



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

NÁVRH A REALIZACE ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ SÍLY V TAHU U SMD

DESIGN AND REALIZATION OF THE PULL STRENGTH MEASURING DEVICE FOR SMD

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN VALÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEXANDR OTÁHAL

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Mikroelektronika

Student: Bc. Jan Valíček

ID: 106852

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a realizace zařízení pro měření síly v tahu u SMD

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte přenosnou aparaturu pro měření síly v tahu u SMT součástek (vývody integrovaných obvodů, pájkové kuličky BGA). Využijte dostupný přístroj Test 321, který měří sílu v tahu i tlaku. Automatizujte proces odtrhnutí součástky, resp. pájeného spoje, a naměřená data zpracujte pomocí PC (graf průběhu síly při procesu trhání, zaznamenání maximální hodnoty síly v tahu).

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 30.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Alexandr Otáhal

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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

Diplomová práce se zabývá problematikou návrhu a realizace zařízení pro měření síly v tahu u povrchově montovaných součástek (SMD). Rozebírá teorii testování pájeného spoje na pevnost v tahu s důrazem na normu IEC 62137-1-3 a popisuje volbu jednotlivých komponent využitých na tvorbu mechanické konstrukce i elektrické části. Vyrobené, nebo inovované elektronické části byly: řídicí systém, výkonový obvod pro krokový motor a komunikace měřicího zařízení TEST 321 s PC. Celý návrh je doplněn o simulace mechanického namáhání kritických částí pomocí programu ANSYS. V závěru jsou shrnuty nejdůležitější parametry zařízení.

Klíčová slova

Měření síly v tahu, tah, tlak, krokový motor, pájený spoj, pájkové kuličky.

Abstract

This thesis deals with the design and implementation of a device for measuring pull strength by surface mounted devices (SMD). It analyzes the theory of pull strength testing of solder joints with emphasis on standard IEC 62137-1-3 and describes the selection of components utilized to create mechanical construction and electrical parts. These electronic parts made or innovated in this work were control system based on microcontroller Atmega164P, power circuit for stepper motor and communication of measure equipment TEST 321 with PC. The whole design is complemented by simulation of mechanical stress to the critical components using ANSYS. The conclusion summarizes the most important parameters of this equipment.

Keywords

Measuring pull strength, pull-up, pressure, stepper motor, solder joint, solder balls.

VALÍČEK, J. *Návrh a realizace zařízení pro měření síly v tahu u SMD*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky, 2013. 65 s., 11 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Alexandr Otáhal

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Návrh a realizace zařízení pro měření síly v tahu u SMD jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 25. května 2013

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Alexandru Otáhalovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Také děkuji všem pracovníkům Ústavu mikroelektroniky, kteří mě svým přístupem v průběhu zpracovávání práce jakkoliv podpořili, především pak Ing. Sebastianu Vaculíkovi a Ing. Milanu Holíkovi za mnoho cenných rad a ochotu při konzultacích.

V Brně dne 25. května 2013

.....

(podpis autora)

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	VII
SEZNAM TABULEK	IX
ÚVOD	1
1 PROBLEMATIKA TESTOVÁNÍ SMD TAHEM.....	2
2 VÝBĚR MECHANICKÝCH KOMPONENT.....	3
2.1 LINEÁRNÍ VEDENÍ	3
2.1 LINEÁRNÍ VEDENÍ TYČOVÉ	4
2.2 POROVNÁNÍ LINEÁRNÍCH VEDENÍ	5
2.3 POHYB KULIČKOVÝM ŠROUBEM	5
2.4 ULOŽENÍ SYSTÉMU KULIČKOVÉHO ŠROUBU	6
2.5 MOMENTOVÉ SPOJKY	7
3 ELEKTRONICKÁ ČÁST	8
3.1 ŘÍDÍCÍ ELEKTRONIKA	8
3.2 VSTUPNĚ VÝSTUPNÍ PERIFERIE	9
3.2.1 Klávesnice	9
3.2.2 Resetovací tlačítko.....	10
3.2.3 Oscilátor.....	10
3.2.4 Nouzový vypínač.....	11
3.2.5 Koncový spínač	11
3.2.6 Zobrazovací rozhraní	11
3.3 NAPÁJENÍ	12
3.4 DESKA MIKROKONTROLERU	13
3.5 VÝBĚR POHONNÉ JEDNOTKY	17
3.6 MOŽNOSTI ŘÍZENÍ KROKOVÝCH MOTORŮ	18
3.7 VÝKONOVÁ ČÁST ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU	18
3.7.1 Plošný spoj výkonové části řízení krokového motoru.....	20
3.8 MĚŘIDLO TEST 321	21
3.8.1 Úprava zapojení měřidla TEST 321	23
4 KONSTRUKCE POLOHOVACÍHO STOLKU.....	24
4.1 VYTVOŘENÍ TROJROZMĚRNÉHO MODELU	24
4.1.1 Trhací stolice.....	25
4.1.2 Sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem	26
4.1.3 Stolek pro upnutí substrátu	29
4.1.4 Úhlový nástavec pro testování vývodů integrovaných obvodů	29
4.1.5 Návrh kleštiny pro upínání pájkových kuliček	30
4.1.6 Návrh nástroje pro testování vývodů integrovaných obvodů.....	31
4.1.7 Vytužení konstrukce	32
4.1.8 Uchycení měřidla TEST 321	32
4.1.9 Přístrojový kryt.....	33
5 VÝROBA A SESAZENÍ ZAŘÍZENÍ	34
5.1 SESTAVA LINEÁRNÍHO POHYBU	34

5.2 SESOUHLASENÍ TESTOVANÉHO VZORKU S TRHACÍM NÁSTROJEM	35
5.3 STOLEK PRO UPNUTÍ SUBSTRÁTU	36
5.4 UCHYCENÍ MĚŘIDLA TEST 321	37
5.5 PŘÍSTROJOVÝ KRYT	37
5.6 TRHACÍ NÁSTROJE	38
5.7 FINÁLNÍ MONTÁŽ.....	39
5.8 OVĚŘENÍ TUHOSTI KONSTRUKCE	40
6 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....	41
6.1 PROGRAM PRO MIKROKONTROLÉR.....	41
6.1.1 Přepoččet veličin.....	41
6.1.2 Přepoččet rychlosti na frekvenci.....	41
6.1.3 Přepoččet dráhy na počet kroků	42
6.2 PROGRAM PRO OSOBNÍ POČÍTAČ	42
7 OVLÁDÁNÍ ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ SÍLY V TAHU.....	43
7.1 OBSLUHA POJEZDU	43
7.2 REŽIM SAMOSTATNÉHO PROVOZU	46
7.3 OBSLUHA PROGRAMU PRO ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	46
8 ZKUŠEBNÍ MĚŘENÍ.....	49
9 ROZŠÍŘENÍ A PARAMETRY ZAŘÍZENÍ.....	51
10 ZÁVĚR.....	52
POUŽITÁ LITERATURA:.....	53
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
SEZNAM PŘÍLOH.....	56
A ELEKTRONICKÁ ČÁST	1
A.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ DESKY MIKROKONTROLERU	2
A.2 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE MIKROKONTROLERU – TOP (STRANA SOUČÁSTEK)	3
A.3 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE MIKROKONTROLERU – BOTTOM (STRANA SPOJŮ)	3
A.4 OSAZENÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE MIKROKONTROLERU.....	4
A.5 ŠTÍTEK PŘÍSTROJOVÉHO KRYTU	4
A.6 SCHÉMA ZAPOJENÍ DESKY VÝKONOVÉ ČÁSTI ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU	5
A.7 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE VÝKONOVÉ ČÁSTI ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU – TOP (STRANA SOUČÁSTEK)	5
A.8 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE VÝKONOVÉ ČÁSTI ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU – BOTTOM (STRANA SPOJŮ)	6
A.9 OSAZENÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE VÝKONOVÉ ČÁSTI ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU	6
A.10 SEZNAM SOUČÁSTEK.....	7
B MECHANICKÁ ČÁST.....	9
B.1 USPOŘÁDÁNÍ LINEÁRNÍHO POHYBU	10
B.2 SESOUHLASENÍ VZORKU	10
B.3 UPNUTÍ VZORKU	11
B.4 KOMPLETNÍ ZAŘÍZENÍ.....	11

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Princip zkoušky tahem [1]	2
Obr. 2.1: Přírubový vozík na kolejnici [2]	3
Obr. 2.2: Lineární vedení tyčové otevřené – a), podepřené – b) [3]	4
Obr. 2.3: Uchycení vodící tyče typ SK – a, typ SHF – b) [3]	4
Obr. 2.4: Uzavřené kuličkové pouzdro [4].....	5
Obr. 2.5: Uzavřený linearset SMA [3]	5
Obr. 2.6: Řez kuličkovou maticí [6].....	6
Obr. 2.7: Volné uložení konce kuličkového šroubu [3]	7
Obr. 2.8: Pevné uložení konce kuličkového šroubu [3]	7
Obr. 2.9: Momentová spojka dělená – a), momentová spojka nedělená – b) [3].....	7
Obr. 3.1: Struktura mikrokontroléru Atmega164P [7]	8
Obr. 3.2: Funkční schéma elektronické části	9
Obr. 3.3: Maticová klávesnice – a), vnitřní uspořádání – b).....	10
Obr. 3.4: Koncový spínač.....	11
Obr. 3.5: LCD displej 4x20– a), Zapojení LCD displeje– b).....	12
Obr. 3.6: Spínaný zdroj MW-SYSSTXX-12024 2.1	13
Obr. 3.7: Zapojení stabilizace napájení	13
Obr. 3.8: Schéma napájení mikrokontroléru	14
Obr. 3.9: Schéma ovládní relé	15
Obr. 3.10: Schéma posunutí úrovně analogového signálu	15
Obr. 3.11: Zapojení FT 232RL.....	16
Obr. 3.12: Krokový motor POWERMAXII – P22NSXA.....	17
Obr. 3.13: Toshiba TB6560AHQ v pouzdře HZIP25	18
Obr. 3.14: Schéma zapojení obvodu Toshiba TB6560AHQ.....	20
Obr. 3.15: Měřidlo TEST 321	22
Obr. 3.16: Modifikované zapojení konektoru Canon9.....	23
Obr. 3.17: Vnitřní uspořádání měřidla TEST 321	23
Obr. 4.1: Trojrozměrný model testovacího zařízení	24
Obr. 4.2: Úhlový adaptér pro testování vývodů integrovaných obvodů	24
Obr. 4.3: Uspořádání modelu sestavy lineárního pohybu	25
Obr. 4.4: Sestava modelu sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem	27
Obr. 4.5: Rybinové vedení plný pohled – a), poloprůhledné – b).....	28
Obr. 4.6: Model upínacího stolku bez aretačního rámečku - a), s testovacím substrátem - b), s aretačním rámečkem a modelem pouzdra BGA - c)	29
Obr. 4.7: Úhlový nástavec plný pohled – a), poloprůhledný – b)	30
Obr. 4.8: Model kleštiny - detail rastru pájkových kuliček.....	30
Obr. 4.9: Model nástroje pro testování vývodů integrovaných obvodů.....	31
Obr. 4.10: Simulovaná deformace testovacího nástroje.....	31
Obr. 4.11: Simulace vyztužení konstrukce.....	32
Obr. 4.12: Uchycení měřidla TEST 321	33
Obr. 4.13: Přístrojový kryt	33
Obr. 5.1: Uspořádání sestavy lineárního pohybu	34
Obr. 5.2: Sestava sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem	35
Obr. 5.3: Stolek pro upnutí substrátu	36
Obr. 5.4: Osazený přístrojový kryt.....	38
Obr. 5.5: Trhací nástroje pro pouzdra BGA – a), vývody integrovaných obvodů – b).....	38
Obr. 5.6: Uspořádání pro testování vývodů pouzder BGA	39

Obr. 5.7: Uspořádání pro testování vývodů pouzder integrovaných obvodů.....	39
Obr. 7.1: Inicializace měřidla TEST 321	43
Obr. 7.2: Základní menu	44
Obr. 7.3: Nastavení polohy	44
Obr. 7.4: Nastavení parametrů testu.....	45
Obr. 7.5: Indikace probíhajícího testování.....	45
Obr. 7.6: Návratová pozice testu	45
Obr. 7.7: Indikace krajní polohy	46
Obr. 7.8: Výběr modulu Excel Export Professional.....	47
Obr. 7.9: Nastavení modulu Excel Export Professional.....	47
Obr. 8.1: Graf průběhu testovací síly pro pájku SAC a SnPb37	49
Obr. 8.2: Graf průběhu testovací síly vývod pouzdra SOP	49

Seznam tabulek

Tab. 1: Výrobní tolerance kuličkových šroubů [5]	5
Tab. 2: Nastavení mikrokrokování [17]	19
Tab. 3: Nastavení kroutícího momentu [17]	19
Tab. 4: Popis funkce ovládacího rozhraní [18]	21
Tab. 5: Filtr odesílaných dat TEST 321 [18]	22
Tab. 6: Přepočítání frekvence některých hodnot rychlosti.....	42

Úvod

Pájený spoj bývá jednou z častých příčin poruchy elektronických zařízení. Hlavním defektem, který způsobí dysfunkci nebo úplnou nefunkčnost, je „studený spoj“. Důvodů vzniku je mnoho, od špatného zapájení (nevhodný pájecí profil, nedostatek tavidla, atd.), až po mechanické namáhání při provozu. Již v procesu výroby lze částečně zjistit vlastnosti a chování spoje z hlediska jakosti a spolehlivosti. Jednou z metod napomáhajících určování vlastností pájeného spoje jsou zkoušky na smykové a tahové namáhání.

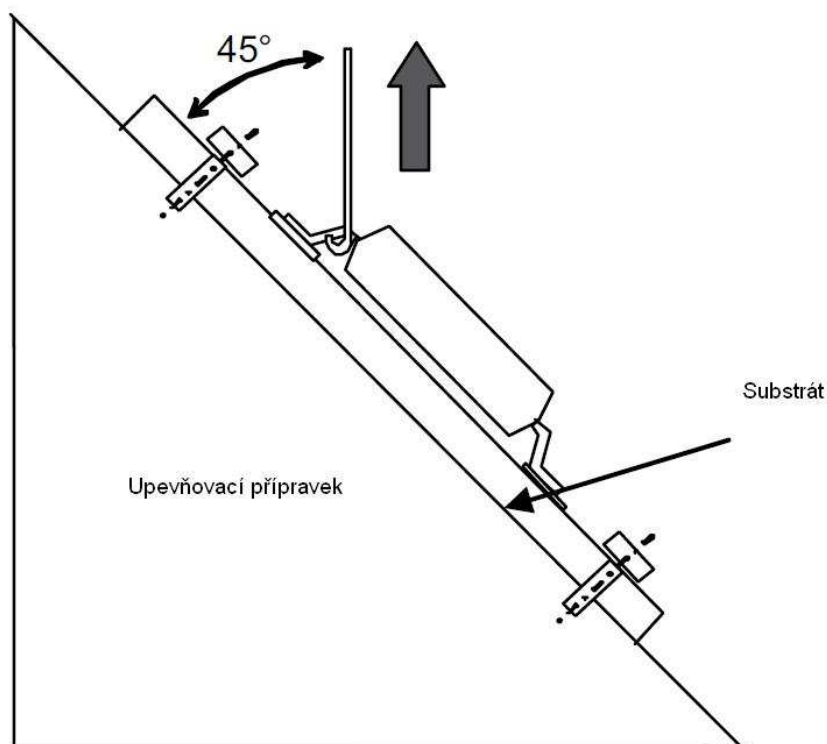
Vzhledem k potřebě měření tahové síly v laboratoři mikroelektronických aplikací bylo rozhodnuto o vytvoření nového zařízení, které by splnilo konkrétní požadavky, jako jsou např. minimální síla v tahu 500 N, velikost substrátu až 50x50 mm. Důležitým prvkem při rozhodování byla i cena přístrojů dostupných na trhu, jež se pohybuje v cenách o řád až dva vyšších, než navržené zařízení, jehož hodnota je přibližně 30 000 Kč.

Cílem projektu bylo navrhnout a realizovat poloautomatické zařízení pro zjišťování pevnosti pájeného spoje v tahu, jehož použití bude především na kuličky pouzder BGA a na vývody pouzder integrovaných obvodů. Možnost testování dalších typů pouzder závisí pouze na vytvoření odpovídajícího nástroje. Komerční přístroje pro určování tahové síly v této kategorii jsou většinou konstruovány s horizontální orientací upínacího stolku, naproti vytvořenému návrhu s vertikální orientací, který umožňuje větší kompaktnost celé měřicí aparatury.

1 Problematika testování SMD tahem

Úvod do problematiky testování součástek pro povrchovou montáž (SMD) tahem je uveden v normě IEC 62137-1-3. Tato norma definuje testování SMD, vývodových a polovodičových komponent. Jsou zde uvedeny předpoklady pro testování tahem, smykem, točivým momentem (krutem), stříhem a monotónní ohybové testy před a po procesu zrychleného stárnutí. Toto testování se používá k vyhodnocení stupně degradace pájených spojů, jejich pevnosti a dalších vlastností. Z normy vyplývá, že tahem je doporučeno testovat především součástky s vývody typu Gull Wing.

Zkouška pevnosti vývodů v tahu je použitelná pro SMD součástky s vývody Gull Wing. Na obr. 1.1 je znázorněn princip zkoušky tahem. Trhací nástroj ve tvaru háčku je nastaven v pozici pod jedním vývodem a pod úhlem 45° je vytahován, dokud nedojde k přerušení spoje. Kvalita spoje je poté analyzována jako změna maximální tahové síly před a po degradaci (stárnutí) spoje. Zkouška je použitelná jak pro pájení přetavením tak pájení vlnou.



Obr. 1.1: Princip zkoušky tahem [1]

V normě jsou také uvedeny doporučené rychlosti tahu pro testování. Normou doporučené rychlosti testování jsou 0,5 mm/min, 1 mm/min, 2 mm/min, 5 mm/min, 10 mm/min a 20 mm/min. Konkrétně například pro pouzdra QFP s šířkou vývodu 0,5 mm je doporučena rychlost 0,5 mm / min. Podrobný popis tohoto testu je uveden v IEC 62137-1-1. [1]

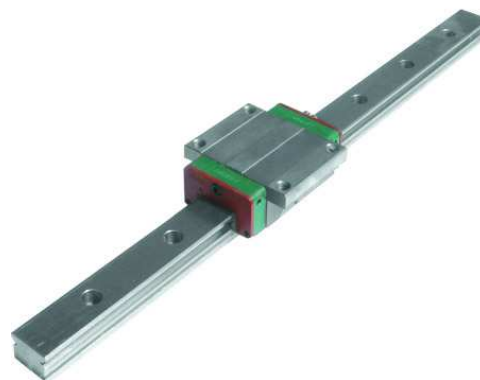
2 Výběr mechanických komponent

Při návrhu realizace zařízení pro měření síly v tahu u SMD bylo nutné se teoreticky seznámit s principy a také vhodnými mechanickými komponenty. V první řadě byly hledány možnosti využití průmyslově vyráběných komponentů, neboť výroba přesných prvků by nebyla s ohledem na finanční možnosti realizovatelná. V této kapitole bude seznámeno s možnostmi různých druhů lineárních vedení, dále je řešen převod otáčivého pohybu motoru na pohyb lineární.

2.1 Lineární vedení

Jednou z možností, která je vhodná pro realizaci lineárního vedení kolejnicové. To se skládá ze dvou základních komponent kolejnice, která je zpravidla šroubovým spojem upevněna k tělesu stroje. Druhou částí je tzv. vozík, ten je nasazen na kolejnici. Jelikož jde o uložení s valivým stykem je vozík opatřen dráhami, ve kterých cirkulují tělíška zachycující silové momenty. Těmito cirkulačními tělísky jsou pro rychloběžné aplikace zpravidla kuličky, ale mohou jimi být v některých případech i válečky, které mají vyšší únosnost.

Kolejnice rozdělujeme podle dvou základních kritérií a to podle styku kuliček v kuličkové dráze na styk čtyřbodový – gotický, kde je dráha tvořena dvěma kruhovými oblouky, a styk dvoubodový ten je tvořen jednou kruhovou dráhou. Další možné dělení je podle uspořádání drah stykových ploch. Nedílnou součástí tohoto druhu lineárního vedení je pak přírubový vozík, ten je vyráběn v široké škále buď jako jednoduché, dvojité, se sníženou, nebo zúženou konstrukcí. Další variantou jsou vozíky s definovanou vůlí, nebo vozíky předepnuté. Přírubový vozík na kolejnici je zobrazen na obr. 2.1.



Obr. 2.1: Přírubový vozík na kolejnici [2]

Výhodou tohoto typu vedení je jeho vysoká přesnost, schopnost zachytávat velké silové momenty a velká variabilita díky široké škále různých druhů vozíků a kolejnic. Nevýhodou je pak především vysoká cena.

2.1 Lineární vedení tyčové

Tento druh vedení je další možnou variantou použitelnou pro naši aplikaci. Skládá se z několika částí a ty mohou být různě modifikované v závislosti na způsobu použití. Základní rozdělení je na vedení uzavřené a otevřené jak je vidět na obr. 2.2. Uzavřené vedení, kde je kruhová tyč a vodící dráhy vozíku tvoří uzavřený kruh. Vedení otevřené, kde je kruhová tyč podepřená a vodící dráhy vozíku netvoří uzavřený kruh.



Obr. 2.2: Lineární vedení tyčové otevřené – a), podepřené – b) [3]

Povrch vodící tyče kruhové i podepřené je broušen s průměrovou tolerancí $h6$, dále je povrch zušlechťen zpravidla indukčním kalením. Vodící tyče kruhové se standardně vyrábí od průměru 12 mm, vodící tyče podepřené od průměru 16 mm. Při použití podepřených tyčí odpadá nutnost použití uchycení vodící tyče. Uchycení vodící tyče nepodepřené rozeznáváme dvě základní varianty a to uchycení s radiálním stykem (SK) k celku a uchycení s axiálním stykem (SHF). Uchycení vodících tyčí je znázorněno na obr. 2.3.



Obr. 2.3: Uchycení vodící tyče typ SK – a, typ SHF – b) [3]

Vozíky, jak pro kruhové vodící tyče, tak i pro podepřené tyče, jsou dodávány v několika variantách. Nejjednodušší variantou je uzavřené kuličkové pouzdro, jak ukazuje obr. 2.4, kde je zřetelně vidět princip funkce. Kuličková dráha nemá v celé své délce konstantní vzdálenost od axiální osy, ale naopak jedna polovina dráhy je přiblížena středu a druhá oddálena, čímž je vytvořena nekonečná kuličková dráha.



Obr. 2.4: Uzavřené kuličkové pouzdro [4]

Další druhy vozíků se liší jen způsobem uchycení k celku, zejména se jedná o přírubová pouzdra a o vozíky typu linearset, jehož použití je pro naši aplikaci zvláště výhodné a je zobrazen na obr. 2.5. Další variantou jsou vozíky zdvojené a vozíky s možností nastavení předeprnutí.



Obr. 2.5: Uzavřený linearset SMA [3]

2.2 Porovnání lineárních vedení

Otevřené vedení má všechny vlastnosti jako vedení uzavřené navíc disponuje vyšší tuhostí a odpadá nutnost komponentů pro uchycení, které jsou potřeba u vedení uzavřeného. Vedení kolejnicové splňuje všechny kladené nároky, navíc velmi zjednodušuje konstrukci, čímž je velmi eliminována nutnost použití ustavovacích prvků.

2.3 Pohyb kuličkovým šroubem

Kuličkový šroub je konstrukční prvek měnící otáčivý pohyb na pohyb přímočarý, oproti klasickému šroubu dochází k přenosu sil nikoliv smykovým třením, ale odvalováním kuliček v kuličkových drahách. Oběžné dráhy mohou mít dva druhy profilu a to buď čtyřbodový – gotický, dráha je tvořena dvěma kruhovými oblouky, nebo styk dvoubodový – tvořen jednou kruhovou dráhou. Kuličkové šrouby můžeme rozlišovat podle jejich výrobní tolerance což je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1: Výrobní tolerance kuličkových šroubů [5]

Odchylka stoupání na délce závitu 300 mm	Broušený závit [mm]			Válcovaný závit [mm]	
	IT 1	IT 3	IT 5	IT 5	IT 7
	0,006	0,012	0,023	0,023	0,052

Z tabulky je patrné že, přesnost vyrobeného šroubu do jisté míry souvisí s použitou výrobní technologií. Broušené šrouby mají menší odchylku stoupání za cenu použití dražší technologie, tím pádem je výsledná cena v porovnání se šroubem válcovaným několikanásobná.

Na trhu je celá řada výrobců kuličkových šroubů výsledný produkt se pak liší kvalitou a cenou v závislosti na požadovaných přesnostech. Kuličkové šrouby jsou vyráběny zpravidla z oceli jakosti 14 260, funkční části zakaleny obvykle na tvrdost 60 HRC.

Nedílnou součástí pohonu je pak matice ta je stejně jako kuličkový šroub opatřena drahami pro oběžné kuličky. Tyto dráhy mohou být opatřeny ukončením pomocí deflektoru, nebo převáděcí trubicí. Každá matice je zpravidla konstruována s dvěma až třemi oběžnými drahami. Pro správnou funkci a dlouhou životnost je třeba kuličkové šrouby mazat a to podobným způsobem jako kuličková ložiska. Matice mohou být konstruována jako bez příruby, nebo přírubová, dalším parametrem je zda je matice předepnutá (bezvúlová), nebo s nastavitelným předpětím (dvojitá matice), či s vůlí jakost materiálu je zpravidla 14 109, 14 209 matice je zakalena na tvrdost 60 HRC. Důležitou součástí matic jsou krycí kroužky zabráňující vniknutí nečistot do útrobu matice. Řez maticí je zobrazen na obr. 2.6



Obr. 2.6: Řez kuličkovou maticí [6]

Vzhledem k požadavkům kladeným na přenos sil je jediným možným řešením použití kuličkového šroubu a kuličkové matice. Pohyb nelze zajistit ozubeným řemenem, neboť síly které se je schopen přenášet zcela neodpovídají zadaným požadavkům.

2.4 Uložení systému kuličkového šroubu

Použití vhodného uložení je nezbytné pro dodržení polohové přesnosti, zpravidla je realizováno kombinací volného a pevného ložiskového domku. Provedení může být jak přírubové tak v domku. Volné uložení je zpravidla realizováno domkem, který je opatřen radiálním ložiskem po vsunutí obrobeného konce kuličkového šroubu je tento konec zajištěn vnější segerovou pojistkou. Toto uložení má za úkol vedení v radiálním směru a zároveň umožnit axiální vůli, která kompenzuje tepelnou roztažnost materiálu. Příklad volného uložení je na obr. 2.7.



Obr. 2.7: Volné uložení konce kuličkového šroubu [3]

Uložení pevné zpravidla realizováno domkem, který je opatřen dvojicí kuličkových ložisek s kosouhlým stykem. Tato konfigurace umožňuje nastavit předpětí dotažením matice na obrobené části kuličkového šroubu. Po nastavení požadovaného předpětí je tato matice aretována pojistným šroubem. Zobrazena je na obr. 2.8.



Obr. 2.8: Pevné uložení konce kuličkového šroubu [3]

2.5 Momentové spojky

Svěrné momentové spojky můžeme rozdělit podle dvou kritérií a to na spojky pružné, neboli segmentové, které jsou dělené, a na spojky nedělené zpravidla spirálové. Účel použití spojek spočívá v bezvúlovém přenosu momentu z krokového motoru na obrobený konec kuličkového šroubu, přičemž pružná část činí přenášený pohyb plynulým, neboť potlačuje rázy. Svorka navíc umožňuje vymezení nesouososti do cca 0,2 mm.



Obr. 2.9: Momentová spojka dělená – a), momentová spojka nedělená – b) [3]

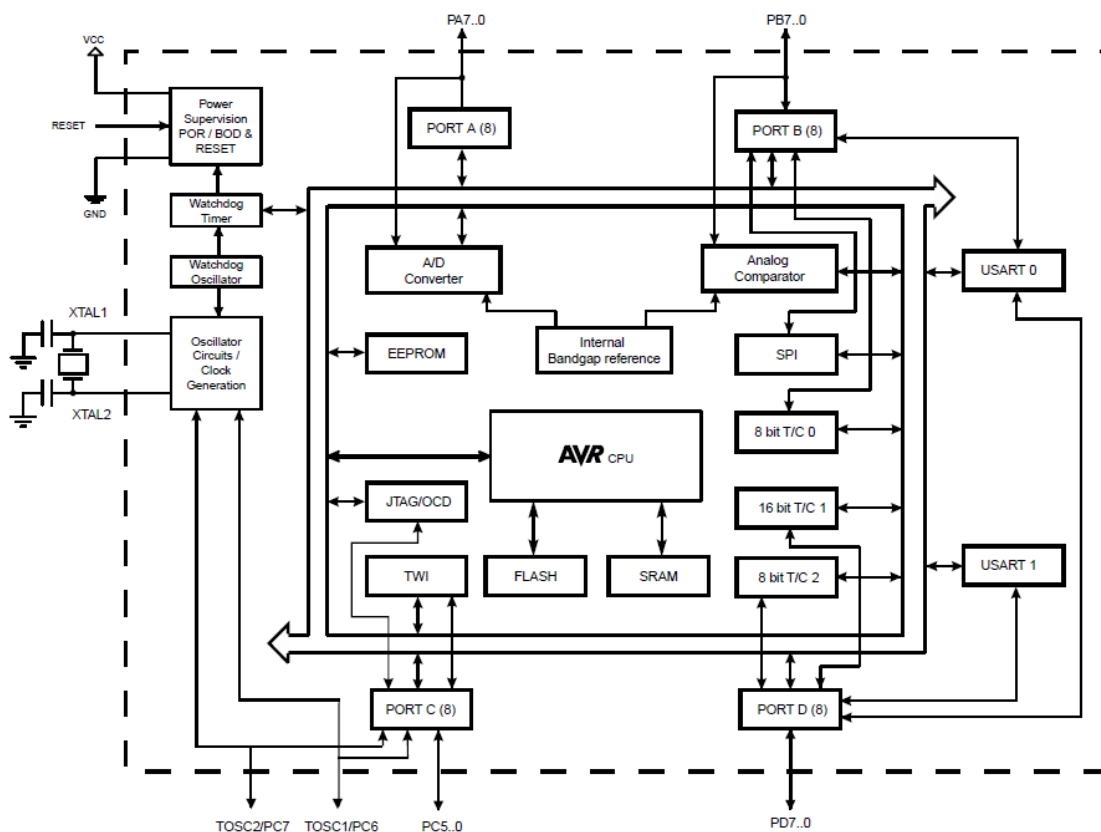
Dělené momentové spojky jsou schopny zpravidla přenášet nižší momenty, než spojky nedělené. Příklad dělené momentové spojky je na obr. 2.9 a). Spojky nedělené jsou zpravidla konstruovány způsobem, který je znázorněn na obr. 2.9 b). Tento druh spojky v případě havárie praskne, nebo dojde k porušení souososti a je třeba provést výměnu.

3 Elektronická část

V této kapitole bude rozebrán návrh a realizace elektronické části, která slouží k řízení pohybu mechanické části ve všech pracovních režimech.

3.1 Řídící elektronika

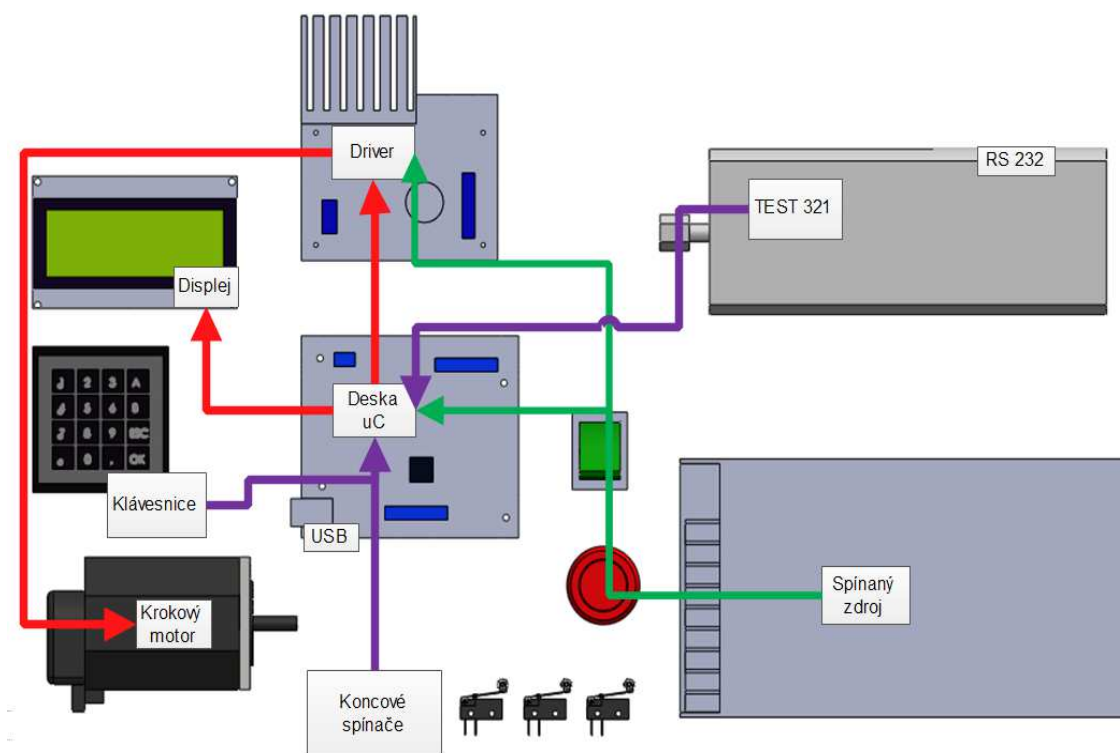
Jelikož byla vyvíjena aplikace poměrně nenáročná na řídicí obvod, je vhodné vybrat osmibitový mikrokontrolér, například Atmega164P od firmy Atmel postaveného na RISC architektuře. Mikrokontrolér je zapouzdřen v pouzdře TQFP a opatřen 44 vývody. Napájecí napětí bylo možné připojit v rozsahu 1,8 – 5,5 V. Vnitřní struktura mikrokontroléru je zobrazena na obr. 3.1. Další typické vlastnosti jsou uvedeny v katalogovém listu [7]. Hlavní činností řídicí jednotky je generování signálu STEP, DIR a EN (ENABLE) pro výkonovou část ovládání krokových motorů. Za účelem ovládání bylo k mikrokontroléru vhodné připojit ovládací a zobrazovací rozhraní, nejběžnější je maticová klávesnice. Dále bylo vhodné mít vyvedeno např. resetovací tlačítko či jiné periferie.



Obr. 3.1: Struktura mikrokontroléru Atmega164P [7]

3.2 Vstupně výstupní periferie

Vstupně výstupní periferie zprostředkovávají připojení mikrokontroléru do aplikace, jímž je řízena. Jedná se především o klávesnici, LCD displej, koncové spínače, resetovací tlačítko, atd. Blokové schéma uspořádání je zobrazeno na obr. 3.2.



Obr. 3.2: Funkční schéma elektronické části

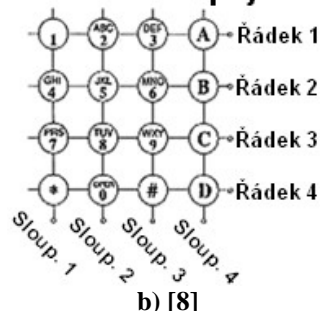
3.2.1 Klávesnice

V současnosti jsou v mnoha zařízeních využívány klávesnice jako vstupní terminál. Klávesnice slouží k zadávání dat do mikroprocesoru a tím k jeho ovládní. Klávesnice mohou být děleny podle uspořádání propojení jednotlivých tlačítek na klávesnice s přímým uspořádáním tlačítek a na maticové klávesnice. Přímé uspořádání se v současnosti příliš nevyužívá, neboť je toto zapojení neefektivní z hlediska využití portů mikroprocesoru. Proto se s výhodou využívá maticových klávesnic obr. 3.3 – a), jejichž funkce je následující každé tlačítko spíná současně řádkový i sloupcový vodič, což je zřetelné na obr. 3.3 – b). Při použití klávesnice 4 x 4 bude tedy obsazeno osm pinů mikroprocesoru.



a)

Obvodové zapojení



b) [8]

Obr. 3.3: Maticová klávesnice – a), vnitřní uspořádání – b)

Základní detekce stisku klávesy probíhá následujícím způsobem. Ke všem sloupcovým vodičům jsou připojeny vnitřní pull-up rezistory. Nejprve je poslána log. 0 na první řádek a testují se postupně čtyři sloupcové vodiče. Jestliže je stisknuta některá klávesa z prvního řádku, objeví se na příslušném sloupcovém vodiči log. 0. Postup je opakován pro zbylé řádky.

Klávesnice bude v aplikaci použita pro zadávání požadované polohy. K tomu jsou využity numerické klávesy 1-9. Tlačítko „A“ slouží k potvrzení a posunu na další řádek v menu. Klávesa „D“ slouží k zastavení procesu, či odchodu z aktuálního menu. Klávesa „C“ je využita k mazání zadané hodnoty. Klávesa „B“ k posunu na vyšší úroveň v menu.

3.2.2 Resetovací tlačítko

Resetovací tlačítko je připojeno k pinu $\overline{\text{RESET}}$. Mikrokontrolér se restartuje přizemněním tohoto pinu, jeho napěťová úroveň je vztažena externím pull-up rezistorem 10 K Ω k napájecímu napětí. Navíc je resetovací pin vyveden do programovacího konektoru. [7]

3.2.3 Oscilátor

Oscilátor slouží ke generování signálu, jenž je použit pro časování operací v mikrokontroléru. K mikrokontroléru je připojen externí oscilátor s frekvencí 14 MHz. Měl by být umístěn na stejné straně desky plošného spoje jako mikrokontrolér, přičemž jeho maximální vzdálenost je 12 mm od příslušného pinu mikrokontroléru. Odrušovací kondenzátory je vhodné umístit v bezprostřední blízkosti vývodů krystalového oscilátoru. Jejich hodnota byla zvolena dle katalogu 22 pF. Okolí oscilátoru je vhodné odstínit před nežádoucími rušivými signály vylitím měděné plochy, která musí být uzemněna. Je-li použito oboustranné desky plošných spojů, není vhodné umístit jakékoli vodivé cesty pod oscilátor. V neposlední řadě je třeba zajistit, aby přilehlé piny oscilátoru nebyly používány jako vysokofrekvenční, což by způsobovalo rušení. Oscilátor je připojen k pinům XTAL1, XTAL2. [7]

3.2.4 Nouzový vypínač

Této funkce se bude využívat při náhlé potřebě zastavení probíhajícího procesu, což může nastat například v počátečních fázích ožívání aplikace, kdy může dojít k nepředvídané odezvě a možné havárii zařízení. V krajním případě by mohlo nastat poškození zařízení, nebo testovaného substrátu. Nouzový vypínač je zapojen do napájecí větve.

3.2.5 Koncový spínač

Koncový spínač zajišťuje ochranu před poškozením zařízení. Díky nim je také možné kalibrovat základní polohu. Koncové spínače jsou umístěny na obou koncích pojezdové dráhy. V aplikaci budou použity dvě úrovně koncových spínačů. Při najetí na první stupeň, bude o této skutečnosti informována řídicí jednotka. To nastane ve standardním režimu při kalibraci. Nestandardně pak při nastavování polohy, či zadání příliš velké testovací vzdálenosti. Dojde-li k selhání řídicí jednotky, nebo jiné závadě, např. poruše koncového spínače, uplatní se druhý stupeň. V naší aplikaci rozpojí signál přiváděný na vstup ENABLE výkonové části řízení krokového motoru, čímž dojde k okamžitému zastavení posuvu. Pokud by bylo odpojováno napájecí napětí, dojde k zastavení s prodlevou, neboť by aplikace byla napájena z filtračních kondenzátorů. Této funkce je dosaženo sériovým spojením koncových spínačů. Pokud jsou všechny neaktivní tak udržují uzavřený okruh na pinu ENABLE. Použitý koncový spínač je zobrazen na obr. 3.4



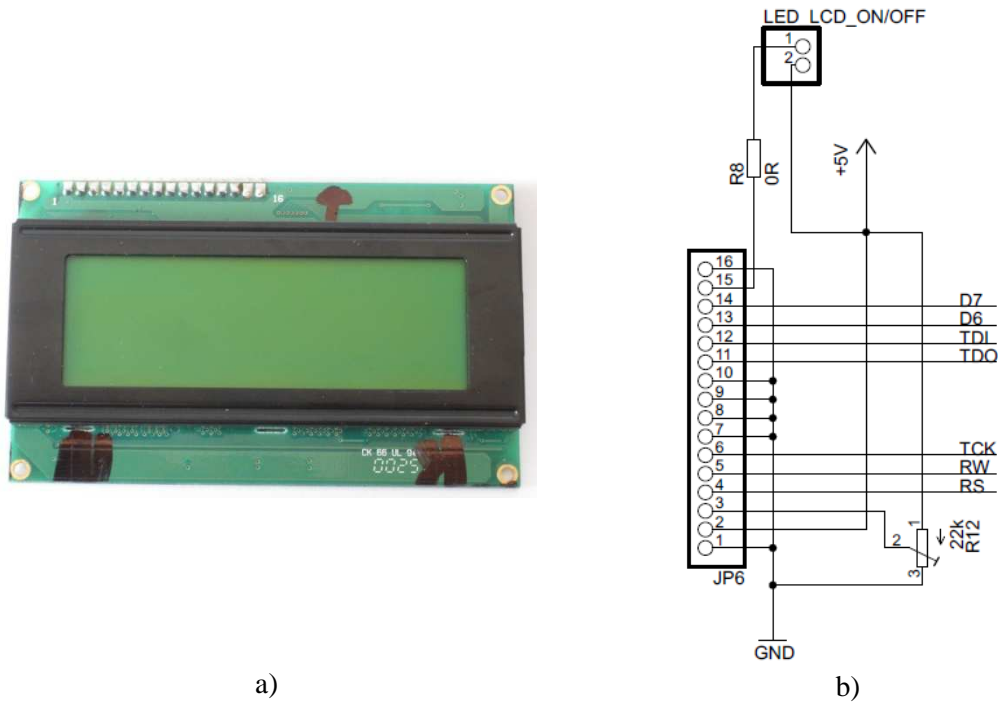
Obr. 3.4: Koncový spínač

3.2.6 Zobrazovací rozhraní

Jako zobrazovací zařízení je vhodné zvolit displej s dostatečným počtem znaků, například standardní displej 4 x 20 znaků s řadičem HD44780U [9] a integrovaným podsvícením. Na displeji bude indikováno stisknutí klávesy na klávesnici vypsáním příslušného znaku. Dále zde bude zobrazován průběh procesu, jako je například pohyb na zvolenou pozici, režim provozu, stav procesu, atd.

LCD displej se vyznačuje vysokým kontrastem symbolů, které jsou zobrazovány ve čtyřech řádcích po dvaceti znacích při výšce znaku 5,6 mm. Jako napájecí napětí je

použito napětí 5V. Typická pracovní teplota je v rozmezí -20 až +70 °C. Pro napájení podsvícení LCD displeje je rovněž použito napětí 5V. Displej je vhodný k osazení přes distanční sloupky do DPS, či připojení pomocí kabelu opatřeného vhodným konektorem. Displej je zobrazen níže na obr. 3.5 – a). Na obr. 3.3 – b) je pak znázorněno praktické zapojení displeje na DPS. Zapojení umožňuje zapnutí, či vypnutí podsvícení. Regulace kontrastu se provádí trimrem R12.



Obr. 3.5: LCD displej 4x20– a), Zapojení LCD displeje– b)

3.3 Napájení

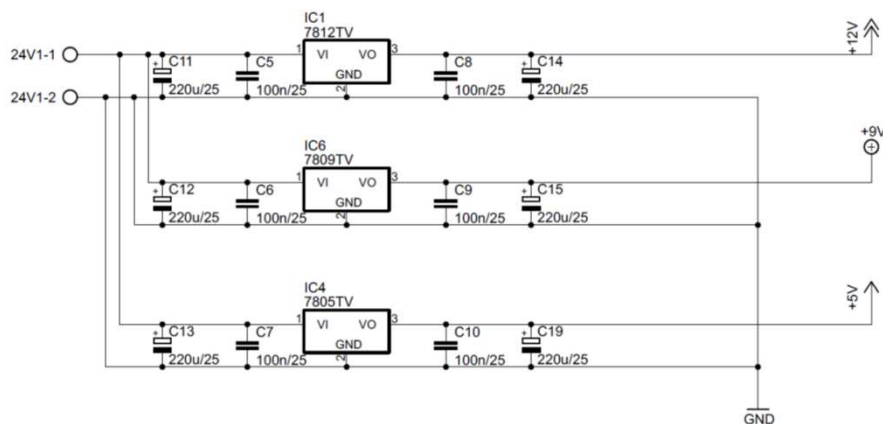
Pro napájení aplikace přicházelo v úvahu několik možností. Jednou z nich je použití transformátoru, nebo spínaného zdroje. Výhoda transformátoru je v jeho dlouhé životnosti. Nevýhoda pak v nutnosti navržení usměrňovacího a filtračního členu. Další možností je použít průmyslový spínaný zdroj. Spínané zdroje jsou k dostání v široké škále parametrů. Jejich výhodou oproti transformátorovému zdroji je, že odpadá nutnost návrhu zapojení pro úpravu výstupního napětí, ovšem za poněkud vyšší cenu. Po rozvaze se přistoupilo k použití spínaného zdroje napětí. Vhodným by mohl být průmyslový spínaný zdroj S-350-24. Nejdůležitějším parametrem zdroje je jeho napěťová úroveň 24 V při dodávaném proudu 14,5 A. Zdroj je napájen ze síťového napětí 230 V a má dostatečnou proudovou rezervu, pro možnosti rozšíření aplikace, jako je element pro vyhřívání testovaného vzorku. Při realizaci byla nakonec dána přednost AC adaptéru MW-SYSSTXX-12024 2.1, zobrazen na obr. 3.6, s napěťovou úrovní 24 V a dodávaným proudem 5 A. Výhodou tohoto řešení je zvýšení bezpečnosti aplikace, neboť není přiváděno síťové napětí. Ze zdroje bude přímo napájena výkonová

část pro ovládání krokových motorů. Dále bude napájecí větev opatřena trojicí stabilizátorů, napětí 5 V, 9 V a 12 V.



Obr. 3.6: Spínaný zdroj MW-SYSSTXX-12024 2.1

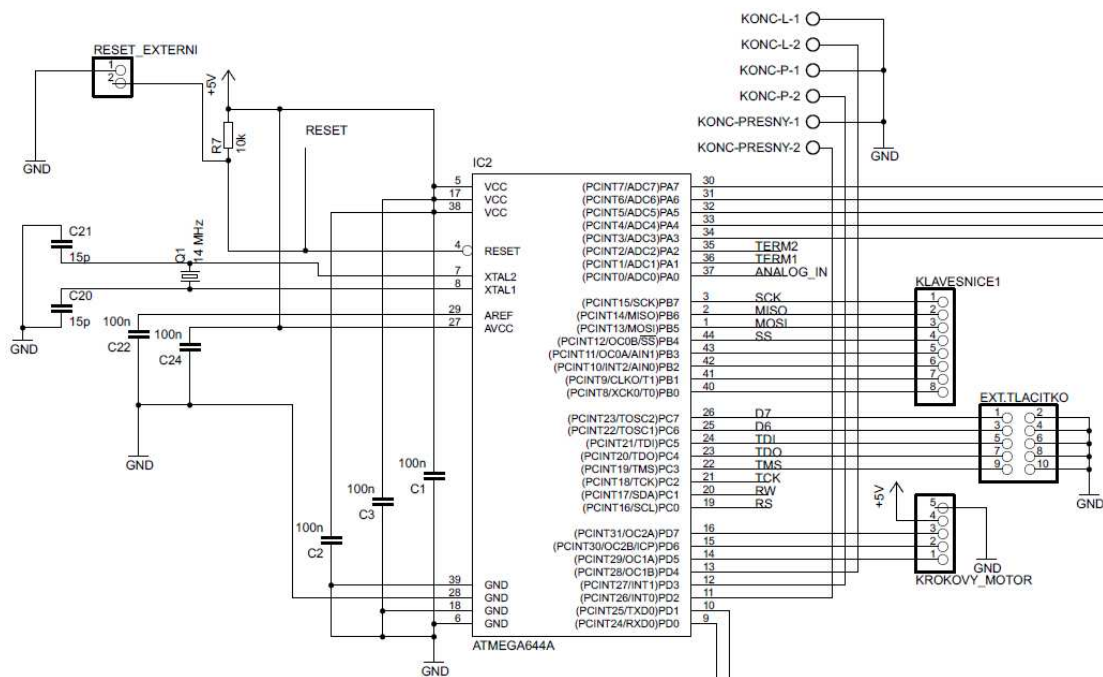
Napájecí větev disponující napětím 5 V slouží k napájení mikrokontroléru, displeje a také je toto napětí přivedeno pro napájení logické části řízení krokového motoru. Důležitou součástí napájení mikrokontroléru jsou odrušovací kondenzátory, které jsou připojeny mezi piny VDD a VSS (GND). Doporučená hodnota kondenzátoru je 100 nF, přičemž jejich maximální doporučená vzdálenost od pinu je 6 mm. Napájecí větev o nominálním napětí 9 V bude využita pro napájení Měřidla TEST 321. Větev s napětím 12 V je k dispozici pro napájení reléových výstupů. Schéma napájení je zobrazeno na obr. 3.7. Katalogové listy stabilizátorů je možné nalézt zde [10].



Obr. 3.7: Zapojení stabilizace napájení

3.4 Deska mikrokontroleru

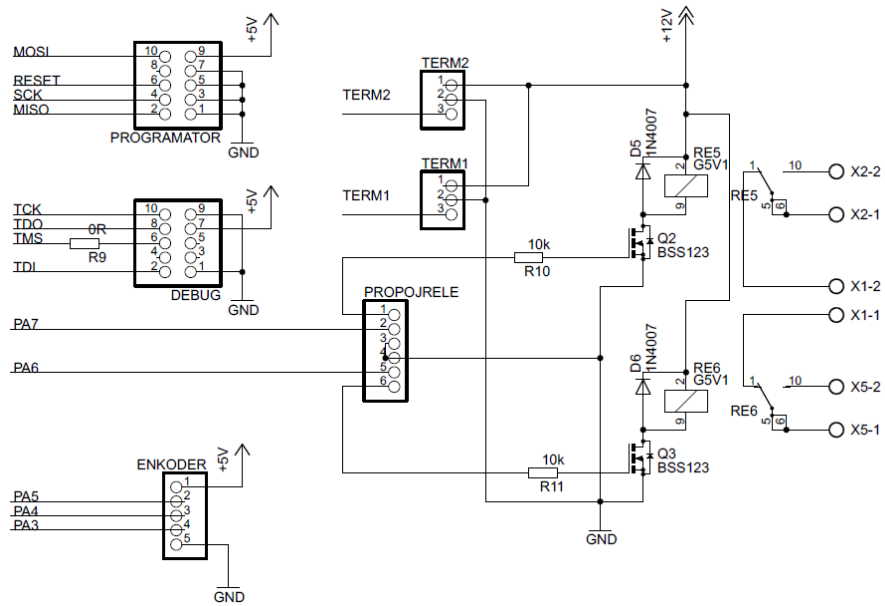
Po prostudování dostupné dokumentace bylo na základě výše popsaných poznatků navrženo zapojení mikrokontroléru, které vychází z katalogového zapojení. Na obr. 3.8 si můžeme všimnout především zapojení napájení, což je zobrazeno v levé části. V pravé části je znázorněno zapojení koncových spínačů, analogových vstupů, klávesnice, displeje a konektoru pro připojení logické části obvodu pro řízení krokového motoru.



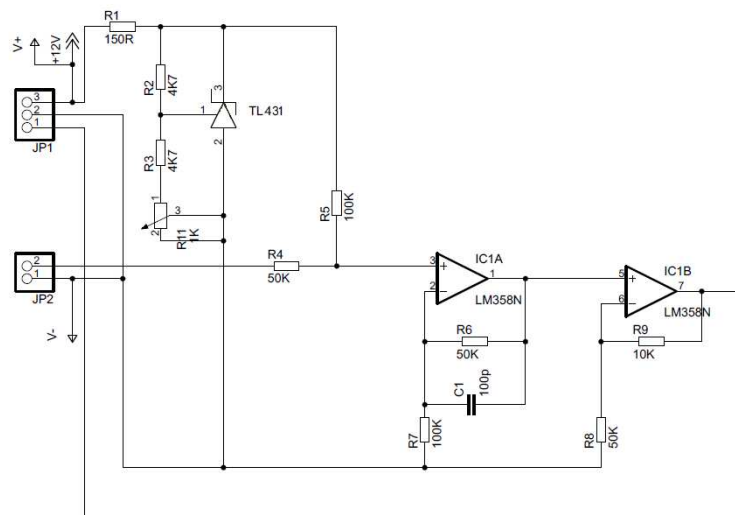
Obr. 3.8: Schéma napájení mikrokontroléru

Pro ovládání reléových výstupů je použito zapojení unipolárních tranzistorů typu N. Elektroda Source je připojena na zem. Gate je připojena na výstup mikrokontroléru přes rezistor 10 k Ω , který není při použití unipolárního tranzistoru třeba, ale je zde vložen pro možnost použití bipolárního tranzistoru. Elektroda Drain je připojena přes vinutí relé na napájecí napětí reléové části, což je 12 V. Mezi konci vinutí spínací cívky relé je umístěna dioda pro ochranu elektrody Drain mikrokontroléru. Na schématu (viz. obr. 3.9) jsou také vidět konektory Term 1 a Term 2 připravené pro připojení obvodu pro měření teploty. Dále je zde konektor pro programování, debugovací konektor a konektor pro enkodér krokového motoru. Tento konektor není v současné verzi aplikace používán a tak je na jeho pin PA5 připojeno externí relé použité pro ovládání měřidla TEST 321. Zapojení relé je identické jako ve výše popsaném případě.

Dalším prvkem dodaným do zapojení, je zapojení pro posunutí úrovně analogového výstupu měřidla TEST 321. Toto zapojení umožňuje čtení hodnoty Analogového signálu, jehož detekce se využívá k zastavení pracovního zdvihu v případě překročení dovolené úrovně zatížení (500 N). Schéma je zobrazeno na obr. 3.10. Modifikované zapojení je převzato z [11].



Obr. 3.9: Schéma ovládání relé



Obr. 3.10: Schéma posunutí úrovně analogového signálu

V horní části schématu, na obr. 3.10, je vidět zapojení přesného stabilizátoru napětí TL431 [12]. Výpočet rezistorů R2, R3 byl proveden dle vzorce (1) uvedeného v katalogovém listu. Výpočet předřadného rezistoru R1 byl proveden dle vzorce (2).

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) * R_{ref} \quad (1)$$

$$V_0 = \left(1 + \frac{4,7}{4,7}\right) * 2,5$$

$$V_0 = 5V$$

$$R = \frac{U_{in} - U_{out}}{I_{max}} \quad (2)$$

$$R = \frac{12 - 5}{0,04}$$

$$R = 175\Omega$$

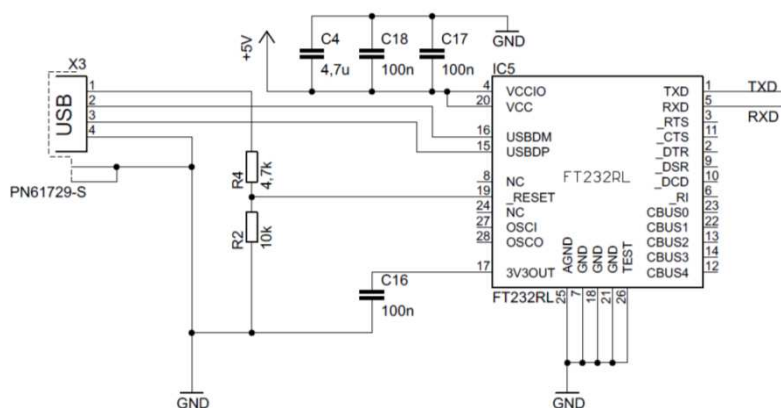
Dosažením do vzorce bylo zjištěno výstupní napětí V_o , což je 5 V, a byla vypočtena velikost předřadného rezistoru použitá hodnota 220 Ω . Odporový trimr mezi anodou a referenční elektrodou slouží k přesnému dostavení výstupního napětí a tím i posunutí středu výstupního signálu z OZ. Zapojení prvního stupně OZ IC1A přičte k vstupnímu signálu napětí 2,5 V, kondenzátor ve zpětné vazbě má funkci potlačení vysokých kmitočtů. Zapojení OZ IC1B je pro zesílení výstupního signálu, neboť vstupní napětí nemá plný rozsah předpokládaného napětí 5 V. Výpočet velikosti výstupního napětí byl proveden dle vzorce (3). Katalogový list OZ LM358N lze nalézt zde [13].

$$U_{vyst} = U_{vst} * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (3)$$

$$U_{vyst} = 1 * \left(1 + \frac{10K}{50K}\right)$$

$$U_{vyst} = 1,2V$$

Dále bylo navrženo zapojení převodníku FT 232RL, který zprostředkovává převod sériové komunikace na komunikační protokol USB. Zapojení vychází z doporučeného zapojení, které je uvedeno v katalogovém listu výrobce [14]. Jelikož se v konečném uspořádání rozhraní USB nepoužívá, nebude zde zapojení na obr. 3.11 dále rozebíráno, nicméně je fyzicky přítomno a může být použito při rozšíření aplikace.



Obr. 3.11: Zapojení FT 232RL

Celkové schéma zapojení, motivy pro výrobu DPS a fotografie osazené desky jsou v příloze A.

3.5 Výběr pohonné jednotky

Pro pohon trhačí aparatury jsou vhodné dva typy motorů, a sice stejnosměrný servomotor a krokový motor. Servomotory jsou zpravidla tvořeny stejnosměrným komutátorovým motorem, nebo třífázovým elektromotorem. Oproti krokovým motorům se vyznačují vyšší rychlostí a nižší spotřebou, ale vyžadují zpětnou vazbu pro určení natočení hřídele a tím pádem i složitější řízení. Z důvodu snazšího ovládání bude použit krokový motor, proto bude podrobněji rozebrán.

Krokový motor je synchronní točivý stroj zpravidla pulsně napájený stejnosměrným proudem. Magnetické pole je generováno napájením jednotlivých pólů. Pohyb rotoru krokového motoru je při nízkých otáčkách nespojitý - rotor se pohybuje mezi stabilními polohami. Jednotlivé cívky jsou od sebe v definovaném úhlu. Počet kroků je dán počtem pólových dvojic, ale lze ho ovlivnit způsobem ovládání. K pohybu krokového motoru je vždy třeba řídicí jednotka. U krokového motoru nedochází k mechanickému opotřebení, neboť kromě ložisek nedochází k mechanickému kontaktu. Standardní krokový motor má 200 kroků na otáčku, což odpovídá 1,8 stupně na krok. Výhodou krokového motoru je, že pokud se nepřetěžují, nemusí se zavádět zpětná vazba pro kontrolu natočení, ale pouze stačí počítat počet kroků. Nevýhodou krokového motoru je trvalý odběr i v klidové poloze, pokud požadujeme zachovat informaci o počtu provedených kroků. [15]

V zadané aplikaci bude krokový motor pracovat v zatíženém režimu, neboť bude překonávat působící síly při trhání SMD součástek, tak i setrvačné momenty kuličkového šroubu a dalších částí aparatury. Proto je třeba zvolit krokový motor s dostatečným momentem. V porovnání se silami nutnými pro odtrhnutí SMD součástek jsou ztráty kroučícího momentu, jako je valivý odpor v kuličkových ložiskách, a v lineárním vedení téměř zanedbatelné. Z toho plyne, že bude třeba použít krokový motor s dostatečným momentem. Proto byl k pohonu lineárního posuvu vybrán krokový motor POWERMAXII – P22NSXA, který je na obr. 3.12 disponuje momentem 1,62 Nm a je opatřen přírubou NEMA 23. [16]



Obr. 3.12: Krokový motor POWERMAXII – P22NSXA

3.6 Možnosti řízení krokových motorů

Postupně bylo navrženo obvodové zapojení řízení krokového motoru s využitím řídicího driveru. Driver zajišťuje kompletní obsluhu krokového motoru. Další možností je motor řídit pomocí dvojice H můstků. Jedná se o bipolární zapojení využívající celkem 8 výkonových tranzistorů. Řízení tímto způsobem je možné, ale není zdaleka tak efektivní, jako použití driveru. Nejvhodnější variantou je použít některý z nepřeberného množství integrovaných obvodů určených pro řízení krokových motorů. Tyto obvody se liší zejména proudovou zatížitelností. Vhodný je například integrovaný obvod firmy Toshiba TA8435HQ, či TB6560AHQ. Oba uvedené obvody umožňují mikrokrokování, čímž je možné přesnějšího řízení zmenšením kroku ze základních 200 kroků/ot. až na 1600 kroků/ot. Další vlastnosti budou rozebrány v realizaci driveru.

3.7 Výkonová část řízení krokového motoru

Pro řízení pohybu krokového motoru byl vybrán integrovaný obvod Toshiba TA8435HQ. Při testování aplikace se ukázalo, že jeho parametry (především největší dodávaný proud 1,5 A) nedostačují pro spolehlivou funkci v aplikaci. Proto byl celý driver přepracován a použit obvod Toshiba TB6560AHQ, z jehož katalogového listu bylo při návrhu vycházeno [17]. Integrovaný obvod je zobrazen na obr. 3.13.



Obr. 3.13: Toshiba TB6560AHQ v pouzdře HZIP25

Obvod pro svou funkci vyžaduje zapojení s minimem součástek. Připojením dvou výkonových rezistorů je možné nastavit proud cívkami krokového motoru a navíc obvod umožňuje i mikrokrokování. Základní krok je 200 kroků na otáčku. Mikrokrokování umožňuje zvýšit počet kroků v několika stupních a to 400, 800 a 1600 kroků na jednu otáčku. Dalším vylepšením od předchozí generace je možnost regulace průběhu krouťícího momentu v rozsahu 25, 50, 75 a 100 %. Další možností nastavení obvodu, je způsob vybíjení zbytkového proudu. Obvod je schopný regulovat napětí až 40 V při výstupním proudu až 3,5 A. Dále je obvod vybaven ochranou proti přehřátí, která vypne při teplotě vyšší než 85 °C.

Při nastavování proudu cívkami krokového motoru, je třeba dbát na omezení maximální možné dodávané hodnoty proudu, což je 3,5 A. Nastavení výstupního proudu se provádí připojením rezistorů na svorky N_{FA} a N_{FB}. Hodnota těchto rezistorů se určuje výpočtem z rovnice (4), jenž je uveden v katalogovém listu. Jednoduchou úpravou dostaneme rovnici (5), z které můžeme přímo vypočítat hodnotu rezistoru R_{nf}.

$$I_{out}(A) = \frac{0,5 (V)}{R_{nf} (\Omega)} \quad (4)$$

$$R_{nf} (\Omega) = \frac{0,5 (V)}{I_{out}(A)} \quad (5)$$

Vypočtená hodnota rezistoru pro proud téměř maximální proud 3,3 A je 0,15 Ω. Použitý rezistor je zatěžován procházejícím proudem, a proto je nutné použít 2 W rezistor.

Mikrokrokování se provádí připojením různé kombinace pinů M1, M2 jak ukazuje tab. 2. Nastavení pinů pro volbu hodnoty kroučícího momentu je zobrazeno v tab. 3

Tab. 2: Nastavení mikrokrokování [17]

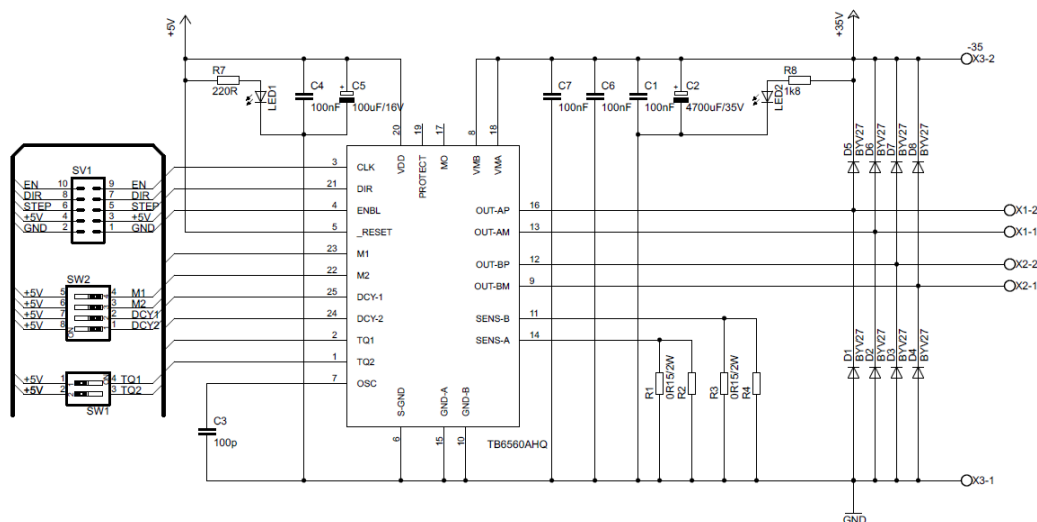
Vstupy		Počet kroků na otáčku
M1	M2	
L	L	200
L	H	400
H	L	800
H	H	1600

Tab. 3: Nastavení kroučícího momentu [17]

TQ1	TQ2	Úroveň buzení
L	L	100%
L	H	75%
H	L	50%
H	H	20%

Řídící vstupy do obvodu Toshiba TB6560AHQ jsou přizpůsobeny standardu, který je používán pro řízení číslicově řízených strojů. Přivedením logického signálu

na vstup STEP zareaguje obvod na nástupnou hranu a následkem toho je rotor krokového motoru pootočen o jeden krok. DIR určuje směr otáčení krokového motoru. ENABLE povoluje funkci driveru. Dále je přivedeno napětí 5 V pro napájení obvodu a 24 V pro napájení výkonové části. Přítomnost napájení je pro obě větve indikována pomocí LED diod. Při návrhu desky pro Toshiba TB6560AHQ bylo vycházeno z katalogového listu. Schéma zapojení je na obr. 3.14.



Obr. 3.14: Schéma zapojení obvodu Toshiba TB6560AHQ







3.7.1 Plošný spoj výkonové části řízení krokového motoru

Obvod TA6560 je vyráběn ve dvou variantách TA6560AHQ, respektive TA6560AFG. Jediná odlišnost obvodů je v typu pouzdra, s čímž přímo souvisí i jejich schopnost dodávání proudu. Varianta AFG v pouzdře HQFP64-P dodává maximálně 2,5 A. Použitý obvod AHQ v pouzdře HZIP25 dodává až 3.5 A, jelikož je v zadní části vybaven masivní měděnou plochou pro uchycení chladiče. Není problém s jeho přehříváním a nemá tudíž omezený dodávaný proud, jako obvod AFG. Vzhledem k rozmístění vývodů je pouzdro HZIP25 určeno v ideálním případě pro oboustrannou horizontální montáž. Vzhledem k dostupné technologii výroby a možným komplikacím při osazování a oživování DPS byla varianta horizontální montáže s vývody po obou stranách DPS zavrhnuta. Vytvořena byla oboustranná DPS a obvod TA6560 byl umístěn do precizní patice. Obvod je náchylný ke kmitání, proto jsou napájecí vstupy opatřeny kondenzátory 100 nF. Pro svedení indukovaných proudových špiček je výstup chráněn diodami BYV27. Nastavení parametrů obvodu, jako je mikrokrokování, dodávaný kroutící moment a vybíjení zbytkového proudu, je elegantně prováděno pomocí přepínačů typu DIP. Připojení napájení výkonové části driveru a připojení vývodů krokového motoru je pomocí trojice šroubovacích svorkovnic ARK500/2. Připojení řídicích signálů a napájení logické části je přivedeno z desky s mikrokontrolérem. Spojení je zprostředkováno konektorem MLW 10. Osazená deska plošného spoje je zobrazena v příloze A.

3.8 Měřidlo TEST 321

Měřidlo TEST 321 pracuje na principu převodu působící tahové, nebo tlakové síly pomocí tenzometrického článku. Vlastní činná část se skládá z hliníkového bloku, který je opatřen tenzometry zapojenými do Wheatstoneova můstku. Můstkové zapojení eliminuje parazitní vlivy (např. teplota, velikost procházejícího proudu). Při ohledání bylo zjištěno, že součástí měřidla není příručka k obsluze. Po oslovení výrobce, byla nakonec získána dokumentace [18], díky níž byl sestaven kabel pro komunikaci po rozhraní RS 232. To i navzdory tvrzení výrobce o nemožnosti spojení s počítačem. Ovládací rozhraní je tvořeno šesti tlačítky, jejichž funkce je vysvětlena v tab. 4.

Tab. 4: Popis funkce ovládacího rozhraní [18]

Tlačítko	Popis funkce
	Vypnutí / Zapnutí Vyvolání přednastaveného filtru pro odesílání dat po RS 232
	Nastavení nulového bodu.
	Mazání maximální naměřené hodnoty.
	Přepínání jednotek N, lbs, Kg Stisk DIM + LPT = aktivace přednastaveného filtru pro odesílání dat po RS 232
	Zobrazení kladné / záporné maximální hodnoty.
	Aktivace výstupu na PC/ tiskárnu – komunikace RS 232.

Maximální měřicí rozsah je 500 N, což je dáno použitým tenzometrem a vnitřním nastavením měřidla. Zamezení přetížení je provedeno nastavitelnými dorazy mezi tělem měřidla a tenzometrickým článkem. Přesnost měřidla je 0,1 N. Kromě datového výstupu sběrnice RS 232 disponuje měřidlo konektorem JACK 3,5 pro připojení externího napájecího zdroje 9 V 250 mA pro dobíjení akumulátoru, kterým je měřidlo vybaveno. Měřená veličina je zobrazována v jednotkách Kg, N, nebo Lbs. Nástrojový trn měřidla je vybaven vnitřním závitem M5. Tohoto prvku se využívá pro uchycení měřicí kleštiny v případě testování kuliček pouzdra BGA, respektive trhacího háčku pro testování vývodů integrovaných obvodů. Rozměry měřidla jsou 180 x 73 x 37 mm a hmotnost je 0,72 kg. Důležitým prvkem je čtveřice montážních otvorů, které jsou opatřeny závitem M6. Situovány jsou po dvojici na čelní a zadní straně měřidla. Měřidlo TEST 321 je zobrazeno na obr. 3.15. Další parametry měřidla jsou uvedeny v dokumentaci výrobce [18], jenž je k dispozici na příloženém CD.



Obr. 3.15: Měřidlo TEST 321

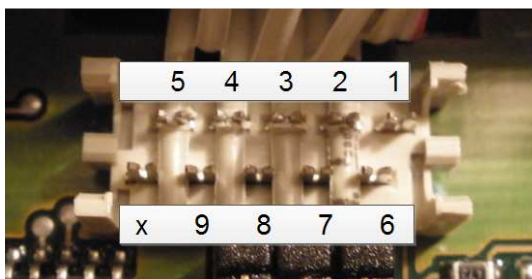
Pro možnost odesílání dat po rozhraní RS 232 je třeba provést nastavení komunikace, což se realizuje následujícím postupem. Nejprve je třeba zapnout přístroj tlačítkem ON/OFF, poté současně stisknout tlačítko DIM + LPT. Stiskem DIM + LPT se aktivuje příslušný filtr, jak je uvedeno v tab. 5. Pro odesílání dat je poté nutné přístroj vypnout tlačítkem ON/OFF, čímž proběhne uložení nastavení zvoleného filtru. Nyní zapneme přístroj stiskem tlačítka ON/OFF a po stisknutí tlačítka LPT se aktivuje komunikace po rozhraní RS 232. Nyní jsou naměřená data včetně zvolené jednotky přenášena k vyhodnocení do počítače. Při nejnižším průměrování jsou data odesílána každých 0,3 s.

Tab. 5: Filtr odesílaných dat TEST 321 [18]

Filtr	Průměr z počtu měření [-]
1	2
2	4
3	8
4	20
5	40
6	80
7	200
8	400
9	800
10	Stisk tlačítka LPT

3.8.1 Úprava zapojení měřidla TEST 321

Zapojení konektoru Canon 9 bylo modifikováno, aby mohlo probíhat automaticky nastavení odesílání dat po komunikaci RS 232. Jelikož pro přenos dat je zapotřebí mít vyvedené pouze dva vodiče, RDX a TDX, je vyveden vodič z analogového výstupu a zemnicí vodič. Zbývajících 5 vodičů je použito pro automatické nastavení odesílání dat, čímž se zjednoduší obsluha. Při automatické inicializaci měřidla je použit interní filtr1, což znamená, že data jsou odesílána každých 0,3 s. Originální zapojení konektoru Canon 9 je uvedeno v dokumentaci výrobce. Modifikované zapojení je zobrazeno na obr. 3.16. Tato patice je přímo napojena na konektor Canon 9, zobrazená čísla odpovídají standardní pozici pinu v zmíněném konektoru.



Obr. 3.16: Modifikované zapojení konektoru Canon9

Popis funkce jednotlivých pinů je následující, piny 2, 3, 4, 5 jsou zapojeny standardně dle dokumentace. Pin 2 (TXD) a 3 (RXD) slouží pro přenos dat - RS 232. Pin 5 je zemnicí, pin 4 analogový výstup jeho napěťová úroveň je $\pm 2,5$ V. Zbývajících 5 pinů slouží k automatické inicializaci odeslání dat spojením pinu 8 a 9 se vyvolá aktivace tlačítka ON/OFF, spojením pinu 6 a 1 aktivace DIM, 7 a 1 aktivace LPT. Pohled na vnitřní uspořádání měřidla TEST 321 je zobrazen na obr. 3.17. Zcela vpravo je vidět nástrojový trn, dále měřící tenzometr a elektronika měřidla.

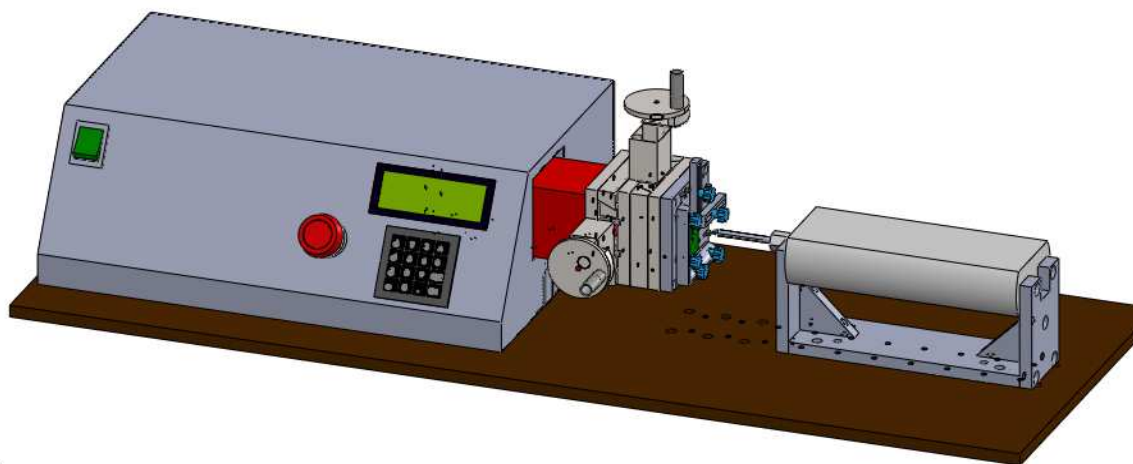


Obr. 3.17: Vnitřní uspořádání měřidla TEST 321

4 Konstrukce polohovacího stolku

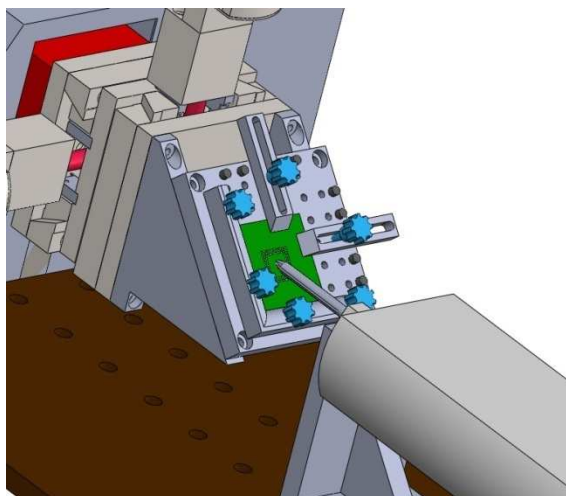
4.1 Vytvoření trojrozměrného modelu

Na základě parametrů zvolených součástí a definovaných parametrů aplikace byl v programu Solidworks sestaven trojrozměrný model, jenž prezentuje uspořádání jednotlivých prvků systému zařízení pro testování pevnosti pájeného spoje. Celkový pohled na vytvořený model je prezentován na obr. 4.1. Toto uspořádání je realizováno zejména pro testování pevnosti pájkových kuliček pouzder BGA a testování pevnosti jiných prvků upínaných do trhací kleštiny.



Obr. 4.1: Trojrozměrný model testovacího zařízení

Při testování vývodů integrovaných obvodů především tvaru Gull Wing – racčí křídlo, předepisuje norma uspořádání s nakloněním základny o 45° , jak je uvedeno v kapitole seznamující s normou IEC 62137-1-1. Vytvořený adaptér pro testování vývodů integrovaných obvodů je zobrazen na obr. 4.2. Blíže budou jednotlivé části konstrukce rozebrány v následujících podkapitolách.



Obr. 4.2: Úhlový adaptér pro testování vývodů integrovaných obvodů

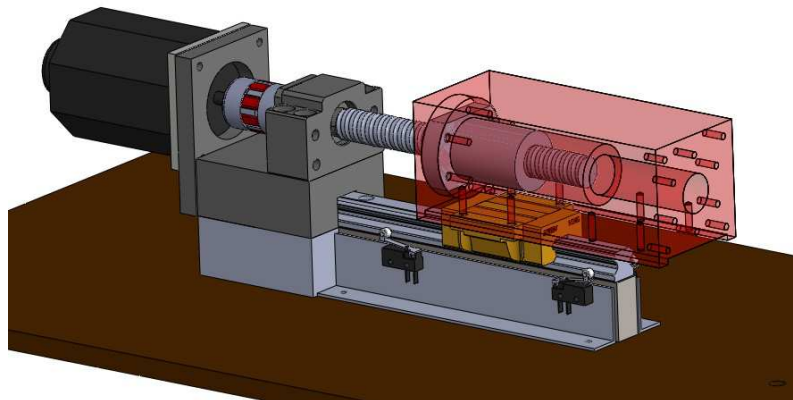
Celou konstrukci je možné rozdělit do řešení několika dílčích částí, které po konečné montáži na základní desku z materiálu Textit tvoří jeden celek. Jedná se zejména o řešení lineárního pohybu, sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem, upnutí vzorku, úhlový nástavec pro testování vývodů integrovaných obvodů, realizaci kleštiny pro upnutí pájkových kuliček, realizaci nástroje pro testování vývodů integrovaných obvodů, vyztužení konstrukce, uchycení měřidla TEST 321, vytvoření přístrojového krytu a finální montáž. Výkresy sestav jsou umístěny v příloze B.

4.1.1 Trhací stolice

Provedení trhací stolice bylo realizováno s ohledem na účel použití zařízení. Trhací stolice spojuje dohromady část lineárního pohybu, polohovací aparaturu, upínací stolek substrátu a měřidlo Test 321. Měřidlo je v upevňovacím držáku variabilně nastavitelné v rozsahu vzdálenosti až 120 mm od upínacího stolku substrátu. Pohyb testovaného vzorku zajišťuje krokový motor s pomocí kuličkového šroubu. Rozsah pohybu je 60 mm, což pro účel trhání SMD součástek více než dostačuje.

Pro realizaci lineárního pohybu byly vybrány průmyslové komponenty, jejichž vlastnosti byly rozebrány v teoretické části. Přesné parametry komponent lze nalézt v literatuře [16], [19], [20], [21], [22]. Jádrem podskupiny lineárního pohybu je lineární kolejnicové vedení s přírubovým vozíkem od firmy Hiwin. Návrh konstrukce je zobrazen na obr. 4.3. Při návrhu konstrukce trhací stolice byly použity následující průmyslové díly:

- vozík lineárního vedení Hiwin HGV15CC;
- kolejnice lineárního vedení Hiwin HGR15R;
- kuličková matice SFI s čtyřmi kuličkovými drahami;
- kuličkový šroub SCR01605;
- pevné uložení kuličkového šroubu BK-10;
- momentová spojka LK20-C25-5/5;
- krokový motor s integrovaným enkodérem.



Obr. 4.3: Uspořádání modelu sestavy lineárního pohybu

Další díly zobrazeny na obr. 4.3 byly navrženy pro zhotovení třískovým obráběním ocelového materiálu dostupného pod názvem tyč plochá tažená za studena, EN 10278, úchylka h11, vlastnosti materiálu a jeho obvyklé rozměry jsou uvedeny v literatuře [23]. Materiál o stejné jakosti byl použit i na zbytek konstruovaných dílů. Pod kolejnicí lineárního vedení je umístěna ocelová obdélníková tyč šířky 15 a výšky 30 mm, která zde plní dvě funkce, první je ztužení kolejnice lineárního vedení, druhou je zvýšení stavební výšky. Úprava stavební výšky je nutná z důvodu požadavku na nastavení pozice vzorku. Podobnou funkci mají i přilehlé díly v levé části, ty upravují stavební výšku pevného uložení konce kuličkového šroubu BK-10. Na tyto díly navazuje díl k zachycení kroutícího momentu krokového motoru, který je našroubován mezi přírubu motoru a již zmiňovaný díl zprostředkovávající upevnění pevného uložení BK-10. Výrobně nejnáročnější díl v této podskupině je tělo supportu na obr. 4.3 zobrazeno průhledně, tento díl spojuje vozík lineárního vedení se zapuštěnou kuličkovou maticí na zadní straně. Na čelní straně je pak zhotoveno celkem deset kanálů opatřených závity M4 pro upevnění sestavy, jenž slouží pro sesouhlasení vzorku a trhacího nástroje.

Při konstrukci bylo třeba dbát především na přesnou výšku a úhlování dílu pod pevným uložení kuličkového šroubu. Seběmenší odchylka by vedla ke křížení roviny lineárního vedení a roviny kuličkového šroubu, což by vedlo k zadrhávání chodu a nadměrnému opotřebování obou zmíněných komponent. Dále je zde vidět svěrná momentová spojka umístěná mezi hřídelí krokového motoru a obrobeným koncem kuličkového šroubu. Průměr svěrných částí musel být převrtán na průměr hřídele krokového motoru a obrobeného konce kuličkového šroubu.

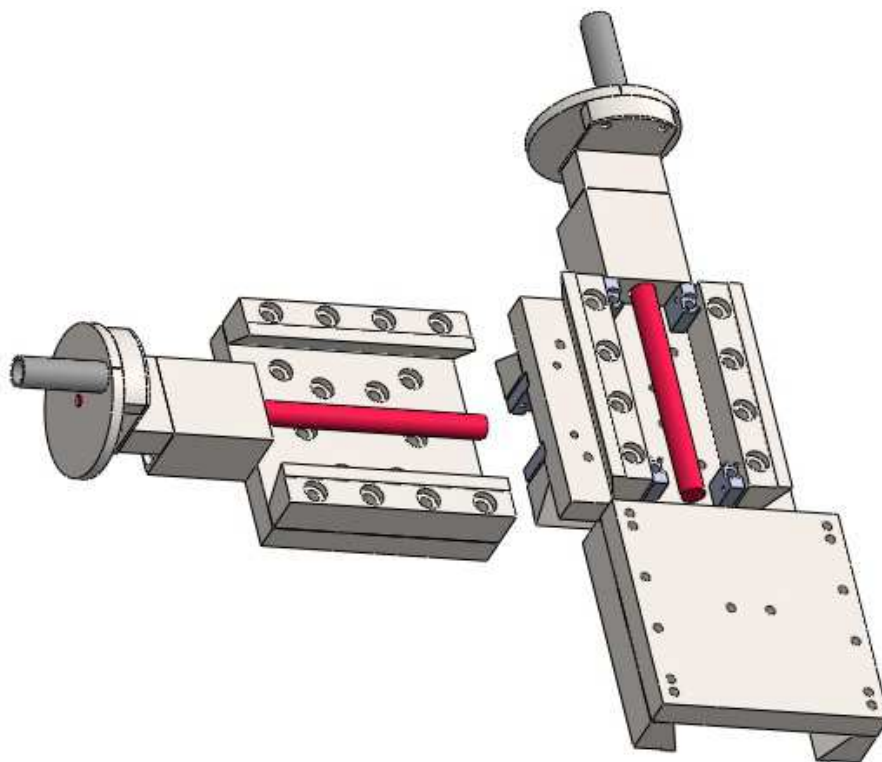
Další součástí sestavy jsou držáky koncových spínačů, které byly vytvořeny z dostupného hliníkového plechu o tloušťce 2 mm. V pohledu na Obr. 4.3 je viditelný držák opatřený spínači, které poskytují informaci řídicí elektronice o pozici supportu, symetricky na druhé straně jsou umístěny spínače pro zastavení pohybu v případě závady. Výkresy sestav jsou umístěny v příloze B, výkresy jednotlivých dílů jsou umístěny v elektronické příloze.

4.1.2 Sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem

V prvotní fázi návrhu testovacího zařízení nebylo plánováno vytvářet prvek pro sesouhlasení vzorku a testovaného substrátu, neboť bylo zamýšleno použít dostupné prvky, které sloužily v minulosti k nastavení optických komponent. Jelikož se ovšem změnila požadavky na zařízení, především požadovaný rozsah pohybu pro nastavení pozice vzorku, byly hledány možnosti řešení. Byl nalezen komerčně vyráběný sesouhlasovací prvek, který by vyhovoval naší aplikaci, ale bohužel jeho pořízení nebylo z omezených finančních možností možné realizovat. Komponenty polohovací aparatury byly navrženy tak, aby bylo celé zařízení kompaktní a zároveň mělo dostatečnou přesnost a robustnost. V neposlední řadě byl kladen důraz na efektivní vyrobiteľnosť, neboť miniaturizace by celou aparaturu prodražila.

Aparatura je složena ze dvou o 90° pootočených úrovní rybinového vedení, přičemž je vybavena dostavovacími prvky pro vymezení vůle tohoto vedení. Pohyb jednotlivých úrovní je zajištěn šroubem M8x1,25 který je na jednom konci opatřen maticí převádějící otáčivý pohyb na pohyb lineární. Na druhém konci je šroub uložen v kluzném ložisku a opatřen diskem stupnice s nejmenším rozlišením 0,025 mm.

Polohovací aparatura zprostředkovává přenos sil mezi trhací stolicí a upínacím stolcem a zároveň umožňuje radiální sesouhlasení vzorku a trhací hlavice v rozsahu 50 mm. Konstrukce je pospojována šroubovými spoji, které jsou realizovány imbusovými šrouby M4. Rozloženou sestavu je možné vidět na obr. 4.4. V levé části se nachází spodní díl montovaný přímo na support popisovaný v předešlé podkapitole. Upevnění je možné čtyřmi až deseti imbusovými šrouby jejichž hlavy jsou zapuštěny do základního materiálu.



Obr. 4.4: Sestava modelu sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem

Součástí spodního dílu je polovina rybinového vedení a část zajišťující pohyb, která se nazývá *posun kompletní*. Každá část rybinového vedení je upevněna čtveřicí imbusových šroubů M4. *Posun kompletní* se skládá z lože šroubu, lože kluzného ložiska, silonového kluzného ložiska, aretační šroub kluzného ložiska, disku stupnice, protikusu stupnice, klíčky disku stupnice, pohybového šroubu a matice manipulátoru, která je přišroubována k střednímu dílu vyobrazen vpravo uprostřed na obr. 4.4.

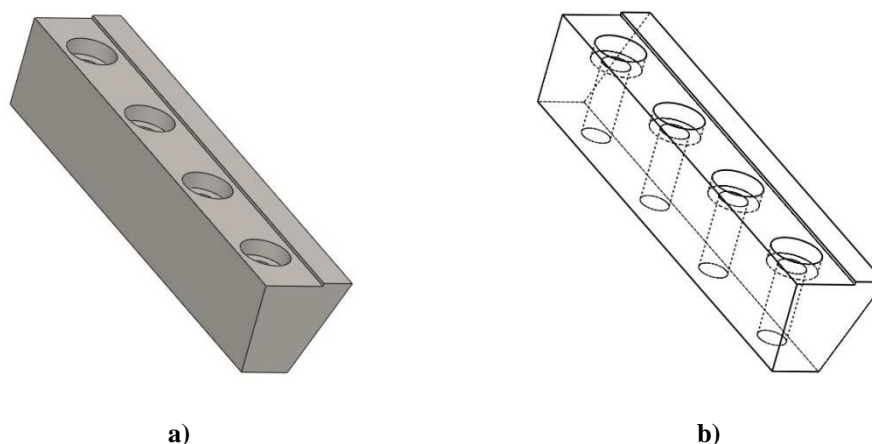
Díly byly opět navrženy pro výrobu třískovým obráběním ocelového materiálu dostupného pod názvem tyč plochá tažená za studena, EN 10278, úchylka h11. Silonové kluzné ložisko bylo navrhnuo, jak už název napovídá, ze silonu, stejně tak klíčka disku

stupnice. Disk stupnice a protikus stupnice jsou navrženy z dostupné hliníkové kruhové tyče průměru 50 mm na jejímž obvodu je situováno celkem 50 drážek. Vezmeme-li v úvahu stoupání šroubu, což je 1,25 mm, bude jeden dílek odpovídat změně polohy o 0,025 mm. Pohybový šroub byl navržen vyrobít z materiálu 11600, což je hřídlová ocel. Závit na šroubu je M8. Matice manipulátoru bude realizována z bronzu, aby se zajistil hladký chod a omezila se možnost zadření.

Střední díl byl navrhnout zcela analogicky z totožných komponent, pouze ryby jsou umístěny stykovou plochou směrem ven, tak aby zapadaly do dílu ve spodní tak i horní úrovni. Oproti dolnímu a hornímu dílu je střední díl opatřen prvky pro nastavení vůle rybinového vedení. Pokud bude těmito prvky vůle vzniklá výrobními tolerancemi zcela vymezena, bude docházet k nadměrnému tření stykových ploch, které bude třeba vhodným způsobem mazat. Vymezení vůle je kompromis nalezení takového bodu, kdy je vůle dostatečně malá, ale zároveň je tření stykových ploch únosné.

Horní díl je navrhnout totožně jako spodní díl s rozdílem, že není osazen podskupinou nazvanou *posun kompletní*. Taktéž zde nejsou montážní otvory pro upevnění k supportu. Na rozdíl od spodního dílu je opatřen čtveřicí závitů M4, které slouží k upevnění další sestavy, kterou je držák substrátu. Tyto závity jsou zřetelné na obr. 4.4 v pravé dolní části zcela v rozích horního dílu. Dvojice otvorů ve střední části tohoto dílu jsou vnitřní závity M4 sloužící k upevnění matice manipulátoru.

Jelikož je rybinové vedení klíčovým prvkem sestavy je vhodné ho zde uvést. Výrobně je to patrně nejkomplikovanější díl, neboť pro jeho vyrobení bude třeba použití speciálního úhlového svěráku, nebo úhlové frézy. Úhel svíraný činnou plochou k podložce je 65°, což je hodnota pro vedení podobného druhu obvyklá. Navržené rybinové vedení je na obr. 4.5. Výkres dílu je umístěn v elektronické příloze.

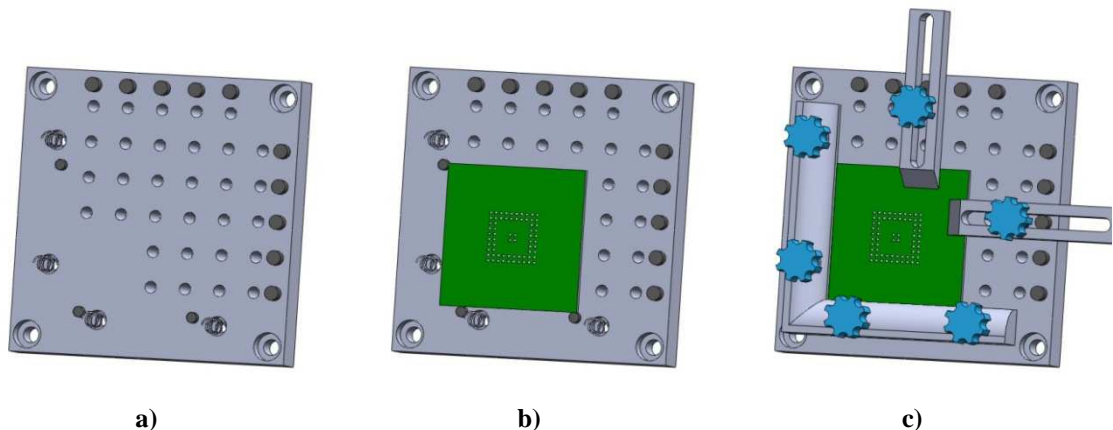


Obr. 4.5: Rybinové vedení plný pohled – a), poloprůhledné – b)

4.1.3 Stolek pro upnutí substrátu

Základní požadavek na upínací stolek byla možnost upínání vzorků do velikosti 50 x 50 mm s tloušťkou do 10 mm. V úvahu přicházelo několik možných variant řešení návrhu. Byla provedena analýza vakuového upínání a upínání s kombinací mechanického a vakuového upnutí. S ohledem na univerzálnost řešení byl navrhnout ryze mechanický systém upnutí.

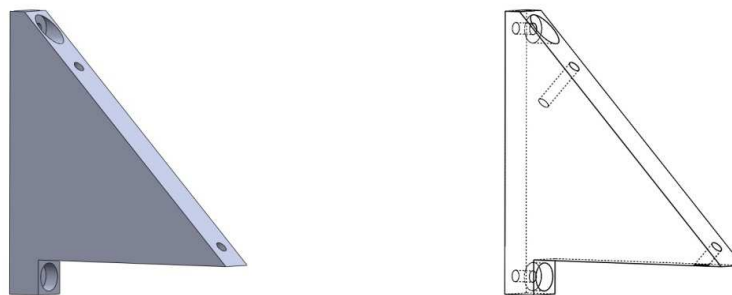
Navržený upínací stolek bez aretačního rámečku, je zobrazen na obr. 4.6 a). Zde jsou vidět dorazové kolíky, na které je třeba testovaný vzorek sesouhlasit, dále jsou zde vidět celkem čtyři zahlubené kanály osazené vinutými pružinami. Tyto pružiny slouží k podpoření oddálení aretačního rámečku a tím umožňují jednodušší výměnu testovaného substrátu. Sesouhlasení testovaného substrátu na dorazové kolíky je zobrazeno na obr. 4.6 b), aby bylo zajištěno jeho spolehlivé upnutí aretačním rámečkem. Kromě aretačního rámečku je stolek opatřen dvojicí univerzálních aretačních nástavců, jejichž prostřednictvím lze upnout substráty různých velikostí. Univerzální aretační nástavce mají pomocné vedení ve formě kolíků, které se nacházejí při horní a pravé hraně upínacího stolku. Kompletní upínací stolek i s modelem pouzdra BGA lze vidět na obr. 4.6 c).



Obr. 4.6: Model upínacího stolku bez aretačního rámečku - a), s testovacím substrátem - b), s aretačním rámečkem a modelem pouzdra BGA - c)

4.1.4 Úhlový nástavec pro testování vývodů integrovaných obvodů

V souladu s normou IEC 62137-1-1 [1] byl navržen úhlový nástavec pro testování vývodů integrovaných obvodů. Vzhledem ke koncepci zbytku zařízení je i jeho tvar od této skutečnosti odvislý. Tvar úhlového nástavce je klasickou technologií obrábění pravděpodobně dosti těžko vyrobitelný. Dvojice úhlových nástavců se při testování vývodu integrovaných obvodů vkládá mezi celek pro sesouhlasení a upínací stolek substrátu obr. 4.2. Samostatný nástavec je zobrazen na obr. 4.7.

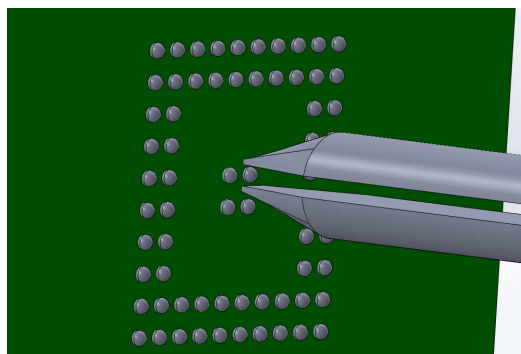


a) b)
Obr. 4.7: Úhlový nástavec plný pohled – a), poloprůhledný – b)

4.1.5 Návrh kleštiny pro upínání pájkových kuliček

S ohledem na co největší výrobní jednoduchost kleštiny bylo při návrhu uvažováno použití stávajícího závitu M5, který se nachází v nástrojovém trnu měřidla TEST 321. Za těchto předpokladů a s ohledem na výrobní jednoduchost se přímo nabízela možnost zkonstruovat upínací kleštinu z pevnostního šroubu M5. Při návrhu byla zohledněna velikost upínaných kuliček a hustota rastru, ve kterém se nachází. Průměr pájkových kuliček, pro které je kleština navržena, je 0,76 mm, rozteč středů je pak 1,5 mm. Z tohoto zadání plyne, že mezi jednotlivými kuličkami pájky je volný prostor jen 0,74 mm. Z tohoto poznatku je odvozen vhodný tvar upínací kleštiny.

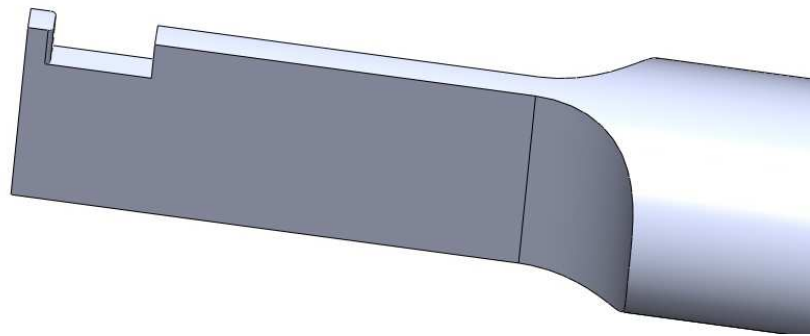
Dále byl proveden orientační výpočet pevnosti kleštiny, ve výpočtu je vycházeno z meze kluzu pevnostního šroubu, který bylo zamýšleno použít. Třída šroubu, se kterou bylo kalkulováno, je 8.8. Minimální mez kluzu takto značeného šroubu je 640 N/mm^2 . Po vymodelování trhací kleštiny, která je zobrazena na obr. 4.8 byla odečtena plocha řezu kleštiny ve středním bodě interakce s pájkovou kuličkou, tato plocha činí $0,8 \text{ mm}^2$ tímto máme známy rozměry všech potřebných veličin a jejich vynásobením dostaneme hodnotu minimální meze kluzu, která činí 521 N. Vezmeme-li v úvahu známou pevnost spoje mezi pájkovou kuličkou a pájecí plochou, jenž se pohybuje v závislosti na složení pájky, povrchové úpravě pájecí plošky atd., pod hodnotou 20 N, můžeme zřejmě považovat návrh kleštiny za dostatečně dimenzovaný.



Obr. 4.8: Model kleštiny - detail rastru pájkových kuliček

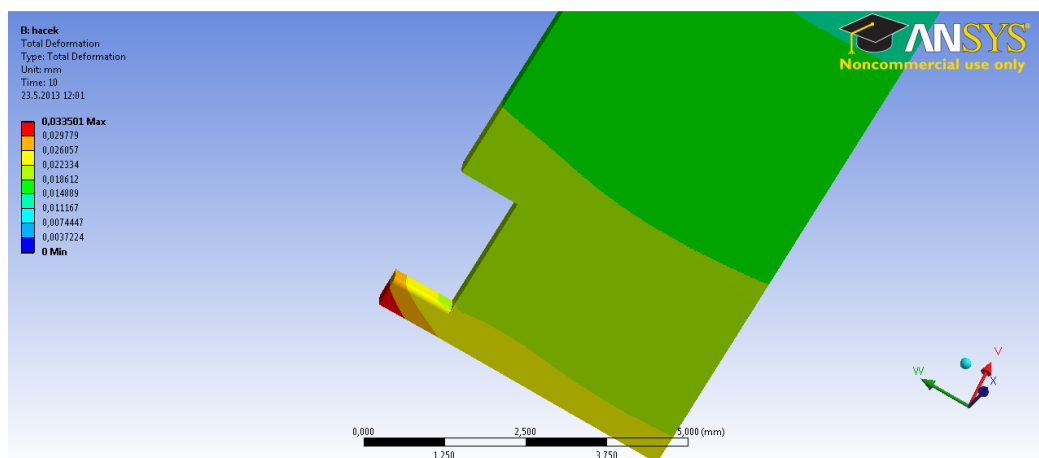
4.1.6 Návrh nástroje pro testování vývodů integrovaných obvodů

Návrh byl proveden analogicky, jako v předchozí kapitole. Výchozí podmínky byly samozřejmě odlišné. Požadavek zadání byl vytvořit nástroj pro testování vývodů pouzder typu SOP. Analýzou katalogových listů a praktickým měřením bylo zjištěno, že pod vývodem integrovaného obvodu je prostor pro nástroj průměru pouze 0,5 mm. Na základě těchto dat byl vytvořen model testovacího nástroje, který je zobrazen na obr. 4.9.



Obr. 4.9: Model nástroje pro testování vývodů integrovaných obvodů

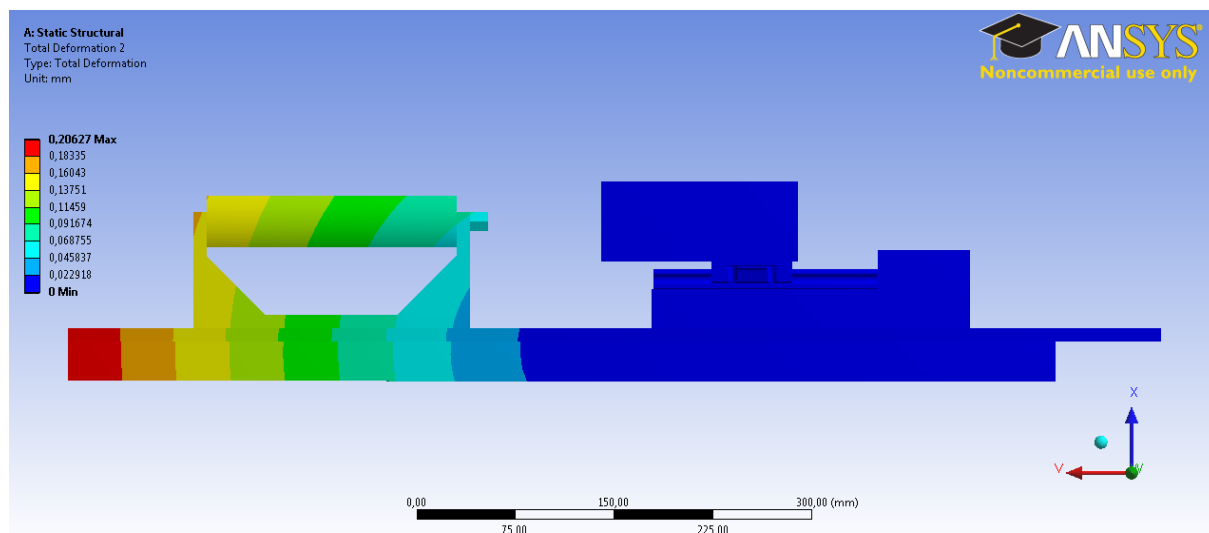
Plocha průřezu, kterou je vytvořený trhací čep spojen se zúženou částí těla pevnostního šroubu je rovna $0,20 \text{ mm}^2$. Z této plochy byla zcela analogicky, jako v předchozí podkapitole, spočtena minimální mez kluzu. Vypočtená hodnota se rovná 128 N. Byla zjištěna horní hranice síly potřebné pro odtržení vývodu integrovaného obvodu, která je při nízkých rychlostech testování 35 N. Porovnáním se zjištěnou pevností pájeného spoje tohoto typu vývodu by mohlo být konstatováno, že navržené řešení má dostatečnou pevnostní rezervu. Na základě zjištění typické testovací síly, byla provedena simulace v programu Ansys za účelem přesnější analýzy deformace nástroje pro testování vývodů integrovaných obvodů viz obr. 4.10.



Obr. 4.10: Simulovaná deformace testovacího nástroje

4.1.7 Vyztužení konstrukce

Při důkladném prostudování mechanických vlastností materiálu Textit, jenž je použit jako základní deska. Bylo zjištěno, že jeho tuhost není dostatečná, aby nedocházelo při testování součástí k jeho ohybu. Byla provedena simulace v programu Ansys. Na základě této simulace bylo navrženo vyztužení ocelovými profily tvaru L, profily mají délku ramena 30 mm a jeho tloušťka je 4 mm. Byla provedena ověřovací simulace, jejíž výstup je uveden na obr. 4.11.

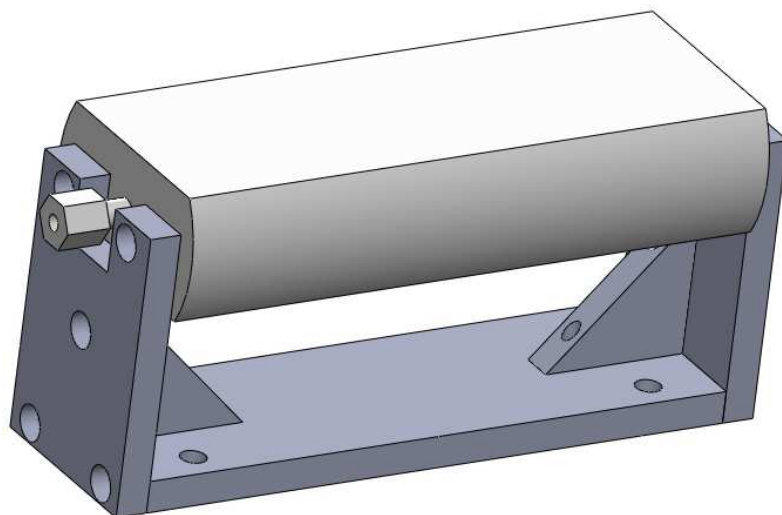


Obr. 4.11: Simulace vyztužení konstrukce

Jelikož je zařízení primárně určeno pro testování pájkových kuliček BGA pouzder a vývodů integrovaných obvodů, byla zjištěna horní hranice síly potřebné pro odtržení těchto komponent. Hodnota nepřevyšuje 35 N. Právě pro tuto hodnotu byla provedena další simulace, ve které bylo zjištěno, že vlivem působící síly dojde k ohybu v řádu setiny milimetru. Tato odchylka je značně malá a lze předpokládat, že nebude mít majoritní vliv na chybu měření (smykové namáhání).

4.1.8 Uchycení měřidla TEST 321

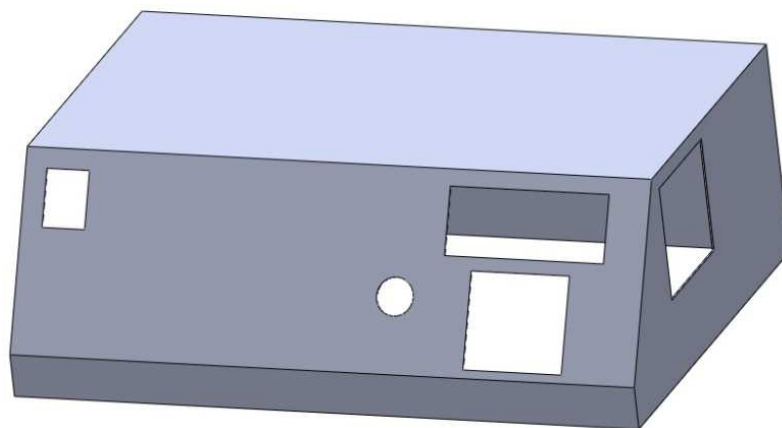
Pro návrh uchycení měřidla TEST 321 byl v návrhu použit materiál shodný, jako v předchozích případech, tzn. tažená ocel. Držák sestává z pěti dílů ze zmíněné oceli a čtyř čepů, které se starají o přenesení silového momentu na základní desku. Konstrukce je pospojována imbusovými šrouby M6. Pohled na návrh uchycení osazený modelem měřidla TEST 321 je na obr. 4.12.



Obr. 4.12: Uchycení měřidla TEST 321

4.1.9 Přístrojový kryt

Po vytvoření všech komponent a vytvoření vazeb mezi jednotlivými celky byl navržen přístrojový kryt, který účelně kryje mechanické a elektrické komponenty aplikace. Dalším požadavkem na kryt bylo možnost na jeho povrch umístit ovládací i zobrazovací rozhraní a propojovací konektory. Návrh krytu je zobrazen na obr. 4.13.



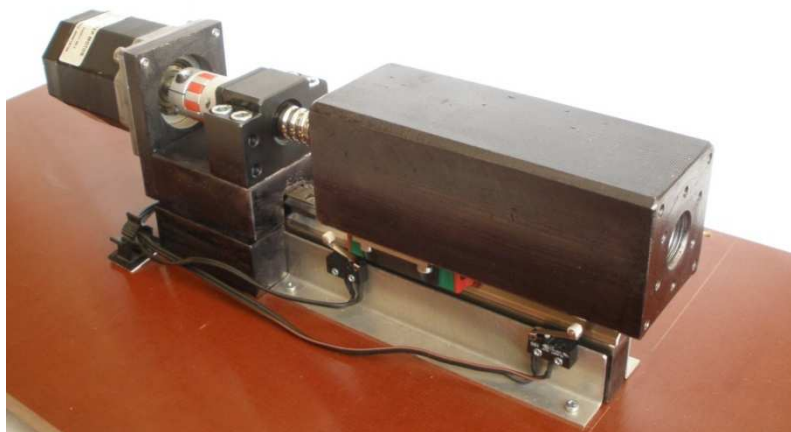
Obr. 4.13: Přístrojový kryt

5 Výroba a sesazení zařízení

Na základě návrhu konstrukce z předchozí kapitoly byla vytvořena technická dokumentace pro výrobu jednotlivých částí. Většina komponentů byla vyrobena třískovým obráběním zejména frézováním a v menší míře soustružením. Otvory pro dříky šroubů byly vyrobeny vrtáním. Zahloubení pro imbusové hlavy bylo frézováno, nebo zhotoveno pomocí speciálního záhlubníku s vodícím trnem. Úhlový nástavec pro testování vývodů integrovaných obvodů byl vyroben technologií laserového řezání. Většina komponent byla vyrobena z tažené oceli dostupné pod názvem tyč plochá, čtvercová tažená za studena, EN 10278, úchylka h11. Použitím tohoto materiálu došlo k úspoře času nutného pro obrábění, neboť materiál má přesný hladký povrch, který není třeba dále opracovávat. Hotové díly byly opatřeny speciálním antikoročním nátěrem na fosfátové bázi. Celá konstrukce je spojena šroubovými spoji realizovanými šrouby s imbusovou hlavou. Nejčastěji použitým je šroub se závitem M4, M6 a M5. Pro vymezení vůle rybinového vedení a zajištění disku stupnice na ose šroubu jsou použity šrouby se závitem M3. Při montáži byly použity doporučené utahovací momenty šroubů dle [24].

5.1 Sestava lineárního pohybu

Finální montáž sestavy lineárního pohybu je zobrazena na obr. 5.1. Celá sestava je zhotovena přesně podle zpracovaného modelu, jenž je prezentován v předchozí kapitole.



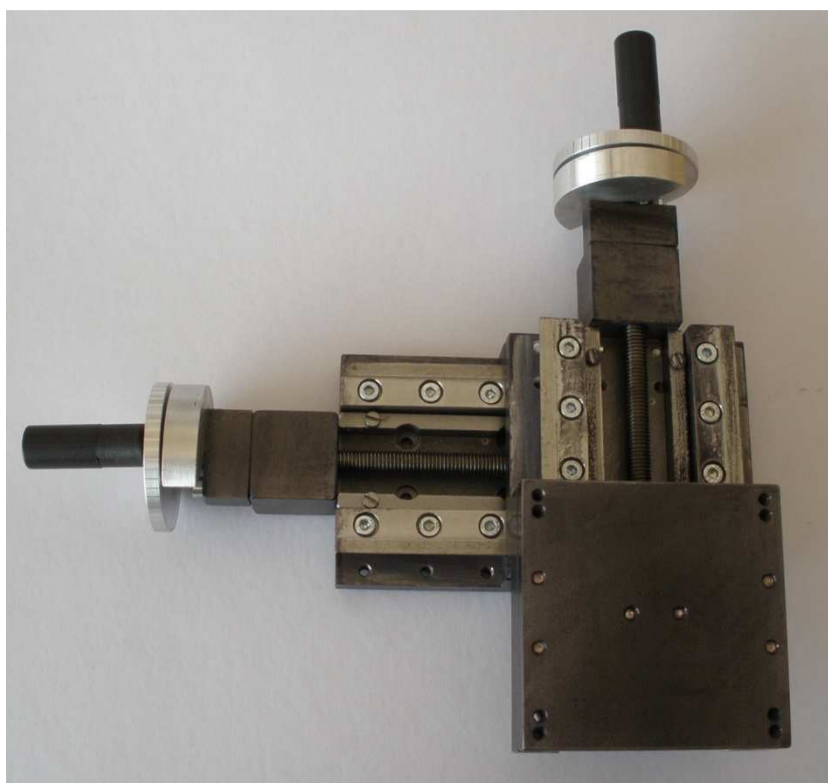
Obr. 5.1: Uspořádání sestavy lineárního pohybu

Při montáži bylo nejobtížnější zajistit rovnoběžnost osy kuličkového šroubu a kolejnice lineárního vedení s přírubovým vozíkem. Toto seřízení se provádělo pomocí ručičkového úchylkoměru, kterým byla kontrolována rovinnost kolejnice na základové desce. Poté bylo namontováno pevné uložení konce kuličkového šroubu BK-10 a do něj vložen kuličkový šroub. Po dotažení pevného uložení byla kontrolována rovinnost

pomocí zmíněného úchylkoměru. Následovalo podkládání pevného uložení tenkou kovovou folií a opět kontrola rovinnosti. Tato operace se opakovala, dokud nebylo dosaženo přesného sesouhlasení.

5.2 Sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem

Finální montáž sestavy sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem je zobrazena na obr. 5.2. Celá sestava je zhotovena podle zpracovaného modelu, jenž je prezentován v předchozí kapitole. Navržený model byl při výrobě zjednodušen. To se týká vymezovacích prvků rybinového vedení a protikusu disku stupnice, který je realizován z jednoho kusu a nemá oproti návrhu protikus pro připevnění k sestavě. Také rybinové vedení v nejnižší úrovni má invertovanou orientaci.



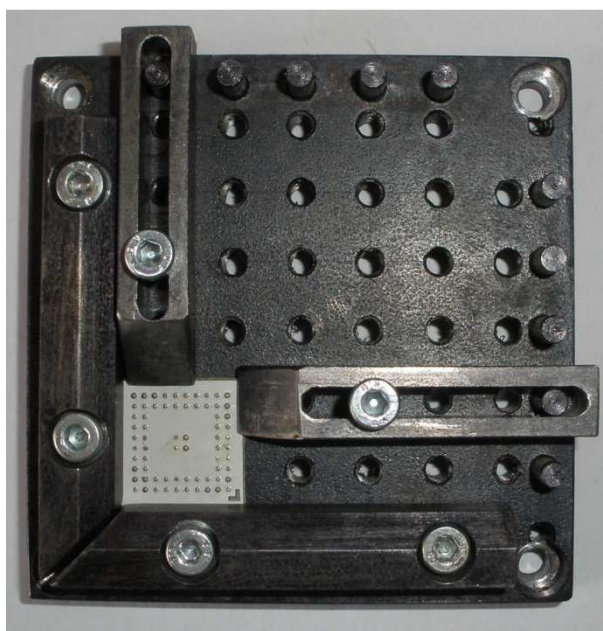
Obr. 5.2: Sestava sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem

Pro správnou funkci je třeba provést vymezení vůle rybinového vedení. To se provádí pro každou úroveň čtveřicí šroubů M3 s vnitřní imbusovou hlavou. Před vlastním vymezováním je třeba povolit imbusové šrouby M4, které zajišťují rybinové vedení ve vymezené pozici. Seřízení se realizuje následujícím způsobem. Protikus s rybinovým vedením opačné orientace je předem pomocí úhelníku smontován a poté je nasunut na protikus vedení vybaveného vymezovacím elementem. A postupně se provádí vymezení vedení, jeho utažení a kontrola tření ve vedení. Správně vymezené vedení má malý odpor a zároveň i malou vůli.

Disky stupnice jsou opatřeny vyfrézovanými drážkami, které slouží jako stupnice. Průměr disků je 50 mm a každý je opatřen celkem padesáti drážkami. Pohybový šroub má stoupání 1,25 mm z čehož plyne, že při posunu o nejmenší dílek je proveden posun o 0,025 mm. Při nastavování požadované polohy je třeba brát ohled zejména na to, že závity nejsou bezvúlové, a proto je poloha přesně nastavena pouze při pohybu jedním směrem, při změně orientace pohybu je třeba odečíst chybu způsobenou vůlí závitu. V praxi se toto provádí opětovným najetím na požadovanou pozici a následně vykonávaný pohyb se realizuje jen v jednom směru otáčení.

5.3 Stolek pro upnutí substrátu

Finální montáž stolku pro upnutí substrátu je zobrazena na obr. 5.3. Celá sestava je zhotovena přesně podle zpracovaného modelu, jenž je prezentován v předchozí kapitole. Na zmíněné fotografii je zobrazeno upnutí testovacího substrátu, jenž simuluje vývody, na nichž jsou aplikovány přetavené pájkové kuličky. Celý substrátový stolek je ke zbytku konstrukce připevněn čtveřicí šroubů s imbusovou hlavou M4, které jsou umístěny v rozích upínacího stolku. Na fotografii si je též možné všimnout celkem deseti kolíků, které pomáhají vést univerzální aretační nástavce. Největší substrát, který je v této konfiguraci možné upnout je 60 x 60 mm. Při vyšroubování vodících kolíků je možné upnout substrát i větších rozměrů. Nejmenší upínaný substrát, který lze ještě upnout, je odvislý od šířky univerzálních aretačních nástavců, ty jsou široké 10 mm. Pokud bude z pevnostního hlediska dostačovat upnutí jen jedním univerzálním nástavcem, může být substrát teoreticky velký i několik mm. Pokud je nutné použít oba univerzální nástavce, musí mít substrát velikost alespoň 12 x 12 mm.



Obr. 5.3: Stolek pro upnutí substrátu

Drobnou změnou oproti návrhu je záměna aretačních šroubů s křídlovou hlavou, za šrouby s imbusovou hlavou. Použití šroubů s imbusovou hlavou má výhodu, že tyto šrouby nemají přesah do pracovního prostoru. Z tohoto důvodu mohou být vhodnější, neboť nepředstavují omezení v pohybu trhacího nástroje. Jak již bylo popsáno v návrhové části, aretační rámeček je vybaven vybráním, které je symetricky provedeno i v těle upínacího stolku. Toto vybrání je umístěné symetricky s osou šroubů aretačního rámečku. Ve vybrání je instalována vinutá pružina o vnějším průměru 6 mm a síle drátu 0,4 mm. Tato pružina napomáhá snazší výměně testovaných substrátů tím způsobem, že oddaluje aretační rámeček a tím umožňuje bezproblémové vyndání a instalaci nového substrátu. Při manipulaci s aretačním rámečkem je třeba dbát na to, aby nebyly zcela vyšroubovány aretační šrouby, neboť pak hrozí vypadnutí popsanych odlehčovacích pružin.

5.4 Uchycení měřidla TEST 321

Sestava je zhotovena přesně podle zpracovaného modelu, jenž je prezentován v předchozí kapitole. Uchycení měřidla v interakci se základním materiálem Textit a vyztužením konstrukce ocelovými profily tvaru L umožňuje nastavení distanční vzdálenosti od stolku pro uchycení substrátu. Nastavení vzdálenosti je možné v rozsahu 150 mm s krokem 30 mm. Tato variabilita je nezbytná z důvodu omezené délky pojezdu lineárního vedení a nutnosti vřazení úhlového nástavce pro testování vývodů integrovaných obvodů. Navíc je tato variabilita vhodná pro použití přístroje i k jiným účelům, než jen testování pevnosti pájeného spoje SMD součástek. Uchycení k základnímu materiálu je realizováno čtveřicí čepů průměru 8 mm, které jsou na straně uchycení měřidla opatřeny závitem M10. Do základní desky prostupuje zmíněný čep průměru 8 mm, který je na konci opatřen závitem M8. Na ten je pod základní deskou a vyztužením opatřen pojistnou maticí.

5.5 Přístrojový kryt

Finální montáž přístrojového krytu je zobrazena na obr. 5.4. Celý zhotoven podle zpracovaného modelu, jenž je prezentován v předchozí kapitole, navíc je opatřen přepážkou, která brání kabeláži ve styku s pohyblivou částí. Při výrobě byl použit dostupný pozinkovaný ocelový plech tloušťky 0,55 mm, z kterého byly vystřiženy a následně naohýbány celkem tři díly, z kterých je tvořen. Spojení těchto dílů je provedeno pájením, ale mohlo by být provedeno svařováním v ochranné atmosféře, nebo bodovým svařováním. Poté byly drobné nerovnosti zatmeleny dvousložkovým polyesterovým tmelem, který byl po vytvrzení přebroušen, a celý kryt byl nalakován dostupnou zinkovou barvou. Kryt plní ochrannou funkci a zamezuje nežádoucímu doteku na elektronickou i mechanickou část zařízení. Na čelní stěně je instalováno ovládací rozhraní ve formě maticové klávesnice, zobrazovací LCD displej, vypínač pro zapnutí / vypnutí a tlačítko pro nouzové odpojení. Na zadní stěně je umístěn konektor pro připojení napájecího adaptéru, šroubovací pojistkové pouzdro, konektor Canon 9 pro připojení měřidla TEST 321, konektor Canon 9 pro připojení k osobnímu počítači, konektor jack 3,5 pro přesný koncový spínač, konektor jack 3,5 pro napájení měřidla

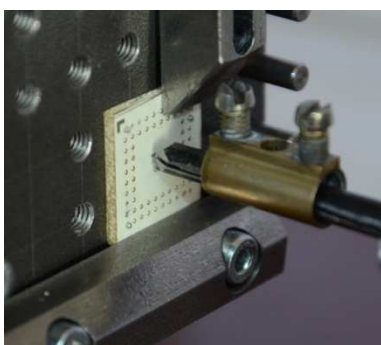
TEST 321, resetovací tlačítko a programovací konektor SPI 6. Přístrojový kryt kompletně osazený elektronikou je zobrazen na obr. 5.4.



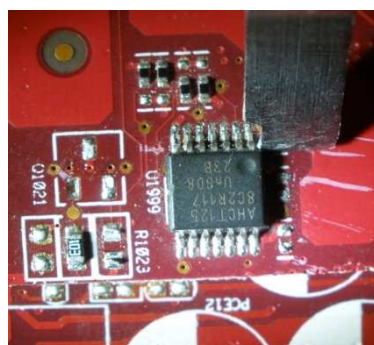
Obr. 5.4: Osazený přístrojový kryt

5.6 Trhací nástroje

Trhací nástroje byly vytvořeny podle modelu uvedeného v předchozí kapitole. Pro jejich výrobu bylo použito pevnostního šroubu třídy 8.8, pevnost materiálu je $640 \text{ N} / \text{mm}^2$. Nástroje byly nahrubo vytvořeny frézováním, jejich přesný tvar se dokončil pilováním. Možnou variantou je vytvoření na drátořezu. Tato metoda je plně automatizovaná a neovlivňuje ji tolik lidský faktor, díky čemuž má výsledek lepší opakovatelnost, než při ruční výrobě prototypu. Přiblížení čelistí kleštiny pro testování pájkových kuliček pouzder BGA je realizováno svěrkou trubkového tvaru opatřenou dvojicí utahovacích šroubů M3 viz obr. 5.5 a). Vhodný utahovací moment se liší podle složení pájkových kuliček. Optimální utažení bylo testováno sérií pokusných měření, jako optimální hodnota se jeví utažení momentem $0,2 \text{ Nm}$. Nástroj pro testování vývodů integrovaných obvodů je zobrazen na obr. 5.5 b).



a)



b)

Obr. 5.5: Trhací nástroje pro pouzdra BGA – a), vývody integrovaných obvodů – b)

5.7 Finální montáž

Z jednotlivých výše popsaných prvků, bylo sestaveno kompletní zařízení pro testování pevnosti pájeného spoje SMD součástek, především pak pájkových kuliček BGA a vývodů integrovaných obvodů typu Gull Wing. Na obr. 5.6 je zobrazeno uspořádání pro testování pájkových kuliček BGA. Na obr. 5.7 je zobrazeno uspořádání s vřazeným úhlovým nástavcem pro testování vývodů integrovaných obvodů.



Obr. 5.6: Uspořádání pro testování vývodů pouzder BGA



Obr. 5.7: Uspořádání pro testování vývodů pouzder integrovaných obvodů

5.8 Ověření tuhosti konstrukce

Ručičkovým úchylkoměrem bylo realizováno měření změny polohy nástroje v závislosti na zatížení testovací aparatury při zatížení, které odpovídá maximální síle odtržení vývodu integrovaného obvodu což je 35 N. Měřením a následným vyhodnocením nakresleného modelu v programu Solidworks bylo zjištěno, že změna úhlu trhacího nástroje je $0^{\circ}0'8''$. Při maximálním zatížení 500 N je změna úhlu testovacího nástroje $1^{\circ}19''$. Měření bylo provedeno ve středu pojezdu lineárního vedení a zároveň i ve střední poloze měřidla TEST 321. Z naměřených výsledků je možné usoudit, že odchylka od ideálního kolmého uchycení je značně malá a lze předpokládat, že nebude mít majoritní vliv na chybu měření vlivem rozkladu tahové síly na sílu smykovou. Což platí zejména při testování pájených spojů s nižší pevností, což jsou například jednotlivé kuličky pouzdra BGA.

6 Programové vybavení

Programové vybavení lze logicky rozdělit na dvě skupiny. V první skupině je program pro mikrokontrolér. Ve druhé skupině je pak program pro osobní počítač.

6.1 Program pro mikrokontrolér

Program pro mikrokontrolér byl vytvořen v programovém prostředí AVR Studio 4 a program je napsán v programovacím jazyce C. Používány byly standardní knihovny a knihovna pro ovládání LCD displeje, která byla získána z [25]. Mikroprocesor byl naprogramován pomocí programátoru AVR Dragon. Při vývoji softwaru pro mikrokontrolér bylo čerpáno z literatury [26] a [27].

Pro osobní počítač byl použit program Advanced Serial Data Logger od firmy AGG software, který je volně dostupný ke stažení na internetu [28].

6.1.1 Přepočítání veličin

Výstupní frekvence je generována vnitřním 16-bitovým čítačem mikrokontroléru. Hodnota zadané frekvence je přepočítávána pomocí upraveného vzorce uvedeného v katalogovém listu mikrokontroléru. Vztah (5) je uveden níže.

$$f = \frac{Xtal}{(2 * N) * freq} - 1 \quad (5)$$

f - hodnota zapisovaná do registru čítače

Xtal - frekvence krystalu (16MHz)

freq - hodnota požadované frekvence

N - hodnota děličky

6.1.2 Přepočítání rychlosti na frekvenci

Přepočítání se provádí následujícím způsobem. Požadovaná hodnota je zadaná na LCD displej pomocí klávesnice. Hodnota má rozměr mm/minuta. Toto bylo potřeba převést na frekvenci otáčení motoru. Přepočítání bylo provedeno vynásobením zadané rychlosti konstantou 5,333. Ta byla vypočtena dle jednoduché úvahy. Víme, že rychlost posuvu 5mm/min se rovná jedné otáčce motoru za minutu. Pro vykonání jedné otáčky motoru je třeba vyslat 1600 impulzů (náběžných hran) za minutu, což je 26,666 Hz. Tato frekvence odpovídá rychlosti 5mm/min. Pro určení frekvence pro základní rychlost, což je 1mm/min je tato hodnota podělena pěti, tím dostaneme frekvenci 5,333 Hz. Hodnota 5,333 je vlastně frekvence při rychlosti pohybu 1mm/min. V tab. 6 jsou uvedeny hodnoty frekvence pro rychlosti doporučené normou IEC 62137-1-1.

Tab. 6: Přepočítání frekvence některých hodnot rychlosti.

rychlost [mm/min]	frekvence [Hz]
20	106,666
10	53,333
5	26,666
2	10,666
1	5,333
0,5	2,666

6.1.3 Přepočítání dráhy na počet kroků

Přepočítání se provádí následujícím způsobem. Požadovaná hodnota je zadaná na LCD displej pomocí klávesnice. Hodnota má rozměr v mm. Tato hodnota není pro počet kroků, které musí krokový motor vykonat, vypovídající, a proto se provede jednoduchý přepočítání vycházející ze známé hodnoty počtu kroků nutných na jednu otáčku kuličkového šroubu při známém stoupání závitu. Počet kroků nutných k vykonání jedné otáčky kuličkového šroubu je dán zvoleným stupněm mikrokrokování. V našem případě je to 1600 kroků na jednu otáčku (360°) krokového motoru. Stoupání kuličkového šroubu je 5 mm. Podělením hodnot dostaneme počet impulzů, které je nutno vyslat do driveru krokového motoru. Počet impulzů nutný pro posun po dráze 1 mm je 320. Přepočítání zadané dráhy se provádí vynásobením zadané hodnoty konstantou 320, jež je vypočtena postupem uvedeným výše.

6.2 Program pro osobní počítač

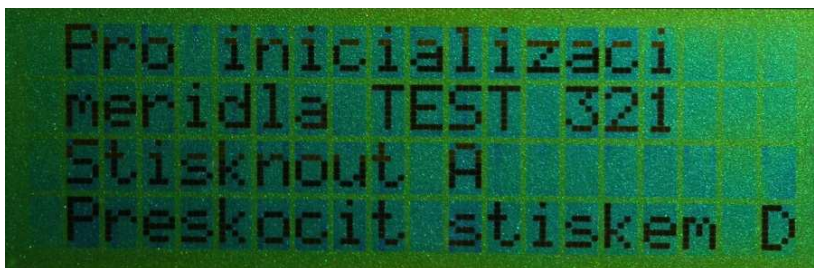
Jelikož měřidlo TEST 321 disponuje výstupem pro sériovou komunikaci, byl pro osobní počítač použit program Advanced Serial Data Logger od firmy AGG software, který je volně dostupný ke stažení na internetu. Program má poměrně jednoduché nastavení a přívětivé uživatelské prostředí. Program umožňuje zobrazení dat, které přichází po sériové komunikaci. Po nainstalování nastavení programu jsou data ukládána do listu programu Microsoft Excel. Nastavení programu je blíže rozebráno v následující kapitole.

7 Ovládání zařízení pro měření síly v tahu

Zařízení pro měření síly v tahu se ovládá pomocí ovládacího rozhraní, kterým je zejména maticová klávesnice a externí koncový spínač. Před započítím pracovní činnosti na zařízení je nutné provést propojení s měřidlem TEST 321, instalovat externí koncový spínač a připojit napájecí adaptér stejnosměrného napětí 24 V. Poté stačí stisknout zelený kolébkový přepínač, který se nachází v levé horní části krytu zařízení. Pokud nebude zařízení pracovat v samostatném režimu, je nutné provést spojení s počítačem a nastavit program pro příjem naměřených dat.

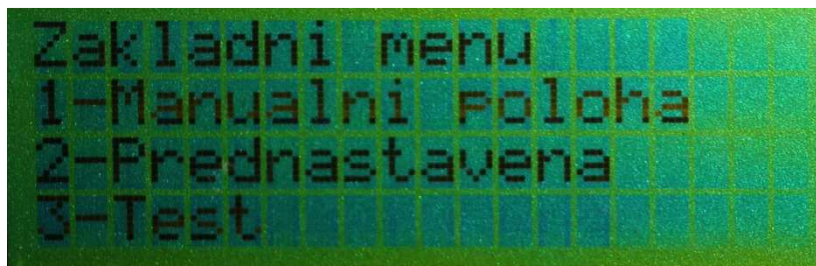
7.1 Obsluha pojezdu

Po zapnutí přepínačem dojde k vyvolání dotazu na inicializaci měřidla TEST 321, což je vidět na obr. 7.1. Stiskem klávesy „A“ se provede nastavení měřidla pro přenos naměřených dat a následné nastavení pohyblivého supportu na levou krajní pozici. Stiskem klávesy „D“ se přeskočí nastavování měřidla TEST 321 a provede se nastavení pohyblivého supportu na levou krajní pozici.



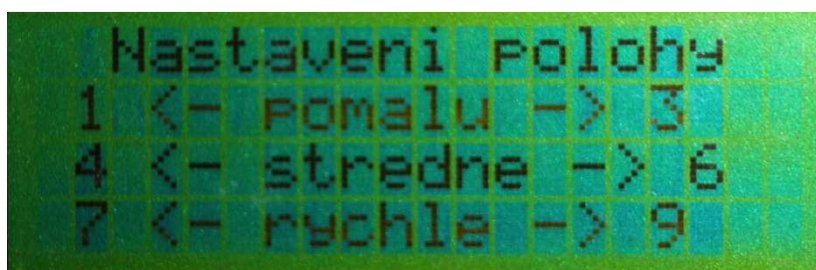
Obr. 7.1: Inicializace měřidla TEST 321

Zařízení disponuje jednoduchou nabídkou tvořenou pouze třemi položkami, což je zobrazeno na obr. 7.2. Volba režimu se provádí stisknutím čísla na klávesnici, které odpovídá číslu uvedenému před každou položkou.



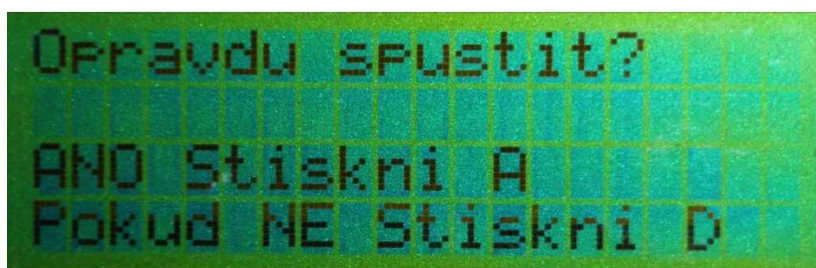
Obr. 7.2: Základní menu

Po stisku klávesy „1“ se vyvolá menu pro manuální nastavování (pojezd) supportu mezi levou a prvou krajní pozicí, což je zobrazeno na obr. 7.3. Při jednotlivých režimech pohybu je při jednom stisku klávesy proveden posun o 3,125 μm , 62,5 μm , 0,625 mm. Při stisku *, respektive # je proveden posun o 1,56 mm.



Obr. 7.3: Nastavení polohy

Po stisku klávesy „2“ se vyvolá menu pro spuštění pojezdu supportu na prvou krajní pozici. Pojezd je okamžitě zastaven při stisku externího koncového spínače, nebo klávesy „D“. Před zahájením pojezdu je zobrazen potvrzující dotaz, zda má být volba opravdu vyvolána, což je zobrazeno na obr. 7.4. Pokud není externí spínač instalován, pohyb není vykonán.



Obr. 7.4: Potvrzení volby

Po stisku klávesy „3“ se vyvolá menu pro nastavení parametrů testu, které je zobrazeno na obr. 7.4. Postupně se zde nastavuje na prvním řádku zápisem čísla „1“, nebo „2“ zda půjde o tahový, či tlakový režim. Na druhém řádku se nastavuje síla, do které má být prováděno testování, na třetím řádku rychlost a na čtvrtém dráha testu. Pro přehled o tom, která položka je nastavována informuje blikající kurzor. Maximální síla je z bezpečnostních důvodů omezena na 450 N. Rychlost testu je možné zadat

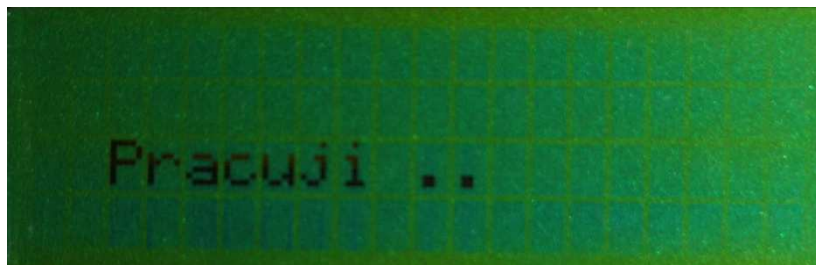
v rozmezí 0,5 – 200 mm za minutu. Tato rychlost je omezena z důvodu rezonancí při vyšších rychlostech. Ty by měly negativní vliv na životnost zařízení.



Obr. 7.4: Nastavení parametrů testu

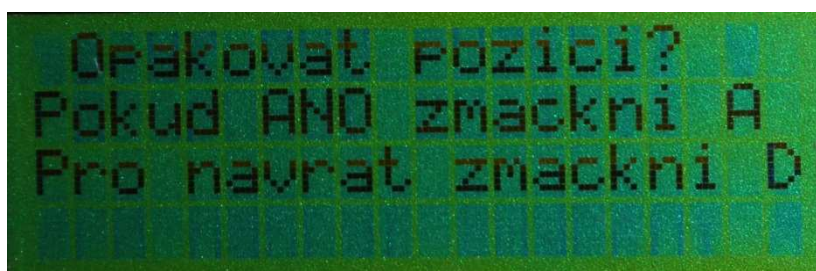
Potvrzení volby a současný posun o řádek níž se provádí klávesou „A“. Odchod z nastavení testu, nebo zrušení se provádí klávesou „D“. Mazání zadané hodnoty klávesou „C“, posun o řádek výše klávesou „B“

Test je spuštěn v případě, že se kurzor nachází na nejspodnější položce a je proveden stisk klávesy „A“. Před zahájením testu je zobrazen potvrzující dotaz, zda má být volba opravdu vyvolána. Nyní se stiskem klávesy „A“ již spustí test, nebo se provede návrat k nastavování parametrů testu stiskem klávesy „D“. V průběhu vykonávání testovacího pohybu je na displeji vypsána informace „Pracuji ..“ (viz obr. 7.5).



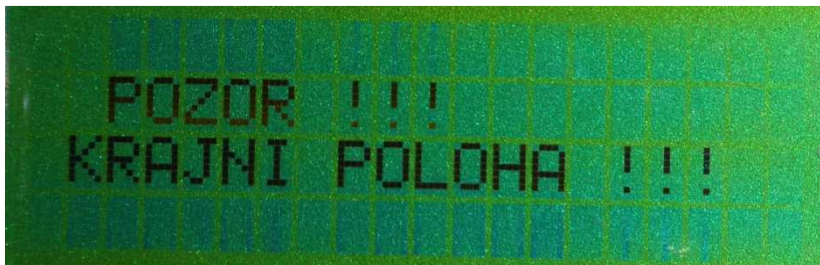
Obr. 7.5: Indikace probíhajícího testování

Po vykonání pracovního pohybu po zadané dráze, nebo přerušení testu klávesou „D“ je testovací pohyb zastaven a vypsána informace o možnosti návratu na pozici, z které bylo provedeno zahájení testovací pohybu, což je zobrazeno na obr. 7.6.



Obr. 7.6: Návratová pozice testu

Dále je ve všech režimech provozu na displeji možné spatřit informaci o pohybu mimo vymezenou pracovní oblast, což je zobrazeno na obr. 7.7. Po vypsání informace následuje automatická změna orientace pohybu a posun o 10 mm z krajní polohy. Dále je též ošetřeno přetížení zařízení, při kterém dojde k zastavení vykonávaného pohybu.



Obr. 7.7: Indikace krajní polohy

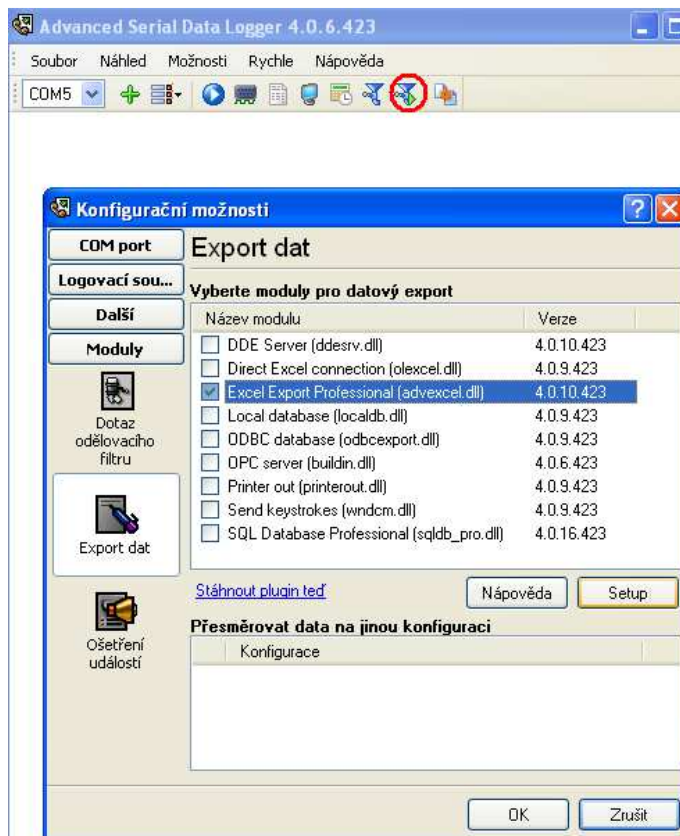
7.2 Režim samostatného provozu

Zařízení je možné používat i bez spojení s osobním počítačem. To má ovšem za následek omezení v podobě nemožnosti zaznamenávat průběh naměřených hodnot v digitální podobě. Naměřená data – tahová, tlaková síla je pouze zobrazována na displeji měřidla TEST 321. Stiskem tlačítka „PEAK + / -“ na Měřidle TEST 321 je ovšem možné na displeji uchovat nejvyšší dosaženou hodnotu síly, která je povětšinou hlavním sledovaným parametrem.

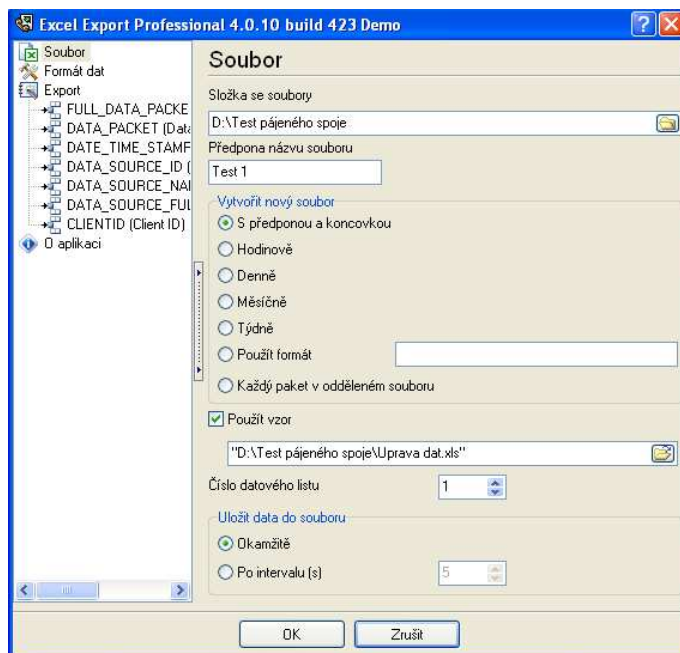
7.3 Obsluha programu pro zpracování naměřených dat

Pro zpracování naměřených dat přenášených po rozhraní RS 232, je použit volně dostupný program Advanced Serial Data Logger od firmy AGG software který je volně dostupný ke stažení na internetu [28]. K programu byla stažena a nainstalována nástavba nesoucí jméno Excel Export Professional (advexcel.dll). Oba tyto programy jsou na příloženém CD. Popis instalace programu je dobře popsán na stránkách výrobce, proto tu nebude dále rozebírán, stručně zde bude popsáno nastavení nástavby Excel Export Professional.

Po otevření programu Advanced Serial Data Logger je vybrána na nabídkové liště předposlední ikona „Export dat a výběr konfigurace“ (označeno červeným kroužkem). Následuje označení pole Excel Export Professional (advexcel.dll) a stisk tlačítka „Setup“ zobrazeno na obr. 7.8. Tímto krokem vyvolána nabídka nastavení tohoto modulu. Což je zřetelné na obr. 7.9.



Obr. 7.8: Výběr modulu Excel Export Professional



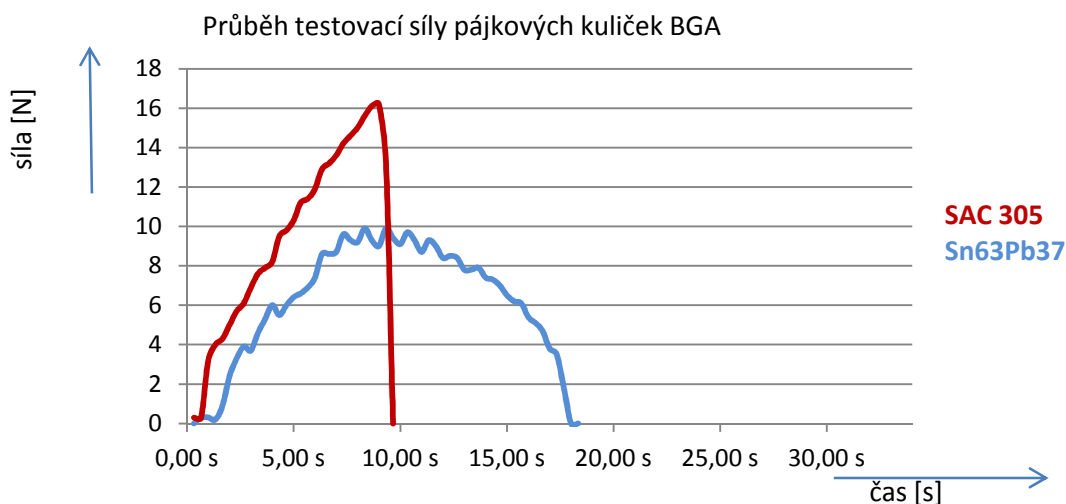
Obr. 7.9: Nastavení modulu Excel Export Professional

V levém sloupci je možné nastavit, která data budou přenášena, v pravé části je pak třeba vybrat umístění složky a zadat její název. V dalším poli je zadáván název výstupního souboru Excel. Poté je vhodné použít vzor vytvořeného sešitu Excel, v němž je zavedena úprava a seřídění měřených dat (na příloženém CD). Po potvrzení nastavení se uzavře dialogové okno. Tím je nastavení hotovo a program čeká na příchod měřených dat. Data začnou přicházet po potvrzení nastavení testu prostřednictvím klávesy „A“ na maticové klávesnici zařízení pro měření síly v tahu. Po stisku klávesy „D“, nebo vykonání zadané dráhy, se tok dat přeruší až do doby opětovného spuštění. Po stisku klávesy Spustit / Pozastavit přijímání dat na nabídkové liště programu Advanced Serial Data Logger je automaticky vyexportován výstupní Excelový soubor dle nastavených parametrů obsahující naměřená data. Z těchto dat je automaticky vykreslen graf průběhu působení síly během testu a do barevně označené buňky zaznamenána maximální dosažená hodnota síly.

Z těchto dat by měl být automaticky vykreslen graf průběhu působení síly během testu a do barevně označené buňky zaznamenána maximální dosažená hodnota síly. Jelikož v průběhu testování přetrvávali problémy s přenosem dat. Je vhodné změřená data překopírovat do vytvořeného vzoru sešitu Excel.

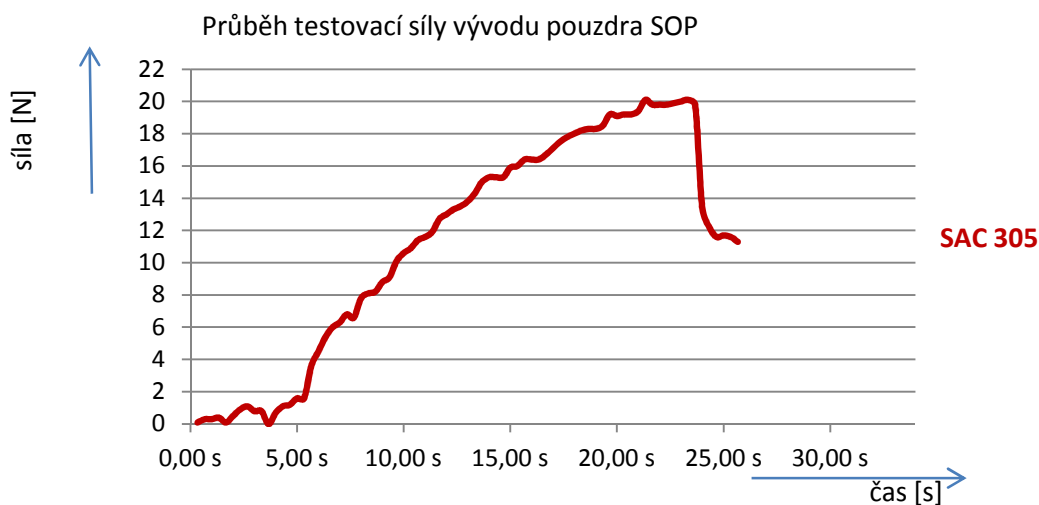
8 Zkušební měření

Dle postupu, který je uveden v předchozích kapitolách, bylo realizováno zkušební měření vzorků testovacího substrátu simulujícího pouzdro BGA. Naměřené hodnoty jsou vyhodnoceny v grafu. Na obr. 8.1 je zobrazen průběh testovací síly pro pájkové kuličky průměru 0,76 mm. Je zde vidět srovnání průběhu tahové síly pro bezolovnatou pájku SAC 305 a pájku Sn63Pb37.



Obr. 8.1: Graf průběhu testovací síly pro pájku SAC a Sn63 Pb37

Při testování došlo k odlišnému typu odtržení spoje. U bezolovnaté pájky SAC došlo k úplnému oddělení pájkové kuličky od pájecí plochy. Naproti tomu u pájkové kuličky olovnaté pájky k odtržení z pájecí plochy nedošlo, ale pájková kulička byla tahem zdeformována do délky. Z tohoto důvodu nejsou naměřené hodnoty zcela porovnatelné. Na obr. 8.2 je zobrazen průběh testovací síly pro vývod pouzdra SOP.



Obr. 8.2: Graf průběhu testovací síly vývod pouzdra SOP

Oba výše zobrazené průběhy byly změřeny při rychlosti posuvu 0,5 mm za minutu a to z důvodu rychlosti odesílání dat měřidlem TEST 321.

Na grafech je viditelné kolísání tahové síly při testu, což je pravděpodobně způsobeno dvěma hlavními faktory. Prvním z těchto faktorů je, že zvolený krokový motor má při nízké rychlosti otáčení a zároveň nastaveným vysokým stupněm mikrokrokování nepravidelný chod. Nerovnoměrný chod krokového motoru lze vyřešit použitím vhodné převodovky, čímž logicky dojde ke snížení maximální testovací rychlosti. Další variantou je testováním při vyšších rychlostech posuvu, což ovšem není s ohledem na rychlost odesílání dat měřidlem TEST 321 vhodné.

Dalším aspektem je pak příliš hrubé vymezení vůle rybinového vedení v sestavě sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem. Vůli v rybinovém vedení lze odstranit preciznějším vymezením nastavovacími prvky, což bylo při další sérii měření provedeno.

9 Rozšíření a parametry zařízení

Zde jsou uvedeny možné varianty rozšíření aplikace, předpokládající vytvoření mechanických doplňků, či úpravy řídicího programu.

- Opatření krokového motoru převodovkou pro preciznější chod.
- Vybavení jednotkou pro optické sesouhlasení vzorku s trhacím nástrojem.
- Vybavení tepelnou komůrkou a měřícími termočlánky.
- Nástavec pro smykové zkoušky.
- Nástavec pro zkoušky v ohybu.
- Možnost cyklování definovanou silou.

Navrhnuté a realizované zařízení pro testování pevnosti pájeného spoje v tahu má následující parametry:

- Délka 870 mm,
- Šířka 300 mm,
- Výška 225 mm,
- Hmotnost 25 kg,
- Pracovní zdvih 50 mm,
- Velikost upínaného substrátu 60 x 60 mm,
- Rychlost posuvu při pracovním zdvihu 0,5 – 200 mm/min (omezeno),
- Pracovní zatížení max. 450 N (omezeno rozsahem měřidla TEST 321),
- Napájení pomocí adaptéru 24 V / 5A,
- Celková cena použitých komponent přibližně 30 000 Kč.

10 Závěr

Po pečlivém vyhodnocení všech požadavků na realizaci zařízení pro měření síly v tahu u SMD byly vybrány vhodné průmyslově vyráběné komponenty, a navrhnuté díly speciálně pro zadanou aplikaci. Následovalo vytvoření trojrozměrného modelu celého zařízení v programu Solidworks, na jehož základě byla vytvořena výkresová dokumentace, a následně vyrobeny veškeré díly. Výroba dílů byla navržena z vhodných materiálů, především se osvědčilo použití oceli tažené za studena EN 10278, úchylka h11. Uvedený materiál byl do požadovaných tvarů součástí upraven třískovým obráběním.

Při návrhu a montáži byla celá konstrukce řešena po dílčích částech, které po konečné montáži na základní desku z materiálu Textit tvoří jeden celek. Jednalo se zejména o řešení lineárního pohybu, sesouhlasení testovaného vzorku s trhacím nástrojem, upnutí vzorku, úhlový nástavec pro testování vývodů integrovaných obvodů, realizaci kleštiny pro upnutí pájkových kuliček, realizaci nástroje pro testování vývodů integrovaných obvodů, vyztužení konstrukce, uchycení měřidla TEST 321, vytvoření přístrojového krytu a finální montáž.

Současně s mechanickou částí bylo řešeno i uspořádání části elektronické, která slouží k řízení pohybu mechanické části. Byla navržena deska mikrokontroléru ATMEGA 164P, který se stará o chod aplikace prostřednictvím navržené výkonové části řízení krokového motoru s obvodem Toshiba TB6560AHQ. Hlavní činností řídicího mikrokontroléru je produkování řídicího signálu obsahujícího informaci o počtu požadovaných kroků, orientaci směru pohybu a povolení pohybu. Řídicí signál je vytvořen v závislosti na vyhodnocení podmětů z periférií, což je klávesnice, koncové spínače umístěné na krajní pozici pracovní dráhy lineárního vedení a analogový výstup měřidla TEST 321. Při potvrzení testovacího zdvihu se automaticky aktivuje odesílání dat z měřidla TEST 321 po sériové komunikaci RS 232. Získaná data jsou následně převedena do programu Microsoft Excel, kde je v přednastaveném listu vykreslen graf průběhu testovací síly.

Přínosem aplikace je možnost praktického ověření pevnosti pájeného spoje, popřípadě jiných testovaných objektů. Celá konstrukce je originálně řešena s horizontální orientací pohyblivé části. Právě díky horizontální orientaci a hmotnosti jen 25 kg disponuje zařízení dostatečnou mobilitou. Aplikaci je možné rozšířit o další prvky, které zvýší užitnou hodnotu a produktivitu při práci. Jedná se zejména o dovybavení jednotkou pro optické sesouhlasení a nástavce pro další typy zkoušek.

Použitá literatura:

- [1] IEC 62137-1-1. Surface mounting technology- Enviromental and endurance test methods for surface mount solder joint: Part 1 - 1: Pull strength test. 2007. vyd.
- [2] Teatechnik [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na [www: http://www.teatechnik.cz/obeh-kulickami-hg/](http://www.teatechnik.cz/obeh-kulickami-hg/)
- [3] Cncshop [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na [www: http://www.cncshop.cz/](http://www.cncshop.cz/)
- [4] PKSERVIS [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na [www: http://www.linearni-vedeni.com](http://www.linearni-vedeni.com)
- [5] KULIČKOVÉ ŠROUBY KUŘIM, a.s. [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na [www: http://www.ks-kurim.cz/fileadmin/user_upload/Ostatni_pdf_soubory/Ke_stazeni/Produktovy_katalog_2012_CZE.pdf](http://www.ks-kurim.cz/fileadmin/user_upload/Ostatni_pdf_soubory/Ke_stazeni/Produktovy_katalog_2012_CZE.pdf)
- [6] Mm průmyslové spektrum [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na [www: http://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu.html)
- [7] Atmel. *ATmega164P/324P/644P* [online] [cit. 2013-4-5]. 2009, 377 s. Dostupné na [www: http://www.atmel.com/images/doc7674.pdf](http://www.atmel.com/images/doc7674.pdf)
- [8] TME ELECTRONIC COMPONENTS [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na [www: http://www.tme.eu/html/CZ/univerzalni-klavesnice-zdvih-tlacitka-12-mm/ramka_1417_CZ_rys.html#image_15024](http://www.tme.eu/html/CZ/univerzalni-klavesnice-zdvih-tlacitka-12-mm/ramka_1417_CZ_rys.html#image_15024)
- [9] HITACHI, Tokyo.. HD44780U: Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver. [online] [cit. 2013-4-5]. 60s. Dostupné na [www: https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf)
- [10] Texas Instruments, Texas *LM78XX Series Voltage Regulator* [online] [cit. 2013-4-5]. 2004, 11 s. Dostupné na [www: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm7805c.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm7805c.pdf)
- [11] Electrical Engineering Stack Exchange. New York: [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na [www: WWW: http://electronics.stackexchange.com/questions/37095/level-shifting-a-2-5v-signal-to-0-5v](http://www.WWW: http://electronics.stackexchange.com/questions/37095/level-shifting-a-2-5v-signal-to-0-5v)
- [12] Texas Instruments, Texas *TL431* [online] [cit. 2013-4-5]. 2004, 79 s. Dostupné na [www: http://www.atmel.com/images/doc7674.pdf](http://www.atmel.com/images/doc7674.pdf)
- [13] Texas Instruments, Texas *LM358/LM2904 Low Power Dual Operational Amplifiers* [online] [cit. 2013-4-5]. 2000, 33 s. Dostupné na [www: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358-n.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358-n.pdf)
- [14] FTDI, Glasgow. *FT232R USB UART I.C.* [online] [cit. 2013-4-5] 43s. Dostupné na [www: <http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf>](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf).

- [15] Robotika.cz [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na www:
<http://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [16] PowermaxII Motor technology [online] [cit. 2013-4-5].4s. Dostupné na www:
<http://www.timgoldstein.com/cnc/powermaxII.pdf>
- [17] Toshiba, Japan *TB6560AHQ* [online] [cit. 2013-4-5].34s. Dostupné na www:
http://www.toshiba.com/taec/components2/Datasheet_Sync/382/27885.pdf
- [18] HAHN & KOLB WERKZEUGE GMBH. TEST 321: Elektronisches Handmeßgerät für K R A F T. Stuttgart, 13 s.
- [19] HIWIN [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na www:
<http://www.hiwin.cz/cs/hgw/catalog.html?id=102>
- [20] Cncshop [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na www:
http://www.cncshop.cz/kulickove-srouby_c
- [21] Cncshop [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na www:
http://www.cncshop.cz/loziskove-jednotky_c
- [22] Cncshop [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na www:
http://www.cncshop.cz/pruzne-spojky_c
- [23] Feron, a.s. [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na www:
http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php?searchtext=S235JRC&druh=3&material=0&typ_normy=0&norma=&r1=&r2=&r3=&r4=&search_type=0#
- [24] FABORY CZ. Technická příručka Fabory [online] [cit. 2013-4-5]. 52 s. Dostupné na www:
http://fasteners.fabory.com/Images/Czech%20Republic/PDF's/technical_section_cz_final.pdf
- [25] Fleury P. *Basic routines for interfacing a HD44780U-based text LCD display*. [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na www:
http://homepage.hispeed.ch/peterfleury/group__pfleury__lcd.html
- [26] VÁŇA, Vladimír. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesorů a instrukční soubor. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 335 s. ISBN 80-730-0083-0.
- [27] MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry: ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy - linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky. Vyd. 1. Praha: BEN, 2003, 279 s. ISBN 80-730-0077-6.
- [28] AGG Software, Seattle, Advanced Serial Data Logger [online] [cit. 2013-4-5]. Dostupné na www: : <http://www.aggsoft.com/serial-data-logger.htm>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

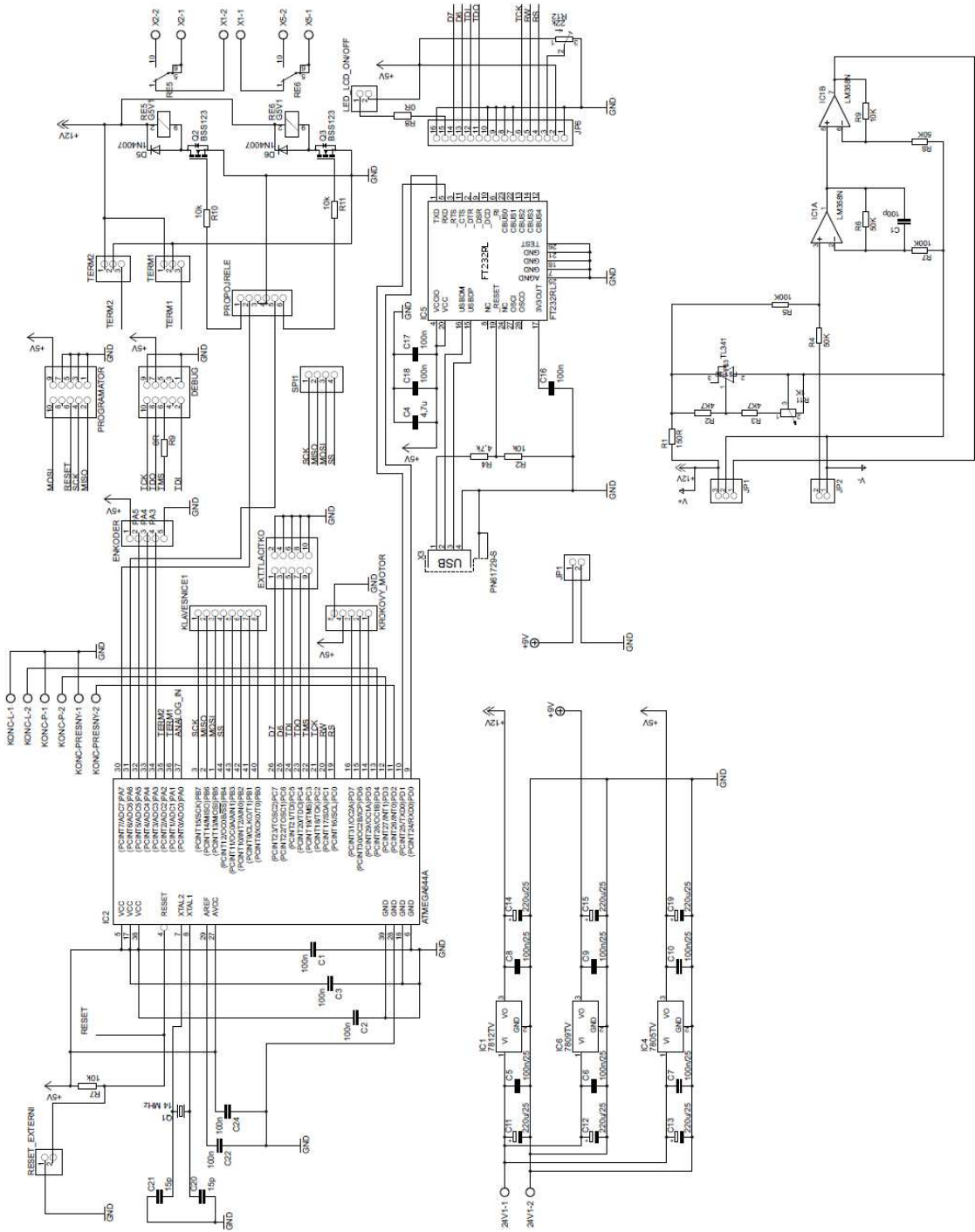
- SMD – Surface Mount Device, povrchově montovaná součástka
- SOP – Small Outline Package, malé pouzdro integrovaného obvodu
- QFP – Quad Flat Package, ploché pouzdro integrovaného obvodu s vývody ze čtyř stran
- BGA – Ball Grid Array, pouzdro s pájkovými vývody na spodní straně pouzdra
- LCD – Liquid Crystal Display, displej s tekutými krystaly
- LED – Light Emitting Diode, dioda emitující světlo
- OZ – operační zesilovač
- Gull Wing – vývod tvaru rascí křídlo

SEZNAM PŘÍLOH

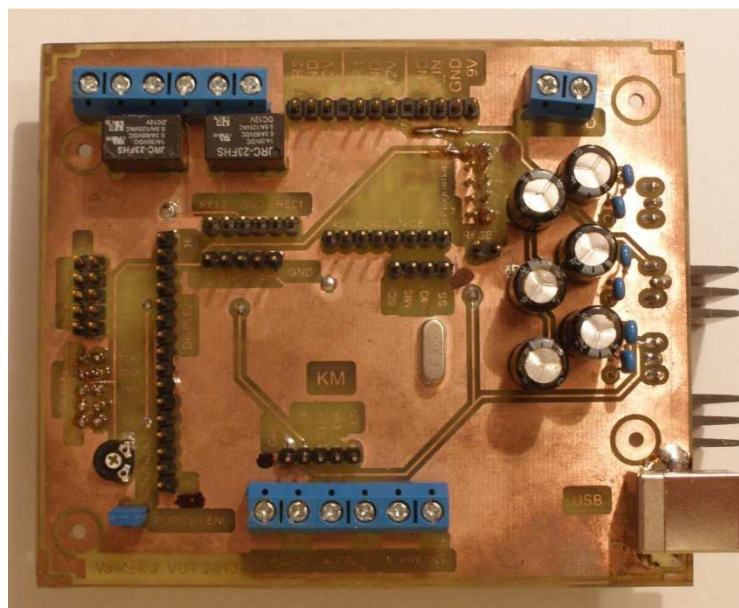
A	ELEKTRONICKÁ ČÁST.....	1
A.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ DESKY MIKROKONTROLERU	2
A.2	DESKA PLOŠNÉHO SPOJE MIKROKONTROLERU – TOP (STRANA SOUČÁSTEK).....	3
A.3	DESKA PLOŠNÉHO SPOJE MIKROKONTROLERU – BOTTOM (STRANA SPOJŮ).....	3
A.4	OSAZENÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE MIKROKONTROLERU	4
A.5	ŠTÍTEK PŘÍSTROJOVÉHO KRYTU.....	4
A.6	SCHÉMA ZAPOJENÍ DESKY VÝKONOVÉ ČÁSTI ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU	5
A.7	DESKA PLOŠNÉHO SPOJE VÝKONOVÉ ČÁSTI ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU – TOP (STRANA SOUČÁSTEK).....	5
A.8	DESKA PLOŠNÉHO SPOJE VÝKONOVÉ ČÁSTI ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU – BOTTOM (STRANA SPOJŮ).....	6
A.9	OSAZENÁ DESKA PLOŠNÉHO SPOJE VÝKONOVÉ ČÁSTI ŘÍZENÍ KROKOVÉHO MOTORU.....	6
A.10	SEZNAM SOUČÁSTEK	7
B	MECHANICKÁ ČÁST	9
B.1	USPOŘÁDÁNÍ LINEÁRNÍHO POHYBU.....	10
B.2	SESOUHLASENÍ VZORKU	10
B.3	UPNUTÍ VZORKU.....	11
B.4	KOMPLETNÍ ZAŘÍZENÍ	11

A ELEKTRONICKÁ ČÁST

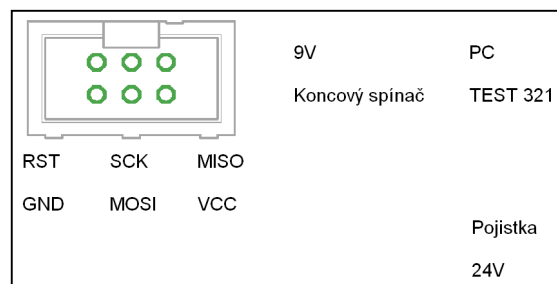
A.1 Schéma zapojení desky mikrokontroleru



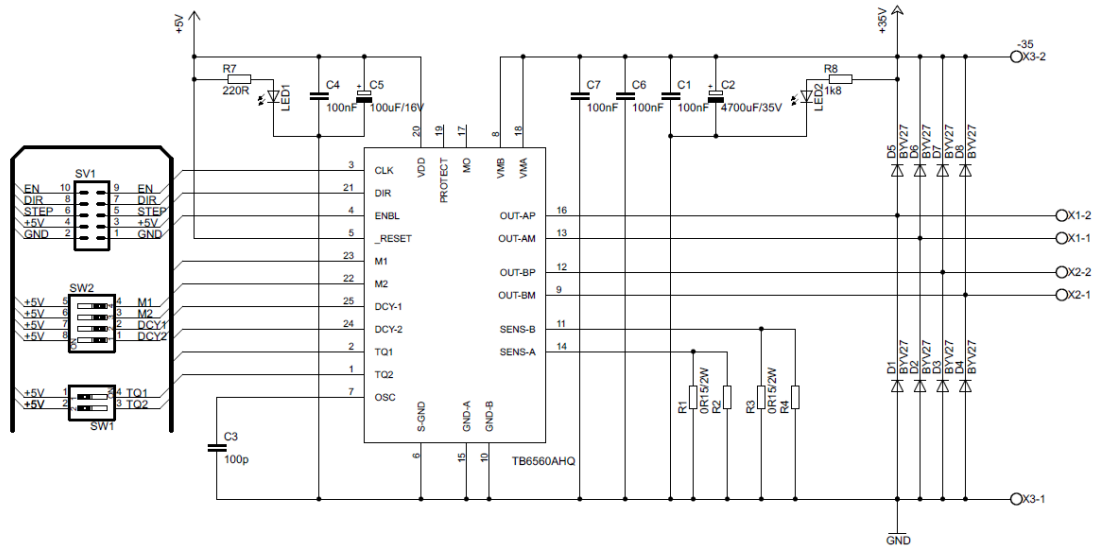
A.4 Osazená deska plošného spoje mikrokontroleru



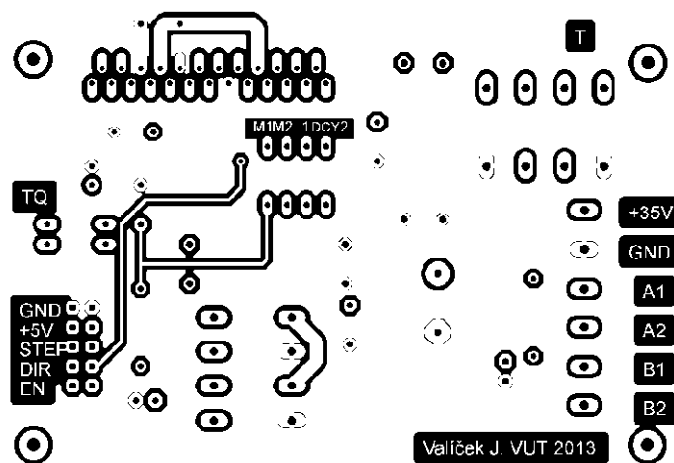
A.5 Štítek přístrojového krytu



A.6 Schéma zapojení desky výkonové části řízení krokového motoru

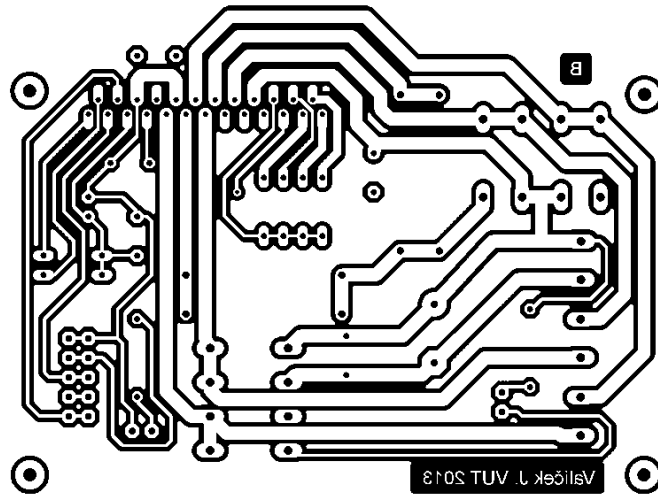


A.7 Deska plošného spoje výkonové části řízení krokového motoru – top (strana součástek)



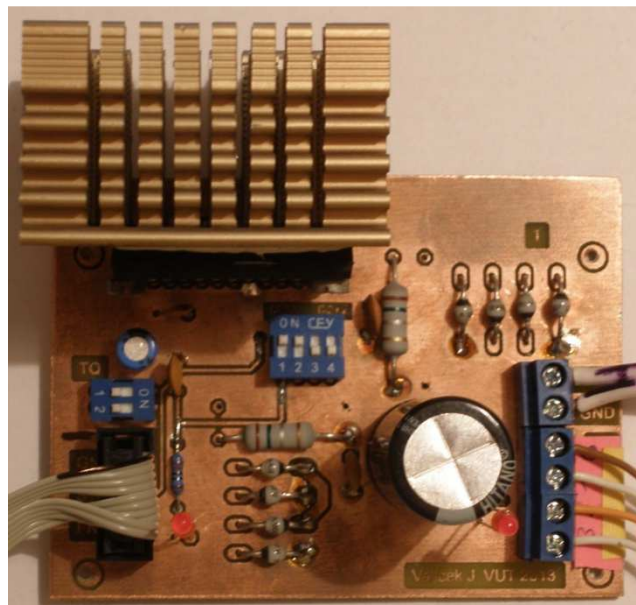
Rozměr desky 9 x 6,7 [mm], měřítko M1:1

A.8 Deska plošného spoje výkonové části řízení krokového motoru – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 9 x 6,7 [mm], měřítko M1:1

A.9 Osazená deska plošného spoje výkonové části řízení krokového motoru



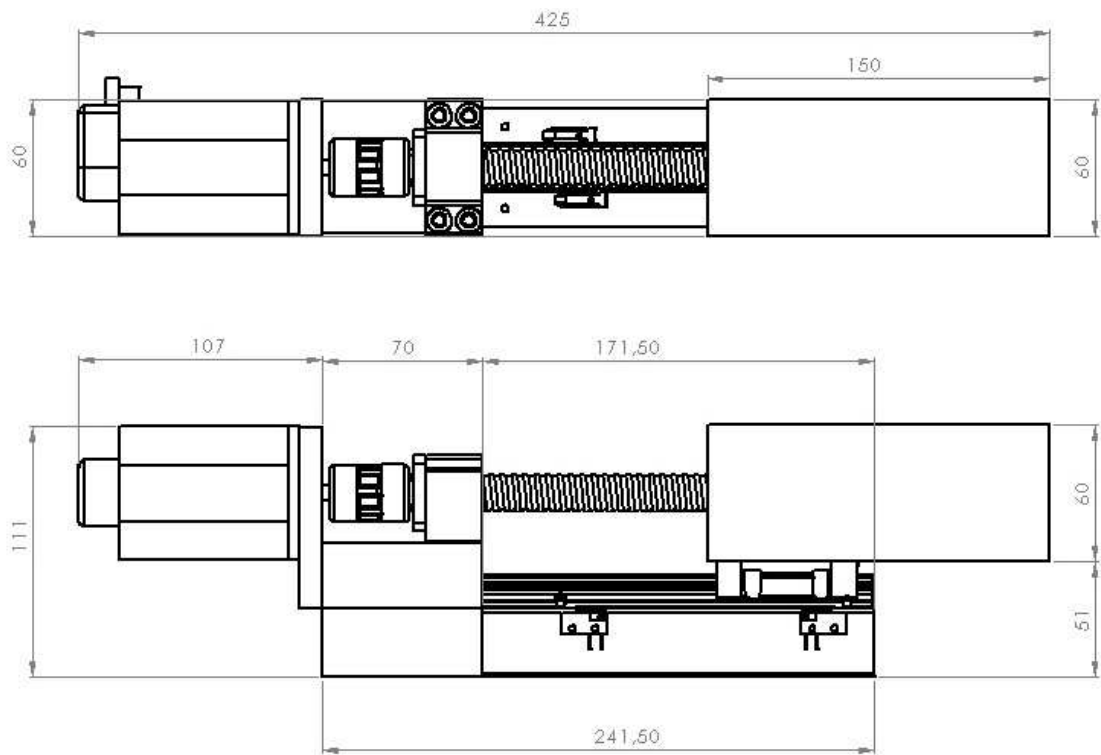
A.10 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro
24V1		AK500/2-H
ANALOG+-2,5V		1X02/90
C1	100n	C0805K
C2	100n	C0805K
C3	100n	C0805K
C4	4,7u	C1206
C5	100n/25	025X050
C6	100n/25	025X050
C7	100n/25	025X050
C8	100n/25	025X050
C9	100n/25	025X050
C10	100n/25	025X050
C11	220u/25	E3,5-8
C12	220u/25	E3,5-8
C13	220u/25	E3,5-8
C14	220u/25	E3,5-8
C15	220u/25	E3,5-8
C16	100n	C0805K
C17	100n	C0805K
C18	100n	C0805K
C19	220u/25	E3,5-8
C20	15p	C0805K
C21	15p	C0805K
C22	100n	C0805K
C24	100n	C0805K
D5	1N4007	SOD80C
D6	1N4007	SOD80C
D7	1N4007	SOD80C
DEBUG		2X05
ENKODER		1X05
EXT.TLACITKO		2X05
IC1	7812TV	7TO220V
IC2	ATMEGA644A	TQFP44
IC3	AD822R	SO8
IC4	7805TV	TO220V
IC5	FT232RL	SSOP-28
IC6	7809TV	TO220V
JP1		1X02/90
JP6		1X16
KLAVESNICE1		1X08
KONC-L		AK500/2-H
KONC-P		AK500/2-H
KONC-PRESNY		AK500/2-H
KROKOVY_MOTOR		1X05
LED_LCD_ON/OFF		1X02
PROGRAMATOR		2X05
PROPOJRELE		1X06
Q1	14 MHz	HC49/S
Q2	BSS123	SOT23
Q3	BSS123	SOT23

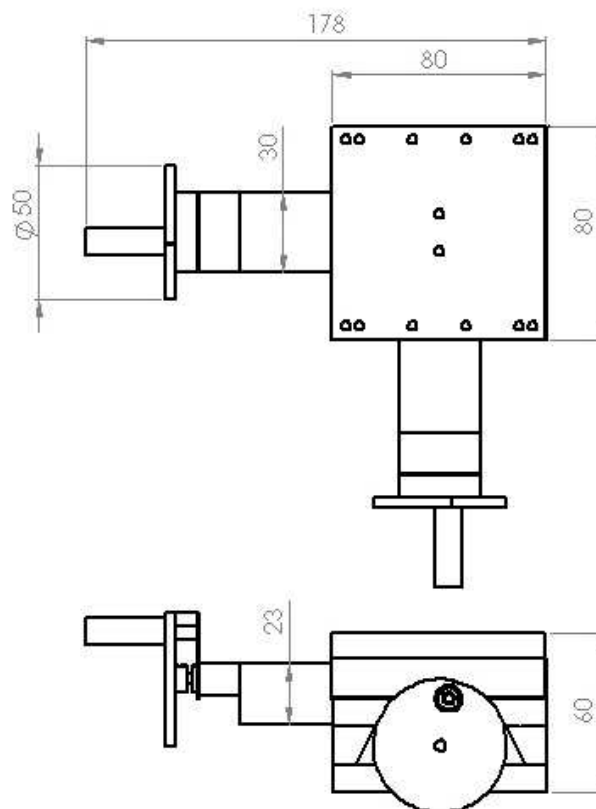
Q4	BSS123	SOT23
R1	10k	M1206
R2	10k	M1206
R4	4,7k	M1206
R5	10k	M1206
R6	10k	M1206
R7	10k	M1206
R8	0R	M1206
R9	0R	M1206
R10	10k	M1206
R11	10k	M1206
R12	22k	RTRIM3339P
R13	10k	M1206
RE5	G5V1	G5V1
RE6	G5V1	G5V1
RESET_EXTERNI		1X02
SPI1		1X04
TERM1		1X03/90
TERM2		1X03/90
X1		AK500/2-H
X2		AK500/2-H
X3		AK500/2-H
X4		PN61729-S
X5		AK500/2-H
D1	TL341	TO92C1
IC1	LM358N	DIL08
JP1		1X03
JP2		1X02
R1	150R	0207/12
R2	4K7	0207/12
R3	4K7	0207/12
R4	50K	0207/12
R5	100K	0207/12
R6	50K	0207/12
R7	100K	0207/12
R8	50K	0207/12
R9	10K	0207/12
R11	1K	PT-10 PT

B MECHANICKÁ ČÁST

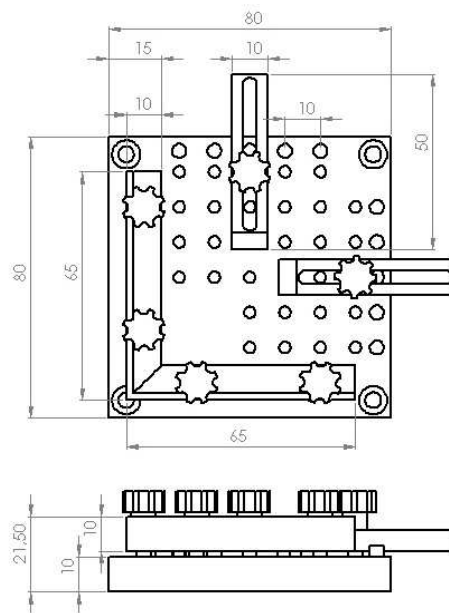
B.1 Uspořádání lineárního pohybu



B.2 Sesouhlasení vzorku



B.3 Upnutí vzorku



B.4 Kompletní zařízení

