím 230 V a řídicí elektronikou se nachází tlačítko STOP z důvodu náhlé potřeby vypnutí celého stroje. Pro propojení s CNC laserem jsou použity propojovací kabely s konektorem GX16 a pro propojení řídicí elektroniky s osobním počítačem slouží USB konektor. Blokové schéma zapojení řídicí elektroniky vidíme na obr. 2.12.



Obr. 2.12 – Blokové schéma řídicí elektroniky

Zdroj bezpečného napětí

Celý CNC laser nám bude napájet zdroj na obr. 2.13 s výstupním napětím 12 V a výstupním proudem až 15 A. Odběr celého CNC laseru bude maximálně kolem 10 A, ale spíše méně z důvodu nepříliš namáhaných krokových motorů, tudíž máme ještě okolo 5 A rezervu pro případné další přidání komponentů, jako je například odsávání kouře ze spáleného dřeva nebo podsvícení pracovní plochy. Rozměry zdroje jsou uvedeny v tab. 2.5.



Obr. 2.13 – Zdroj bezpečného napětí (AliExpress, 2017)

Tab. 2.5 – Parametry zdroje napětí

Parametr	Hodnota
Rozměry	20×9,7×4 cm
Napětí	12 V
Výstupní proud	15 A
Výkon	180 W

2.5 BEZPEČNOST

Nejdůležitější kapitolou tohoto tématu je bezpečnost. Je to právě kvůli použití diodového laseru, který patří mezi lasery 4. třídy a pro neznalé je velmi nebezpečný, protože při velmi krátkém kontaktu s okem dokáže vypálit sítnici. Z tohoto důvodu musíme mít vždy před zapnutím stroje nasazeny ochranné brýle (viz obr. 2.14). Přímou pro tento typ laseru, který používáme, se používají zelené ochranné brýle z důvodu, že dokáží ochránit před vlnovou délkou v rozmezí od 200 do 540 nm.



Obr. 2.14 – Ochranné brýle (Aliexpress, 2017)

V případě nouze je na panelu řídicí elektroniky zabudované tlačítko STOP, které okamžitě přeruší napájení a tím pádem vypne celý CNC stroj. Tlačítko je s aretací, tudíž pro opětovné zapnutí je potřeba tlačítko odjistit.

3 UVEDENÍ DO PROVOZU A ZHODNOCENÍ

Po mechanické konstrukci bylo potřeba zapojit veškerou elektroniku a seřadit kabely do kabelových řetězců kvůli vzhledu, ale hlavně kvůli praktičnosti při obsluze stroje. Všechny kabely se poté pomocí konektorů GX16 propojily s řídicí elektronikou.

Pak následovalo nastavení softwaru pro komunikaci mikropočítače s PC (viz kapitola 2.1.2) a další seznámení s programem., kde jsem si vygeneroval připravený obrázek přímo z programu. Po nasazení ochranných brýlí a zapnutí napájení CNC laseru mohlo začít gravírování obrázku. Samotné gravírování obrázku trvalo něco přes dvě hodiny při výkonu laseru kolem 5 %. Výsledek přibližně v měřítku 1:1 je zobrazený na obr. 3.1.



Obr. 3.1 – Vygravírovaný obrázek

Výsledné gravírování obrázku dopadlo mnohem lépe, než jsem očekával. Pro příští gravírování na překližku by se možná hodilo zvýšit výkon laseru přibližně o 2 % nebo zpomalit rychlost gravírování pro ještě ostřejší vyobrazení obrázku.

4 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zrealizovat modelářský CNC laser. Nejprve proběhlo seznámení s podobnými projekty na stejné téma. Poté byl návrh proveden v programu DesignSpark Mechanical 2.0, který je pro návrh 3D modelu ideální, protože práce s ním je velmi jednoduchá. Tento návrh modelářského CNC laseru se nachází na přiloženém CD nosiči.

Při mechanické konstrukci se tento návrh musel často pozměňovat z důvodu častých změn různých rozměrů, či použitého materiálu. Velikost celé konstrukce stroje se osvědčila, protože můžeme používat celá prkna balsy nebo překližky bez nutnosti jejich krácení.

Ovládací software EleksCAM se ukázal jako dostačující pro obsluhu CNC laseru, kde jsou pouze nejdůležitější prvky pro ovládání a použití laseru jak pro gravírování, tak i pro řezání materiálů. Pro možnost většího nastavení parametrů existuje většinou pouze placený software.

Cíle bakalářské práce byly po navržení a zkonstruování CNC laseru splněny. Jediný problém při oživování stroje nastal přímo ve Windows, kvůli nastavení výchozího oddělovače. Pro další zlepšení ovládání stroje by stálo za zvážení koupě placeného software T2 Laser. Mezi další modifikace stroje by mohlo patřit například osvětlení pracovní plochy nebo odtah kouře při řezání různých materiálů.

POUŽITÁ LITERATURA

- FILIP, P. 2013. Základní principy krokových motorů. *E – konstruktér*. [online]. [cit. 3. 5. 2018]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/zakladni-principy-krokovych-motoru>.
- FULDA. 2017. Mini laserová gravírka a řezačka. *Robodoupě*. [online]. [cit. 23. 4. 2018]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2017/mini-laserova-gravirka-a-rezacka/#more-11561>.
- KACHTÍK, L. 2011. Princip laserů. *Lasery.wz*. [online]. [cit. 23. 4. 2018]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/princip.html>.
- KACHTÍK, Lukáš. 2011. Součásti laserů. *Lasery.wz*. [online]. [cit. 23. 4. 2018]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/soucasti.html>.
- KOŘÁN, Pavel. 2013. Seriál na téma lasery - základní princip laseru a jejich dělení. *Lao*. [online]. [cit. 23. 4. 2018]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>.
- KUSALA, Jaroslav. 2004. Jak funguje laser: Typy laserů. *ČEZ*. [online]. [cit. 23. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k23.htm>.
- LUKÁŠ, Michal. 2001. Laserové diody 1 – Princip funkce laserových diod. *Electrorevue*. [online]. [cit. 23. 4. 2018]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01034/index.html>.
- LUKÁŠ, Michal. 2001. Laserové diody 2 - Typy a struktury laserových diod. *Electrorevue*. [online]. [cit. 23. 4. 2018]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01043/index.html>.
- LIBÁŇ, Lukáš. 2017. Konfigurace firmware GRBL. *Sakul*. [online]. [cit. 3. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.sakul.cz/konfigurace-firmware-grbl/n/>.
- LLAMAS, Louis. 2016. Krokové motory s Arduino a driverem A4988 nebo DRV8825. *Luisllamas*. [online]. [cit. 13. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>.
- NEDELKOVSKI, Dejan. 2015. How To Control a Stepper Motor with A4988 Driver and Arduino. *How to Mechatronics*. [online]. [cit. 3. 5. 2018]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-to-control-stepper-motor-with-a4988-driver-and-arduino/>.
- PALLA, Miloš. 2014. Krokové motory. *ELUC*. [online]. [cit. 12. 5. 2018]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/809>.
- SMOLÍK, Jan. 2011. Arduino NANO. [online]. [cit. 3. 5. 2018]. Dostupné z: <http://honzasmolik.cz/arduino.html>.
- ŘEZÁČ, Kamil. 2002. Krokové motory. *Robotika*. [online]. [cit. 3. 5. 2018]. Dostupné z: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>.
- Allegro MicroSystems. A4988. 2012. [online]. [cit. 3. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.geeetech.com/Documents/A4988-Datasheet.pdf>.
- CNC jednoduše – 1. část: Co je GRBL? *Robodoupě*. 2013. [online]. [cit. 3. 5. 2018]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2013/cnc-jednoduse-1-cast-co-je-grbl/>.
- Elekslaser A3. *Eleksmaker*. 2016. [online]. [cit. 12. 5. 2018]. Dostupné z: <http://elekslaser.eleksmaker.com/>.

ePro Labs. Arduino Nano. 2016. [online]. [cit. 12. 5. 2018]. Dostupný z:
https://wiki.eprolabs.com/index.php?title=Arduino_Nano.

PBC Linear. Stepper Motor Nema 17. 2014. [online]. [cit. 12. 5. 2018]. Dostupné z:
<http://www.pbcllinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor-Support-Document.pdf>.

Princip – Krokový motor. *Pohonná technika*. 2013. [online]. [cit. 3. 5. 2018]. Dostupné z:
<http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>.

PŘÍLOHY

A – CD

B – Návod k obsluze

Příloha k bakalářské práci

Návrh a realizace modelářského CNC laseru

Jan Tesner

CD

Obsah

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF
- 2 Návrh 3D modelu CNC laseru

Příloha k bakalářské práci

Návrh a realizace modelářského CNC laseru

Jan Tesner

NÁVOD K OBSLUZE

Obsah

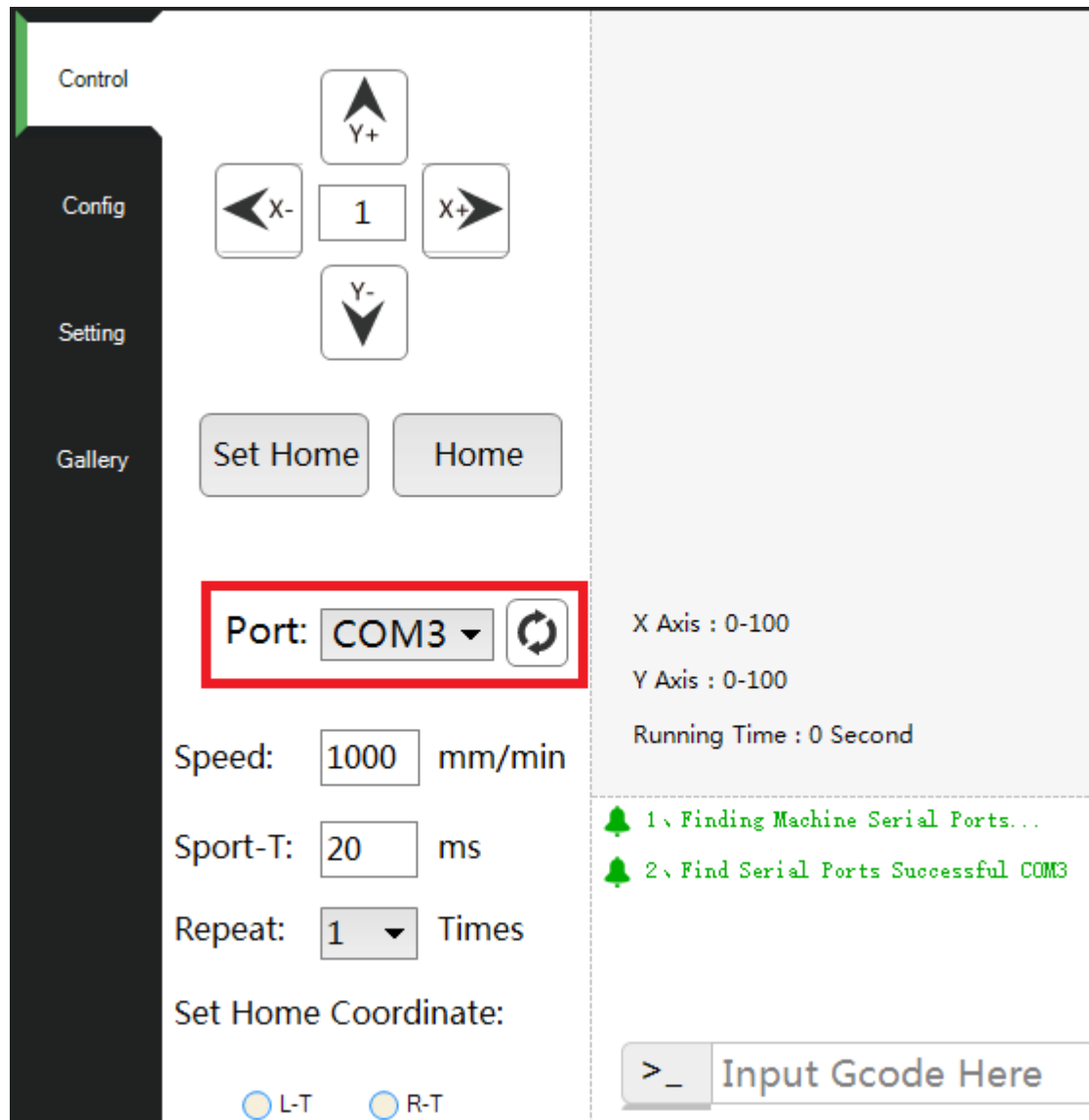
Seznam ilustrací	2
Popis obsluhy	3
Výsledek gravírování	9

Seznam ilustrací

Obr. B. 1 – Připojení mikropočítače k PC	3
Obr. B. 2 – Výběr zařízení a nahrání ROM	4
Obr. B. 3 – Výběr obrázku.....	5
Obr. B. 4 – Nastavení parametrů obrázku	6
Obr. B. 5 – Konektory na panelu CNC laseru	7
Obr. B. 6 – Konektory na zadním panelu řídicí elektroniky.....	7
Obr. B. 7 – Průběh gravírování.....	8
Obr. B. 8 – Výsledný obrázek.....	9

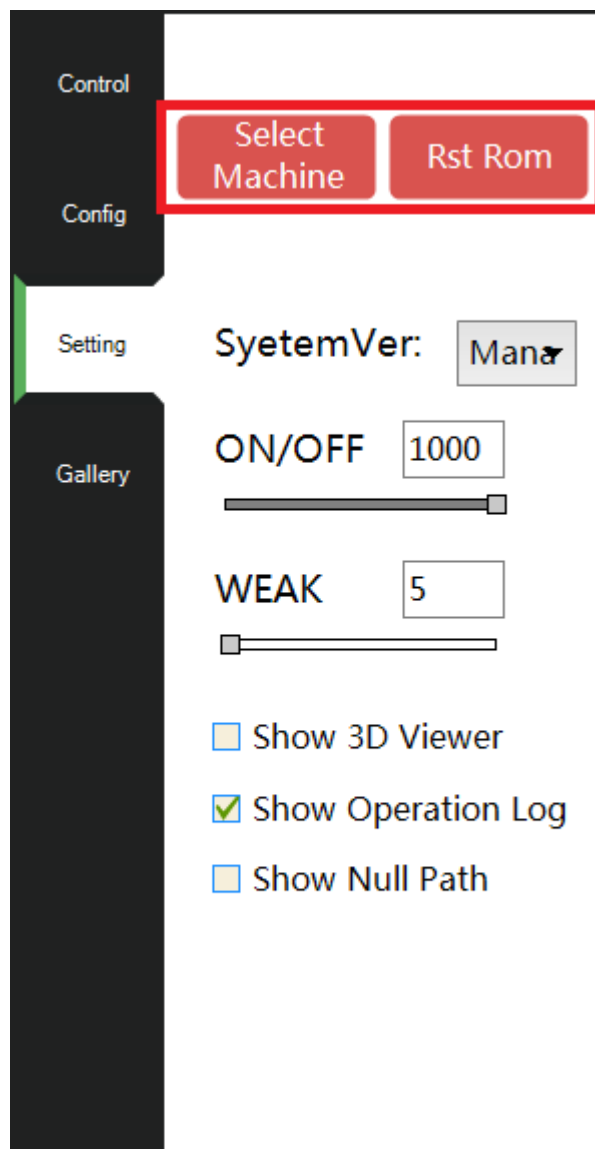
Popis obsluhy

Pro správné fungování CNC stroje je potřeba následovat pár kroků popsaných na obrázcích. Nejprve zasuneme USB konektor z bedny řídicí elektroniky do PC. Poté můžeme zapnout program EleksCAM, kde musíme vybrat správný COM port a tím připojit mikropočítač k PC (viz obr. B. 1).



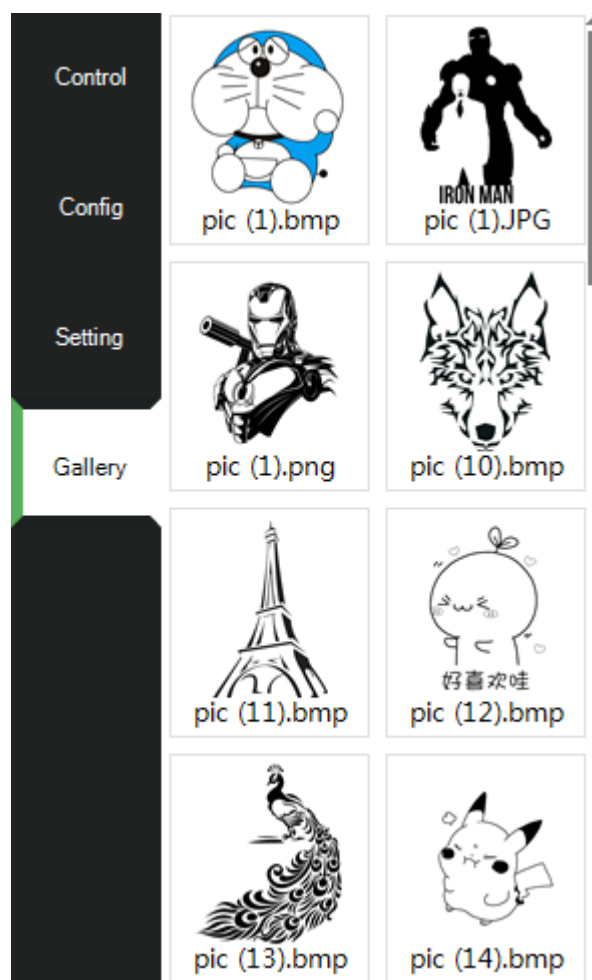
Obr. B. 1 – Připojení mikropočítače k PC

Po propojení mikropočítače s PC se přesuneme do záložky Setting a pomocí tlačítka Select Machine vybereme námi používané zařízení, kdy se nám nastaví základní parametry pro práci s CNC laserem. Pomocí tlačítka Reset ROM se nám do mikropočítače nahraje nejaktuálnější verze firmware GRBL. Jako další nastavení je tu například výkon laseru při plném nebo slabším výkonu (viz obr. B. 2).



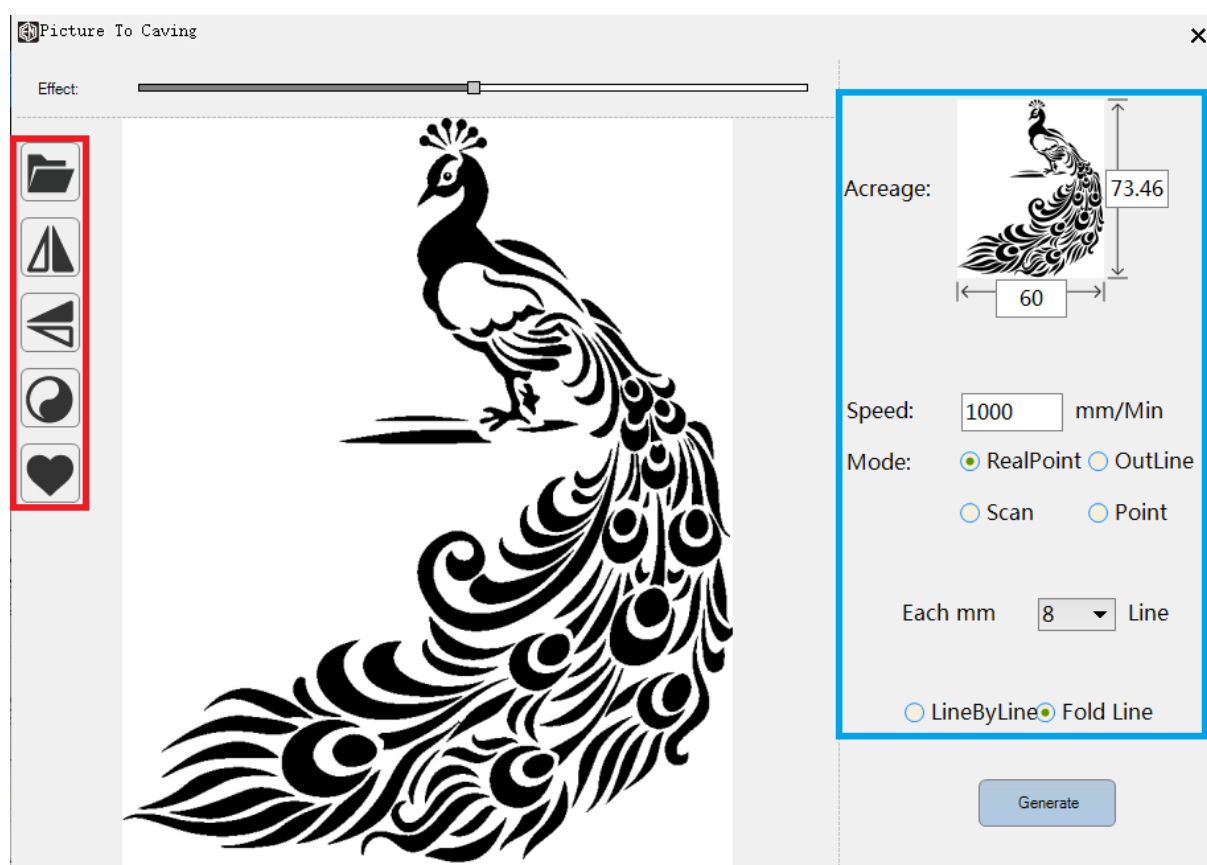
Obr. B. 2 – Výběr zařízení a nahrání ROM

Pokud chcete například vygravírovat obrázek do podporovaných materiálů, stačí si vybrat váš vlastní nebo přejít v programu do záložky Gallery a vybrat si některý z nich (viz obr. B. 3).



Obr. B. 3 – Výběr obrázku

Po vybrání obrázku následuje nastavení jeho velikosti a základních parametrů jako třeba například rychlost gravírování nebo kolik se má vygenerovat čar na jeden milimetr a s rostoucí velikostí obrázku by se měl počet těchto čar na milimetr zvětšovat pro zvýšení výsledné kvality. Toto bylo nastavení v modrém rámečku z obr. B. 4. V červeném rámečku se dá obrázek různě upravovat, například různě otáčet nebo konvertovat barvy a tím pádem bude vygravírováno pozadí obrázku. Pokud máme vše nastavené, můžeme obrázek vygenerovat pomocí tlačítka Generate.



Obr. B. 4 – Nastavení parametrů obrázku

Po vygenerování obrázku můžeme propojit CNC laser s bednou řídicí elektroniky podle označení konektorů, které vidíme na obr. B. 5 a B. 6 a před zapnutí napájení CNC laseru si hlavně nesmíme zapomenout nasadit ochranné brýle.

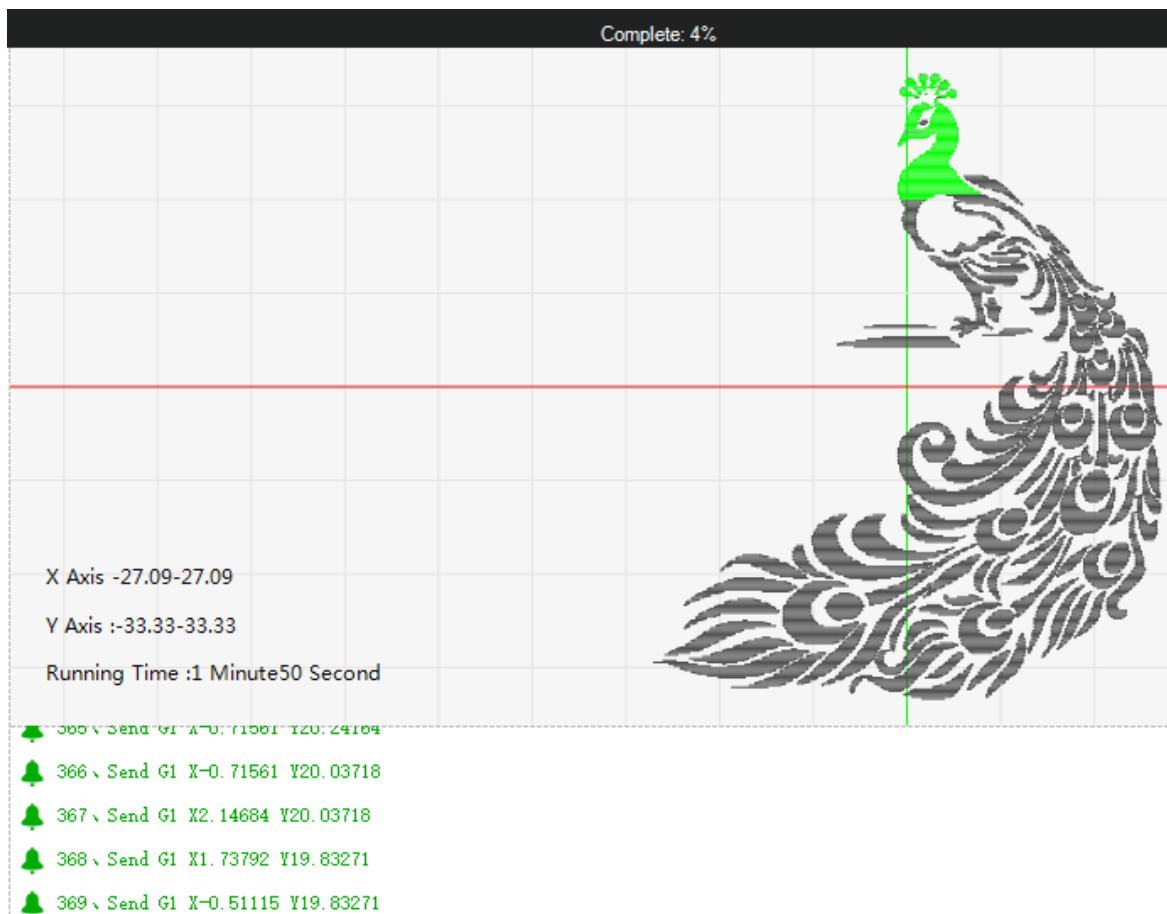


Obr. B. 5 – Konektory na panelu CNC laseru



Obr. B. 6 – Konektory na zadním panelu řídicí elektroniky

Průběh gravírování můžeme vidět přímo v programu buď pomocí procent, nebo postupného vybarvování černých čar zelenou. Také můžeme vidět, co program právě posílá mikropočítači v příkazovém řádku (viz obr. B. 7).



Obr. B. 7 – Průběh gravírování

Výsledek gravírování

Při dodržení všech kroků by se nám mělo podařit vygravírovat výsledný obrázek bez většího nastavování (viz obr. B. 8). Pro lepší kvalitu je třeba doladit parametry pro gravírování daného obrázku. Záleží jak na velikosti obrázku, tak i na výkonu laseru a rychlost pohybu jednotlivých os.



Obr. B. 8 – Výsledný obrázek