



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

KALIBRAČNÍ PŘÍPRAVEK PRO SPIROMETR

CALIBRATION UNIT FOR SPIROMETER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Burian

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Tomáš Burian

ID: 173626

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Kalibrační přípravek pro spirometr

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s metodami kalibrace spirometrů. Navrhněte princip kalibračního přípravku s automatickým posuvem pístu kalibračního válce Hans Rudolph, inc. Serie 5530. Pohyb pístu bude řízen podle min. 16 přednastavených voleb lišících se rychlostí, objemem a režimem dávkování plynu. Navrhněte schéma zapojení a princip ovládní. Navrhněte desku plošného spoje, realizujte zapojení a oživte jej, navrhněte ovládací program a odlaďte jej. Provedte ověření funkčnosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

Konzultant: Dr. Ing. Vlastimil Vondra, ÚTP AV ČR

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

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Úkolem bakalářské práce bylo seznámit se s metodami kalibrací spirometru a vytvoření kalibračního přípravku. Kalibrační přípravek musí být schopen kalibrovat jak podle objemu, tak podle rychlosti. Za tím účelem byl manuální kalibrační válec opatřen krokovým motorem připevněným k pístu válce. Dále byla vytvořena deska plošného spoje a také ovládací program pro řízení krokového motoru. Řídicí systém obsahuje 16 různých možností pro volbu rychlosti pístu a režimu chodu.

Klíčová slova

Spirometr, kalibrace, krokový motor, kalibrační válec, Atmel, Mikrokontrolér AT89C2051, L297, L298.

Abstract

The task of the bachelor's thesis was to become acquainted with methods of calibrating the spirometer and creating a calibration unit. Calibration unit must be able to calibrate both by volume and by speed. Because of that, the manual calibration of calibration cylinder is provided with a stepper motor mounted to the cylinder piston. The designed PCB was also be controlled by a program to control a stepper motor. The control system was contain 16 different options of selecting the speed an driving mode of the piston.

Keywords

Spirometer, calibration, stepper motor, calibration cylinder, Atmel, Microcontroller AT89C2051, L297, L298.

Bibliografická citace díla

BURIAN T. *Kalibrační přípravek pro spirometr*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 44s. Semestrální projekt Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Vyroubal Ph.D

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Kalibrační přípravek pro spirometr jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Vyroubalovi Ph.D. za ochotu. Dále také konzultantovi mojí bakalářské práce Dr. Ing. Vlastimilu Vondrovi za jeho cenné rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. V neposlední řadě také Mgr. Jiřímu Kratochvilovi za materiálové zajištění a také rodině za pomoc a pochopení.

Obsah

2. Teoretický úvod.....	10
2.1. Spirometrie	10
2.1.1. Historie spirometrie.....	10
2.1.2. Rozdělení spirometrů	10
2.1.3. Kalibrace spirometru	11
2.2. Kalibrační válec.....	12
2.4. Návrh řešení	14
2.5. Mikrokontrolér AT89C2051/ AT89C4051	14
2.5.1. Popis pinů.....	16
2.5.2. Charakteristiky Oscilátoru.....	17
2.7. Integrované obvody pro ovládání krokových motorů	18
2.7.1. L297 – Řízení krokového motoru	18
2.7.2. L298 - Obvod pro buzení krokových motorů.....	19
2.8. Krokové motory	20
2.8.1. Historie krokových motorů	21
2.8.2. Hybridní krokové motory	21
2.8.3. Mikrokrokování.....	23
3. Praktická část.....	24
3.1. Návrh zapojení	24
3.1.1. Návrh obvodu pro řízení krokového motoru.....	24
3.1.2. Návrh ovládacího obvodu	25
3.1.3. Oživení a zapojení.....	26
3.2. Návrh ovládacího programu.....	26
3.2.1. Nastavení časovače	26
4. Testování	30

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Kalibrační válec Hans Rudolph [11].....	12
Obr. 2.2 Popis kalibračního válce [6].....	13
Obr. 2.3: Blokové schéma	14
Obr. 2.5: Bloková schéma mikrokontroléru AT89C2051[12]	15
Obr. 2.6: Zapojení vnitřního oscilátoru[12]	17
Obr. 2.7: Zapojení externího hodinového signálu [12]	17
Obr. 2.8: Blokové schéma řídicího obvodu L297 [8].....	18
Obr. 2.9: Uspořádání pinů řídicího obvodu L297 [8].....	19
Obr. 2.10: Blokové schéma budicího obvodu L298 [9]	19
Obr. 2.11: Uspořádání pinů budicího obvodu L298 [9]	20
Obr. 2.12: Schéma zapojení celého řídicího obvodu [9]	20
Obr. 2.13: Vlevo-zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s bipolárním řízením Vpravo-časové průběhy čtyřtaktního řízení dvoufázového hybridního KM (bipolární řízení s magnetizací jedné fáze) [1][2]	22
Obr. 2.14: Možné způsoby zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s unipolárním zapojením fází. [1][2]	22
Obr. 2.15:Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s možností bipolárního/unipolárního buzení. [1][2]	23
Obr. 3.1: DPS pro řízení krokového motoru	25
Obr. 3.2: DPS zajišťující ovládání	25
Obr. 3.3: DPS s reflexním optočlenem.....	26
Obr. 3.4: Základní programové schéma	29
Obr. 4.1: Zobrazení signálů mezi dorazy při rychlosti $v_{ot} = 0,6$ ot/s:.....	31
Obr. 4.2: Zobrazení signálů mezi dorazy při rychlosti $v_{ot} = 0,5$ ot/s:.....	31

Seznam tabulek

Tab. 2.1: Alternativní použití pinů portu P3[10][12]	16
Tab. 2.2: Mikrokrokování [1]	23
Tab. 3.1: Nastavení hodnot časovače	28

Úvod

Dýchací soustava je jednou z nejdůležitějších částí lidského těla. Jestliže dýchací soustava funguje správně je zajištěno dostatečné okysličení celého těla. V případě, že je funkčnost plic omezena okysličení organismu prochází hypoxickou krizí, z které se může vyvinout celá řada navazujících patologických stavů. Některé patologické anomálie nemusejí být klinickým vyšetřením spolehlivě diagnostikovatelné a reprodukovatelné. Pro odhalení, správnou diagnostiku a interpretaci těchto poruch je využívána sofistikovaná biologicky inženýrská metoda.

Mezi základní diagnostické parametry určující funkčnost plic patří jejich vitální objem a funkční kapacita. Tyto hodnoty ovlivňuje věk, fyzická kondice a další aspekty. Plicní objemy a kapacity lze měřit spirometry. Spirometry, používané v současnosti je třeba kalibrovat v předepsaných intervalech.

Kalibrace spirometru je realizována nejčastěji objemovou metodou, ta je prováděna manuálně, naměřené hodnoty výsledek neovlivní. Pro zvýšení přesnosti měření některých spirometrů je žádoucí testovat rychlost. Aby bylo možné kalibrovat i podle rychlosti je nutné definovat, jakou rychlostí se píst kalibračního válce bude pohybovat. K tomu účelu bude k pístu kalibračního válce připojen krokový motor, který za pomoci integrovaného obvodu a optoelektických snímačů bude udržovat předem zvolenou rychlost případně délku pohybu pístu.

Pro realizaci byl zvolen mikrokontrolér AT89C2051 od společnosti Atmel. Tento mikrokontrolér plně dostačuje k realizaci zadaného úkolu.

2. Teoretický úvod

V teoretickém úvodu jsou popsány základy spirometrie, tj. popis možností kalibrace spirometru. Dále jsou uvedeny jednotlivé komponenty, které budou použity v praktické části bakalářské práce. V závěru je uvedeno schéma zapojení pro řízení krokového motoru.

2.1. Spirometrie

Mezi nejvyužívanější vyšetřovací metody používané k vyhodnocování správné funkčnosti plic se řadí spirometrie. Tato vyšetřovací metoda se používá k diagnostice plicních chorob a také k hodnocení zdravotního stavu vrcholových sportovců. Touto metodou hodnotíme změny objemu plic v čase. Umožňuje nám výběr ze široké škály měřených parametrů. Přístroj, kterým provádíme měření, se nazývá spirometr.

Vyšetření je možné provádět ve stoje, případně vsedě. Vyšetřovaný pevně sevře rty okolo náustku. Na nosní chřípí mu je připevněn speciální skřípec tzv. klapka. Vyšetření probíhá tak, že nejprve pacient provádí sérii klidových dýchání, poté následuje maximální nádech a výdech. Z takto naměřených hodnot je možné určit hodnoty dechového objemu plic, inspirační rezervní objem a expirační rezervní objem.[3][4]

2.1.1. Historie spirometrie

Testování a diagnostika plicních chorob se rozvíjeli již mnoho staletí. Základní principy se však zachovaly dodnes, i přes nárůst vyspělých technologií. První zmínky pocházejí již z dob Římské říše. Claudius Galen, řecký doktor a filozof provedl experiment, který se zabýval objemem vzduchu v plicích. Avšak objem vzduchu jednoho nádechu změřil až v 17. století italský fyziolog, fyzik, astronom a matematik Giovanni Alfonso Borelli. Další významnou osobností ve vývoji spirometrie byl v 19. století John Hutchinsons, který začal vytvářet spirometr, složený ze zvonu ponořeného do vody. Zvon zachycoval vydechovaný vzduch. Podobný princip se používá dodnes, avšak jsou k němu připojeny systémy ke grafickému zobrazení nebo počítačové programy, které zajišťují intuitivní ovládání a také možnost ukládání či vyhledávání v databázi měření. [4]

2.1.2. Rozdělení spirometrů

Spirometr s uzavřeným oběhem – tento princip byl již zmíněn v předchozí kapitole.

Spirometry s otevřeným okruhem – jsou v dnešní době stále více používané systémy měření, které využívají analyzátory rychlosti průtoku vzduchu. Ty vypočítávají integraci průtoku a času, jakožto plochu pod křivkou, kde je čas znázorněn na ose „x“ a průtok na ose „y“. Výstupní signál je zpracován za pomoci PC. Hodnoty zpracované počítačem se zobrazují graficky. Spirometry, které pracují s otevřeným okruhem se nazývají pneumotachografy.

Pro pneumotachografické měření můžeme využít tři typy snímačů[3]:

- Typy s pneumatickým odporem

Odpor je vložen přímo do větrné hlavice. Nejčastěji se používají dva typy odporů:

- Odpor s metalickou sítkou
- Odpor se soustavou tenkých kapilár

- Typ s turbínou

Do tubusu s náustkem je vložena malá turbínka. Turbína má shodnou osu rotace s osou snímače tudíž se při proudění vzduchu otáčí úhlovou rychlostí úměrnou proudu vzduchu. Bezkontaktním snímačem otáček lze snadno vyhodnotit průtok a objem ventilovaného vzduchu.

- Typ snímače s vyhřívaným anemometrem

Tento přístroj je možné vidět také v meteorologii, kde se používá k měření rychlosti větru. Jde o snímač, ve kterém je tenký drátek, umístěný napříč tubusem, kterým protéká proud. Pokud je snímač v klidu je teplota ve snímači rovna teplotě okolí, proudící vítr začne ochlazovat drátek, tím se zmenšuje i elektrický odpor. Proto je nutné zvýšit velikost proudu. Řídicí systém zaznamenává tento proudový rozdíl a podle něj přesně určí rychlost proudění vzduchu.

2.1.3. Kalibrace spirometru

Obecně lze říci, že principem kalibrace je zjistit zdali přístroj měří správné hodnoty. K tomu je nutné znát hodnotu měřené veličiny, kterou přístroj budeme kalibrovat. Výsledek, který je naměřen, porovnáme s kalibrovanou hodnotou. Pokud se hodnoty shodují, je přístroj připraven k měření. Pokud jsou však výsledky rozdílné, je třeba porovnat výsledek s maximální povolenou chybou přístroje. V případě zachování přípustné odchylky je možné pokračovat.

Spirometry by měly být kalibrovány každý den, jinak chyba měření ovlivní výsledek vyšetření natolik, že může být prohlášeno za nedůvěryhodné. Nejvhodnější způsob pro kalibraci spirometru je průtoková metoda, která je velmi komplexní. Není však jednoduché ji provádět jako denní kontrolu proto se využívá metody objemové, nebo rychlostní. K přesnému měření se využívá objemový válec s pístem o objemu 1-3 litry, který je přesně kalibrován na určitý objem. Přes spirometr projde známý objem vzduchu, ten ji změří s odchylkou maximálně 3%. Pokud je odchylka větší, spirometry jsou většinou vybaveny korekcí chyby, jestliže určitý druh tento korekční člen nemá, je nutné odeslat přístroj na překalibrování výrobcí. [4]

Protokol pro kalibraci většinou obsahuje:

- a) Objemovou kalibraci, která se provádí 3 litrovou pumpou - 1 krát denně (a vždy po výměně pneumotachografu)
- b) Zkoušku těsnosti (3 cm pod vodou po dobu 1 min) – podle doporučení výrobce
- c) Kontrolu průtokové linearity – 1 krát týdně
- d) Kontrolu časové přesnosti – udává výrobce
- e) Objemovou kalibraci kalibrační pumpy – 1 krát ročně
- f) Dezinfekce měřidla se provádí podle doporučení výrobce.
- g) Dle typu přístroje (pokud si neměří sám) nutno zadat 1 krát denně teplotu vzduchu, tlak a vlhkost.
- h) Jednou za rok se provádí kontrola servisním technikem.

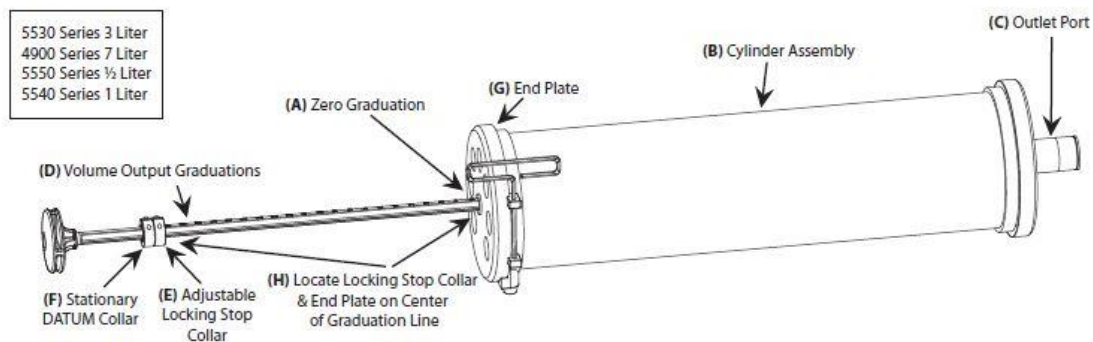
2.2. Kalibrační válec

Objemové kalibrační válce jsou určeny pro testování a kalibraci měřidel, které měří objem průtokovým způsobem. Tyto kalibrační stříkačky mají ručně ovládaný píst. Kalibrační válec pístem vytlačuje známý objem vzduchu do průtokového měřidla. Tím lze snadno určit, jestli měřidlo měří stejný objem jako kalibrační válec.



Obr. 2.1: Kalibrační válec Hans Rudolph [11]

Píst je tvořen stupnicí, na které je vyznačena hodnota objemu kterou právě válec obsahuje. Na pístu jsou také umístěny drážky, do kterých lze umístit speciální přípravek pro zamykání, tím je možné zajistit přesný objem aniž by hrozilo nepřesné měření. Výstup je tvořen otvorem, jehož velikost lze u některých typů měnit výměnou výstupního víka, jiné mají výstup kuželový s neměnným víkem. [6][7]



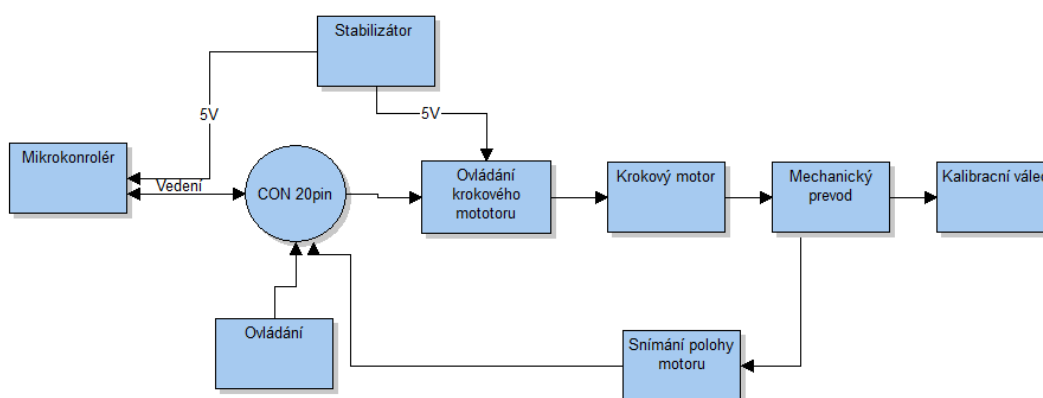
Obr. 2.2: Popis kalibračního válce 34[6]

Firma Hans Rudolph, která se zabývá výrobou těchto kalibračních válců, vyrábí několik objemových velikostí a to 0,5; 1; 3; a 7 litrů.

Pro správnou funkci válce je nutné každý rok promazávat těsnění. Pokud je nutné vyměnit těsnění pístu nebo O-kroužky na krytech válce, výrobce doporučuje válec odeslat na překalibrování. [6][7]

2.3. Návrh řešení

Níže uvedené blokové schéma znázorňuje celý řešený obvod. Napájení logické části zajišťuje stabilizátor. Pro napájení logických obvodů byl zvolen stabilizátor L7805, na jehož výstupu je napětí stabilizováno na 5V. Na vstup je připojeno napájecí napětí krokového motoru. Na vstupu i výstupu stabilizátoru jsou paralelně zapojeny dva filtrační kondenzátory s hodnotami 10 μ F a 100 nF. Přes 20-ti pólovou svorkovnici je spojen mikrokontrolér AT89C2051 s řídicím obvodem krokového motoru. Zároveň byla vytvořena další DPS, která je spojena svorkovnicí. Tato deska obsahuje ovládací prvky obvodu. Ovládání krokového motoru zajišťují dva integrované obvody L297 a L298. Z použitého budicího obvodu je žádoucí použít krokový dvoufázový motor s bipolárním buzením s dostatečným krouticím momentem. Zajišťuje plynulý chod pístu v různých rychlostech. Požadavkem mechanického převodu je dostatečná stabilita a pevnost pro uchycení kalibračního válce a pístu. Mechanický převod by měl dále zajistit co nejlepší přenos krouticího momentu krokového motoru a ten přenést pokud možno s co nejmenšími ztrátami hnací energie. Na začátku a na konci měření dráhy, po které se pohybuje píst poháněný krokovým motorem jsou umístěny optoelektrické snímače. Ty jsou umístěny v přesně definované délce tak, aby se píst pohyboval v rozmezí od nuly do dvou litrů svého objemu.



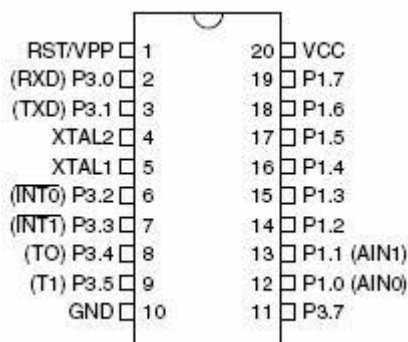
Obr. 2.3: Blokové schéma

2.4. Mikrokontrolér AT89C2051/ AT89C4051

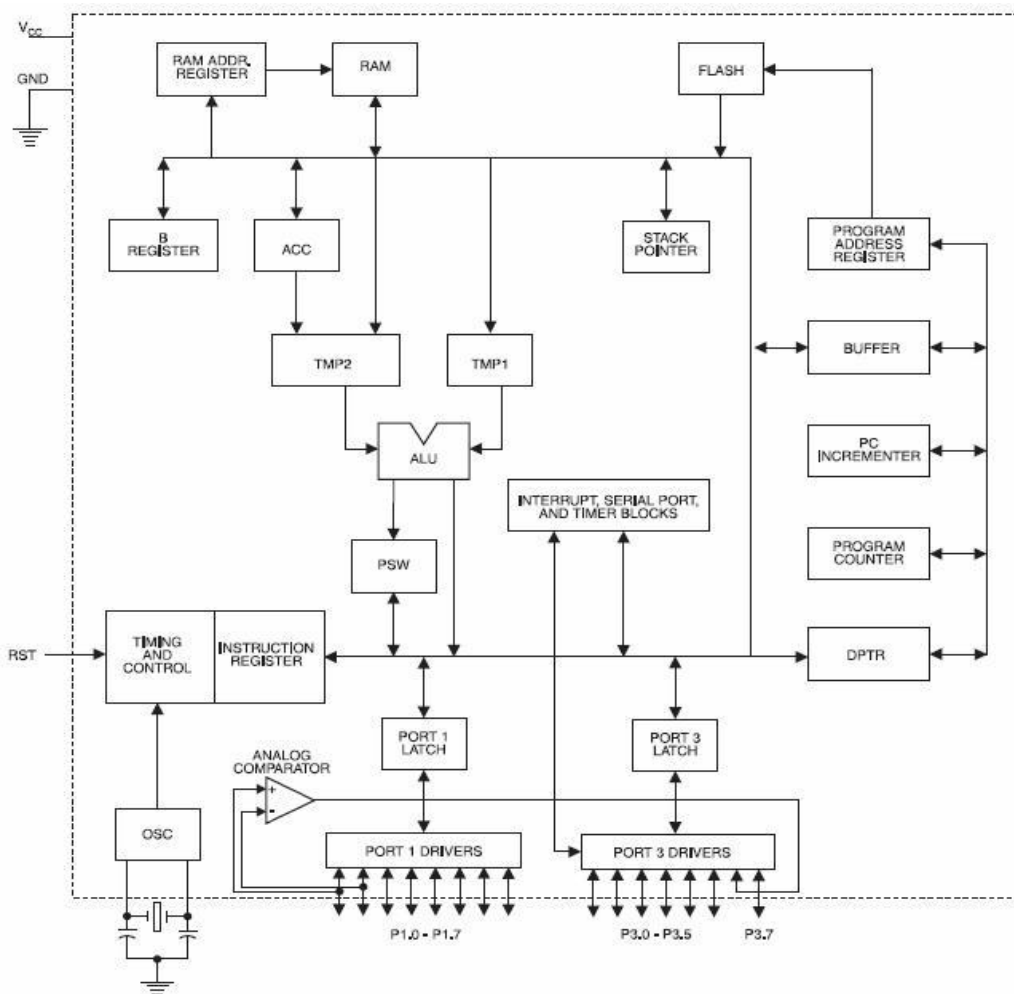
Tyto mikrokontroléry se liší pouze ve velikosti programovatelné FLASH paměti. V případě AT89C4051 to jsou 4KB, pro realizaci navrženého obvodu je však dostačující AT89C2051, který má paměť poloviční.

AT89C2051 je multifunkční nízkonapěťový 8-bitový CMOS mikrokontrolér s 2KB programovatelné FLASH paměti (PEROM - Programmable and Erasable Read-Only Memory) Kombinací 8-bitového CPU s FLASH pamětí na jednom čipu, je AT89C2051 flexibilní a také cenově příznivým východiskem pro mnohé aplikace. AT89C2051 obsahuje tyto základní části: 128 bytů paměti RAM, 2KB Flash paměť,

128 bytovou paměť RAM, dva 16-bitové časovače/čítače, 15 vstupních/výstupních jednobitových portů, pět dvouprioritních vektorů příruční, plně duplexní sériový port, přesný analogový komparátor a oscilátorové a hodinové obvody a podporuje dva softwarové úsporné režimy. Idle Mode zataví CPU, zatímco RAM, časovače/čítače, sériový port a přerušovací systém pokračuje v činnosti. Power-Down Mode uchovává obsah paměti RAM, ale přerušuje provoz oscilátoru a tím je zastavena ostatní funkce čipu. Funkci je možné obnovit až po restartování mikrokontroléru. [10][12]



Obr. 2.4: Rozložení pinů mikrokontroléru AT89C2051[12]



Obr. 2.5: Bloková schéma mikrokontroléru AT89C2051[12]

2.4.1. Popis pinů

VCC – Napájecí napětí. Rozsah napájecího napětí je odvozen od frekvence krystalu. Pro frekvenci 12MHz je rozsah napájení 2,7V – 6V a pro frekvenci 24Mhz 4V – 6V.

GND – Uzemnění.

Port 1 – Port 1 je 8-bitový obousměrný vstupní/výstupní port. Piny P1.2 až P1.7 obsahují vnitřní pull-up. P1.0 a P1.1 vyžadují externí pull-up. P1.0 a P1.1 je možné použít jako kladný vstup (AIN0) a negativní vstup (AIN1) integrovaného přesného analogového komparátoru. Výstupy portu 1 dodávají proud 20mA. Jestliže je na pin portu přivedena log 1, je možné jej použít jako vstup. Pokud jsou piny P1.2 až P1.7 použity jako vstupy a jsou uzemněny, budou dodávat proud (IIL) díky vnitřnímu pull-up. Port 1 také přijímá data kódu během Flash programování a ověřování. [10][12]

Port 3 – Piny Portu 3 P3.0 až P3.5 a P3.7 jsou obousměrné vstupní/výstupní piny s vnitřním pull-up. P3.6 je integrovaný výstup vnitřního komparátoru a není přístupný obvyklým způsobem jako ostatní piny. Port 3 dodává 20mA. Pokud je na pin portu přivedena log 1, může být použit jako vstup. Pokud jsou piny Portu 3 použity jako vstupy a jsou uzemněny, budou dodávat proud (IIL) díky vnitřnímu pull-up. Piny Portu 3 mají také alternativní použití:

Tab. 2.1: Alternativní použití pinů portu P3[10][12]

Pin portu	Alternativní funkce
P3.0	RDX (vstup sériové linky)
P3.1	TXD (výstup sériové linky)
P3.2	INT0 (vnější přerušení 0)
P3.3	INT 1 (vnější přerušení 1)
P3.4	T0 (vnější časovač 0)
P3.5	T1 (vnější časovač 1)

Port 3 přijímá kontrolní signály během Flash programování a ověřování.

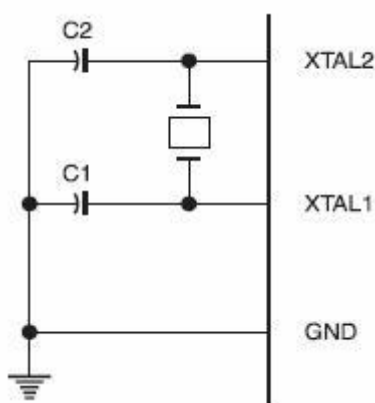
XTAL1 – Vstup do invertujícího oscilátoru a také vstup do hodinového obvodu.

XTAL2 – Výstup z invertujícího oscilátoru.

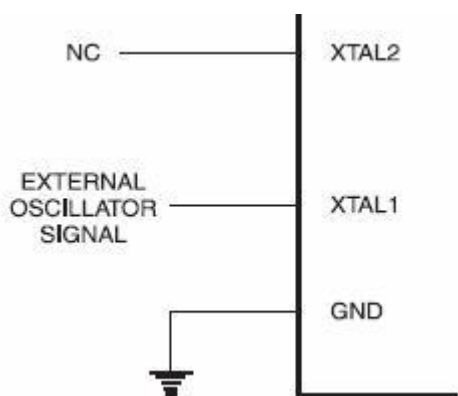
RST – Vstup resetu. V okamžiku kdy je na RST vstup přivedena log 1, všechny vstupní/výstupní piny jsou nastaveny na log1. Jestliže je přivedena log 1 na RST vstup po dobu delší jak dva strojové cykly, resetuje celý mikrokontrolér. Každý strojový cyklus trvá 12 impulsů oscilátoru.

2.4.2. Charakteristiky Oscilátoru

XTAL1 a XTAL2 jsou vstup a výstup invertujícího zesilovače, který může být použit jako vnitřní oscilátor. Použit může být keramický oscilátor nebo také krystal. Hodnoty kondenzátorů C1 a C2 jsou $30\text{pF} \pm 10\text{pF}$ pro krystal a $40\text{pF} \pm 10\text{pF}$ pro keramický rezonátor. Mikrokontrolér může mít také externí hodinový signál. XTAL2 zůstane nezapojený, zatímco na XTAL1 je přiveden hodinový signál. [10][12]



Obr. 2.6: Zapojení vnitřního oscilátoru[12]



Obr. 2.7: Zapojení externího hodinového signálu [12]

2.5. Integrované obvody pro ovládání krokových motorů

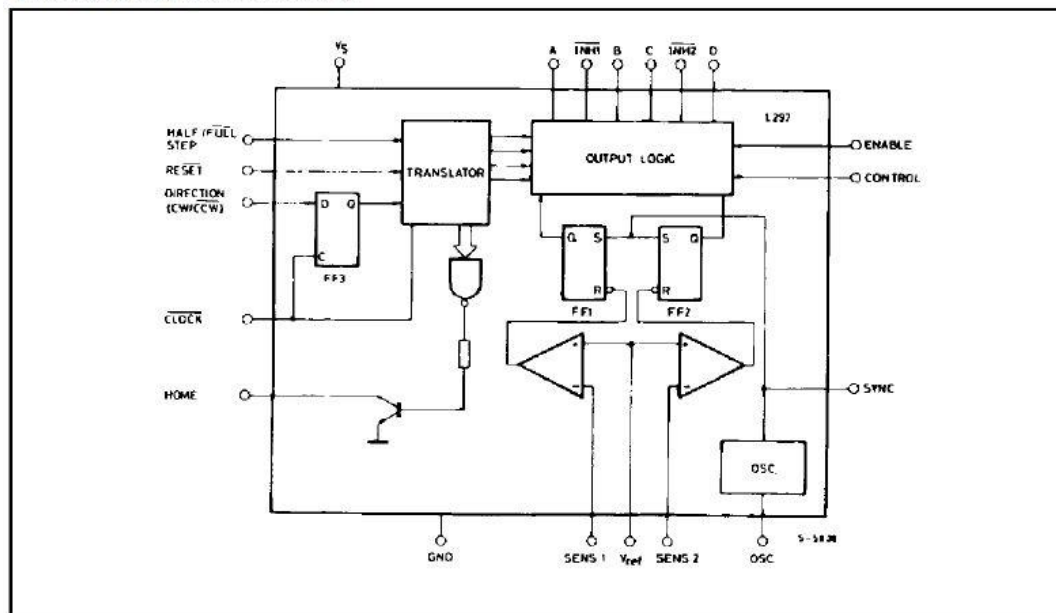
2.5.1. L297 – Řízení krokového motoru

Tento integrovaný obvod generuje čtyřfázový hnací signál pro dvě fáze bipolárního nebo čtyři fáze unipolárního krokového motoru. Motor může být řízen normálně nebo po půl krocích, díky integrovanému chopper drive, který dokáže omezit proud cívkami motoru. K funkci tohoto zařízení stačí pouze informace o směru (direction), povolení (enable) motoru a jednotlivé pulzy pro krokování (step). [8]

Logické vstupy obvodu L297:

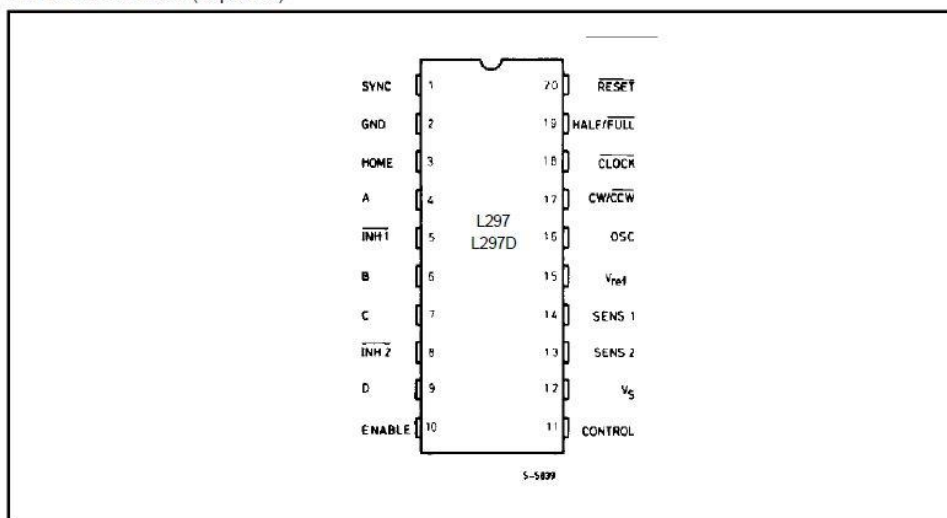
- CW/CCW** – tímto vstupem se nastavuje směr otáčení motoru (CW – clockwise = ve směru hodinových ručiček, CCW – counter clockwise = proti směru).
- CLOCK** – vstup krokovací signálu, sestupná hrana na tomto pinu způsobí otočení motoru o jeden krok
- HALF/FULL** – vstup určuje, jestli se postupuje po celých krocích, nebo půlkrocích
- RESET** – při sestupné hraně obnoví výchozí nastavení
- CONTROL** – nastavení funkce chopperu
- OSC** – vstup časovače (oscilátoru) pro nastavení pracovní frekvence a synchronizaci aplikace s více obvody L297

BLOCK DIAGRAM (L297/L297D)



Obr. 2.8: Blokové schéma řídicího obvodu L297 [8]

PIN CONNECTION (Top view)

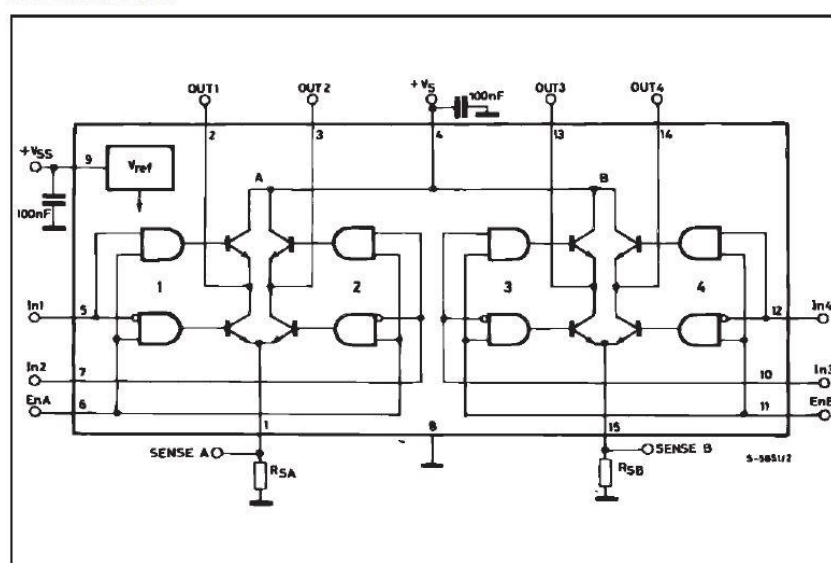


Obr. 2.9: Uspořádání pinů řídicího obvodu L297 [8]

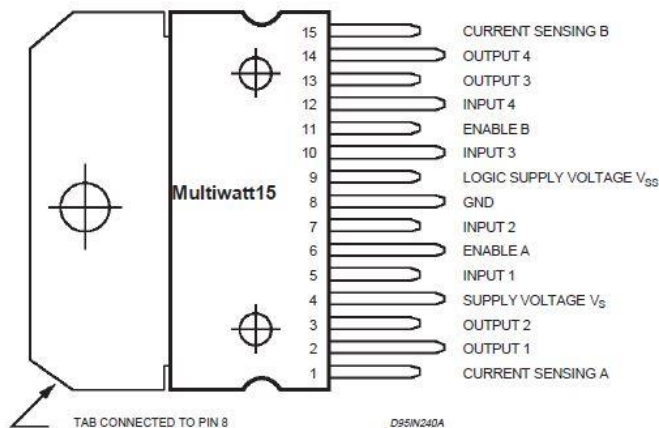
2.5.2. L298 - Obvod pro buzení krokových motorů

Pro řídicí obvod L297 je výrobcem doporučen budicí stupeň tvořený integrovaným obvodem L298. Obvod je tvořen dvěma H-můstky, kterými může protékat proud do fáze o velikosti maximálně 2 A. Dva vstupy (EnA a EnB) povolují/zakazují připojení motoru k napájecímu napětí nezávisle na vstupních signálech pro motor. SENSE A a SENSE B jsou připojeny na emitory spodních tranzistorů, ke kterým jsou připojeny snímací rezistory proudu protékajícího vinutím. Protože jimi protékají relativně velké proudy (200 mA až 1 A) podle nastavení V_{ref} na obvodu L297, je žádoucí, aby hodnota těchto odporů byla co nejnižší. Tyto odpory jsou výkonové (2 W). Při spínání bude docházet k proudovým nárazům, z toho důvodu jsou obvody L298 vybaveny elektrolytickými kondenzátory o kapacitě 1000 μ F, které je eliminují. [5][9]

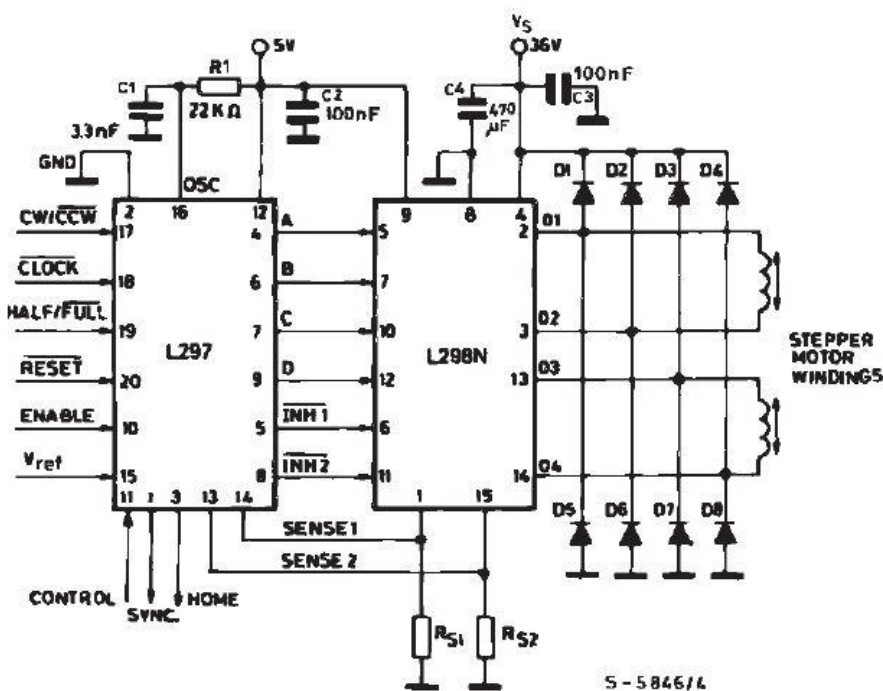
BLOCK DIAGRAM



Obr. 2.10: Blokové schéma budicího obvodu L298 [9]



Obr. 2.11: Uspořádání pinů budicího obvodu L298 [9]



$$R_{S1} = R_{S2} = 0.5 \Omega$$

$$D1 \text{ to } D8 = 2 \text{ A Fast diodes } \begin{cases} V_F \leq 1.2 \text{ V @ } I = 2 \text{ A} \\ t_{rr} \leq 200 \text{ ns} \end{cases}$$

Obr. 2.12: Schéma zapojení celého řídicího obvodu [9]

2.6. Krokové motory

Krokový motor je speciální druh synchronního motoru. Významnou odlišností od synchronních motorů je skutečnost, že krokový motor může zaujmout určitý počet definovaných poloh. Přechod mezi jednotlivými polohami zajišťuje ovladač krokového motoru, který impulzně nastavuje krokový motor do jednotlivých poloh.[2]

2.6.1. Historie krokových motorů

Vznik krokových motorů se datuje od roku 1919, kdy byl ve Velké Británii udělen patent. Krokové motory se začaly používat ve vojenském průmyslu, kde jimi byla řízena britská torpéda. Ke komerčním účelům byly využívány až v 60. letech v souvislosti s nástupem polovodičů a výpočetních technologií. Motory našly uplatnění v polohovacích mechanismech nebo také u velkokapacitních diskových pamětí, tiskáren a plottrů. Velkosériová výroba začala kolem roku 1970, a to výrobou hybridních krokových motorů s velikostí kroku $1,8^\circ$. V témže roce firma Intel začíná vyrábět první mikroprocesory.

V současné době se používají nejvíce dva typy rotačních krokových motorů – reakční a hybridní. Dalším méně užívaným druhem jsou lineární (nerotační) krokové motory. Všechny tyto typy je možné použít v perifériích počítačů (polohování hlav pevných i pružných disků, čtečky, děrovačky, tiskárny). Jsou využívány také v NC strojích, pohonech průmyslových robotů a manipulátorů, a v leteckém průmyslu.[1][2]

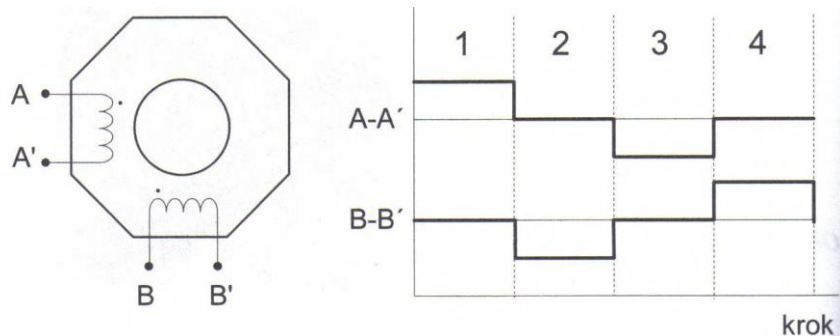
2.6.2. Hybridní krokové motory

V dnešní době se jedná asi o nejpoužívanější typ krokového motoru. Stator tvoří osm hlavních pólových nástavců, které se dále dělí na 5 zubů. Každý hlavní pólový nástavec má své vlastní vinutí. Rotor tvoří hřídel z nemagnetické oceli, na které jsou nalisovány dva pólové nástavce složené z plechu, mezi nimiž je umístěn permanentní magnet, tedy polarita každého rotorového pólového nástavce je odlišná. Stejně jako rotorové jsou rozděleny i pólové nástavce o stejné šířce na 50 zubů. Podstatné pro činnost je, aby rotorové pólové nástavce včetně zubů byly vzájemně v osové směru natočeny tak, aby proti osám zubů jednoho byly osy drážek druhého. [1]

Princip činnosti

Jestliže řídicí buzení není aktivní, neboli žádnou z fází neprochází proud, magnetický tok je vytvářen pouze permanentním magnetem, což zajistí, že rotor bude setrvávat v klidové poloze. Stator je tvořen osmi cívkami, které jsou zapojeny do dvou fází tak, že liché cívky tvoří fázi A a sudé fázi B. Jestliže bude protékat fází A proud budou statorové póly 1 a 5 tvořit jižní pól a póly 3 a 7 budou magnetizovány severně. Pootočení rotoru o krok způsobuje fázové vinutí A, kdy se přestane napájet a začne se napájet fáze B proudem s kladnou nebo zápornou polaritou, volenou dle požadovaného smyslu otáčení hřídele. V dalším kroku je napájeno opět vinutí A, ale opačným směrem proudu. Tento způsob je nazýván dvoufázový s bipolárním napájením. [1][2]

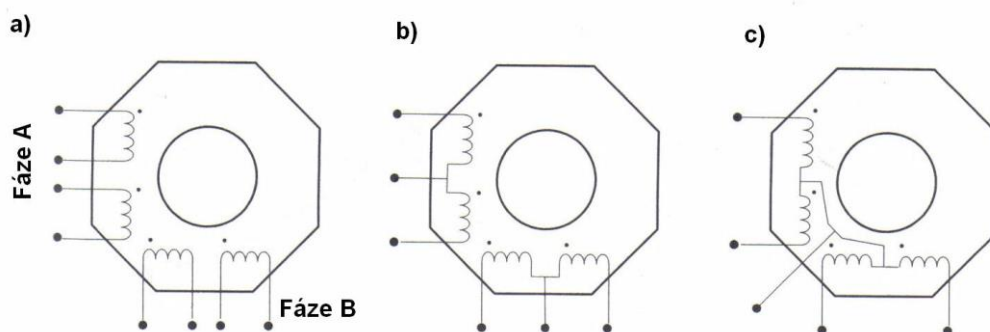
Hřídel krokového motoru se otáčí (krokuje) důsledkem spínání fází v sekvencích +A, -B, -A, +B, +A nebo +A, +B, -A, +B, +A. Z uvedených sekvencí je zřejmé, že je žádoucí jednotlivé fáze budit bipolárně. V případě, že se změní polarita proudu, dojde také ke změně magnetického toku. Pokud je třeba změna polarity, je vhodné použít bipolárních hybridních dvoufázových motorů. [2]



Obr. 2.13: Vlevo-zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s bipolárním řízením
Vpravo-časové průběhy čtyřtaktního řízení dvoufázového hybridního KM (bipolární řízení s magnetizací jedné fáze) [1][2]

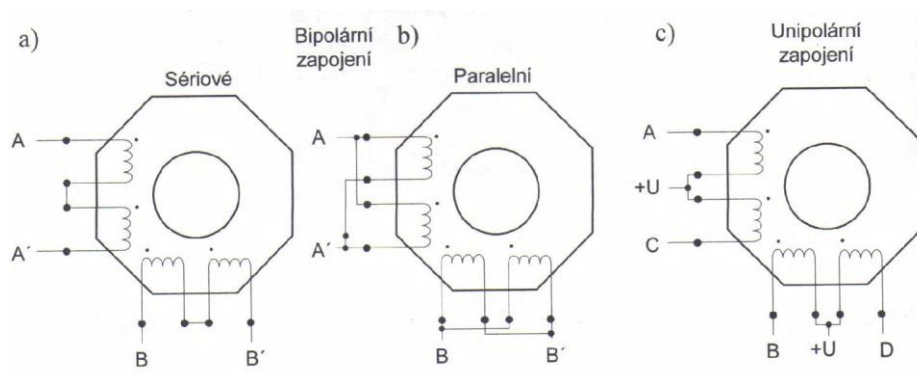
Některé krokové motory mají každou fázi rozdělenou na dvě poloviny. Podle toho, jak jsou konce těchto polovin vinutí vyvedeny ven z motoru, má dvoufázový krokový motor:

- osm vodičů – vyvedena každá polovina fáze samostatně
- šest vodičů – vyvedeny dva konce obou vinutí a středy obou vinutí
- pět vodičů – vyvedeny dva konce obou vinutí a společný střed obou vinutí



Obr. 2.14: Možné způsoby zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s unipolárním zapojením fází. [1][2]

Je také možné vyvést všechny vývody vnutí samostatně, tato koncepce se považuje za nejuniverzálnější. Pokud je buzen krokový motor, můžeme jednotlivé poloviny fází zapojit paralelně či sériově. Při sériovém zapojení je v oblastech nižších krokovacích frekvencí vyšší rozběhový moment. Paralelní zapojení se naproti tomu vyznačuje větším rozběhovým momentem v oblastech vyšších frekvencí. [1][2]



Obr. 2.15: Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s možností bipolárního/unipolárního buzení. [1][2]

2.6.3. Mikrokrokování

Používá se v některých aplikacích, kde je požadovaná jemná rozlišitelnost polohy (tiskárny, fytotechnika, mikromechanika, robotika,...) krokového motoru, například zlomky stupňů, nebo je-li potřeba snížit možné mechanické rázy vznikající při změně polohy hřídele (docílit je lze se různými tvary časových průběhu budících proudů). Úhel kroku může být zmenšen zvětšením počtu fází nebo rotorových zubů. V praxi je značně nevýhodné pracovat s větším počtem fází než 4 a je komplikované vyrobit rotor s více než 100 zuby, takže krokové motory s krokem pod 1° jsou vyráběny jen zřídka.

Jedním z možných způsobů jak zvýšit počet kroků na otáčku pomocí způsobu řízení se nazývá mikrokrokování. Magnetizace dvou fází najednou způsobí dělení každého kroku na mikrokroky, zpravidla stejné délky. Proud, který protéká současně při napájení dvou fází je v jednotlivých mikrokrocích záměrně odlišný. Správným nastavením velikostí proudů můžeme dosáhnout libovolné rovnovážné polohy mikrokroku mezi dvěma „základními“ kroky – určeno poměrem proudů a také stejného, případně různého momentu – dané velikostí proudů. Hodnota „kl“ vyjadřuje poměrové snížení proudu, který řídí krokový motor tím je zajištěno pootočení motoru jen o určitý úhel, který je nastaven již zmíněným proudem. V tabulce Tab. 2.2: Mikrokrokování [1] je znázorněno rozdělení základního kroku na 4 mikrokroky (s různou velikostí momentů v jednotlivých mikrokrocích). [1]

Tab. 2.2: Mikrokrokování [1]

Poloha mikrokroku	Proud fáze 1	Proud fáze 2
0	I	0
1/4	I	kl
1/2	I	I
3/4	kl	I
1	0	I

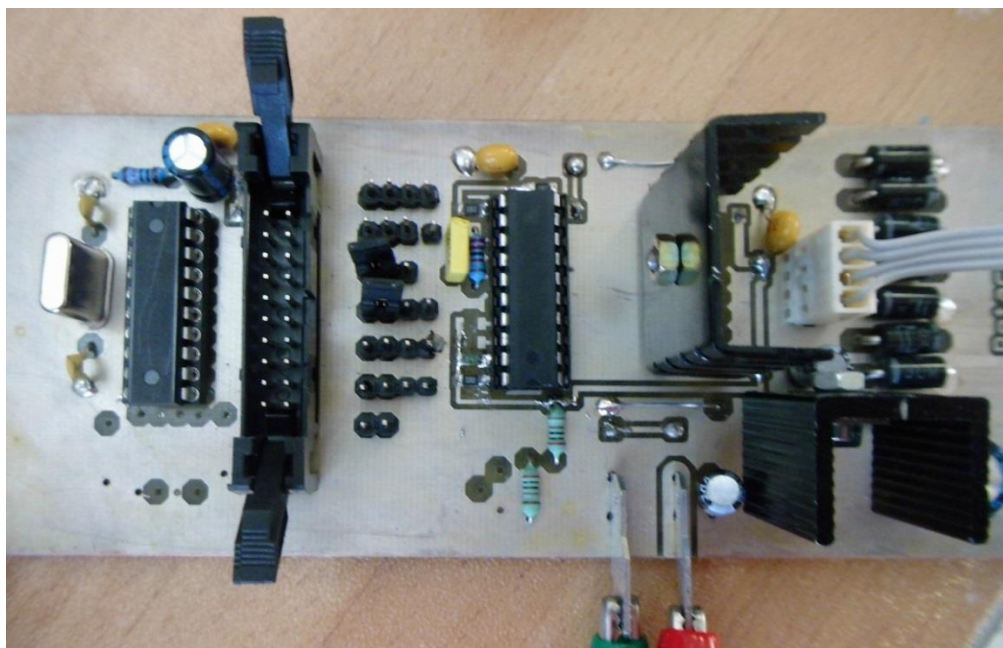
3. Praktická část

3.1. Návrh zapojení

3.1.1. Návrh obvodu pro řízení krokového motoru

Jak již bylo zmíněno výše pro řízení krokového motoru byla vytvořena DPS jejíž hlavní součástí je mikrokontrolér, který je spojen s 20- ti pólovou svorkovnicí. Pro správnou funkci mikrokontroléru byl použit externí oscilační krystal s frekvencí 12MHz. V návrhu desky jsou zakomponovány rezistory, které by zajišťovaly monitorování velikosti napájecího napětí pro případ, že by obvod byl napájen akumulátorem. Pro kontrolu napětí část obvodu týkající se napájení akumulátoru nebylo nutné realizovat. Přes jumpery je možné spojit piny mikrokontroléru se vstupními porty integrovaného obvodu L297. Jumpery umožňují spojit oba integrované obvody jen na pinech, které jsou potřeba pro dané zapojení. V tomto konkrétním případě je spojen s mikrokontrolerem pouze pin CLOCK a pin CW/CCW. Ty zajišťují ovládání motoru podle naprogramovaného procesoru. Ostatní vstupní porty jsou nastaveny podle návodu z katalogového listu do logické 0 nebo 1, tak aby se integrovaný obvod choval požadovaným způsobem. Další významnou část tvoří integrovaný obvod L298, který umožňuje řízení krokového motoru. Jeho externí napájení, kterým se řídí krokové motory jejichž provozní napětí může být až 50 V. Jedná se o výkonovou součástku, na které může být výkon až 25W, proto je nutné, aby byla opatřena chladičem. Pokud by chladič neobsahovala mohlo by dojít k přehřátí a nevratnému zničení. Obvod je určen pro řízení indukivní zátěže např. stejnosměrných nebo krokových motorů. Umožňuje nezávisle řídit směr a rychlost otáčení. Modul není zkratu vzdorný a není opatřen žádnými obvody pro řízení proudu.

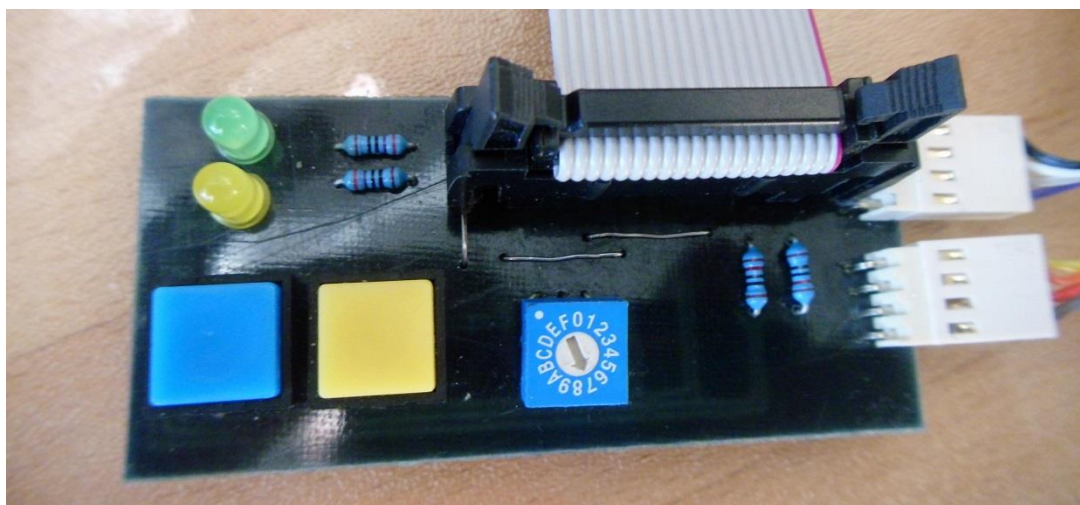
Na níže uvedeném obrázku je deska, která obsahuje také pasivní prvky určené ke správné funkci obvodu. Konkrétní hodnoty všech prvků je možné najít v příloze, kde je umístěné schéma společně se seznamem použitých součástek.



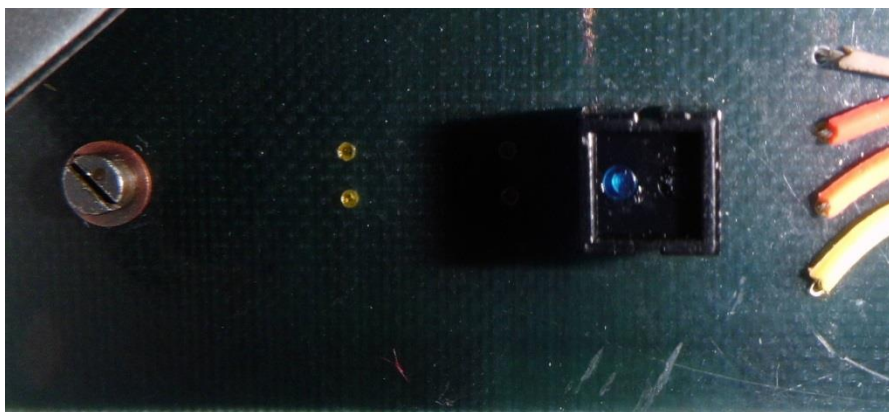
Obr. 3.1: DPS pro řízení krokového motoru

3.1.2. Návrh ovládacího obvodu

Tento obvod generuje vstupní veličiny, podle kterých mikrokontrolér rozhodne další chování programu. DPS obsahuje dvě tlačítka, modré tlačítko spojuje reset mikrokontroléru s kladným napětím. V případě stisku tlačítka dojde k resetování programu a tím i k jeho opětovnému spuštění. Žluté tlačítko je určeno pro zastavení programu, ale je možné je také použít k aktivaci v případě, že z důvodu programového nastavení posuvu zastaví na dorazu. Následující součástí jsou LED diody přičemž zelená svítí vždy, je-li deska připojena k napájení, žlutá pouze v případě, jestliže je motor v pohybu. Dalším důležitým prvkem je 16-ti polohový kódový přepínač. Ten slouží k nastavení 8 různých rychlostí při dvou druhích jízdních režimů.



Obr. 3.2: DPS zajišťující ovládání



Obr. 3.3: DPS s reflexním optočlenem

3.1.3. Oživení a zapojení

Zpočátku byl program vyzkoušen na přípravku, který tvoří LED diody a tlačítka, kterými lze simulovat chování ovládacích vstupních parametrů ve skutečnosti. Samotné oživení celého obvodu proběhlo na stejnosměrném laboratorním zdroji při napětí 12V a proudu 0,3A. Nejprve proběhlo ověření funkce na slabším krokovém motoru, který nebyl připojen k mechanickému posuvu, aby v případě chyby v programu nedošlo k poškození posuvu. Následně bylo napětí zvýšeno na 24V, které napájí krokový motor na který je přípravek zkonstruován.

3.2. Návrh ovládacího programu

Pro ovládání krokového motoru byl vytvořen program, který zajišťuje jeho plynulý chod. K tomuto účelu byla vytvořena programová konstrukce viz Obr. 3.4, z ní vychází skladba programu, která zajišťuje následující chování motoru.

Program nejprve provede nastavení rychlosti časovače, hned po té provede kontrolu výchozí polohy. Pokud se nenachází ve výchozí poloze rozběhne se motor a to až do té chvíle dokud se nesepe optozávora na dorazu 1. Program zvolí dle nastavení nejvyššího bitu na kódovém přepínači jeden ze dvou jízdnic režimů. Po tomto základním nastavení se rozsvítí žlutá LED dioda a začíná samotný měřicí cyklus. Jestliže je na kódovém přepínači nastavena hodnota 0 -7, program běží v nekonečné smyčce a na dorazu se vždy změní směr chodu krokového motoru. V případě, že je přepínač nastaven na hodnotě 8 – F motor se zastaví vždy na dorazu a čeká než žlutým tlačítkem dostane povolení pokračovat v chodu. Program obsahuje 8 rychlostí, které se volí prvními 3 bity na kódovém přepínači. Z toho vyplývá, že rychlost 0 stejně jako rychlost 8 je shodná, rozdíl je pouze ve volbě jízdnicího režimu.

3.2.1. Nastavení časovače

Nastavení rychlosti přerušování časovače a tedy i rychlostí pohybu krokového motoru bylo vytvořeno nepřímým adresováním. To zajišťuje registr DPTR, který se využívá jako ukazatel do paměti ROM, do té se nejprve uloží hodnoty, které mohou být následně přečteny. V tomto konkrétním případě byla vytvořena tabulka s rychlostmi, které určují, jak rychle se bude motor otáčet. Hodnota nastavená na kódovém přepínači je přiřazena hodnotě časovače. Pro hodnoty tabulky byl uveden vzorový

výpočet rovnicemi (3.1 –(3.7. V katalogovém listu krokového motoru MITSUMI M42SP-4 viz Příloha D je uveden úhel krokového motoru, který je $3,75^\circ$ na krok. Tento úhel je poměrně velký. Při vyšších otáčkách se může stát, že se motor neroztočí, protože nebude dostatečně rychle reagovat na změnu napětí v budícím obvodu. Z tohoto důvodu bylo použito režimu HALF na integrovaném obvodu L297, který zvýší počet kroků motoru na otáčku. Výpočet pulzu závisí na frekvenci krystalu, který je dále vydělen softwarově děličkou 12. Obvod reaguje pouze na vzestupnou hranu, proto je nutné ještě dělit 2. Nastavení rychlostí záleží na pořadí v jakém jsou uvedeny. Nastavení otáček bylo voleno od nejvyšší možné rychlosti, kterou umožňoval krouticí moment motoru. Ostatní hodnoty byly zvoleny s ohledem na nejvyšší rychlost s dostatečným rozestupem tak, aby byl poměr objemu vzduchu měřen v dostatečném rozsahu. Množství rychlosti dovoluje použití přípravku k širokému využití různých druhů spirometrických měřidel. Tabulka Tab. 3.1 dokumentuje jednotlivé nastavené hodnoty do tabulky časovače.

Výpočet množství kroků (m) v jedné otáčce krokového motoru:

$$m = \frac{360^\circ}{3,75^\circ} = 96 \text{ krok/ot}, \quad (3.1)$$

Výpočet kroků za jednu sekundu:

$$n = v_{ot} * m = 0,6 * 96 = 57,6 \text{ krok/s}, \quad (3.2)$$

Výpočet frekvence :

$$f = 2 * n = 2 * 57,6 = 115,2 \text{ Hz}, \quad (3.3)$$

Výpočet periody signálu:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{115,2} = 8,6806 \text{ ms}, \quad (3.4)$$

Z délky periody je možné určit počet pulzů generovaných řídicím obvodem:

$$p = T * 500 = 8,6806 * 500 = 4340,278, \quad (3.5)$$

Odečtení maximální hodnoty čítače od vypočítané hodnoty, pro nastavení požadované rychlosti:

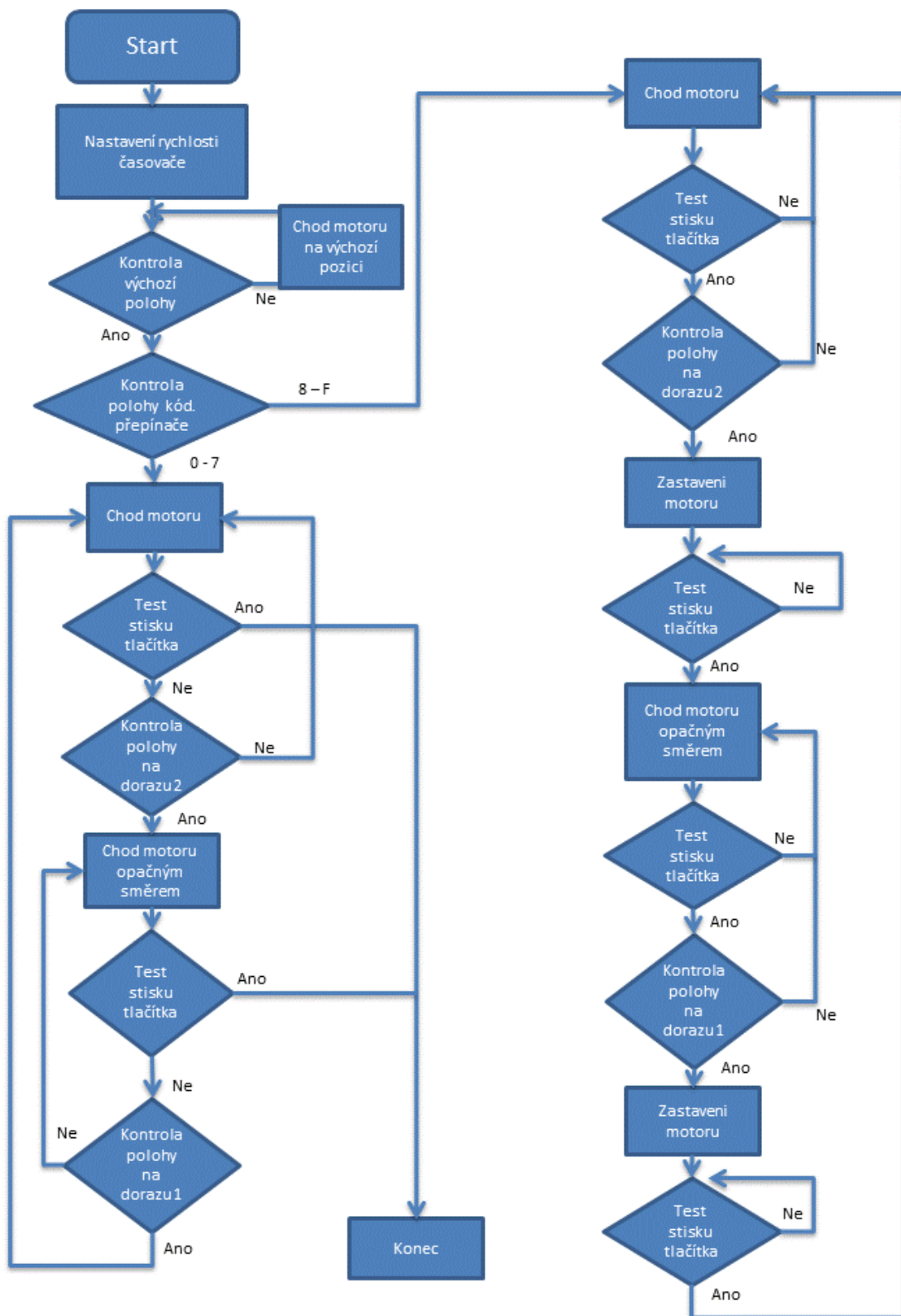
$$r = 2^{16} - p = 65536 - 4340 = 61196, \quad (3.6)$$

Převedení čísla z decimální soustavy do hexadecimální:

$$61196_D = EF0B_H. \quad (3.7)$$

Tab. 3.1: Nastavení hodnot časovače

otáčky/sec	360°/krok	krok/sec	F [Hz]	t [ms]	pulz	rozdíl do max	hex
0,20	96	19,2	38,4	26,04167	13020,83	52515	CD23
0,25	96	24,0	48,0	20,83333	10416,67	55119	D74F
0,30	96	28,8	57,6	17,36111	8680,556	56855	DE17
0,35	96	33,6	67,2	14,88095	7440,476	58096	E2EF
0,40	96	38,4	76,8	13,02083	6510,417	59026	E691
0,45	96	43,2	86,4	11,57407	5787,037	59749	E964
0,50	96	48,0	96,0	10,41667	5208,333	60328	EBA7
0,60	96	57,6	115,2	8,680556	4340,278	61196	EF0B



Obr. 3.4: Základní programové schéma

4. Testování

Po dokončení přípravku byl program otestován dvěma způsoby. Předně byla u všech rychlostí změřena osciloskopem výstupní frekvence mikrokontroléru, která ovlivňuje rychlost otáčení motoru. Frekvence byly shodné s výše uvedenými hodnotami kmitočtů viz Tabulka Tab. 2.1. Další testem bylo třeba ověřit, zda-li se mechanický posuv pohybuje přesně ve stanoveném rozmezí. Rozsah pohybu byl stanoven na 2 litry kalibračního válce. Rozteč mezi hodnotou 0 – 2 litry na kalibračním válci tvoří 246,6 mm. Tato hodnota byla naměřena na dřívku pístu, která je cejchována po 0,1 litru. Dalším klíčovým parametrem je průměr řemenice motoru, průměr této řemenice je 10 mm. Z uvedených údajů bylo provedeno ověření správnosti měření následující ověřovacím výpočtem:

Výpočet obvodu řemenice:

$$o = \pi * d = 10\pi \text{ mm}, \quad (4.1)$$

Výpočet otáček motoru na délce pojezdu x :

$$x = \frac{h}{o} = \frac{246,6}{31,4159} = 7,8495, \quad (4.2)$$

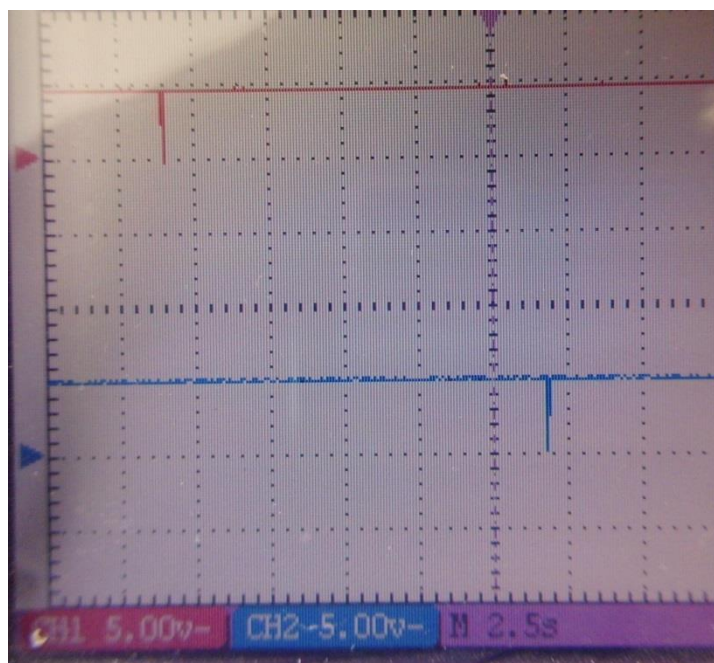
Výpočet času jak dlouho trvá přejezd mezi dorazy při rychlosti $v_{ot} = 0,6 \text{ ot/s}$:

$$t = \frac{x}{v_{ot}} = \frac{7,8495}{0,6} = 13,08254 \text{ s}, \quad (4.3)$$

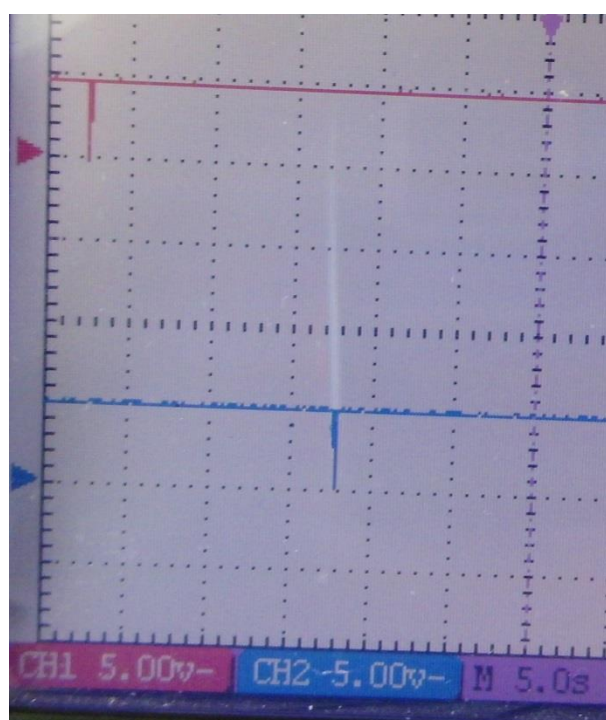
Výpočet času jak dlouho trvá přejezd mezi dorazy při rychlosti $v_{ot} = 0,5 \text{ ot/s}$:

$$t = \frac{x}{v_{ot}} = \frac{7,8495}{0,5} = 15,69904 \text{ s}. \quad (4.4)$$

Měření bylo testováno při dvou nejvyšších možných rychlostech a to 0,6 a 0,5 ot/s. Výsledek výpočtu se shoduje s naměřenými hodnotami, které dokládá níže uvedený obrázek č. Obr. 4.1 a obrázek č. Obr. 4.2. Měření bylo prováděno pomocí dvou sond připojených k osciloskopu. Sonda, kterou znázorňuje červený průběh osy byla připojena k dorazu 1, sonda znázorněná modrým průběhem byla připojena k dorazu 2. Z obrázku je zřejmé, že hodnoty vypočtené a skutečné se téměř rovnají.



Obr. 4.1: Zobrazení signálů mezi dorazy při rychlosti $v_{ot} = 0,6$ ot/s:



Obr. 4.2: Zobrazení signálů mezi dorazy při rychlosti $v_{ot} = 0,5$ ot/s:

Rychlosti posuvu nejsou dostatečné byly limitovány krouticím momentem motoru MITSUMI M42SP-4. Pro zvýšení rychlosti by měl být použito silnějšího typu krokového motoru například: HS 200 1720 viz Příloha E. Uvedený motor má mnohonásobně vyšší krouticí moment, také jeho provozní napětí je vyšší. Pokud dojde změně typu motoru za jiný o vyšším výkonu je nutné TabulkuTab. 3.1 aktualizovat. Důležitým faktorem správnosti výpočtu krokového motoru je ve výpočtu uvažovat se správným úhlem na jeden krok, který může být odlišný. Tuto hodnotu udává výrobce pro konkrétní motor v jeho katalogovém listu.

Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval spirometrií a možnostmi kalibrace průtokových měřidel, která jsou v současnosti užívána. Úkolem práce bylo sestavit elektrický obvod, který bude zajišťovat pohyb kalibračního válce s definovanou rychlostí a definovaným objemem.

Pro řízení krokového motoru byly zvoleny obvody L297 a L298, které zajišťují jeho řízení s požadovanou přesností. K tomu, aby mohly řídicí obvody vykonávat svoji funkci musí být připojen mikrokontrolér AT89C2051. Následně byl vytvořen program, který zajišťuje požadovaný chod zařízení. Zařízení zajišťuje dva různé jízdní režimy s volbou osmi různých rychlostí. Na desce určené k ovládní je umístěn 16-ti polohový kódový přepínač, který slouží k nastavení výše uvedených režimů. Optoelektické snímače jsou umístěny v přesně určené vzdálenosti, která byla změřena na dřívku pístu a tvoří přesně 2 litry. Správnost funkce programu byla otestována funkčním testem, při kterém byl měřen čas průjezdu mezi jednotlivými optickými dorazy.

Otestováním přípravku je zajištěna jeho dostatečná funkčnost, tudíž je možný k využití v praxi ke kalibraci různých druhů spirometrů, které mohou být kalibrovány jak objemovou, tak i rychlostní metodou.

Pro praktické využití by bylo žádoucí použít krokového motoru s větším kroutícím momentem, aby mohly být kalibrovány zařízení s vyšším průtokem vzduchu.

Literatura

- [1] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení 1. díl*. BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.
- [2] FRIEDL, František. *Řízení otáček krokového motoru: Bakalářská práce* [online]. Zlín, 2008 [cit. 2016-12-12].
Dostupné z: www.c-n-c.cz/download/file.php?id=12120
- [3] VECHETA, Miroslav. *Spirometrická měření: Bakalářská práce* [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=68379
- [4] CHMELÍKOVÁ, Lucie. *Srovnání přesnosti spirometrických přístrojů: Bakalářská práce* [online]. Brno, 2014 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84902
- [5] HRUBÝ, Michal. *Číslicově řízené dvouosé polohovací zařízení pro digitální fotoaparát: Diplomová práce* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39931
- [6] Instructions for use [online]. U.S.A., 2013 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
http://meenamedical.com/uploads/Manuals/Spirometry/HANSRUDOLPH_Maintenance.pdf
- [7] Data Sheet: *Rudolph volume calibration syringes* [online]. U.S.A., 2013 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
<http://www.nichemedical.com.au/pdf/2015%20Hans%20Rudolph%20Calibration%20Syringes.pdf>
- [8] The L297: Stepper motor controllers. *Alldatasheet.com* [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/22436/STMICROELECTRONICS/L297/1618/1/L297.html>
- [9] The L298: Dual Full - Bridge Driver. *Alldatasheet.com* [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/22437/STMICROELECTRONICS/L298/1618/1/L298.html>
- [10] RŮŽIČKA, Jiří. *Dynamicky se měnící reklama: Bakalářská práce* [online]. Zlín, 2008 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/6534/r%C5%AF%C4%8Dka_2008_bp.pdf?sequence=1
- [11] Hans Rudolph Series 5530. *Terapeak.com* [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://www.terapeak.com/worth/hans-rudolph-3-liter-series-5530-calibration-syringe-spirometer/172255550358/>
- [12] Atmel AT89C2051. *Atmel.com* [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z:
<http://www.atmel.com/Images/doc0368.pdf>
- [13] *Danielstolfi* [online]. [cit. 2017-06-01]. Dostupné z:
<http://www.danielstolfi.com/recursos/M42SP-4.pdf>
- [14] *Raveo: katalogový list* [online]. [cit. 2017-06-07]. Dostupné z:
<http://www.motory-prevodovky.cz/img/manualKrokove/10-hs2001720.pdf>

Seznam zkratek

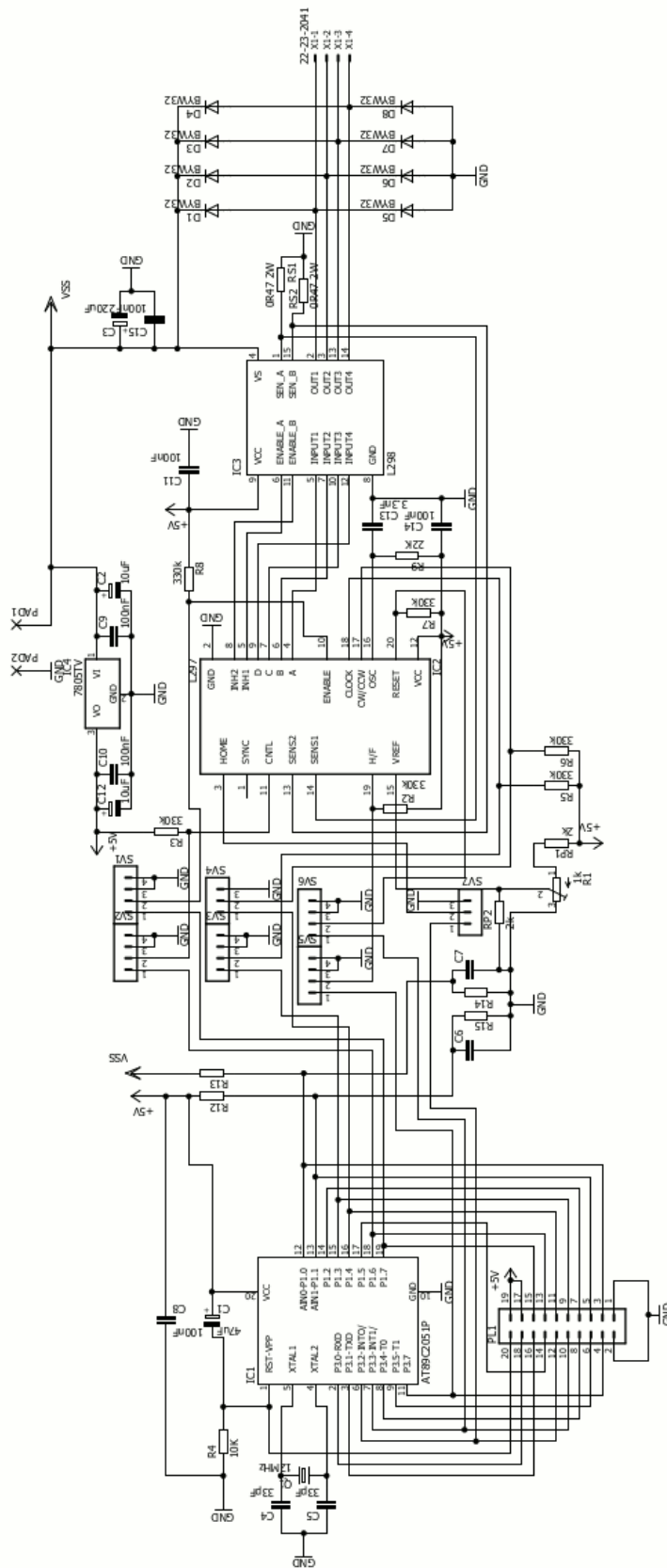
KM	Krokový motor
PCB	Printed circuit board, deska plošného spoje
PC	personal computer, osobní počítač
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
PEROM	Programmable and Eerasable Read-Only Memory, programově přepisovaná paměť
CPU	Central processing unit, centrální procesorová jednotka
RAM	Random Access Memory, paměť umožňující čtení i zápis
PPS	Pulse per second - počet pulsů za 1 sekundu

Seznam příloh

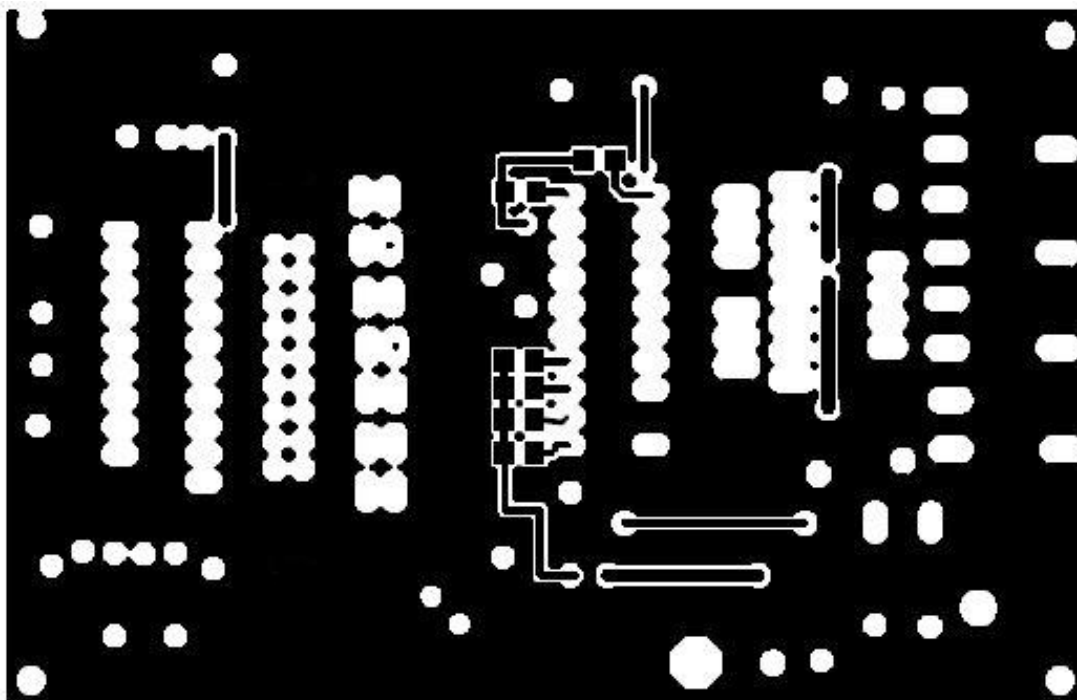
A.	Deska plošného spoje pro řízení motoru	37
1.	Schéma zapojení.....	37
2.	Filmová předloha.....	38
3.	Osazovací plánec.....	39
4.	Celkový návrh	39
5.	Seznam součástek.....	40
B.	Desky plošného spoje pro ovládání motoru	41
1.	Schéma zapojení.....	41
2.	Filmová předloha.....	41
3.	Osazovací plánec.....	41
4.	Celkový návrh	42
5.	Seznam součástek.....	42
C.	Desky plošného spoje pro snímače.....	43
1.	Schéma zapojení.....	43
2.	Filmová předloha.....	43
3.	Osazovací plánec.....	43
4.	Celkový návrh	44
5.	Seznam součástek.....	44
D.	Řídicí program.....	44
E.	Katalogový list použitého krokového motoru MITSUMI M42SP-4 [13].....	44
F.	Katalogový list krokového motoru (HS 200 1720) [14]	44

A. Deska plošného spoje pro řízení motoru

1. Schéma zapojení

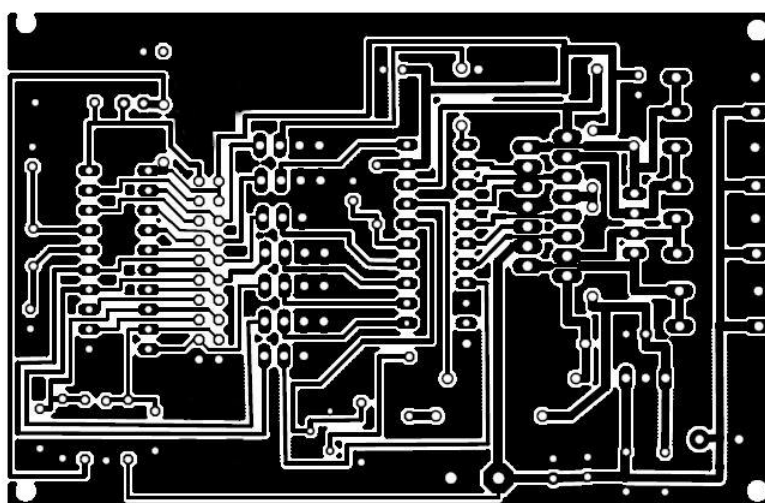


2. Filmová předloha



Vrstva TOP

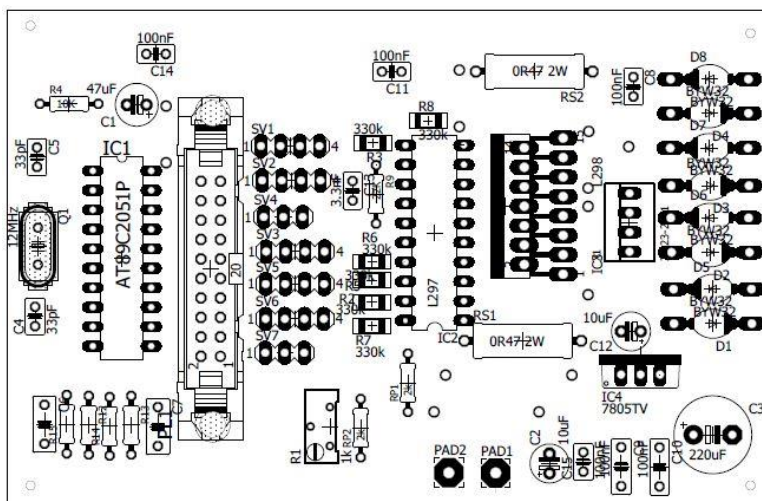
Rozměr desky 100 x 65 [mm]



Vrstva BOTTOM

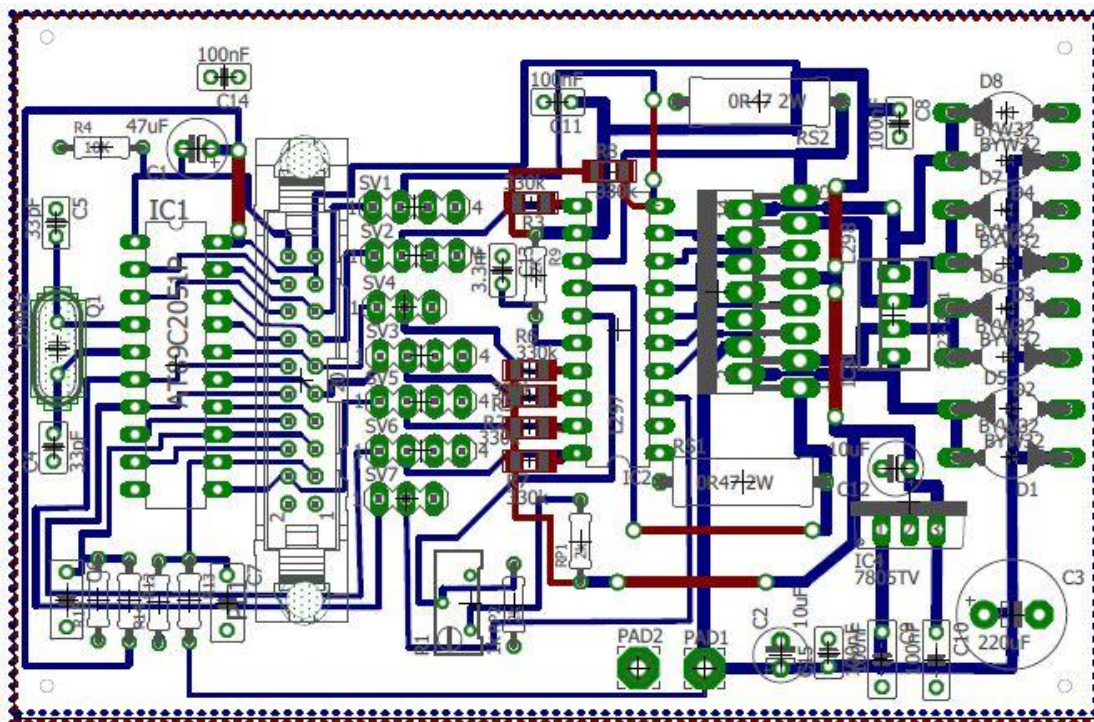
Rozměr desky 100 x 65 [mm]

3. Osazovací plánek



Rozměr desky 100 x 65 [mm]

4. Celkový návrh

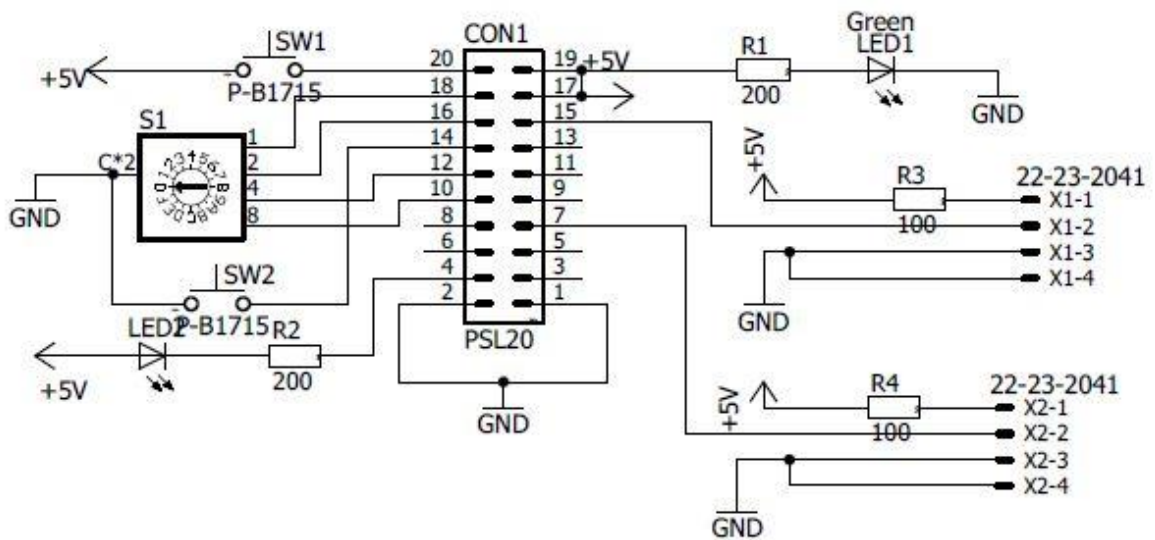


5. Seznam součástek

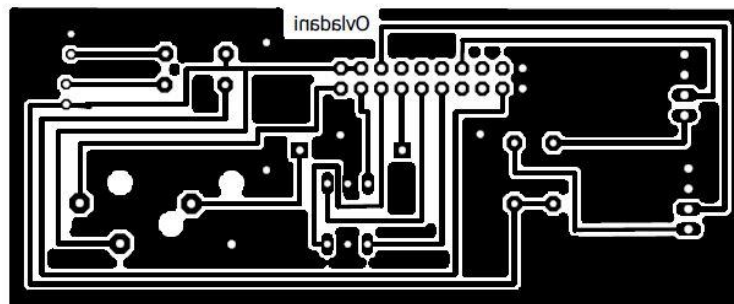
Označení	Hodnota	Pouzdro_Eagle	Popis
C1	47uF	E2,5-6	Elektrolytický kondenzátor
C2	10uF	E2,5-5	Elektrolytický kondenzátor
C3	220uF	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor
C4	33pF	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C5	33pF	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C8	100nF	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C9	100nF	C050-025X075	Keramický kondenzátor
C10	100nF	C050-025X075	Keramický kondenzátor
C11	100nF	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C12	10uF	E2,5-5	Elektrolytický kondenzátor
C13	3.3nF	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C14	100nF	C025-025X050	Keramický kondenzátor
C15	100nF	C025-025X050	Keramický kondenzátor
D1	BYW32	DO204-10	Výkonová dioda
D2	BYW32	DO204-10	Výkonová dioda
D3	BYW32	DO204-10	Výkonová dioda
D4	BYW32	DO204-10	Výkonová dioda
D5	BYW32	DO204-10	Výkonová dioda
D6	BYW32	DO204-10	Výkonová dioda
D7	BYW32	DO204-10	Výkonová dioda
D8	BYW32	DO204-10	Výkonová dioda
IC1	AT89C2051P	DIL20	Mikrokontroler 8051
IC2	L297	DIL20	Integrovaný obvod pro ovládání K.M.
IC3	L298	MULTIWATT-15	Řídicí obvod K.M.
IC4	7805TV	TO220V	Stabilizátor napětí
PL1		PSL20V	Svorkovnice
Q1	12MHz	HC49/S	Crystal
R1	1k	RTRIM64Y	Trimr
R2	330k	R1206	Resistor
R3	330k	R1206	Resistor
R4	10K	0204/7	Resistor
R5	330k	R1206	Resistor
R6	330k	R1206	Resistor
R7	330k	R1206	Resistor
R8	330k	R1206	Resistor
R9	22K	0204/7	Resistor
RP1	2k	0204/7	Resistor
RP2	2k	0204/7	Resistor
RS1	0R47 2W	P0613/15	Resistor
RS2	0R47 2W	P0613/15	Resistor
X1	22-23-2041	22-23-2041	Konektor se zámkem (2.54mm) - 4 Pin

B. Desky plošného spoje pro ovládání motoru

1. Schéma zapojení

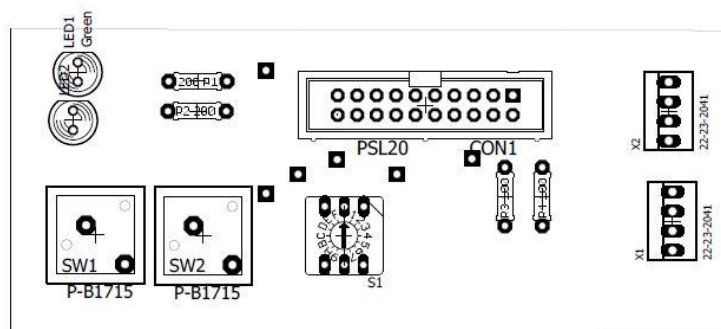


2. Filmová předloha



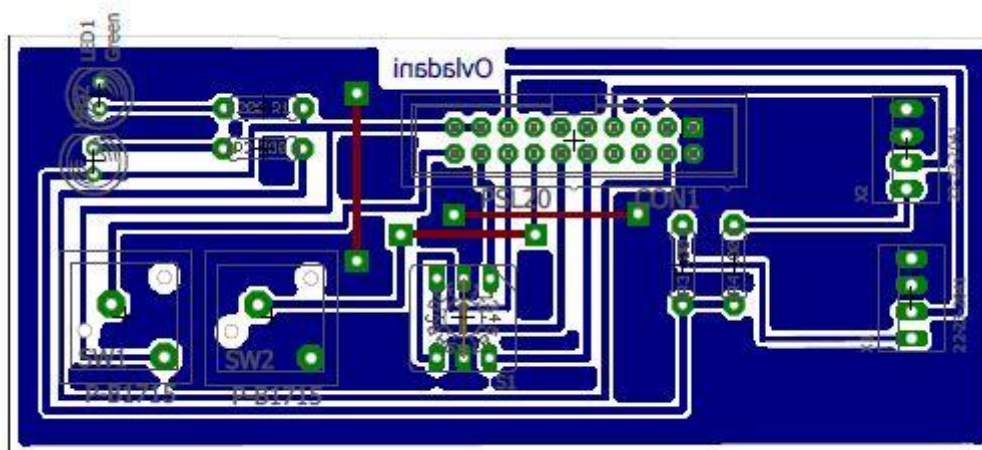
Rozměr desky 94,5 x 39,5 [mm]

3. Osazovací plánek



Rozměr desky 94,5 x 39,5 [mm]

4. Celkový návrh

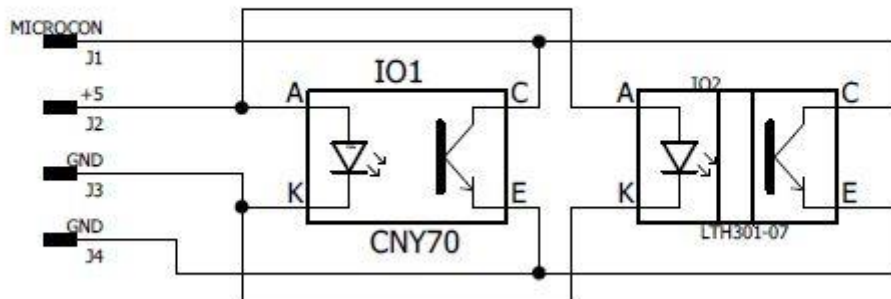


5. Seznam součástek

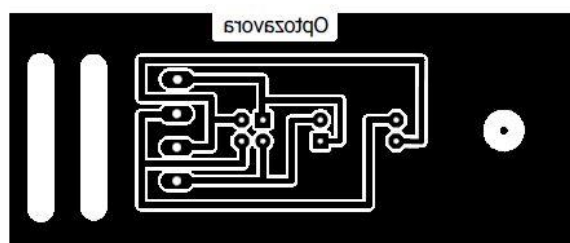
Označení	Hodnota	Pouzdro_Eagle	Popis
CON1		PLS20V	Svorkovnice
1.01		LED5MM	LED - zelená
1.02		LED5MM	LED
R1	200	R-7,5	Rezistor
R2	200	R-7,5	Rezistor
R3	100	R-7,5	Rezistor
R4	100	R-7,5	Rezistor
S1		DRS3016	16-ti polohový kódový spínač
SW1	P-B1715	P-B1715	Tlačítkový spínací
SW2	P-B1715	P-B1715	Tlačítkový spínací
X1	22-23-2041	22-23-2041	Konektor se zámkem (2.54mm) - 4 Pin
X2	22-23-2041	22-23-2041	Konektor se zámkem (2.54mm) - 4 Pin

C. Desky plošného spoje pro snímače

1. Schéma zapojení

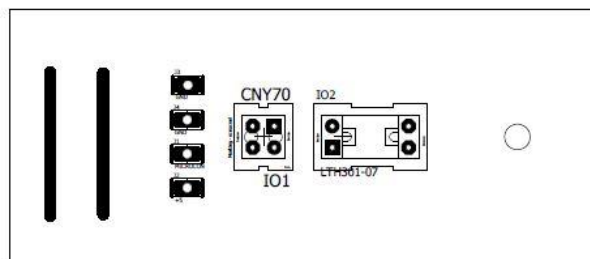


2. Filmová předloha



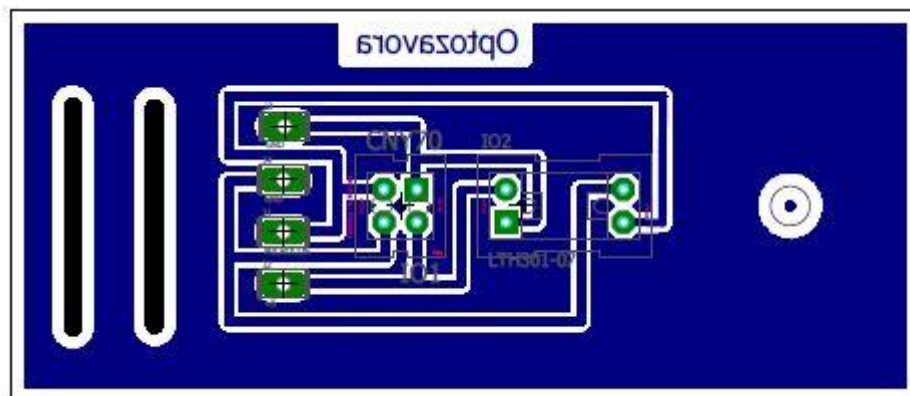
Rozměr desky 70 x 30 [mm]

3. Osazovací plánek



Rozměr desky 70 x 30 [mm]

4. Celkový návrh



5. Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro_Eagle	Popis
IO1	CNY70	CNY	Opticky senzor reflexní

D. Řídicí program

E. Katalogový list použitého krokového motoru MITSUMI M42SP-4 [13]

F. Katalogový list krokového motoru (HS 200 1720) [14]