



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIOENGINEERING

NÁVRH A REALIZACE VYLEPŠENÉHO MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ PRO TESTOVÁNÍ INDUKTIVNÍCH SNÍMAČŮ V KLIMATICKÉ KOMOŘE

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF IMPROVED MEASURING DEVICE FOR INDUCTIVE SENSORS
TESTING IN TEMPERATURE CHAMBER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Patrik Šimůnek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Roman Šotner, Ph.D.

BRNO 2020

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Bc. Patrik Šimůnek

ID: 173756

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a realizace vylepšeného měřicího zařízení pro testování induktivních snímačů v klimatické komoře

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte stávající zařízení pro měření spínací a rozpínací vzdálenosti induktivních snímačů v klimatické komoře. Zhodnoťte jaké jsou jeho vlastnosti, jaké parametry dokáže měřit a především poukažte na jeho slabiny. Navrhněte řešení bez těchto nedostatků a rozšiřte možnosti měření, které usnadní vývoj induktivních snímačů. Zaměřte se na měřicí kartu a na ovládání mechanismu pro pohybování testovacími kovovými terčíky. Nové měřicí zařízení musí také disponovat řadou ochran proti přepětí, přetížení a špatné manipulaci. V této fázi připravte kompletní blokový koncept, vývojové diagramy ovládacího software (vyberte vhodnou platformu) a desky plošných spojů dílčích modulů.

Realizujte vámi navržené zařízení a porovnejte jeho naměřené vlastnosti se starým měřicím systémem. V práci se také zaměřte na způsob instalace měřicího systému. Nedílnou součástí také bude popis jak se měřicí zařízení ovládá a podrobný popis všech jeho funkcí. V závěru poté uveďte veškerá ověřená vylepšení. Porovnejte přesnost a také schopnost měřit více parametrů, které budou užitečné při vývoji induktivních snímačů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] DU, Winncy Y. Resistive, capacitive, inductive, and magnetic sensor technologies. Boca Raton: Taylor & Francis, [2015]. ISBN 978-1439812440.

[2] BOYES, Walt. Instrumentation reference book. 4th ed. Burlington, MA: Butterworth, 2010. ISBN 9780080941882.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 28.5.2020

Vedoucí práce: doc. Ing. Roman Šotner, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jaroslav Macháček (Pepperl+Fuchs)

prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
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

Tato diplomová práce se zabývá analýzou měřicího zařízení pro testování induktivních snímačů v klimatické komoře, kde je poukázáno především na chyby a nedostatky tohoto zařízení. Na základě této analýzy je proveden návrh nového měřicího systému, který tyto nedostatky zcela nebo z velké části odstraní. V rámci nového návrhu měřicího systému je přidáno i několik nových užitečných funkcí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měřicí zařízení, TinkerForge, induktivní snímač, spínací vzdálenost, klimatická komora, PNP, NPN, NC, NO

ABSTRACT

This master's thesis deals with the analysis of the measuring equipment for the testing of inductive sensors in the climatic chamber, which mainly highlights the faults and deficiencies of this device. Based on this analysis, a new measurement system is designed to eliminate these or all the deficiencies. Several new useful features are added to the new design of the measuring system.

KEYWORDS

Measuring device, TinkerForge, inductive sensor, switching distance, climatic chamber, PNP, NPN, NC, NO

ŠIMŮNEK, P. Návrh a realizace vylepšeného měřicího zařízení pro testování induktivních snímačů v klimatické komoře. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2020. 86 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Roman Šotner, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Návrh a realizace vylepšeného měřicího zařízení pro testování indukčních snímačů v klimatické komoře 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 27.5.2020

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Romanovi Šotnerovi, Ph. D. za skvělé rady při psaní práce a vedení diplomové práce, svému výbornému konzultantovi panu Ing. Jaroslavovi Macháčkovi za cenné rady při návrhu zařízení a firmě Pepperl + Fuchs za dobré zázemí pro práci. Dále chci poděkovat svým rodičům za jejich podporu v mém studiu a zároveň poděkovat svým kamarádům kteří mi dali také mnoho cenných rad a pomoci.

Děkuji všem za vstřícnost a čas, který mi byl poskytnut.

V Brně dne 27.5.2020

.....
(podpis autora)

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK	9
ÚVOD	10
1 ZÁKLADNÍ INFORMACE	11
1.1 Pepperl + Fuchs	11
1.1.1 Historie a současnost	11
1.1.2 Dceřiná společnost v Trutnově	11
1.2 Induktivní snímače.....	11
1.2.1 Použití induktivních snímačů.....	11
1.2.2 Princip induktivních snímačů	12
1.2.3 Typy induktivních snímačů	13
1.2.4 Testování a měření induktivních snímačů	14
2 PŮVODNÍ MĚŘICÍ SYSTÉM	16
2.1 Princip měřicího systému.....	16
2.2 Nedostatky měřicího systému	17
3 NÁVRH NOVÉHO MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ	19
3.1 Technické požadavky	19
3.1.1 Funkce a vylepšení měřicího systému	19
3.1.2 Požadované přesnosti a tolerance	20
3.2 Blokový návrh zařízení	20
3.3 Výběr jednotlivých komponentů	21
3.3.1 TinkerForge	21
3.3.2 Vstupní měřicí karta (Sensors Input Bricklet)	22
3.3.3 Elektronický mikrometr	22
3.3.4 Klimatická komora	23
3.3.5 Posuvný mechanismus pro testovací terčíky	23
3.3.6 Krabice na zařízení	24
3.3.7 Uživatelské rozhraní	24
3.4 Návrh specifických komponentů	25
3.4.1 Návrh vstupní měřicí karty (Sensors Input Bricklet).....	25

3.4.2	Návrh galvanicky odděleného převodníku RS422	29
3.4.3	Konstrukce krabice	30
4	PROGRAMOVÁ ČÁST	32
4.1	Program Silent Stepper Bricku	32
4.2	Program pro vstupní měřicí kartu	32
4.2.1	Inicializace programu	32
4.2.2	Hlavní smyčka programu.....	34
5	REALIZACE MĚŘICÍHO SYSTÉMU	40
5.1	Vstupní měřicí karta (Sensors Input Bricklet)	40
5.2	Propojení ostatních komponentů	41
5.3	Porovnání se stávajícím systémem	43
5.4	Používání zařízení	45
5.4.1	Výchozí okno uživatelského prostředí	45
5.4.2	Okno nastavení měřicího zařízení.....	47
5.4.3	Nastavení a kalibrace měřicího zařízení	50
5.4.4	Indikační LED.....	52
	ZÁVĚR	53
	LITERATURA	54
	SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK	57
	PŘÍLOHY	58

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Příklady použití induktivních snímačů.....	12
Obrázek 1.2 Blokové schéma induktivního snímače [3].....	13
Obrázek 2.1 Blokové schéma původního měřicího systému.....	16
Obrázek 2.2 Původní měřicí systém	17
Obrázek 2.3 Převodník pro snímače NAMUR	18
Obrázek 3.1 Blokový návrh měřicího systému.....	21
Obrázek 3.2 Silent Stepper Brick [7].....	22
Obrázek 3.3 Elektronický mikrometr LinAce	23
Obrázek 3.4 Klimatická komora	23
Obrázek 3.5 Uživatelské rozhraní.....	24
Obrázek 3.6 Mikroprocesor ATSAM3S4BA-AU	27
Obrázek 3.7 Optické oddělení vysokorychlostní I2C komunikace	27
Obrázek 3.8 Zatěžovací rezistory 1k/10W	28
Obrázek 3.9 Návrh krabice	31
Obrázek 4.1 Inicializace programu měřicí desky	34
Obrázek 4.2 Hlavní smyčka programu	36
Obrázek 4.3 Měřicí mód "Single"	37
Obrázek 4.4 Měřicí mód "Continuous"	38
Obrázek 4.5 Zachycení zakmitání snímače	39
Obrázek 5.1 Měřicí karta (Sensors Input Bricklet).....	40
Obrázek 5.2 Rozložené měřicí zařízení	41
Obrázek 5.3 Prototyp měřicího zařízení a jeho umístění na komoře.....	42
Obrázek 5.4 Finální měřicí zařízení – pohled zepředu	42
Obrázek 5.5 Pohled na konektory	43
Obrázek 5.6 Uživatelské prostředí.....	47
Obrázek 5.7 Okno nastavení měřicího zařízení	49
Obrázek 5.8 Okno nastavení měřicího zařízení při sledování stavů snímačů	50
Obrázek 5.9 Editor nastavení.....	51
Obrázek 5.10 Průvodce kalibrací AD převodníku vstupů	51
Obrázek 5.11 Indikační LED	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1 Požadované přesnosti a tolerance	20
Tabulka 5.1 Přesnost zařízení	44
Tabulka 5.2 Porovnání přesnosti zastavení mechanismu	44

ÚVOD

Jako autor této diplomové práce spolupracuji ve vývojovém středisku firmy Pepperl + Fuchs v Trutnově. Tato firma se zabývá vývojem a výrobou průmyslových induktivních snímačů především do ztížených podmínek. Vývojové středisko tedy disponuje mnoha potřebnými nástroji k měření, testování a analýze jejich výrobků. Jedním z velmi důležitých nástrojů pro vývoj produktů je automatizovaný tester spínací a rozpínací vzdálenosti induktivních snímačů v teplotách od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tento měřicí systém měl několik zásadních nedostatků. Mojí náplní práce bylo vymyslet a realizovat měřicí systém, který těchto nedostatků nenabývá anebo je úplně minimalizuje. Přišla mi tato problematika nakolik zajímavá, že jsem ji přenesl do této diplomové práce.

Tato diplomová práce se zabývá analýzou měřicího zařízení pro testování induktivních snímačů v klimatické komoře, kde je poukázáno především na chyby a nedostatky tohoto zařízení. Základním nedostatkem je nemožnost měření spínací, nebo rozpínací vzdálenosti s přesností pod $0,1\text{ mm}$. To způsobuje, že vývojář má problém určit, zda je problém v návrhu snímače anebo v chybném změření. Tento problém může značně prodloužit a zkomplikovat vývoj daného produktu. Dalším stěžejním nedostatkem je nedostatečná univerzálnost zařízení. V Trutnovské pobočce se vyrábí mnoho typů induktivních snímačů, a tak je potřeba, aby všechny tyto typy byly snadno testovatelné. Mnoho dalších nedostatků je uvedeno v této diplomové práci.

Cílem této práce je navrhnout a realizovat zařízení, které veškeré analyzované nedostatky odstraní, nebo z velké části minimalizuje. V rámci této práce se také zabývám rozšířením měřicího zařízení o nové funkce ulehčující vývoj induktivních snímačů. Budu zde popisovat postupy, kterými dosáhnu požadovaného zařízení, které ulehčí práci zaměstnancům vývojového střediska.

1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

1.1 Pepperl + Fuchs

Pepperl + Fuchs je celosvětová společnost se sídlem v Německém Mannheimu. Firma vyrábí výrobky pro výrobu a automatizaci procesů a specializuje se na výrobu snímačů, například snímačů používaných v automatických dveřích ve výtazích, nebo v průmyslovém odvětví [1] [2].

1.1.1 Historie a současnost

Pepperl + Fuchs byl založen v roce 1945 Walterem Pepperlem a Ludwigem Fuchsem jako prodejna radiopřijímačů a elektroservis. Do roku 1948 se společnost Pepperl + Fuchs rozšiřovala o další elektronickou výrobu, což vedlo k vývoji prvního bezdotykového spínače v roce 1958 a prvního induktivního snímače v tranzistorovém provedení.

Společnost Pepperl + Fuchs pokročila ve vývoji v oblastech, jako je technologie snímání, vnitřní ochrana a technologie ochrany proti výbuchu. V současné době má firma na celém světě téměř 5 600 zaměstnanců, s více než 80 zahraničními pobočkami na šesti kontinentech a výrobními závody v Německu, USA, České Republice, Singapuru, Maďarsku, Číně, Indonésii a Vietnamu [1] [2].

1.1.2 Dceřiná společnost v Trutnově

V Trutnově se nachází jak vývojové oddělení, tak výroba nových induktivních snímačů především malých sérií. Tyto série jsou například snímače do výbušného prostředí, do vysokých tlaků anebo se specifickými požadavky od zákazníka. Výhodou je, že vývoj a výroba je velice úzce spjata, a tak případné změny provedení lze snadněji realizovat. Vzhledem k tomu, že vývoj induktivních snímačů vyžaduje specifické přístroje, musí si jej středisko vytvořit svépomocí, nebo zakázkově, což zvyšuje náklady na zařízení.

1.2 Induktivní snímače

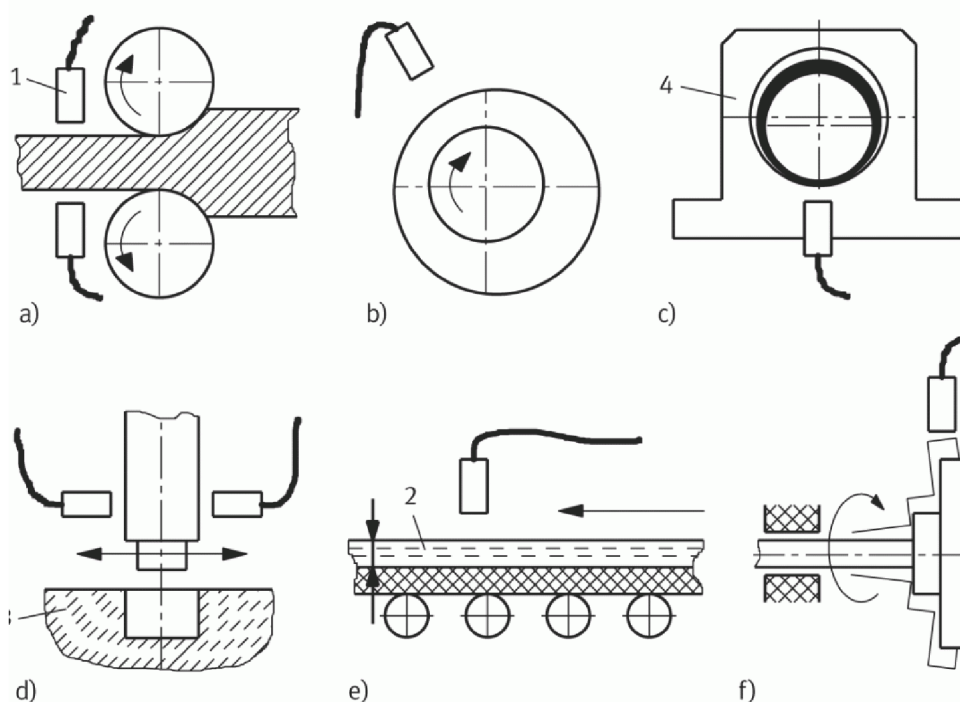
V průmyslu a jeho aplikacích se často setkáváme s nutností bezkontaktně spolehlivě detekovat pohyb, dorazy, limitní posuv, natočení, vyosení a podobně. To vše v prašném a nehostinném výrobním prostředí. Pokud je detekovaný materiál kov (elektricky vodivý materiál), je nejvhodnější použít takzvané induktivní snímače. Obecně krátce shrnuto, induktivní senzor přiblížení slouží pro vyhodnocování přítomnosti převážně kovového materiálu. Pro detekci elektricky nevodivých materiálů lze použít například kapacitní senzory [3] [4].

1.2.1 Použití induktivních snímačů

V této části se velice krátce seznámíme s použitím induktivních snímačů. Při výběru typu daného snímače na danou problematiku nás budou zajímat jeho parametry. Jedná se

především o jeho cenu, typ výstupu, spínací vzdálenost, hysterese, maximální spínací frekvence, napájecí napětí, provedení pouzdra a další. Při použití na danou problematiku musíme vybírat snímač s ohledem na tyto parametry. Obecně čím přesnější snímač budeme požadovat (s ohledem na spínací vzdálenost) bude z pravidla snímač větší (především jeho průměr) a také bude mít kratší spínací vzdálenost (objekt bude detekován blíže k snímací části). Pokud budeme vyžadovat snímače do extrémních podmínek, značně se to projeví na jeho ceně.

Některé způsoby použití snímačů jsou na Obrázek 1.1, kde je zobrazeno, že můžeme s jejich pomocí sledovat mez tloušťky válcovaného plechu, sledovat vychýlení rotačních částí anebo detekovat mezeru vzájemně navazujících součástí.



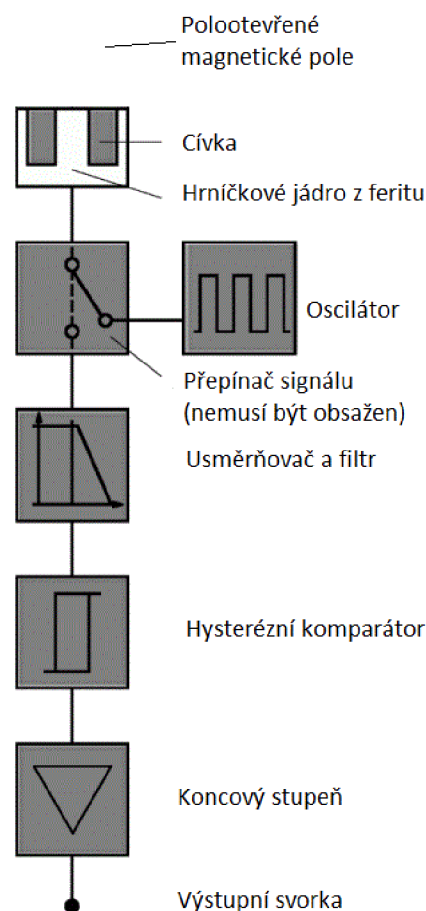
Obrázek 1.1

Příklady použití inдуктивních snímačů [3]: a) a e) detekce tloušťky, b) a f) detekce vychýlení, c) detekce vyosení, d) detekce mezery

1.2.2 Princip inдуктивních snímačů

Běžný inдукtivní snímač přiblížení válcového provedení obsahuje několik za sebe řazených bloků elektrických obvodů, které pracují v posloupnosti: Oscilátor, vyhodnocovací obvody, koncový stupeň. Základ snímače tvoří oscilátor pracující na principu změny činitele jakosti Q při přiblížení kovového materiálu. Tato změna se projeví útlumem kmitů oscilátoru (změnou amplitudy), případně přestane úplně kmitat. Vysazení kmitů oscilátoru vyhodnotí prahový detektor (hysterezní komparátor), který řídí klopný obvod ovládající výkonový koncový stupeň. Po odstranění kovového materiálu z aktivní spínací zóny takzvaný booster obnoví kmitů. Podle toho, o jaký druh spínače jde (spínací nebo rozpínací), se výstup buď spojí nebo rozpojí při přiblížení kovového materiálu do aktivní zóny snímače.

Hlavním funkčním prvkem induktivního senzoru je tedy cívka, která doplněna kondenzátorem na paralelní rezonanční obvod tvořící již zmíněný oscilátor. Cívka je umístěná na jádru poloviny feritového hrníčku. Vysokofrekvenční střídavý proud, generovaný oscilátorem, protéká cívkou a vytváří magnetické pole, které vystupuje z otevřené strany hrníčku (aktivní plocha senzoru). Jestliže se nachází v blízkosti této aktivní plochy nějaký předmět z elektricky vodivého materiálu (tlumící clonka nebo testovací terčik), dojde k deformaci magnetického pole. V clonce z konstrukční oceli, nebo jiného vodivého či magnetického materiálu, se vytváří magnetický indukční tok a případně indukují vířivé proudy. Ty způsobí změnu magnetického pole, které působí vlivem vzájemné indukčnosti M zpátky na cívku tak, že změní svoji impedanci. Ta se ovšem výrazně mění teprve při velmi malých vzdálenostech mezi cívkou a clonkou. Řádově v maximálním rozsahu jednotek až desítek milimetrů [3] [4].



Obrázek 1.2 Blokové schéma induktivního snímače [3]

1.2.3 Typy induktivních snímačů

Induktivních snímačů je mnoho druhů. Liší se podle typu výstupu, nebo podle způsobu napájení, podle způsobu zapojení do obvodu, napájecího napětí atp. Z historického hlediska induktivní snímače (spíše spínače) vychází z běžných koncových mechanických spínačů a z magnetických relé. Aby induktivní snímače byly kompatibilní,

většinou jako výstup mají otevřený kolektor. Nejběžnější typy jsou snímače s třemi vodiči s napěťovým výstupem typu PNP a NPN. Jako mnemotechnická pomůcka může sloužit představa koncového tranzistoru PNP nebo NPN. Tudiž snímač typu PNP-NO v aktivním stavu (kdy detekuje překážku) je připojen ke kladné svorce napájení. Zkratka NO znamená normally open, to značí, že při nedetekování překážky je na výstupu snímače vysoká impedance (v normálním stavu je obvod rozpojen – analogie z mechanických spínačů). Používá se i zkratka NC což je normally close, to značí, že při nedetekování překážky je na výstupu snímače nízká impedance. Výstup je připojen ke kladné nebo záporné napájecí větvi podle typu PNP (ke kladné) nebo NPN (k záporné). Celkem jsou tedy čtyři možnosti: PNP-NO, PNP-NC, NPN-NO, a NPN-NC. Existují také třívodičové provedení s proudovým výstupem a dvouvodičové s proudovým anebo napěťovým výstupem. Další typ výstupu označený jako NAMUR je v praxi snímač se zvýšenou ochranou pro výbušné prostředí. Tento výstup je dvouvodičový a zjednodušeně připodobňuje charakteristiku proměnného rezistoru na vzdálenosti testovacího terčíku od snímače. Existují i varianty snímačů se čtyřmi vodiči nebo dvojité snímače v jednom zapouzdření.

Další skupinu tvoří snímače s průmyslovou sběrnici, které komunikují s danou periferií. Používají se například sběrnice IO-link [3] nebo AS-Interface Bus [3].

1.2.4 Testování a měření induktivních snímačů

Po návrhu a realizaci induktivního snímače (spínače) je důležité jeho vlastnosti otestovat. Testů kvality a vlastností snímačů je mnoho. Pokud má snímač dodržovat normy, musíme se držet jejich postupů. Můžeme si ale vymyslet i vlastní test, pokud má zákazník nějaké specifické požadavky.

Časté testy, které se provádí během vývoje snímače, jsou testy spínací a rozpínací vzdálenosti v různých teplotách. Je to z důvodu, že snímací část se skládá z teplotně závislých součástí. Což je především cívka, která je vložena ve feritovém jádru. Feritové jádro spolu s teplotou mění svoji relativní magnetickou permeabilitu. Dále cívka mění svůj stejnosměrný odpor, který se pohybuje okolo 1 Ohmu v pokojové teplotě. Teplotní součinitel elektrického odporu mědi je $0,004 \text{ K}^{-1}$ [5]. Oproti tomu použitý kondenzátor, který je připojen paralelně k cívkce má dielektrikum typu COG (NP0). Změna kapacity s teplotou se pohybuje kolem 30 ppm K^{-1} [6]. Menší změny parametrů rezonančního obvodu zapříčiňuje i geometrie cívky, která je s teplotou rovněž proměnná [7], nebo permeabilita zalévacích hmot. Elektronika snímače musí tedy tyto změny kompenzovat. Sama elektronika podléhá také teplotnímu driftu, což zvyšuje komplexnost analýzy.

Užitečným nástrojem vývojáře je klimatická komora, vybavená posuvným mechanismem pro kovové testovací terčíky a vyhodnocovací elektronika. Takový nástroj je ale nejlepší mít automatizovaný a programovatelný. Je to z toho důvodu, že temperování klimatické komory společně se snímači nějakou dobu trvá a často je nutné takto měřit opakovaně. V závislosti na podrobnosti a počtu těchto měření se celková doba pohybuje v rozmezí minut až několika dnů měření.

Automatizace a programovatelnost takového zařízení spočívá hlavně v možnosti předpřipravit si několik bodů měření s různými možnostmi. Jednotlivé body měření se budou primárně lišit teplotou, na které snímače měříme. To bude oddělovat jednotlivé „řádky“ programu. Dalšími užitečnými možnostmi bude určitě nastavení rozhodovacích úrovní, na kterých signál ze snímače bereme jako logickou úroveň HIGH anebo LOW.

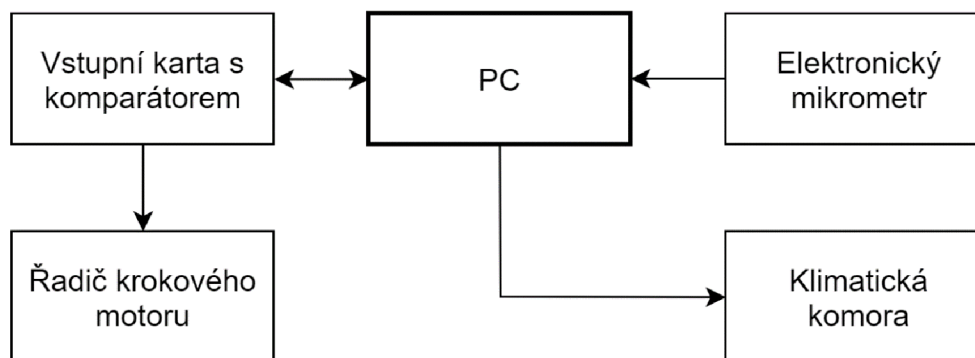
Jednotlivé snímače mají předepsané určité zatížení. Vhodnou funkcí je tedy také připojování nebo odpojování zátěže během měření. Další požadavky na toto zařízení budou popsány zde: 3.1

2 PŮVODNÍ MĚŘICÍ SYSTÉM

Firma Pepperl + Fuchs doposud využívá měřicí systém, který byl původně studentskou prací jednoho z praktikantů. Zařízení je namontováno přímo na klimatické komoře v krabici z hliníku. Toto zařízení je ovládáno pomocí počítače a jeho hlavní součástí jsou vstupní komparátory a řadič krokového motoru. Toto zařízení umí zpracovat signály až z 8 snímačů namontovaných v komoře. Krokový motor se nachází vně klimatické komory a slouží k pohybování s testovacími terčíky umístěnými před snímači v komoře. Zařízení je napájeno DC zdrojem o jmenovitém napětí 12 V, připojené snímače se napájí zdrojem připojeným ke společným svorkám.

2.1 Princip měřicího systému

Většina inteligence se ukrývá v řídicím softwaru v počítači. Na Obrázek 2.1 vidíme, že k počítači je připojen elektronický mikrometr, klimatická komora a měřicí karta s řadičem pro krokový motor. Princip je takový, že program v počítači načítá data z elektronického mikrometru Sylvac a zároveň sbírá informace o stavech induktivních snímačů pomocí vstupní karty. Pokud nějaký z testovaných snímačů změní svoji logickou úroveň, tak tuto informaci vstupní karta předá do počítače, který si přiřadí příslušnou načtenou hodnotu vzdálenosti z elektronického mikrometru. Konkrétní provedení můžeme vidět na Obrázek 2.1 a na Obrázek 2.2.



Obrázek 2.1 Blokové schéma původního měřicího systému



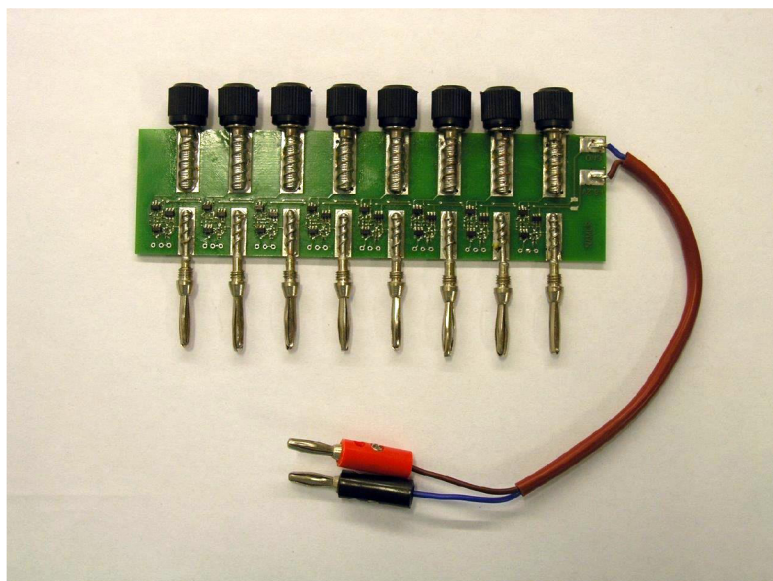
Obrázek 2.2 Původní měřicí systém

2.2 Nedostatky měřicího systému

Vzhledem k tomu, že měření spínací a rozpínací vzdálenosti je velice náchylné na správné načasování, vzniká tímto způsobem chyba. To, že testovaný snímač změnil svoji logickou úroveň, musí zaznamenat komparátor ve vstupní kartě, který tuto informaci předá řídicímu mikroprocesoru a ten musí přes rozhraní RS232 odeslat zprávu se stavem snímačů do počítače. Počítač při přijetí a dekódování zprávy musí odměřit vzdálenost z elektronického mikrometru. Tato spleť cest přes PC znamená velké zpoždění závislé na aktuálním stavu operačního systému, a tak ne vždy načteme přesnou hodnotu spínací nebo rozpínací vzdálenosti měřeného snímače.

V některých případech můžeme požadovat měřit na přesné vzdálenosti testovacího terčíku od snímače, nebo vytvořit tabulku naměřených hodnot závislých na vzdálenosti. Zde opět vzniká problém velmi pomalého časování. V tomto případě se k časové prodlevě přidává ještě prodleva, kdy počítač pomocí příkazu po RS232 zastavuje motor. V tomto případě krokový motor nezastaví na dané pozici, ale až za ní, a to může být přibližně až o 0,1 mm dále.

Dalším nedostatkem stávajícího měřicího systému je nemožnost nastavení rozhodovacích logických úrovní. Tyto úrovně jsou pevně dány komparátory hardwarově především na měření průmyslových třídrátových induktivních snímačů napájených napětím 24 V. To znesnadňuje použití jiných typů snímačů jako jsou například snímače typu NAMUR. Pro tyto případy musela být navržena převodní elektronika s externími komparátory, aby tyto typy snímačů bylo možné na daném zařízení měřit (Obrázek 2.3). To samozřejmě snižuje i uživatelský komfort při měření a stojí uživatele zbytečný čas.



Obrázek 2.3 Převodník pro snímače NAMUR

Dále chybí možnost připojení nebo odpojení zátěže pro snímače během procesu měření. To se využije především ve velmi nízkých teplotách, aby se zatížením snímač sám nezahříval. Dalším vylepšením by mohlo být připojení již předpřipravených zátěží a nejvíce používaných zátěží, aby je uživatel nemusel, například při přecházení z typu PNP na NPN snímač, pokaždé přepojovat jinam. Jako zátěž se nejčastěji využívá rezistor o hodnotě elektrického odporu $1\text{ k}\Omega$.

3 NÁVRH NOVÉHO MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

Vzhledem k nedostatkům popsaným výše se firma rozhodla, že si nechá v rámci diplomové práce navrhnout měřicí systém, který nedostatky minimalizuje anebo úplně odstraní. Toto byla také dobrá příležitost k tomu, že nový měřicí systém přinese i řadu funkcí navíc.

3.1 Technické požadavky

Tato podkapitola se bude zabývat požadavky na nové zařízení, které se bude používat ve vývojovém středisku Pepperl + Fuchs v Trutnově. Jedná se o přístroj, který se s denní četností používá při vývoji, a tak je od přístroje očekávané, že práci vývojářům co nejvíce ulehčí. Budou zde podrobně popsány funkce, kterými by přístroj měl být vybaven a k čemu tyto funkce budou sloužit. Budou zde popsány i nároky na přesnost. Vývojové středisko v Mannheimu jeví také zájem o několik těchto měřicích přístrojů. Celkem bude tedy vyrobeno a používáno přibližně 10 kusů.

3.1.1 Funkce a vylepšení měřicího systému

Prvním a nejdůležitějším vylepšením je zvýšení přesnosti měření vzdálenosti. Vzhledem k tomu, co firma o svých snímačích uvádí do jejich datových listů, je potřeba měřit vzdálenost terčků od snímačů s opakovatelností 10 μm . Při těchto přesnostech už může být problém i s konstrukcí mechanismu, který pohybuje terčíky. To ale není předmětem této diplomové práce. Zařízení by mělo umožňovat zastavení na předem dané pozici uživatelem.

Dalším požadavkem je možnost nastavení rozhodovacích úrovní napětí logického signálu snímačů. Tato funkce umožní měřit více typů snímačů s minimálním zásahem uživatele. Na starším provedení bylo zařízení uzpůsobeno pouze na 24 V průmyslovou logiku. Těchto snímačů se v Trutnově sice testuje mnoho, ale testují se zde i další typy snímačů jako jsou například snímače na větší napětí (60 V), nebo na napětí 12 V, či snímače typu NAMUR (jejich specifikace vysvětlena výše). Tento požadavek vede na snímání napětí pomocí A/D převodníku. Po naměření daných hodnot napětí se bude pomocí výpočtů porovnávat naměřená hodnota s hodnotami odpovídajícími jednotlivým logickým úrovním daných typů snímačů. Tato metoda také umožní měření analogových snímačů, které se v Pepperl + Fuchs též vyrábí. Díky této úpravě bude možno měřit hodnoty napětí v přímé závislosti na posunu testovacích terčků před snímači, což bude další užitečná funkce navíc.

Nedílnou součástí by mělo být také možnost ovládání napájecího napětí. Toto umožní mít napájecí napětí ke snímačům připojeno pouze při jeho měření. To je zvláště důležité při měření snímačů ve velmi nízkých teplotách. Pokud je snímač napájen, tak se sám zahřívá, a to by mohlo ovlivnit výsledky měření. Funkce by měla být doplněna o sledování aktuálního napájecího napětí, což může být i zpětnou vazbou pro uživatele, který k počítači připojí programovatelný zdroj.

Důležité je také celé zařízení dimenzovat na nepřetržitý provoz při napájení 60 V a aby nedošlo při špatné manipulaci ke zničení zařízení, nebo měřených snímačů. Znamená

to tedy, že v místě, kde se k zařízení připojuje externí zdroj, musí být ochrana proti přepólování a přepětí. Přepětová pojistka by měla reagovat na 70 V. Napájecí zdroj se tedy ke snímačům připojí až v případě, že napětí splňuje dané požadavky. Do této ochrany ale nespadá situace, kdy například na snímač, který má být napájen 24 V, uživatel připojí napětí vyšší, které nepřesahuje daných 70 V. Tento případ si musí uživatel hlídat sám.

Zařízení také bude disponovat dvěma napěťovými rozsahy pro měření napětí, a to z důvodu zvýšení přesnosti měření na nízkých úrovní napětí. Tyto rozsahy budou do 15 V a do 60 V. Tento požadavek se netýká měření napájecího napětí.

Některé snímače s výrobní nebo návrhovou vadou mohou mít problém s takzvaným zákmitnutím během přepínání ze stavu LOW do stavu HIGH. Tyto zákmity mohou trvat neurčitou dobu podle specifikace problému. Tyto vady by výsledné zařízení mělo umět také detekovat. Vzhledem k tomu, že je zde omezení týkající se doby převodu A/D převodníku, budeme brát validní zákmity trvající delší dobu než 200 μ s.

3.1.2 Požadované přesnosti a tolerance

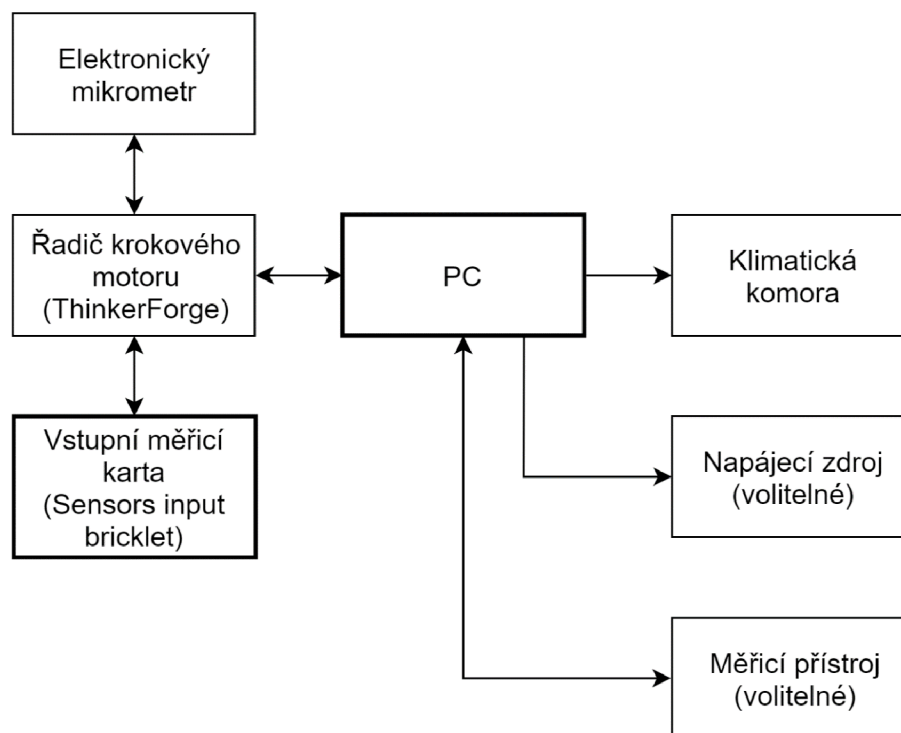
Pro jednoznačnost požadavků je zde vytvořena tabulka, podle které se bude návrh nového zařízení orientovat.

Tabulka 3.1 Požadované přesnosti a tolerance

Počet měřicích vstupů	8
Přesnost měření vzdálenosti	50 μ m
Vstupní impedance	> 500 k Ω
Nízký rozsah měřeného napětí	15 V
Vysoký rozsah měřeného napětí	60 V
Absolutní přesnost nízkého rozsahu	\pm 10 mV
Absolutní přesnost vysokého rozsahu	\pm 20 mV
Detekce zákmitu snímače (doba zákmitu)	> 200 μ s

3.2 Blokový návrh zařízení

Na základě vlastností a nedostatků předchozího provedení jsem se rozhodl navrhnout nový měřicí systém podle Obrázek 3.1. Výhodou této topologie je, že elektronický mikrometr není propojen s ovládací elektronikou pro krokový motor skrze počítač, kde vzniká velké zpoždění, ale svoje data předává přímo mikroprocesoru, který ovládá řadič krokového motoru. Vstupní karta, která sleduje stavy testovaných snímačů komunikuje přes I2C rozhraní také s jmenovaným mikroprocesorem. Časově náročná operace je tady teď pod dohledem jednoho mikroprocesoru, který tyto důležité funkce zvládá obsluhovat ve velmi krátkém čase. Mikroprocesor na řadiči krokového motoru je součástí takzvaného Silent Stepper Bricku [7], který je součástí otevřené platformy TinkerForge [8]. K počítači je pak dále připojena klimatická komora a jako volitelné příslušenství může být měřicí přístroj (například RLC můstek), nebo napájecí zdroj ovládaný přes RS232.



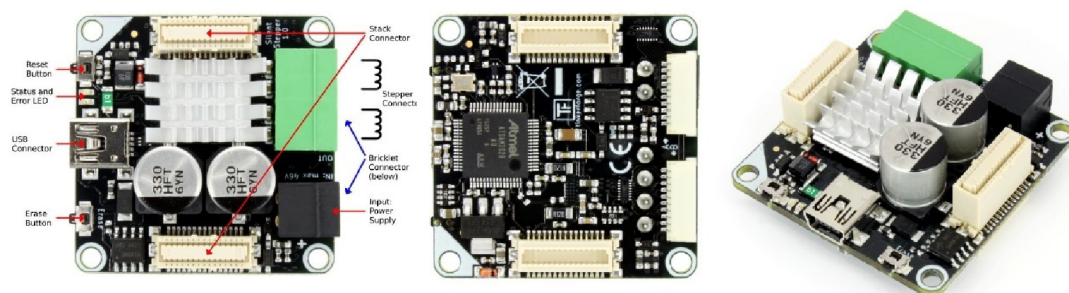
Obrázek 3.1 Blokový návrh měřicího systému

3.3 Výběr jednotlivých komponentů

Některé komponenty, jako je například klimatická komora, jsou nebo budou použity stávající (napájecí zdroj a měřicí přístroje rovněž). Výběr komponentů pro řídicí elektroniku byl závislý na standardu firmy Pepperl + Fuchs, což je použití modulové platformy TinkerForge na projekty tohoto typu.

3.3.1 TinkerForge

TinkerForge [8] obsahuje stavební bloky s širokým spektrem použití. Tato platforma ulehčí vývoj a realizaci zařízení především v místech kde se jedná o takzvanou standardní funkci. To je například ovládání krokového motoru, odesílání dat do PC, zpracování dat různé základní měření, jak elektrických, tak neelektrických veličin, a tak podobně. Rozhodl jsem se tedy tuto platformu využít pro ovládání krokového motoru, který bude pohybovat s testovacími terčíky před snímači v komoře. V původním návrhu jsem promyslel vlastní řešení (propojení jednotek bez standardizované platformy, návrh řadiče pro krokový motor atp...), ale to se nevyplatí z toho důvodu, že jen vývoj takového zařízení vyjde draž než samostatný hotový modul, který lze koupit. Konkrétní modul nese název Silent Stepper Brick (vyobrazen na Obrázek 3.2) a umožňuje připojení až dvou takzvaných Brickletů, což jsou jeho periferie [9]. Tato periferie může být například vstupní analogová karta (Analog In Bricklet).



Obrázek 3.2 Silent Stepper Brick [7]

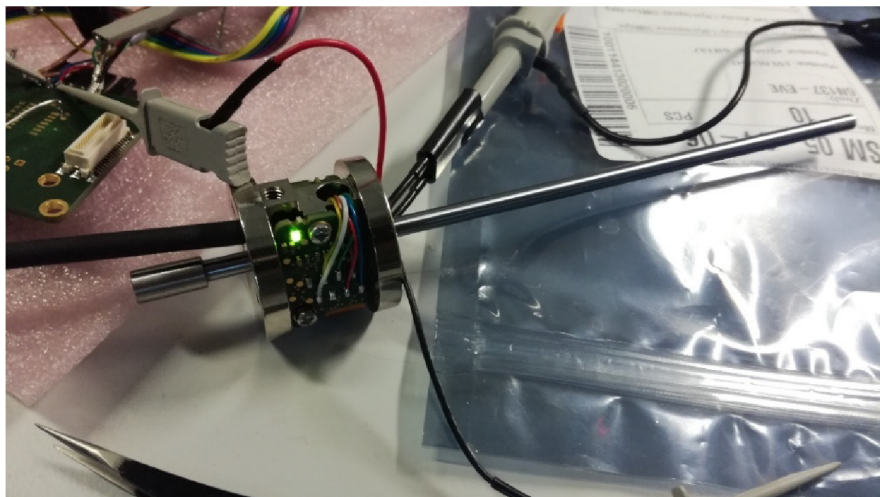
3.3.2 Vstupní měřicí karta (Sensors Input Bricklet)

V návaznosti na text výše bude samotná měřicí karta vycházet z Analog In Brickletu [10], aby byla kompatibilní s platformou TinkerForge. Požadavky na tuto kartu jsou tak specifické, že jedinou možnou cestou je vlastní návrh. Popis tohoto návrhu je uveden v následující podkapitole.

3.3.3 Elektronický mikrometr

Výběr elektronického mikrometru je úzce spjat s dosažitelnou přesností měření vzdálenosti. Dalším důležitým parametrem je rychlost odměření dané vzdálenosti a odeslání na svoji komunikační sběrnici. Výběr tohoto mikrometru byl také ovlivněn již hotovým výrobkem firmy Pepperl+Fuchs iTrim, který na základě otestování snímač kalibruje. V tomto zařízení se nachází elektronický mikrometr LinAce od firmy RLS [11]. Konkrétně se jedná o typ CMB06SFE01A00P00 (vyobrazeno na Obrázek 3.3). Tento mikrometr má rozlišení 1 μm , přesnost $\pm 5 \mu\text{m}$ a doba měření před započítáním odeslání dat je 250 μs . Tyto parametry dostačují pro dané použití.

Komunikace s mikrometrem řeší RS422 rozhraní. Vzhledem k tomu, že Silent Stepper Brick nedisponuje takovou periferií, musí být použit převodník na RS232. Tento převodník je již vytvořen, dělal ho jeden ze zaměstnanců Německého vývojového centra Pepperl+Fuchs Frank Polzin v Mannheimu. Tudíž je zde použita stejná koncepce, převodník je navazován přímo na Silent Stepper Bricku.



Obrázek 3.3 Elektronický mikrometr LinAce

3.3.4 Klimatická komora

Klimatická komora (Obrázek 3.4) je doposud používána typu CTS T-40/25 [12] a její záměna není nutná. Svoji funkci plní dostatečně. Komora je ovládána počítačem skrze uživatelské rozhraní. Komora dokáže temperovat v rozmezí od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $180\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obrázek 3.4 Klimatická komora

3.3.5 Posuvný mechanismus pro testovací terčičky

Posuvný mechanismus pro testovací terčičky je již namontován na dvířkách komory. Tento mechanismus dokáže testovat najednou až 8 snímačů. Vzhledem k tomu, že si

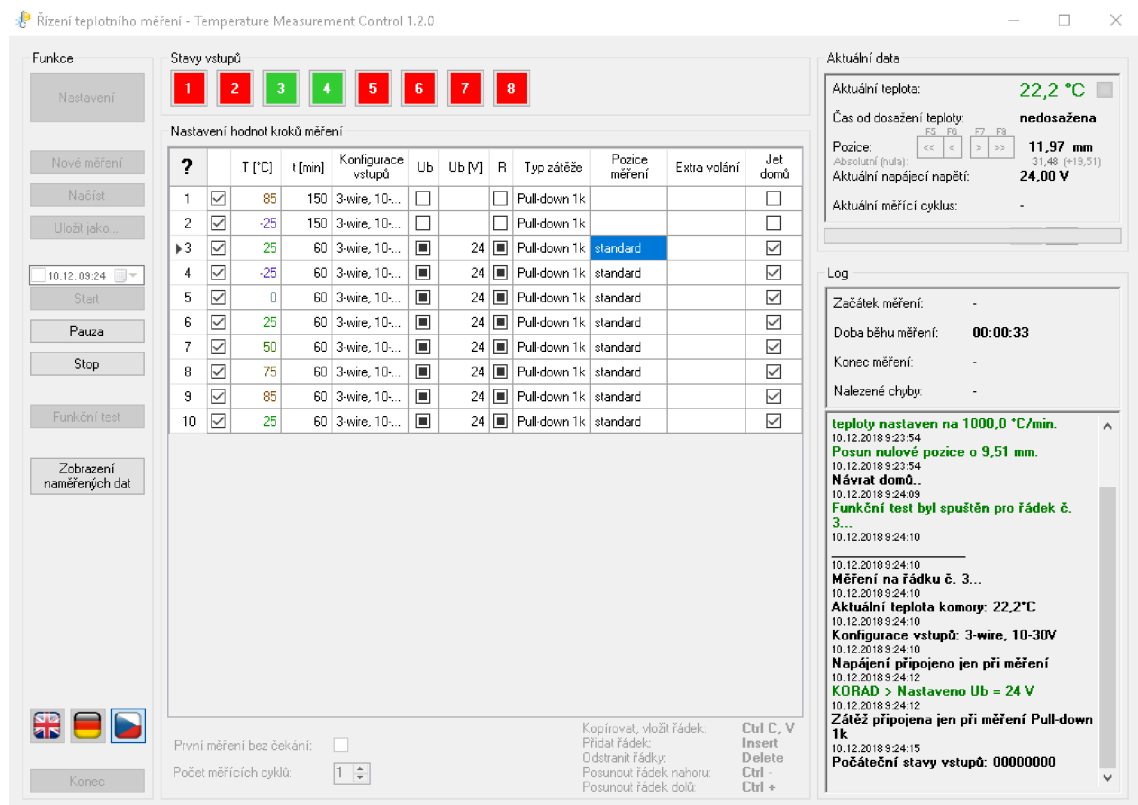
firma chce uchovat svoje know-how neveřejné, nebudou v rámci této diplomové práce o mechanismu uváděny podrobnější detaily.

3.3.6 Krabice na zařízení

Po prozkoumání trhu jsem se rozhodl, že na zařízení navrhnu vlastní krabici. Na trhu jsou velmi těžko k dostání krabice takových rozměrů. Návrhem této krabice se zabývá následující podkapitola.

3.3.7 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní je vytvořeno na OS Windows v prostředí MS Visual Studio a bude ovládat celé měřicí zařízení společně s ostatními měřicími přístroji, klimatickou komorou a napájecím zdrojem. Jeho úkolem je především dělat početní úkoly, na které samotný hardware nemá dostatečný výpočetní výkon (například přepočty floatových hodnot) a zároveň ukládat naměřená data na disk v počítači. Tento počítač je připojen do firemní sítě, a tak je možno jej na dálku ovládat. Toto rozhraní programoval kolega a v této diplomové práci bude uvedeno pouze ovládání programu a jeho funkce.



Obrázek 3.5 Uživatelské rozhraní

3.4 Návrh specifických komponentů

Tato podkapitola se zabývá návrhem dílčích komponentů, které bylo nutno vytvořit.

3.4.1 Návrh vstupní měřicí karty (Sensors Input Bricklet)

Takový Bricklet je ve své podstatě pouze slave na I2C sběrnici, který přijímá a odesílá data nadřazenému Bricku, který konkrétně v tomto případě je Silent Stepper Brick. Zařízení bude tedy vycházet z tohoto standardu. Nápad je takový, že karta bude měřit napětí na 8 kanálech a porovnávat je s nastavenými úrovněmi napětí odpovídající logickým stavům. Během měření je tedy pomocí motoru pohybováno s testovacími terčíky a kontinuálně se měří napětí na všech 8 vstupech. Pro kontrolu můžeme změřit na prototypu zařízení, jak dlouho trvá odměření napětí na všech snímačích a porovnat to s rychlostí posunu testovacích terčíků, aby nedocházelo ke stejné chybě jako v původním měřicím systému. Pokud některý ze snímačů překročí danou úroveň napětí, tak karta nastaví vyhrazený pin na logickou 1, který vyvolá externí přerušení v procesoru Silent Stepper Bricku. V ten samý čas karta odešle informaci o logických stavech jednotlivých snímačů po I2C sběrnici také do Silent Stepper Bricku, což je přesně 1 Byte. Silent Stepper Brick si co nejrychleji v rutině externího přerušení odečte hodnotu pozice z elektronického mikrometru a z následující zprávy, která přijde po I2C komunikaci sestaví spínací, nebo rozpínací (podle směru pohybu) vzdálenost ke konkrétnímu testovanému snímači. Hodnoty se po odměření odešlou do počítače, ze kterých se složí absolutní spínací vzdálenost a hystereze k daným sensorům.

Zařízení musí umět měřit napětí na 8 kanálech pro 8 snímačů a na jednom kanálu napájecí napětí. Musí obsahovat příslušné tvarovače signálu s přepínatelným rozsahem a dále kanálem pro měření napájecího napětí na snímačích. V rámci podřízené karty (Sensor Input Bricklet) jsem navrhl (pro každý z 8 identických kanálů) přepínatelný dělič s operačním zesilovačem, který slouží jako impedanční oddělení. Před vstupem do operačního zesilovače je dělič pro vysoký rozsah měřeného napětí (70 V). Tento dělič je složený s vysokých hodnot rezistorů (stovky kΩ), aby byla vstupní impedance měřicího přístroje co nejvyšší. Tento dělič se aktivuje otevřením tranzistoru MOSFET ve větvi děliče. Výpočet děliče je po dosazení hodnot $U_1 = 70 \text{ V}$, $U_2 = 15 \text{ V}$, $R_{42} = 220 \text{ k}\Omega$ do rovnice 3.1 následující:

$$R_{38} = \frac{U_1 \cdot R_{42}}{U_2} - R_{42} = \frac{70 \cdot 220k}{15} - 220k = 806,666 \text{ k}\Omega \cong 820 \text{ k}\Omega$$

Za operačním zesilovačem je další dělič, který je používán pro nízký rozsah měřeného napětí (15 V). Tento dělič není přepínatelný a je složený z nižších hodnot odporů (desítky kΩ), aby nebyl dělič ovlivňován A/D převodníkem mikroprocesoru. Tyto děliče jsou konstruovány tak, aby v maximální hodnotě daného rozsahu napětí na A/D převodníku nepřesáhlo 2,5 V. Toto napětí odpovídá použité referenci LM4040BIM3-2.5 [14]. Zapojení je vyobrazeno na 2. listu schématu v příloze. Výpočet děliče je po dosazení hodnot $U_2 = 15 \text{ V}$, $U_3 = 2,5 \text{ V}$, $R_{44} = 2 \text{ k}\Omega$ do rovnice 3.2 následující:

$$R_{40} = \frac{15 \cdot 2k}{2,5} - 2k = 10 \text{ k}\Omega$$

Devátý kanál na měřicím mikroprocesoru je použit pro měření napájecího napětí. Zde není potřeba přepínání rozsahů, a tak je napájecí napětí měřeno jen pomocí jednoduchého děliče. Výpočet děliče je po dosazení hodnot $U_1 = 70 \text{ V}$, $U_2 = 2,5 \text{ V}$, $R_{35} = 1 \text{ k}\Omega$ do rovnice 3.3 následující:

$$R_{30} = \frac{70 \cdot 1k}{2,5} - 1k = 27 \text{ k}\Omega$$

Rovnice 3.1

$$U_2 = \frac{U_1 \cdot R_{42}}{R_{42} + R_{38}}$$

Rovnice 3.2

$$R_{40} = \frac{U_2 \cdot R_{44}}{U_3} - R_{44}$$

Rovnice 3.3

$$R_{30} = \frac{U_1 \cdot R_{35}}{U_2} - R_{35}$$

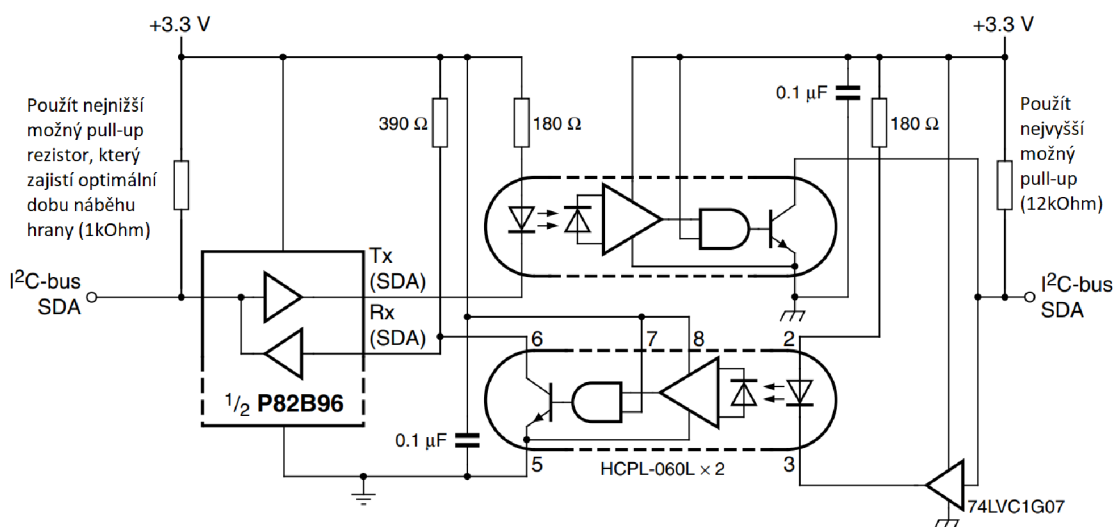
Operační zesilovače musí ale pracovat od 0 V až do plného rozsahu (15 V), takže musejí být napájeny napětím větším než daný rozkmit, a to už do kladné (19 V), nebo záporné větve (−5 V). To je zaručeno díky posunutí napájecí země operačních zesilovačů (GND) o 5 V oproti zemi určené jako reference pro měření (GNDA). Toto posunutí je realizováno nastavitelnou referencí TL431 [15]. Posunutí je uvedeno v 1. listu schématu blok B1 v příloze. To zaručí správnou funkci operačních zesilovačů.

První návrh byl založen na procesoru ATXMEGA32E5 [16]. Vybral jsem si procesor Atmel z toho důvodu, protože s nimi pracuji již delší dobu a jejich portfolio dobře znám a orientuji se v něm. Hlavními požadavky byl dostatečný počet kanálů A/D převodníku, jeho rozlišení a možnost procesor použít jako I2C slave [17]. Cena v tomto případě vůbec nerozhodovala, protože se bude vyrábět pouze přibližně 10 kusů, a tak v porovnání s náklady na vývoj zařízení a firmware je to zanedbatelná částka. Po realizaci prvního prototypu se ale ukázalo že konkrétně u tohoto mikroprocesoru dochází k problémům při ladění (online debugging) zřejmě díky návrhové vadě mikroprocesoru. Proto byl nakonec vybrán mikroprocesor ATSAM3S4BA-AU [18] (Obrázek 3.6), který je používán na platformě TinkerForge. S tímto mikroprocesorem již problémy při debugování nejsou. Co se týče A/D převodníků, tento procesor obsahuje jeden převodník, který lze přepínat libovolně až na 16 pinech procesoru a jeho rozlišení je 12 bitů. Dále výrobce udává, že maximální vzorkovací frekvence je 1 MHz. Referenci lze připojit externí, v tomto návrhu bude mít hodnotu 2,5 V a bude realizována pomocí LM4040BIM3-2.5 [14]. Referencí by měl téct proud od 65 μA do 10 mA. Vzhledem k tomu, že nějaký proud spotřebuje mikroprocesor, vybral jsem předřadný rezistor o hodnotě 1k Ω .



Obrázek 3.6 Mikroprocesor ATSAM3S4BA-AU

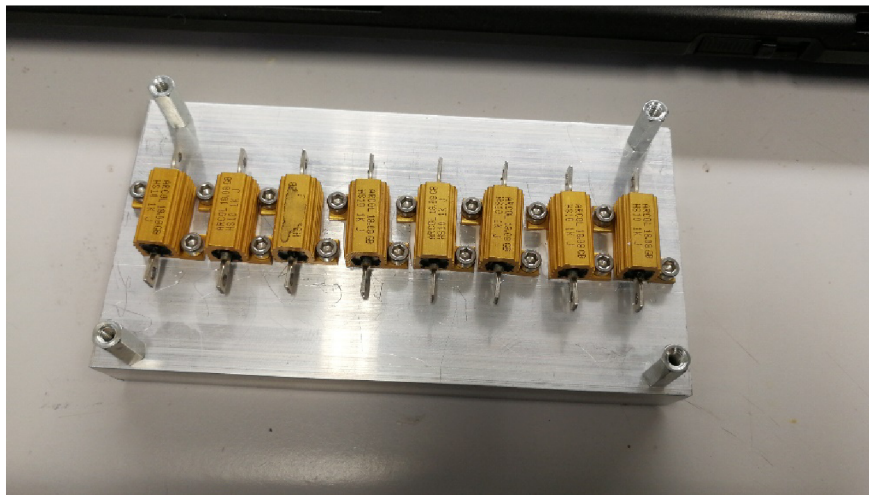
Z důvodu rizika výskytu zemních smyček a rušeními spojenými s nimi bude analogově-digitální měřicí část galvanicky oddělena od napájecího zdroje pro Silent Stepper Brick a od počítače. K tomu budou sloužit DC/DC konvertory a optočleny v cestě vzájemné komunikace. Vzhledem k tomu, že I2C komunikace mezi Brickem a Brickletem je na frekvenci 200 kHz, realizace není snadná. Inspiroval jsem se dokumentem [19] od firmy NXP, kde toto optické oddělení realizují pomocí aktivních optočlenů s vysokou rychlostí přenosu. Příklad zapojení můžeme vidět na Obrázek 3.7.



Obrázek 3.7 Optické oddělení vysokorychlostní I2C komunikace

Dalším požadavkem je možnost připojovat nebo odpojovat určitou zátěž k měřeným snímačům na jejich výstupní svorku. Zátěž jako taková může být několika typů: uživatelsky zvolená hodnota odporu pull-up anebo pull-down (podle toho, jestli ji připojíme ke kladné anebo záporné napájecí svorce), či standardní rezistorová zátěž 1 k Ω také variant pull-up nebo pull-down. Toto rozřazení „up, down“ je z důvodu umožnění testování jak snímačů typu PNP, tak snímačů typu NPN. Pevně daná rezistorová zátěž 1 k Ω bude součástí měřicí karty Sensors Input Brickletu přimontována na chladiči vně krabice. Tato zátěž bude k snímači připojována pomocí relátek, která ovládá daný

mikroprocesor přes optovazbu. U většiny relátek jsou vytvořeny obvody, které sníží protékající proud cívkou po přepnutí z důvodu minimalizace tepla vytvořeného uvnitř zařízení. Toto zapojení je uvedeno ve čtvrtém listu schématu v příloze písmeno D. Rezistory jsou připojeny přes IDC konektor [20], který je dimenzován na proudy až do 3 A. Maximální proudy 1 k Ω zátěží můžou při napájení 60 V dosahovat 60 mA, tudíž takový konektor vystačí. Výsledné zapojení je provedeno tak, že pokud na snímač nemá být aplikována zátěž, nebude žádný z těchto rezistorů připojen ani jedním jejich pinem k měřicímu vstupu, a to z toho důvodu, aby do měřicího systému nezanášel zbytečné rušení. Tyto rezistory umístěny na chladiči jsou na Obrázek 3.8. Uživatelem zvolená zátěž se bude montovat ručně přímo na svorky typu banánek vně přístroje. Na těle přístroje pak budou vyhrazeny 3 kontrolní LED. LED3 (REX) indikuje připojení snímače k externí zátěži, LED6 (PULL-UP) indikuje připojení interní zátěže 1 k Ω jako pull-up rezistor, LED7 indikuje připojení interní zátěže 1 k Ω jako pull-down rezistor. Na uživateli pak je, jestli chce mít zátěž připojenou trvale, či nikoliv. Pokud bude uživatel chtít mít připojenou zátěž pouze v daném měření, musí ji namontovat na speciální svorku opět vně přístroje. Tato svorka bude připojována pomocí relé k měřenému vstupu od snímače v závislosti na uživatelském programu. Toto relé je dimenzováno až na 8 A, kdyby uživatel vyžadoval zatížení snímače vyšším proudem. Pokud chce uživatel mít zátěž připojenou trvale nezávisle na měření, může ji jednoduše namontovat na svorky vstupu.



Obrázek 3.8 Zatěžovací rezistory 1k/10W

Jako ochrana proti špatné manipulaci s napájecím zdrojem pro testované snímače je navržen blok na 1. listu schématu v blocích 1-8 D-E v příloze písmeno A. Tento blok je složen z okénkového komparátoru s malou hysterezí složeného z dvou operačních zesilovačů. Okénkový komparátor blokuje sepnutí hlavního relé napájení, v případě přivedení chybného napájecího napětí. Hlavní relé napájení slouží k připojení napájecího zdroje ke svorkám, které napájejí testované snímače. Správné napájecí napětí se pohybuje v rozmezí $-0,3$ V až 70 V. Tyto meze byly vybrány s ohledem na provozovací napětí testovaných snímačů. Horní mez je sledována operačním zesilovačem IC4B. Výpočet hodnot rezistorů děliče je po dosazení do rovnice 3.4 následující:

$$\begin{aligned}
U_{GND A} &= 5 \text{ V} \\
U_{GND} &= 0 \text{ V} \\
U_{d\acute{e}li\acute{c}e} &= 5 \text{ V} \\
R_{32} &= 10 \text{ k}\Omega \\
R_{22} &= \frac{U_H \cdot R_{32}}{U_{d\acute{e}li\acute{c}e}} - R_{32} = \frac{70 \cdot 10k}{5} - 10k = 130 \text{ k}\Omega
\end{aligned}$$

Rovnice 3.4

$$R_{22} = \frac{U_H \cdot R_{32}}{U_{d\acute{e}li\acute{c}e}} - R_{32}$$

Dolní mez $-0,3 \text{ V}$ je cíleně do záporného napětí, aby se relé neodpojovalo při odpojení napájecího zdroje. To ale nebylo dostatečné k eliminaci rušení z rozvodné sítě 50 Hz , a tak se na daný komparátor (IC4A), zavedla malá hystereze pomocí D1 a R29. Hodnoty rezistoru zpětné vazby byly experimentálně dostaveny během testování. Informace o připojeném chybném napájení je přivedena z výstupu operačního zesilovače IC4A na signalizační červenou LED9 (V ERR) a zároveň přes tvarovač signálu do mikroprocesoru. Mikroprocesor následně ovládá napájecí relé pomocí pinu pojmenovaným PWR přes tranzistor Q6, který přes invertor ovládá optočlen OC1, který ovládá cívku relé. Pokud je napětí mimo vyhrazenou mez, mikroprocesor relé nedokáže sepnout. Napětí je zde tedy prioritně hlídáno analogovým obvodem.

Deska plošného spoje měřicí karty Sensors Input Brickletu je dvouvrstvá. Rozměry desky musí korespondovat s navrženou krabicí. Deska bude uchycena v drážkách rohových profilů hliníkové krabice a pomocí dvou šroubů přes distanční sloupky do zadní stěny krabice. Z desky plošného spoje jsou do krabice přímo vyvedeny kontrolní LED, konektor pro JTAG a USB-B konektor pro Silent Stepper Brick (USB touto deskou pouze prochází). Dále jsou pak vyvedeny konektory typu Faston pro napojení ke svorkovnicím pro snímače a volitelnou zátěž. Do těchto míst lze případně přímo napájet propojovací vodiče. Na desce je osazen IDC konektor 2×8 pinů pro interní zatěžovací rezistory a v neposlední řadě standardizovaný konektor pro I2C komunikaci se Silent Stepper Brickem. Snažil jsem se od sebe geometricky oddělit součásti, které by se mohly vzájemně rušit. Na DPS se nachází relé potřebné pro spínání nebo odpínání zátěží, nebo napájení testovaných snímačů. Dále zde jsou osazeny DC/DC konvertory nutné pro napájení procesoru a pro napájení operačních zesilovačů. Jeden z DC/DC konvertorů je vyhlazen lineárním stabilizátorem pro stabilnější vlastnosti napájení.

3.4.2 Návrh galvanicky odděleného převodníku RS422

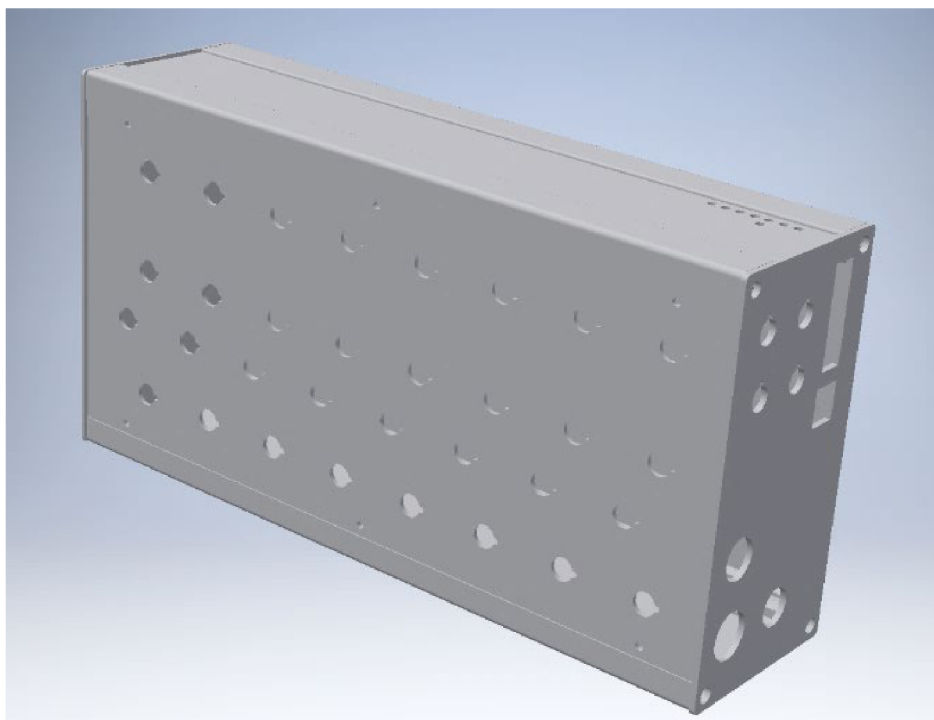
Při testování zařízení se projevovaly problémy se zarušením komunikace s elektronickým mikrometrem. Rušení vznikalo při spínání elektroventilů a kompresoru v klimatické komoře. Díky tomu byl navržen převodník s optickým oddělením, aby bylo minimalizováno riziko zemních smyček. Elektronický mikrometr je nastaven na komunikaci RS422 s datovou rychlostí 500 kb/s . Proto byl zvolen převodník MAX490 [21], který je schopen pracovat až do rychlosti 12 Mb/s . Problematictější výběr byl u optočlenů, kde se muselo sáhnout po variantě s aktivním detektorem, který bude daný

datový tok zvládat. Jako vhodný se jevil FODM8071 [22], který zvládá až 20 Mb/s. Oddělená část obvodu je napájena pomocí izolovaného DC/DC měniče TRS2-0911 [23], kde jeho napájení zajišťuje 12V adaptér a výstupní napětí je 5 V. Rozměry desky jsou nadrženy přesně tak, aby se dal převodník připojit k ThinkerForge platformě.

3.4.3 Konstrukce krabice

Měřicí karta společně s řadičem krokového motoru (Silent Stepper Brick) a převodníkem komunikace pro elektronický mikrometr je umístěna v krabici mého návrhu. (Obrázek 3.9) Horní strana bude vybavena kontrolkami napájení zařízení, správného napájení testovaných snímačů, připojených zátěží a kontrolkou rozsahu do 70 V.

Technický výkres jednotlivých částí krabice je v přílohách písmeno M až R. Z čelní strany jsou umístěny svorky typu banánek. Barevné značení bylo vybráno podle standardu pro průmyslové snímače. První (tmavě červená) řada svorek a je pro kladný napájecí pól snímačů, další (černá) řada jsou přímo měřicí vstupy, ke kterým se připojují výstupy snímačů, v třetí (žluté) řadě jsou pak jednotlivé svorky pro eventuální připojení externí zátěže. Ta se bude montovat mezi tuto svorku a jednu z napájecích svorek. Poslední čtvrtá (modrá) řada svorek je pro záporný pól napájení snímačů. Boční (pravá) strana krabice je určena pro připojení ostatních konektorů. Je zde DC konektor pro napájení zařízení (DC 12 V) poté 4 pinový konektor pro připojení krokového motoru, dále 8 pinový konektor pro připojení elektronického mikrometru, USB konektor pro Silent Stepper Brick, JTAG konektor pro debugging a programování měřicí karty, 4 svorkovnice typu banánek pro připojení napájecího napětí pro testované snímače. Čtyři jsou zde pro sekundární měření, pokud by to bylo třeba. Boční (levá) strana je vyhrazena pro umístění chladiče se zatěžovacími interními rezistory. Tato krabice je přichycena na klimatické komoře pevnou oboustranně lepicí pěnou na lepení zrcadel [21], aby se nemuselo zasahovat do konstrukce komory například pomocí šroubů, což by znesnadnilo instalaci a mohlo by dojít k poškození izolačních schopností.



Obrázek 3.9 Návrh krabice

4 PROGRAMOVÁ ČÁST

Tato kapitola se bude zabývat popisem firmware vstupní měřicí karty a Silent Stepper Bricku. Ovládací program a jeho GUI nespadá do této diplomové práce, jedná se totiž o práci kolegy a zároveň firemní tajemství.

4.1 Program Silent Stepper Bricku

Program pro Silent Stepper Brick je navržen pro ovládání krokového motoru a je založen na evaluačním programu od výrobce stavebnice. Další funkcí je detekce logické úrovně GPIO pinu na Sensors Input Brickletu, která vyvolává přerušení potřebné pro odměření přesné vzdálenosti testovacích terčů. Proto je přímo k Silent Stepper Bricku elektronický mikrometr LinACE™ absolute shaft encoder [25], který s deskou komunikuje pomocí RS422 s bitovou rychlostí 500 kb/s. Toto přerušení je generováno měřicí kartou během měření a značí buď dokončení měření v režimu „Single“, anebo při přepnutí měřeného snímače z jedné logické úrovně do druhé při posouvání testovacích terčů.

Na tomto programu pracoval kolega, a proto je zde jen krátký popis funkce bez bližších detailů. Tento program je zároveň firemním tajemstvím, nebude tedy ani uveden v příloze této diplomové práce.

4.2 Program pro vstupní měřicí kartu

Měřicí karta je jádrem celého systému a její chod zaručuje potřebný firmware. Tento firmware bude popsán v následujících podkapitolách.

4.2.1 Inicializace programu

Inicializace programu se provádí společně s každým novým připojením měřicí desky k napájení. Následující text navazuje na Obrázek 4.1 Inicializace programu měřicí desky. V prvních krocích je inicializován tzv. systémový čas. Jedná se o procesor s architekturou ARM, takže je zvyklostí nastavovat jednotlivým periferiím systémový čas. Funkce `sysclk_init()` je předepsaná z knihoven od ASF Wizard, což je užitečná pomůcka pro psaní programu pro dnešní mikroprocesory Atmel. Tato funkce nastaví zdroj systémového času podle definu umístěných v souboru `src/config/conf_clock.h` kde pomocí odkomentování si vybereme jaký zdroj času chceme použít. Konkrétně v této aplikaci je použit zdroj hodin ze smyčky PLL0(A) konkrétně definováním `SYSCLK_SRC_PLLACK`. Zdroj tohoto PLL syntezátoru je externí krystal o rezonanční frekvenci 16 MHz. Předdělička PLL je nastavena pomocí definování `SYSCLK_PRE_2` což znamená předdělička dvěma na vstupu PLL a parametry pro smyčku PLL jsou nastaveny; násobení frekvence 24, dělení 3. Tím dostaneme taktovací frekvenci 64 MHz.

Dále následuje funkce `board_init()` u které je zvyklostí ji používat pro nastavení vstupů a výstupů GPIO pinů na procesoru. Tato posloupnost kódu nastavuje výstupní piny pro přerušení Silent Stepper Bricku, dále ovládání napájení testovaných snímačů, ovládání rozsahu měření, relé pro externí zátěž, relé pro interní pull-up, nebo pull-down

rezistory 1 k Ω a výstup pro bzučák. Dále je zde nastavení I2C sběrnicových pinů, nastavení pinů pro AD převodník a také vstup detekující chybné napájení.

Pokud uživatel připojí chybně napájení snímačů, elektronika tento stav vyhodnotí a mikroprocesor jej detekuje. Toto může nastat kdykoliv, proto je pro něj již v inicializaci programu vytvořena citlivost pro přerušení procesoru. Pokud tedy nastane změna stavu na tomto pinu, procesor se dostane do rutiny přerušení, kde aktivuje bzučák pro akustickou signalizaci nebezpečného stavu. Po připojení správného napájení se bzučák deaktivuje.

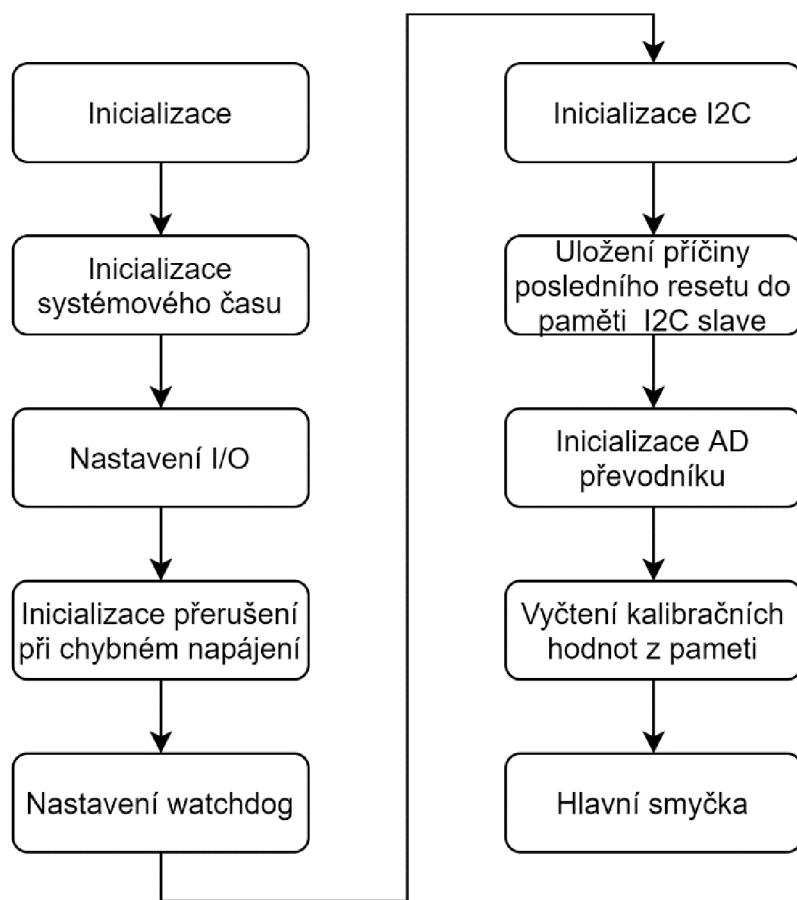
Pro případ uvíznutí programu v nekonečné smyčce je nastaven watchdog counter pro reset procesoru po třech sekundách. Watchdog counter je čítač, který běží nezávisle vzhledem k ostatním částem programu a je potřeba jej nejdéle každé tři sekundy resetovat. Pokud se tak neučiní díky uvíznutí programu v podmínce, kterou programátor neošetřil, dojde k resetu procesoru. Tato funkce je výhodná již při ladění prvních verzí programu.

V další části inicializace se nachází prvotní nastavení I2C rozhraní. Procesor se bude chovat jako slave na sběrnici kde master je Silent Stepper Brick. K inicializaci složí funkce `twi_init()` ve které se nastavuje hodinový signál pro periférii I2C, slave adresa, a jednotlivá přerušení potřebná pro správný běh periférie. Dále v této funkci se nastavuje alokování vymezené paměti, ve které budou uloženy naměřené hodnoty, parametry měřicí karty (rozlišení, měřicí rozsah) a registry, přes které se bude měřicí karta ovládat. Na té samé sběrnici je i paměť EEPROM (také jako slave), ve které je uložena část programu pro Silent Stepper Brick (SSB), které si SSB načte a díky jim s měřicí deskou může komunikovat. Obsah paměti je upravený kolegou a vychází z programu Input Brickletu [26].

Pro lepší ladění programu pro měřicí kartu tu je funkce, která vyčte důvod posledního resetu z paměti a uloží jej do paměti I2C slave. Jednotlivé důvody mohou být reset čítačem watchdog, softwarový reset vyvolaný programem, uživatelský reset pomocí tlačítka, reset pomocí chybného napájení procesoru a obecný reset.

V rámci inicializace je potřeba také nastavit AD převodník, který měří měřené snímače přes oddělovače impedance a rezistorové děliče napětí. Tyto funkce jsou převzaty z example knihovny ASF Wizard [27]. Frekvence clocku pro převodník je stanovena experimentálně na 2 MHz. Velmi vysoká frekvence zapříčinila větší nepřesnost měření napětí a nižší frekvence zase časovou náročnost měření. Časová prodleva měření dělala problémy v režimu „Continuous“ kde je třeba dělat měření napětí na snímačích tak často, aby nebyla ovlivněna přesnost naměřené spínací nebo rozpínací vzdálenosti snímače. Dále se nastavuje tzv. `ADC_STARTUP_TIME`, který také ovlivní měření, ale pouze těsně po zapnutí AD převodníku. Po tuto dobu se naměřená hodnota nebude brát za platnou. Nastavená hodnota je 8 ms. [28]

Další nedílnou částí inicializace je načtení kalibračních hodnot pro AD převodník. Jedná se o hodnoty uloženy v nevolatilní FLASH paměti, které musejí být naplněny pomocí kalibračního procesu. Jedná se o hodnoty zesílení a offsetu pro každý z osmi kanálů. Tyto hodnoty se následně používají pro přepočítání z hrubých dat AD převodníku na skutečné hodnoty napětí.



Obrázek 4.1 Inicializace programu měřicí desky

4.2.2 Hlavní smyčka programu

V hlavní smyčce se nachází většina funkčního kódu měřicí karty. Celá smyčka se skládá z 6 dílčích částí. Vývojový diagram popisuje Obrázek 4.2 a k němu se bude referovat následující text.

V první části na začátku smyčky probíhá reset čítače watchdog, který hlídá správný běh programu. Pokud tento reset neproběhne v průběhu 3 sekund, přetečení čítače vyvolá reset procesoru a celý cyklus začne od znova společně s inicializací.

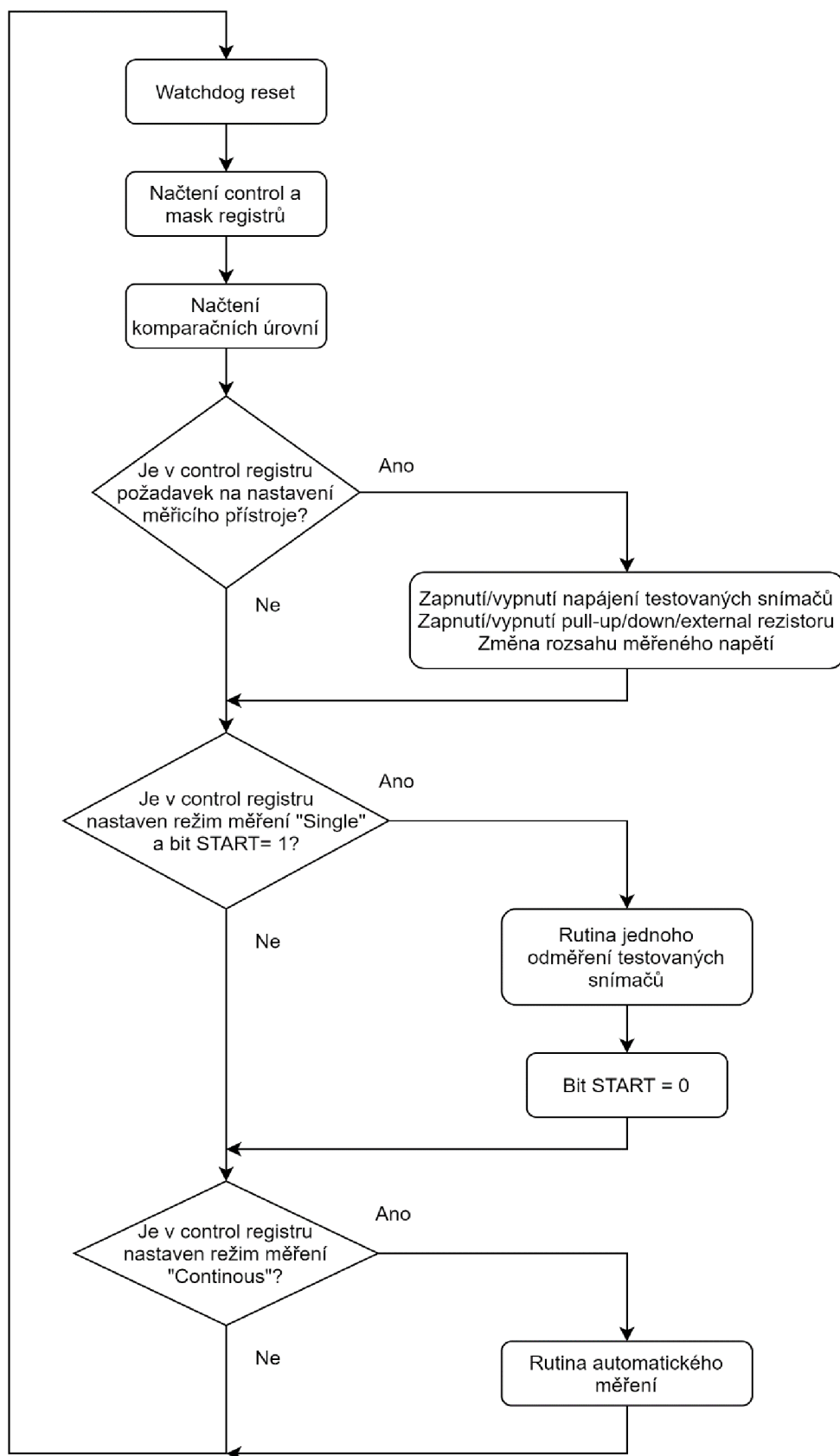
V druhé části se jedná o načtení dat z I2C registrů. Toto by hradě mohlo být tvořeno i přes přerušení od I2C periferie [16], ale díky tomu, že v této fázi nejsme nijak časově stísněni, lze to dělat i tímto způsobem. Máme takto alespoň kontrolu nad tím, kdy data vyčítáme a máme jistotu, že tím neovlivníme běh programu například při měření snímačů, což by dané měření mohlo ovlivnit. Tabulka adresního prostoru měřicí karty je v příloze E.

V třetí fázi mikroprocesor načítá komparační úrovně napětí, které jsou určeny pro vyhodnocení logických stavů testovaných snímačů. Konkrétně se jedná o číselnou hodnotu v mV dolního prahu napětí pro logickou úroveň LOW a horního prahu pro logickou úroveň HIGH.

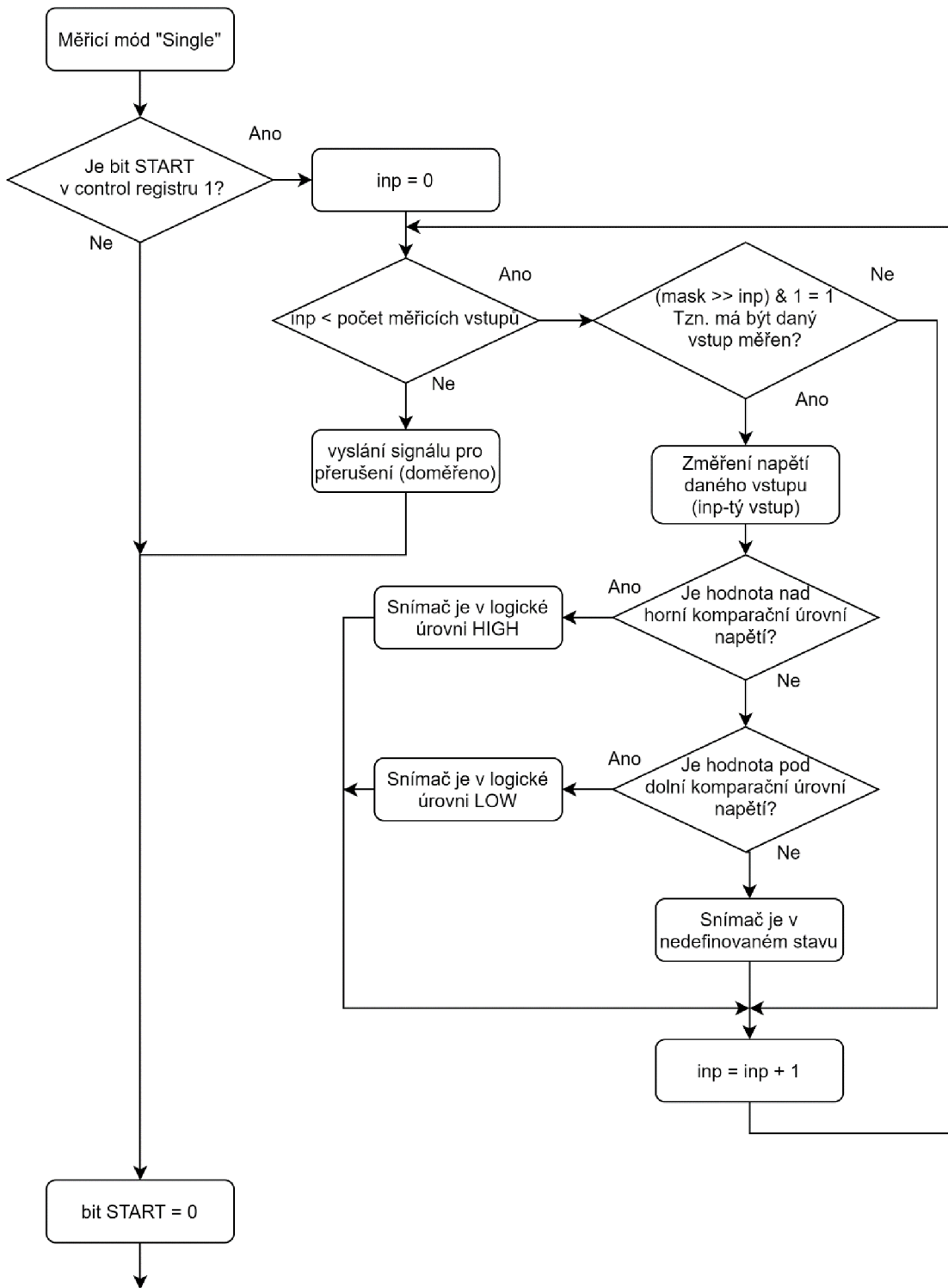
Čtvrtá fáze je první vyhodnocovací, kde se porovnává, zda došlo ke změně v I2C registru pojmenovaném „control“ který ovládá měřicí kartu. Pomocí tohoto registru lze ovládat mód měření („Continuous“ a „Single“) které budou popsány později. Dále se zde nastavují zátěže pro měřené snímače, což může být interní pull-up rezistor 1k, interní pull-down, nebo externí libovolná zátěž připojená mezi napájení a speciální svorku na krabici zařízení. Tyto zátěže se dají přepínat pouze pro všech 8 měřících vstupů najednou. Dalším nastavením je připojení nebo odpojení napájení testovaných snímačů anebo změnu rozsahu měřeného napětí (15 V nebo 70 V) na všech osmi měřících vstupech najednou. Po provedení nastavení se aktuální nastavení „control“ registru uloží, aby bylo možné detekovat v následujícím čase nový příkaz.

Pátá fáze programu vyhodnocuje, zda má být měřicí zařízení v režimu „Single“ (podle bitu MODE v control registru) a pokud ano, spustí tuto rutinu měření. Jedná se o jeden odměr všech (nebo pouze určených) měřících vstupů. Pro tuto akci je ještě potřeba mít bit START v logické úrovni HIGH, který se po ukončení odměření opět vynuluje. Nutno ještě podotknout, že měřicí karta v tomto režimu dokáže odměřit a odeslat jak logické úrovně testovaných snímačů, tak i jejich napětí na výstupech. Měření přesného napětí je velmi užitečné například při testování prototypů snímačů, kde se hodí měřit například napětí na oscilátoru po usměrnění v závislosti na vzdálenosti testovacích snímačů. Pro lepší představu je zde uveden Obrázek 4.3.

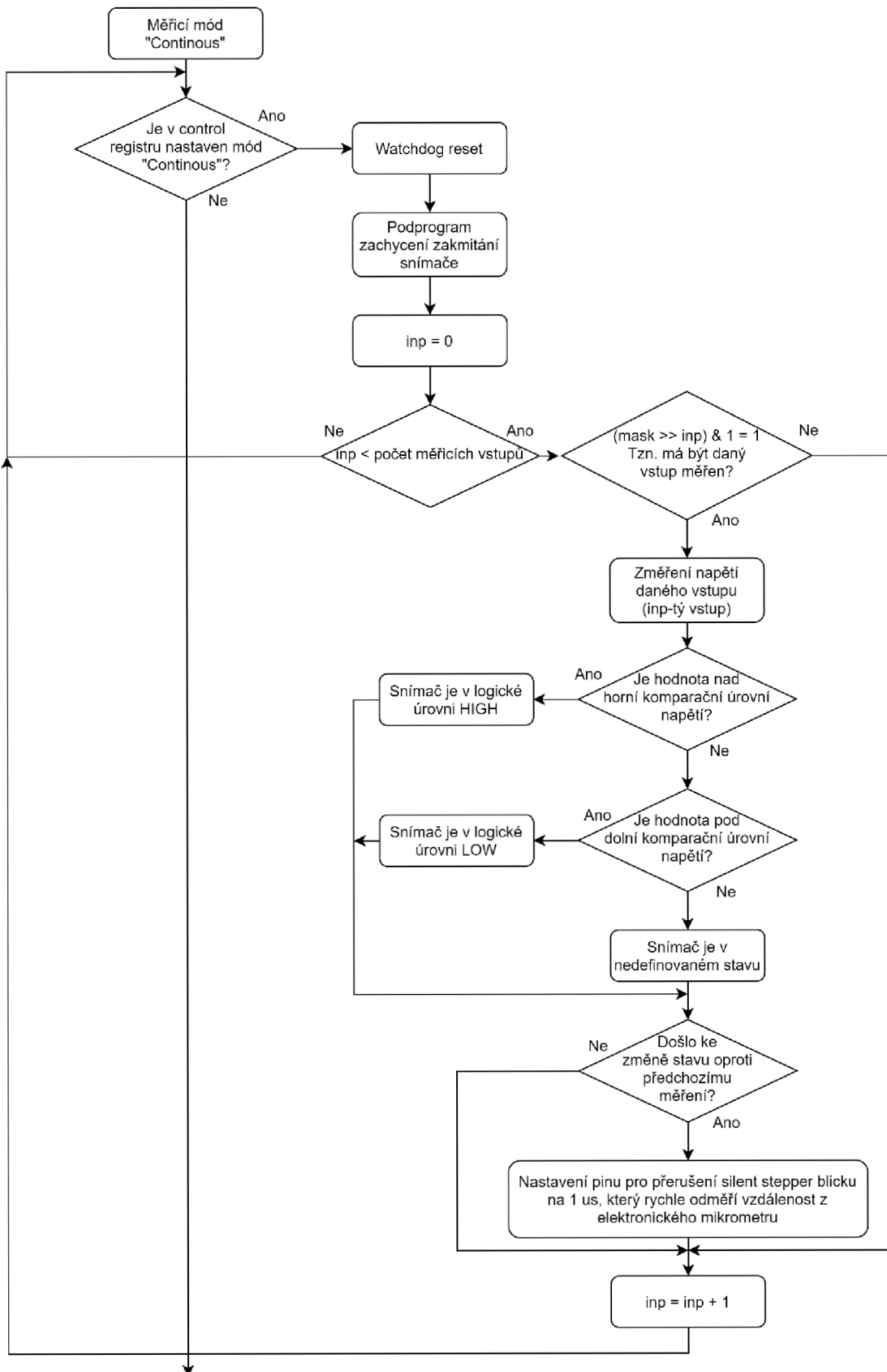
Poslední rozhodovací podmínka je, zda má měřicí karta pracovat v režimu „Continuous“. V tomto režimu je program navržen tak, že se měření spustí společně s posuvem testovacích terčků. Během posuvu se kontinuálně odměřuje napětí na snímačích a jakmile nějaký ze snímačů překloupí do jiné logické úrovně, než ve které se nacházel na začátku, je vyslán tzv. interrupt puls do desky Silent Stepper Brick, která přerušuje svůj běh programu a rychle odměří aktuální stav elektronického mikrometru a spáruje si to s daným snímačem, který překloupil svůj stav. Silent Stepper Brick si z těchto hodnot vytvoří spínací a rozpínací vzdálenost každého z testovaných snímačů. V této smyčce je zároveň i počítadlo pro překmity snímačů, protože takové snímače je třeba vyřadit z měření, aby neovlivňovali měření funkčních snímačů (Vývojový diagram Obrázek 4.5). Nevýhodou tohoto režimu je to, že nezaznamenává konkrétní hodnoty napětí na snímačích. Pro lepší představu je zde uveden Obrázek 4.4.



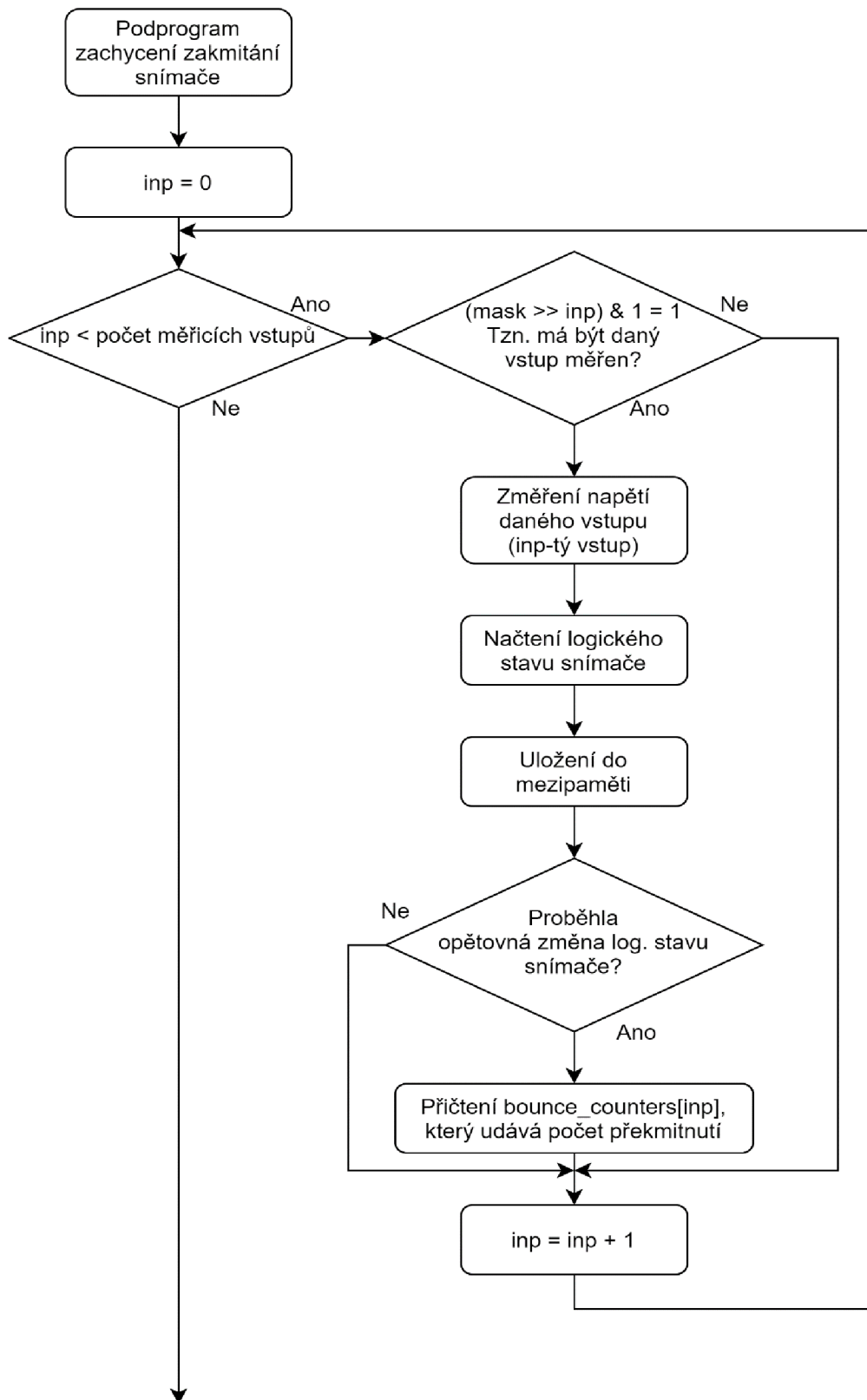
Obrázek 4.2 Hlavní smyčka programu



Obrázek 4.3 Měřicí mód "Single"



Obrázek 4.4 Měřicí mód "Continuous"



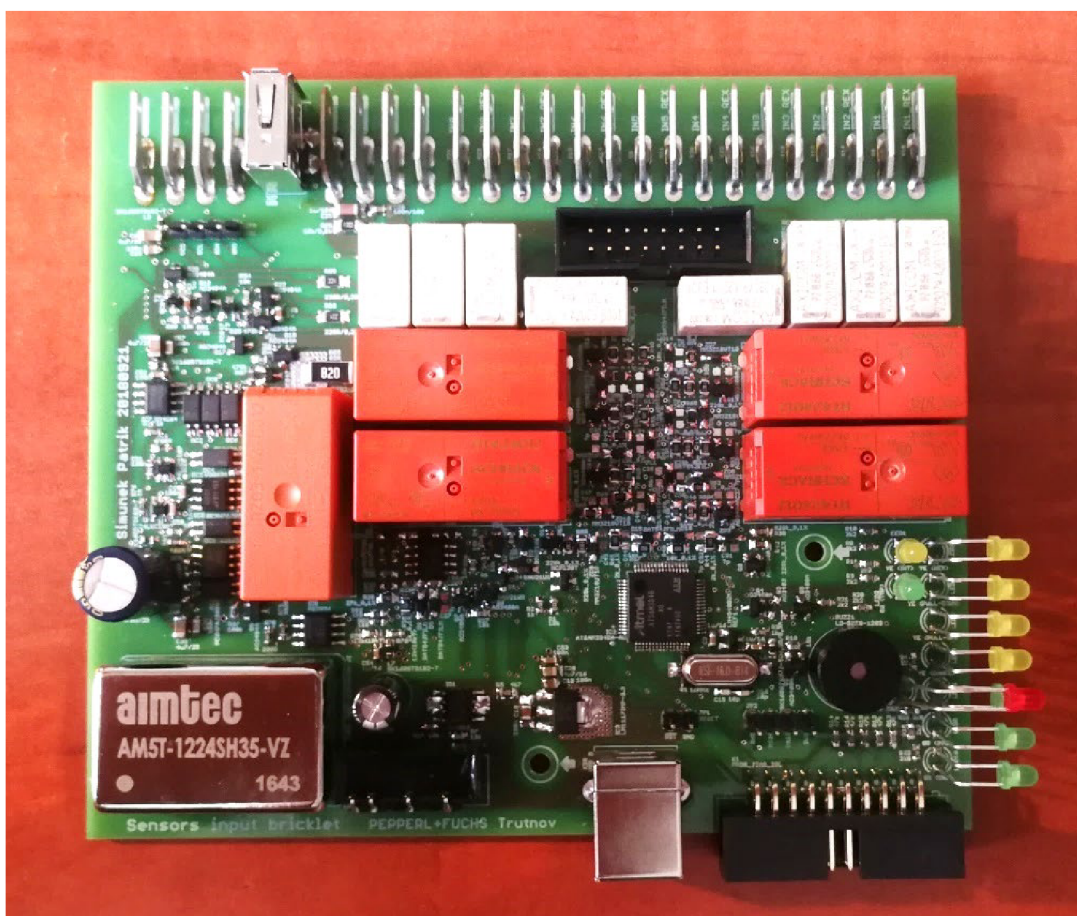
Obrázek 4.5 Zachycení zakmitání snímače

5 REALIZACE MĚŘICÍHO SYSTÉMU

Tato kapitola se bude zabývat realizací měřicího systému. Velkou část komponentů pro prototyp zařízení jsem si vyrobil svépomocí, později pro výrobu více kusů s pomocí kolegů a externích firem.

5.1 Vstupní měřicí karta (Sensors Input Bricklet)

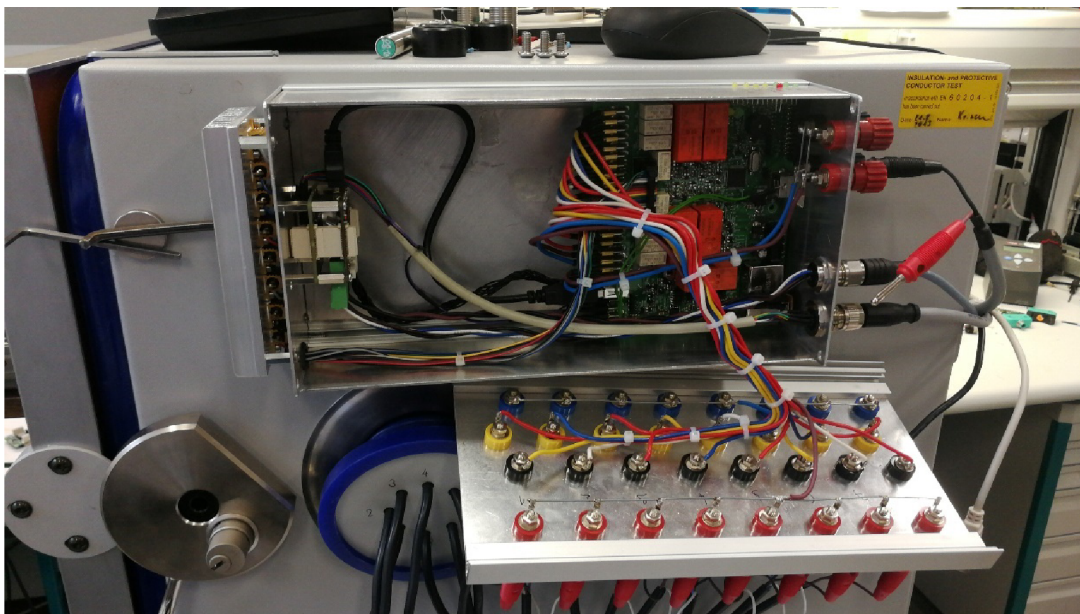
V prvních chvílích se moje práce směřovala především na výrobu DPS pro vstupní měřicí kartu. Deska se nechala vyrobit ve firmě Pragoboard. V průběhu několika prototypů se opravily chyby a nedostatky. První desky jsem si jako autor práce osazoval sám, duplikáty finálních asi 10 verzí kolega. Deska má dva montážní otvory pro šroubky označené šipkou. Skrze ně a distanční sloupky je deska přišroubovaná k zadní stěně krabičky. Pravý a levý okraj desky je zasunut do speciálních rohových profilů krabičky. LED jsou umístěné tak, že je možno je zastrčit do vrchního krytu na kterém jsou popisky. Bohužel časem se zjistilo, že většina komor bude mít měřicí krabici namontovanou na druhé straně, tak se LED v některých případech musí napojit přes kabel na speciální destičku. Spodní strana je osazena 20 pinovým IDC konektorem na kterém je vyveden JTAG pro programování a ladění procesoru. Náhled hotové desky je na Obrázek 5.1.



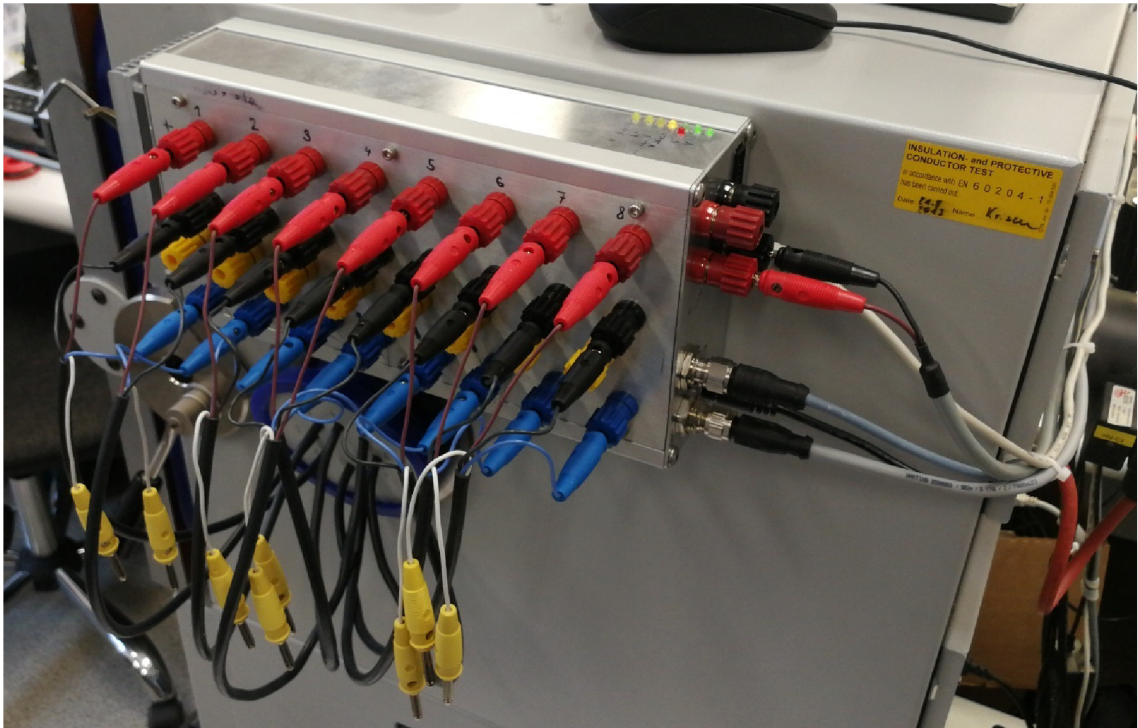
Obrázek 5.1 Měřicí karta (Sensors Input Bricklet)

5.2 Propojení ostatních komponentů

Veškeré komponenty jako vstupní měřicí karta, driver krokového motoru, převodník RS422 pro elektronický mikrometr, zatěžovací rezistory a konektory pro připojení jsou namontovány uvnitř nebo na povrchu hliníkové krabice. Ta je připojena přes USB kabel s počítačem, napájecím zdrojem, krokovým motorem, elektronickým mikrometrem a měřenými snímači pomocí konektorů. Konektory pro mikrometr, napájení, koncový spínač posunu a krokový motor byly vybrány typu pro průmyslové použití. Speciálně kabel pro připojení elektronického mikrometru byl použit se specifikací pro ProfiNET Cat5e [25]. Tento typ kabelu byl zvolen pro minimalizování rušení, které vydává klimatická komora. Jeho použití se v praxi ověřilo. U kabelu pro krokový motor muselo být hleděno na maximální proud který bude na jednotlivých pinech protékat. Propojení měřicí desky a Silent Stepper Bricku je pomocí standardního kabelu pro blicklety od firmy TinkerForge. Měřené snímače se připojují pomocí konektorů typu banánek, aby bylo možné ke konektorům přišroubovat uživatelskou zátěž anebo snadno připojit měřicí přístroj pro specifické způsoby měření. Propojení komponentů je dobře vidět na Obrázek 5.2 a Obrázek 5.3. Obrázek 5.4 a Obrázek 5.5 vyobrazuje finální řešení i s popisky na krabici.



Obrázek 5.2 Rozložené měřicí zařízení



Obrázek 5.3 Prototyp měřicího zařízení a jeho umístění na komoře



Obrázek 5.4 Finální měřicí zařízení – pohled zepředu



Obrázek 5.5 Pohled na konektory

5.3 Porovnání se stávajícím systémem

Po realizaci měřicího systému jsem porovnal základní parametry. Nejzásadnější změna byla u přesnosti měření spínací nebo rozpínací vzdálenosti. I když původní elektronický mikrometr měl vysokou přesnost, díky latenci se v určitých případech dalo hovořit o nepřesnosti 0,1 mm. Tuto nepřesnost můžeme vidět v Tabulka 5.2. Nové zařízení má přesnost měření spínací a rozpínací vzdálenosti 10 μm . Vstupní impedance měřicího přístroje se také zvýšila z 20 k Ω na 500 k Ω . V ostatních parametrech jako je třeba přesnost měření napětí nelze přístroje porovnávat, protože staré řešení nedisponovalo funkcí měření napětí. Původní systém neumožňoval ani nastavit prahy logických úrovní, měl je nastaveny pevně. Nové řešení, které používá AD převodník, tyto možnosti otevírá a díky tomu je stávající měření doplněno o mnoho nových možností. Výsledné parametry zařízení jsou uvedeny v Tabulka 5.1.

Tabulka 5.1 Přesnost zařízení

	Nové řešení	Starý systém
Počet měřicích vstupů	8	8
Přesnost měření vzdálenosti	10 μm	0,1 mm
Vstupní impedance	>500 k Ω	± 20 k Ω
Nízký rozsah měřeného napětí	15 V	-
Vysoký rozsah měřeného napětí	60 V	-
Absolutní přesnost nízkého rozsahu	± 3 mV	-
Absolutní přesnost vysokého rozsahu	± 10 mV	-
Detekce zákmitu snímače (doba zákmitu)	> 200 μs	-

Tabulka 5.2 Porovnání přesnosti zastavení mechanismu

Původní měřicí systém			Nový měřicí systém		
Nastaveno [mm]	Změřeno [mm]	Abs. chyba [mm]	Nastaveno [mm]	Změřeno [mm]	Abs. chyba [mm]
0,000	0,000	0,000	0,00	0,01	0,01
0,050	0,084	0,034	0,05	0,05	0,00
0,100	0,134	0,034	0,10	0,10	0,00
0,150	0,229	0,079	0,15	0,14	-0,01
0,200	0,242	0,042	0,20	0,19	-0,01
0,250	0,284	0,034	0,25	0,24	-0,01
0,300	0,339	0,039	0,30	0,30	0,00
0,350	0,395	0,045	0,35	0,34	-0,01
0,400	0,436	0,036	0,40	0,40	0,00
0,450	0,491	0,041	0,45	0,45	0,00
0,500	0,532	0,032	0,50	0,49	-0,01
0,550	0,586	0,036	0,55	0,54	-0,01
0,600	0,639	0,039	0,60	0,59	-0,01
0,650	0,691	0,041	0,65	0,64	-0,01
0,700	0,735	0,035	0,70	0,70	0,00
0,750	0,783	0,033	0,75	0,74	-0,01
0,800	0,835	0,035	0,80	0,80	0,00
0,850	0,885	0,035	0,85	0,84	-0,01
0,900	0,935	0,035	0,90	0,90	0,00
0,950	0,983	0,033	0,95	0,95	0,00
Maximální chyba:		0,079	Maximální chyba:		0,01

5.4 Používání zařízení

Uživatelské prostředí bylo vyvinuto kolegou se zaměřením na co největší intuitivnost prostředí i při zachování veškerých možných funkcí systému. V této podkapitole bude popsáno, jak se zařízení používá a k čemu slouží jednotlivé části uživatelského prostředí.

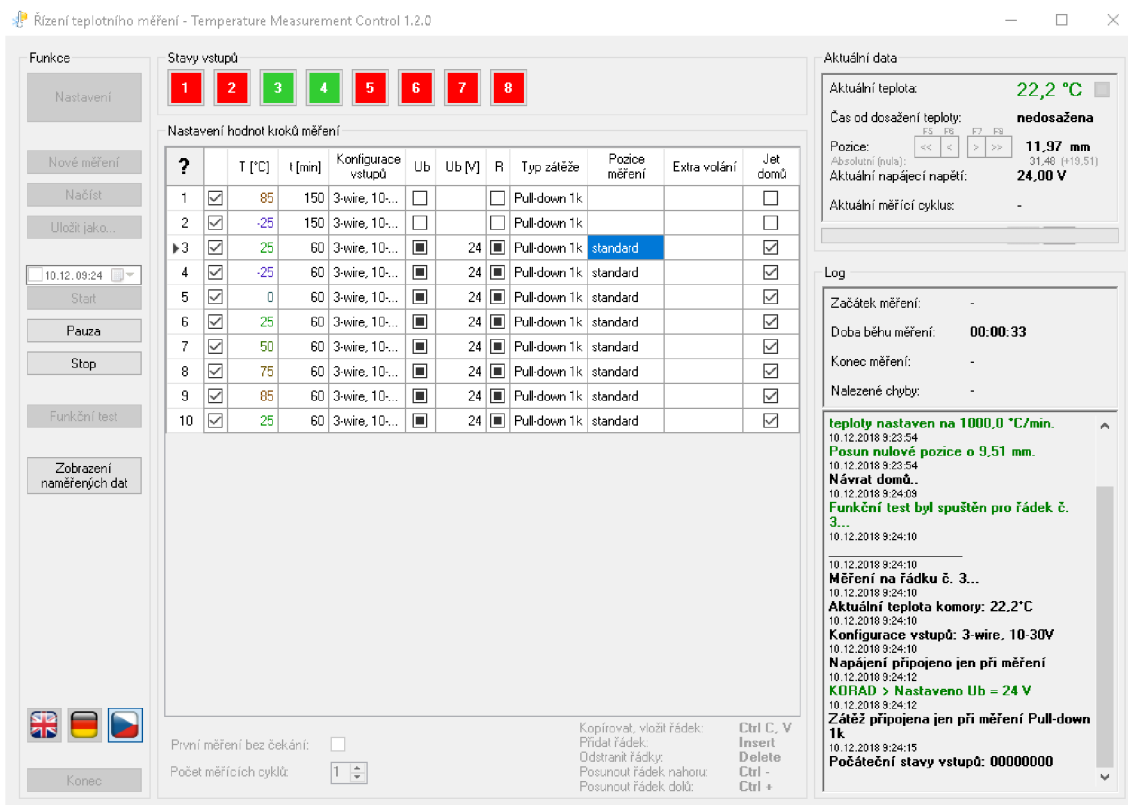
5.4.1 Výchozí okno uživatelského prostředí

Následující text je vztažen k Obrázek 5.6.

- Sekce Funkce
 - V této sekci se nachází základní tlačítka pro ovládání zařízení. Pomocí tlačítka nastavení nastavujeme specifické vlastnosti přístroje a budeme se mu věnovat později. Dále tlačítka Nové měření, Načíst, Uložit jako jsou vztažena k sekci Nastavení hodnot kroků měření. Díky nim si můžeme pracovat s celým listem kroků najednou.
 - Tlačítka Start, Pauza a Stop slouží pro ovládání spouštění měření, lze zde i nastavit odložený start pomocí vybraní doby v kalendáři a zaškrtnutí políčka vlevo od kalendáře.
 - Funkční test provede jedno testovací změření připojených snímačů podle nastavení prvního řádku v poli kroků měření. Uživatel si tím ověří správné připojení testovaných snímačů a nastavení programu.
 - Poslední tlačítka jsou pro zobrazení naměřených dat po odměření, výběr jazyka prostředí a tlačítko pro ukončení programu.
- Sekce Stav vstupů
 - Zobrazuje aktuální stav měřených snímačů. Zelená barva značí logickou úroveň HIGH, červená LOW a šedivá značí že daný vstup nebude měřen.
- Sekce Nastavení hodnot kroků měření
 - V této tabulce se dělí řádky podle nastavené teploty, při které se budou snímače měřit.
 - První sloupec značí pořadové číslo měření, v prvním řádku s vyobrazeným otazníkem je umístěné tlačítko pro nápovědu.
 - Druhý sloupec bez popisku obsahuje pouze zaškrťovací políčko, zda bude dané měření provedeno.
 - T [°C] – nastavená teplota klimatické komory
 - t [min] – Doba potřebná pro aklimatizaci měřených snímačů. To znamená čas v minutách po dosažení teploty před započítáním měření.
 - Konfigurace vstupů – nastavení už předurčených rozhodovacích úrovní pro standardizované typy snímačů. V nastavení pak lze přidat uživatelské rozhodovací úrovně pro měření nestandardních snímačů
 - Ub – zaškrťovací políčko pro ovládání napájení testovaných snímačů. Nezaškrtnuté tlačítko znamená, že napájení nebude v tomto řádku připojeno. Černý čtvereček v políčku značí, že napájení se připojí

pouze při měření snímačů (nedojde k oteplení snímače díky napájení) a fajfka značí že napájení bude připojeno trvale.

- Ub [V] – zde lze nastavit napájecí napětí pro snímače, pokud je připojen a nastaven počítačem ovládaný laboratorní zdroj.
- R – slouží k připojení zátěže k měřeným snímačům. Funkce tlačítka je obdobná jako u tlačítka pro ovládání napájení.
- Typ zátěže – zde nastavíme zátěž pull-up $1k\Omega$ /pull-down $1k\Omega$ anebo externí zátěž připojenou mezi zelenou a volitelnou napájecí svorku na krabici měřicího zařízení.
- Pozice měření – po rozkliknutí vyskočí okno, ve kterém se dá nastavit, zda chcí měřit bez posunu testovacích terčků, nebo standardně v režimu „Continous“ najít spínací a rozpínací vzdálenost a nebo můžu zvolit konstantní krok po kterém se budou testovací terčíky posunovat (měřicí zařízení pracuje v jednotlivých odměrech v režimu „Single“), či list hodnot pozic vzdálenosti terčků od snímačů na kterých potřebuji změřit logické úrovně a nebo hodnoty napětí (opět měřicí zařízení pracuje v jednotlivých odměrech v režimu „Single“).
- Extra volání – umožňuje zavolat uživatelský skript, který se může použít například pro odměr přesným voltmetrem, či pro odměr pomocí RLC můstku.
- Jet domů – zaškrťovací políčko pro „zaparkování“ mechanismu s terčíky po měření.
- Sekce Aktuální data
 - Zde jsou uvedena základní data o měřicím systému, jako například aktuální teplota komory, čas od dosažení teploty, pozice na které jsou testovací terčíky, ovládací tlačítka pro manuální posun mechanismu s terčíky, aktuální napájecí napětí a číslo kroku programu.
- Sekce Log
 - V této sekci je historie měření a časové značky odhadu konce, začátku doby běhu měření.



Obrázek 5.6 Uživatelské prostředí

5.4.2 Okno nastavení měřicího zařízení

Po rozkliknutí tlačítka Nastavení v sekci Funkce se nám otevře okno vyobrazené na Obrázek 5.7. Tato podkapitola se bude věnovat krátkému popisu jednotlivých položek.

- Sekce Obecné
 - Do této sekce zapisujeme jméno měření a komentář který se nám přepíše do souboru který se bude nacházet v uvedené cestě.
- Sekce Nastavení vstupů
 - Tato část slouží k nastavení jednotlivých rozhodovacích úrovní pro logické stavy testovaných snímačů. Jednotlivá nastavení si můžeme uložit, nebo načíst ze souboru. Pod částí nastavení komparačních úrovní si můžeme zvolit rozsah měřeného napětí. Pod horizontální čarou pak je možnost nastavení připojení zatěžovacího rezistoru, napájení a ovládání posunu s testovacími terčíky. Po stisknutí tlačítka Sledovat aktuální stavy se zneaktivní ostatní nastavení a můžeme snímače testovat ručně. Vzhled prostředí se přepne do stavu vyobrazeném na Obrázek 5.8.
- Sekce Zařízení
 - V této sekci jsou uvedena zařízení, která jsou připojena k počítači. Jedná se o krabici samotného měřicího zařízení s driverem krokového motoru, teplotní komoru a napájecí zdroj. Po rozkliknutí Správce

zařízení a výběru Měřicího zařízení P+F StepperMCU and Inputs se pomocí tlačítka upravit dostaneme k samotnému nastavení měřicího zařízení. Tato část bude popsána později.

- U teplotní komory a napájecího zdroje lze zde nastavit čísla komunikačního portu, parametry komunikace a základní příkazy.
- Sekce Další nastavení
 - Manuální nastavení posunu nuly – zařízení pro posunování testovacích terčků si dokáže pomocí měření točivého momentu motoru zjistit polohu namontovaných snímačů a tím zjistit nulovou pozici testovacího terčku (dotek terčku se snímačem). Zaškrtnutím položky si tuto polohu uživatel nastaví ručně a nebude se tedy před prvním měřením zkoušet hledat.
 - Rozsah měření spínací vzdálenosti – tento parametr určuje, jak daleko se budou testovací terčiky vzdalovat od snímače (do jaké maximální rozpínací a spínací vzdálenosti se budou testovat)
 - Další tři parametry jsou nastavení rychlosti mechanismu v mm/s
 - Pokud chceme teplotu v komoře měnit pomaleji, než komora zvládne, zaškrtneme checkbox u gradientu klesání nebo stoupání teploty a nastavíme parametr v °C/min.
 - Na konci vytemperovat komoru – funkce se zaškrťavacím tlačítkem a zadáním teploty aktivuje. Jedná se o konečnou teplotu po doměření všech kroků měření.
 - Čas ustálení konečné teploty – doba po kterou se bude temperovat komora po doměření všech kroků měření. Poté se komora vypne
 - Dále lze nastavit rozsah napájecího napětí který lze nastavit na napájecím zdroji připojeném k počítači.
 - Před koncem zavolat – před ukončením měření lze zavolat uživatelský skript
 - Oddělovač desetinných míst – oddělovač který bude propsán do výsledného souboru s naměřenými hodnotami.
 - Oddělovač sloupců při exportu – pro soubor typu .csv se standardně používá středník.

Nastavení

Obecné

Název:

Komentář:

Cesta k souborům:

Nastavení vstupu

3-wire, 10-30V

Napětový výstup: 3-drát; Napájení 10-30V; Zátěž 1kΩ; Pro většinu snímačů

	Úroveň LOW	Úroveň HIGH	<input type="checkbox"/>	Sledovat stavy
Vstup 1	<input type="text" value="1,00"/> V	<input type="text" value="7,50"/> V	<input type="checkbox"/>	... V <input type="button" value=""/>
Vstup 2	<input type="text" value="1,00"/> V	<input type="text" value="7,50"/> V	<input type="checkbox"/>	... V <input type="button" value=""/>
Vstup 3	<input type="text" value="1,00"/> V	<input type="text" value="7,50"/> V	<input type="checkbox"/>	... V <input type="button" value=""/>
Vstup 4	<input type="text" value="1,00"/> V	<input type="text" value="7,50"/> V	<input type="checkbox"/>	... V <input type="button" value=""/>
Vstup 5	<input type="text" value="1,00"/> V	<input type="text" value="7,50"/> V	<input type="checkbox"/>	... V <input type="button" value=""/>
Vstup 6	<input type="text" value="1,00"/> V	<input type="text" value="7,50"/> V	<input type="checkbox"/>	... V <input type="button" value=""/>
Vstup 7	<input type="text" value="1,00"/> V	<input type="text" value="7,50"/> V	<input type="checkbox"/>	... V <input type="button" value=""/>
Vstup 8	<input type="text" value="1,00"/> V	<input type="text" value="7,50"/> V	<input type="checkbox"/>	... V <input type="button" value=""/>

Napětový rozsah měření: 15 V 70 V

Zatěžovací rezistor:

Připojit vnitřní napájení: V

Napájecí napětí: ... V **Pozice:** ??? mm
Absolutní (nula): ??? (+???)

Zařízení

Krokový motor MCU: **P+F StepperMCU an...**

Teplotní komora: **CTS T-40/25**

Napájecí zdroj: -

Další nastavení

Manuální nastavení posunu nuly: mm

Rozsah měření spínací vzdálenosti: mm

Rychlost při přejezdu: mm/s

Rychlost při hrubém měření: mm/s

Rychlost při přesném měření: mm/s

Gradient klesání teploty komory: °C/min

Gradient stoupání teploty komory: °C/min

Na konci vytemperovat komoru: °C

Čas ustálení konečné teploty: min

Rozsah napájecího napětí (min/max): V

Před koncem zavolat:

Oddělovač desetinných míst:

Oddělovač sloupců při exportu:

Mód ladění

Obrázek 5.7 Okno nastavení měřicího zařízení

Nastavení

Obecné

Název: NEB6-12 NEN10-12

Komentář: nové osazení, nová hmota
1-3: NEBB-6
4-6: NEN-10

Cesta k souborům: \\PFTV-NET\APP1.eu.p.f.biz\Home\ Vybrat

Zařízení

Krokový motor MCU: P+F StepperMCU na...
Teplotní komora: CTS T-40/25
Napájecí zdroj: KORAD

Správce zařízení v systému Správce zařízení

Nastavení vstupů

3-wire, 10-30V Uložit
Voltage output: 3-wire; Power supply 10-30V; Load 1kΩ; For most sensors Uložit jako... Smazat

	Úroveň LOW	Úroveň HIGH	<input type="checkbox"/> Sledovat stav	
Vstup 1	1,00 V	7,50 V	<input type="checkbox"/>	0,00 V
Vstup 2	1,00 V	7,50 V	<input type="checkbox"/>	0,00 V
Vstup 3	1,00 V	7,50 V	<input checked="" type="checkbox"/>	23,38 V
Vstup 4	1,00 V	7,50 V	<input checked="" type="checkbox"/>	23,36 V
Vstup 5	1,00 V	7,50 V	<input type="checkbox"/>	0,00 V
Vstup 6	1,00 V	7,50 V	<input type="checkbox"/>	0,00 V
Vstup 7	1,00 V	7,50 V	<input type="checkbox"/>	0,00 V
Vstup 8	1,00 V	7,50 V	<input type="checkbox"/>	0,00 V

Napěťový rozsah měření: 15V 70V Sledovat aktuální stav

Zatěžovací rezistor: Bez zátěže Pozice: 5,87 mm
Absolutní (nula): 25,38 (+19,51)
Napájecí napětí: 24,00 V

Připojit vnitřní napájení:

Další nastavení

Manuální nastavení posunu nuly: 9,51 mm
Rozsah měření spínací vzdálenosti: 20 mm
Rychlost při přejezdu: 4,00 mm/s
Rychlost při hrubém měření: 1,00 mm/s
Rychlost při přesném měření: 0,25 mm/s
Gradient klesání teploty komory: 6,5 °C/min
Gradient stoupání teploty komory: 8,0 °C/min
Na konci vytemperovat komoru: 25 °C
Čas ustálení konečné teploty: 0 min
Rozsah napájecího napětí (min/max): 0 70 V
Před koncem zavolat: Vybrat
Oddělovač desetinných míst: ', ' v
Oddělovač sloupců při exportu: '; ' v

OK Zrušit

Obrázek 5.8 Okno nastavení měřicího zařízení při sledování stavů snímačů

5.4.3 Nastavení a kalibrace měřicího zařízení

Před prvním měřením je třeba zařízení nastavit. Ve správci zařízení po kliknutí na úpravu P+F StepperMCU and Inputs se nám zobrazí Editor zařízení (Obrázek 5.9). Zde je třeba konfigurovat UID Silent Stepper Bricku a Sensors Input Bricketu. Po správném nainstalování ovladačů pro připojení bricků TinkerForge a připojení USB lze tyto údaje vyčistit automaticky. Díky nepřesnostem v napěťových děličích na měřicích vstupech je potřeba každý vstup zvlášť zkalibrovat pomocí nezvlněného DC stroje a přesným voltmetrem. Pro kalibraci klikneme na tlačítko Kalibrace AD převodníků vstupů. Tato funkce nám otevře průvodce kalibrací. U měřicího zařízení je třeba spojit veškeré měřicí vstupy dohromady (i vstup pro napájecí zdroj) a připojit nezvlněný DC napájecí zdroj společně s přesným odměřovacím DC voltmetrem. Během kalibrace postupujeme podle pokynů průvodce kalibrací (Obrázek 5.10). Ten nás ve třech krocích žádá o připojení napětí mezi 1 V až 1,5 V pro kalibraci offsetu, dále 14,5 V až 15 V pro kalibraci nízkého rozsahu měření a 60 V až 65 V pro kalibraci vysokého rozsahu měření. Do zadávacího pole pak uživatel zadá přesnou hodnotu odměřenou na DC voltmetru. V dalším kroku je pak možnost kontroly zesílení a offsetů jednotlivých vstupů. Tyto hodnoty by se neměly příliš lišit od ostatních vstupů. Pokud se nějaké hodnoty liší od ostatních, znamená to, že je daný vstup buď poškozen anebo špatně připojen. Poslední část je uložení hodnot do

FLASH paměti měřicího mikrokontroléru.

Editor zařízení

Rozhraní

Typ zařízení: Krokový motor MCU

Název zařízení: P+F StepperMCU and Inputs

Adresa zařízení: localhost:4223

Nastavit

Běžné příkazy

Další nastavení

Oddělovač desetinných míst (string/double): . ,

Vlastnosti

Maximální proud fází motoru: 1200 mA

Napětový rozsah: 15 V

70 V

Načíst ze zařízení

Konfigurace a kalibrace

UID Silent Stepper Brick: 6JKxHj

UID Sensors Input Bricklet: 7xwQ9g

Nastavit automaticky

Kalibrace pohonu

Kalibrace AD převodníků vstupů

Testovací terminál

Testovaný příkaz:

Zkusit

Uložit jako... Uložit Zrušit

Obrázek 5.9 Editor nastavení

Kalibrace AD převodníků vstupů

Kalibrace nízkého rozsahu

Připojte na měřicí vstupy napájecí napětí do:
14,5 V

Zadejte přesnou hodnotu skutečně připojeného napětí:
14,500 V

Poté stiskněte tlačítko pokračovat...

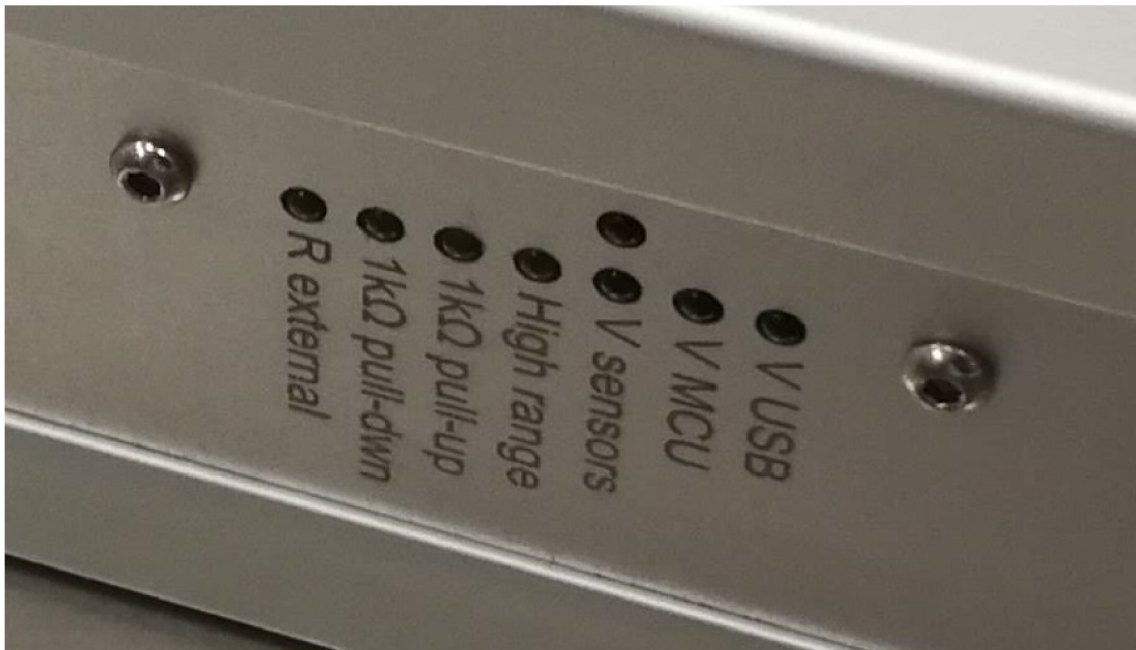
Pokračovat Zrušit

Obrázek 5.10 Průvodce kalibrací AD převodníku vstupů

5.4.4 Indikační LED

Na krabici měřicího přístroje se nachází indikační LED (Obrázek 5.11), které uživateli předávají informaci o aktuálním stavu zařízení.

- V USB – zelená kontrolka indikuje přítomnost napájení na USB pro Silent Stepper Brick.
- V MCU – zelená kontrolka indikuje přítomnost napájení měřicí karty. Ta je napájena z 12 V DC zdroje.
- V sensors – červená kontrolka společně s bzučákem indikuje chybně připojené napájení pro senzory. To by mělo být v rozpětí od -0,3 V do 70 V. Zelená kontrolka indikuje připojení napájecího zdroje k testovaným snímačům.
- High range – žlutá kontrolka indikuje nastavený vysoký rozsah do 70 V
- 1k Ω pull-up – žlutá kontrolka indikuje připojený interní pull-up rezistor
- 1k Ω pull-dwn – žlutá kontrolka indikuje připojený interní pull-down rezistor
- R external – žlutá kontrolka indikuje připojení externí uživatelské zátěže



Obrázek 5.11 Indikační LED

ZÁVĚR

Během této diplomové práce byl analyzován stávající měřicí systém. Jeho hlavním nedostatkem je propojení elektronického mikrometru a měřicí periferie s ovládáním krokového motoru skrze počítač. To razantně zvyšuje latenci (prodlevu) systému, což má za následek velmi nepřesné měření spínací nebo rozpínací vzdálenosti. Tento problém byl na starém zařízení řešen odečítáním, nebo přičítáním konstanty k dané vzdálenosti, což ale závisí na rychlosti posunu terčíku. Další problém je neschopnost zařízení zastavit posuv testovacích terčíků v konkrétní vzdálenosti. Dále nemožnost nastavení rozhodovacích úrovní napětí pro logické stavy LOW a HIGH. To znesnadňuje použití různých typů snímačů například typu NAMUR nebo standardních typů napájených jiným napájecím napětím.

Řešením uváděných problémů je návrh nového konceptu měřicího zařízení v rámci této diplomové práce. Tento návrh je založen na otevřené platformě TinkerForge, která je ve firmě standardem na podobné interní projekty. Nejzásadnější změna byla u přesnosti měření spínací nebo rozpínací vzdálenosti. I když původní elektronický mikrometr měl vysokou přesnost, díky latenci se v určitých případech dalo hovořit o nepřesnosti 0,1 mm. Nové zařízení má přesnost měření spínací a rozpínací vzdálenosti 10 μm . Vstupní impedance měřicího přístroje se také zvýšila z 20 $\text{k}\Omega$ na 500 $\text{k}\Omega$. V ostatních parametrech jako je třeba přesnost měření napětí nelze přístroje porovnávat, protože staré řešení nedisponovalo funkcí měření napětí. Nové řešení, které používá AD převodník, tyto možnosti otevírá a díky tomu je stávající měření doplněno o mnoho nových možností. Těmi jsou například měření snímačů typu NAMUR a snímačů o jiném než 24 V napájení. V rámci úprav se zařízení doplnilo o automatické připojení jak uživatelských, tak standardních zátěží pro měřené snímače. Napájecí svorky pro snímače mají nyní ochranu proti špatné manipulaci s napájecím zdrojem a umožňují ke snímačům připojit napájení pouze během spuštěného měřicího procesu. To umožní lepší měření snímačů ve velmi nízkých teplotách, kdy se napájený snímač může sám zahřívat a tím ovlivnit měření. Výsledné realizované zařízení je již provozováno v Trutnovském vývojovém centru a nyní má za sebou stovky úspěšných měření.

LITERATURA

- [1] „Pepperl + Fuchs Internacional,“ [Online]. Dostupné z: https://www.pepperl-fuchs.com/czech_republic/cs/index.htm?countryseid=-1. [Cit. 3. prosinec 2018].
- [2] „Pepperl + Fuchs - Wikipedia,“ [Online]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pepperl%2BFuchs>. [Cit. 3. prosinec 2018].
- [3] „automatizace.hw.cz,“ [Online]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>. [Cit. 3. prosinec 2018].
- [4] W. Y. Du, v *Resistive, Capacitive, Inductive, and Magnetic Sensor Technologies*, SERIES IN SENSORS, 2015, pp. 153-220.
- [5] „Teplotní součinitel elektrického odporu - Wikipedie,“ [Online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplotn%C3%AD_sou%C4%8Dinitel_elektrick%C3%A9ho_odporu. [Cit. 5. prosinec 2018].
- [6] AWX, „C0G (NP0) Dielectric - General specifications,“ 2018. [Online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/28556c2a4dfa60995042b7f5f1edb9ed/AVX-C0G.pdf>. [Cit. 10. prosinec 2018].
- [7] Wikipedia, „Wikipedia - teplotní roztažnost,“ [Online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplotn%C3%AD_rozta%C5%BEnost. [Cit. 10. prosinec 2018].
- [8] TinkerForge, „TinkerForge - Silent Stepper Brick,“ [Online]. Dostupné z: https://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricks/Silent_Stepper_Brick.html#silent-stepper-brick. [Cit. 10. prosinec 2018].
- [9] TinkerForge, „<https://www.tinkerforge.com/en/>,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.tinkerforge.com/en/>. [Cit. 10. prosinec 2018].
- [10] TinkerForge, „TinkerForge - Bricklets,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricklets/Bricklets.html>. [Cit. 10. prosinec 2018].
- [11] TinkerForge, „TinkerForge - Analog In Bricklet,“ [Online]. Dostupné z: https://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricklets/Analog_In_V3.html#analog-in-v3-bricklet. [Cit. 10. prosinec 2018].
- [12] RLS, „LinAce - absolute linear shaft encoder,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.rls.si/en/linace-absolute-linear-shaft-encoder>. [Cit. 10. prosinec 2018].
- [13] CTS, „CTS,“ [Online]. Dostupné z: https://www.cts-umweltsimulation.de/images/produkte/ps-baureihe-t/download/CTS_Temperature_Test_Chambers_Bench_Top_Version_eng.pdf. [Cit. 10. prosinec 2018].

- [14] T. instruments, „LM4040-N/-Q1 Precision Micropower Shunt Voltage Reference - datasheet,“ [Online]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm4040-n.pdf>. [Cit. 11 Prosinec 2018].
- [15] NEXPERIA, „TL431 family - datasheet,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/723f0f7a0bd12a6b374a7cdb44146958/TL431AIDBZR.215.pdf>. [Cit. 11 Prosinec 2018].
- [16] A. (ST), „ATxmega32E5 / ATxmega16E5 / ATxmega8E5 datasheet,“ Srpen 2016. [Online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/17efb40d8176d4efdc016c70a2f3f360/ATXMEGA16E5-DTE.pdf>. [Cit. 2018 Prosinec 11].
- [17] NXP, "I2C-bus specification and user manual," 4 (Rev.6) Duben 2014. [Online]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>. [Accessed 11 Prosinec 2018].
- [18] Microchip - Atmel, "microchip.com," 13 Únor 2015. [Online]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-6500-32-bit-Cortex-M3-Microcontroller-SAM3S4-SAM3S2-SAM3S1_Datasheet.pdf. [Accessed 11 Prosinec 2018].
- [19] NXP, „Opto-electrical isolation of the I2C-bus,“ 12 Listopad 2010. [Online]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN10364.pdf>. [Cit. 11 Prosinec 2018].
- [20] ADAM TECH, [Online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/Document/cb1babb535b456e07654a32ff053d2a5/FCS-XX-SG.pdf>. [Cit. 11 Prosinec 2018].
- [21] „Maxim,“ 9 2014. [Online]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1487-MAX491.pdf>.
- [22] O. Semiconductor, 2008. [Online]. Dostupné z: <https://www.mouser.com/datasheet/2/149/FODM8071-1008983.pdf>.
- [23] T. power, 4 5 2020. [Online]. Dostupné z: <https://www.tracopower.com/products/trs2.pdf>.
- [24] „3MARKET - oboustranná lepicí páska,“ [Online]. Dostupné z: <https://shop.arango.cz/cz-detail-1107869-4026-montazni-paska-3m-12mmx33mx1-6mm-vhodna-k-lepeni-zrcadel.html>.
- [25] RLS, 2015. [Online]. Dostupné z: https://www.rls.si/fileuploader/download/download/?d=0&file=custom%2Fupload%2FData-sheet-LinACE_preliminary_product_info.pdf.
- [26] TinkerForge, „TinkerForge Bricklets list,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.tinkerforge.com/en/doc/Hardware/Bricklets/Bricklets.html>. [Cit. 01 05 2020].
- [27] Microchip, „ASF Wizard,“ [Online]. Dostupné z:

<https://www.microchip.com/mplab/avr-support/advanced-software-framework>.
[Cit. 2020].

- [28] Microchip, „Atmel | SMART ARM-based Flash MCU,“ 2015 2 13. [Online].
Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-6500-32-bit-Cortex-M3-Microcontroller-SAM3S4-SAM3S2-SAM3S1_Datasheet.pdf.
- [29] Siemens, „Industrial Ethernet FC TP Standard cable,“ 01 2020. [Online]. Dostupné z:
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/?mlfb=6XV1840-2AH10>.

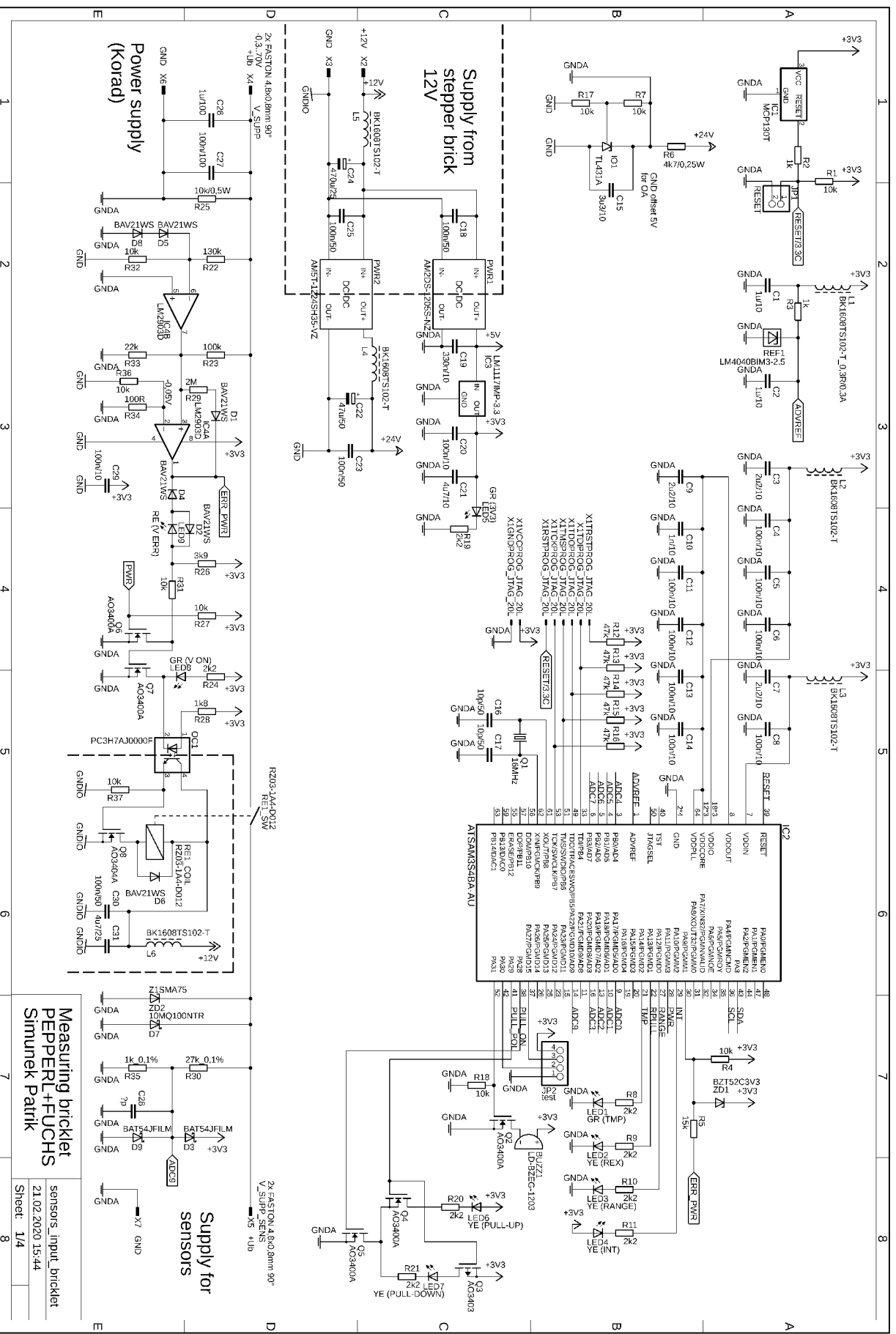
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

I2C	Druh sériové komunikace
MOSFET	Metal oxide semiconductor field effect transistor, provedení tranzistoru
SMD	Surface mounted device, součástka pro povrchovou montáž
IO	Integrovaný obvod
DPS	Deska plošného spoje
DC	Direct current, stejnosměrný proud
OZ	Operační zesilovač
C0G	Druh dielektrika s malou tepelnou závislostí
NP0	Druh dielektrika s malou tepelnou závislostí
HIGH	Vysoká úroveň logického stavu
LOW	Nízká úroveň logického stavu
PC	Personální počítač
RS232	Druh sériové komunikace
RS422	Druh sériové komunikace
NAMUR	Druh induktivního snímače do výbušného prostředí
PNP	Typ průmyslového snímače – v aktivním stavu výstup spojen s plusem
NPN	Typ prům. snímače – v aktivním stavu výstup spojen s mínusem
A/D	Analogově digitální převodník
OS	Operační systém
FLOAT	způsob uložení proměnné do paměti (desetinné číslo)
GND	Zem – 0 V
GUI	Uživatelské prostředí (grafická část programu)
PULL-UP	Rezistor připojený mezi výstup a kladnou napájecí svorku
PULL-DOWN	Rezistor připojený mezi výstup a zápornou napájecí svorku
JTAG	Programovací a debugovací rozhraní pro Atmel
LED	Světlo emitující dioda
Ub	Napájecí napětí pro snímače
IN1..IN8	Měřicí vstupy

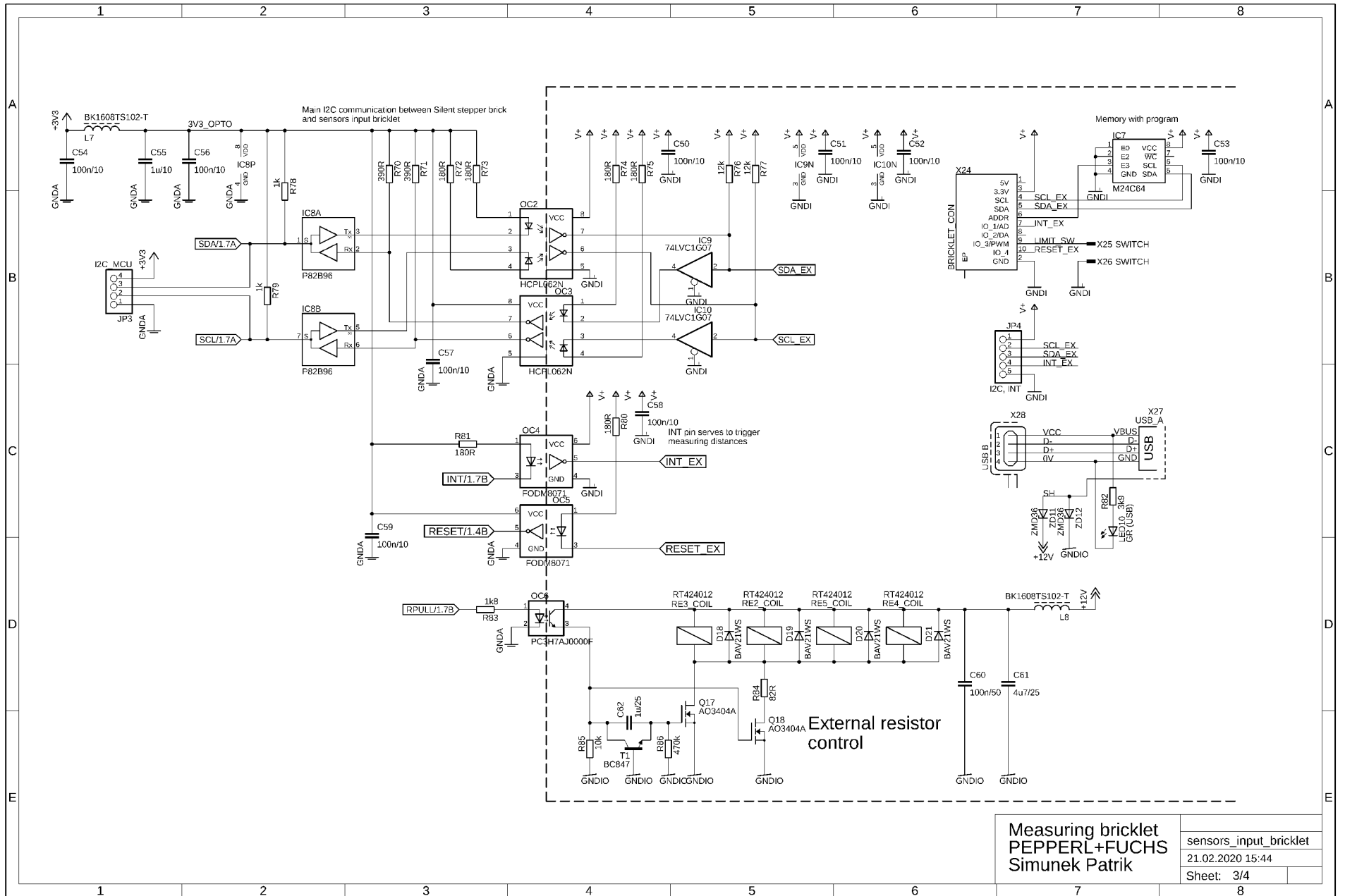
PŘÍLOHY

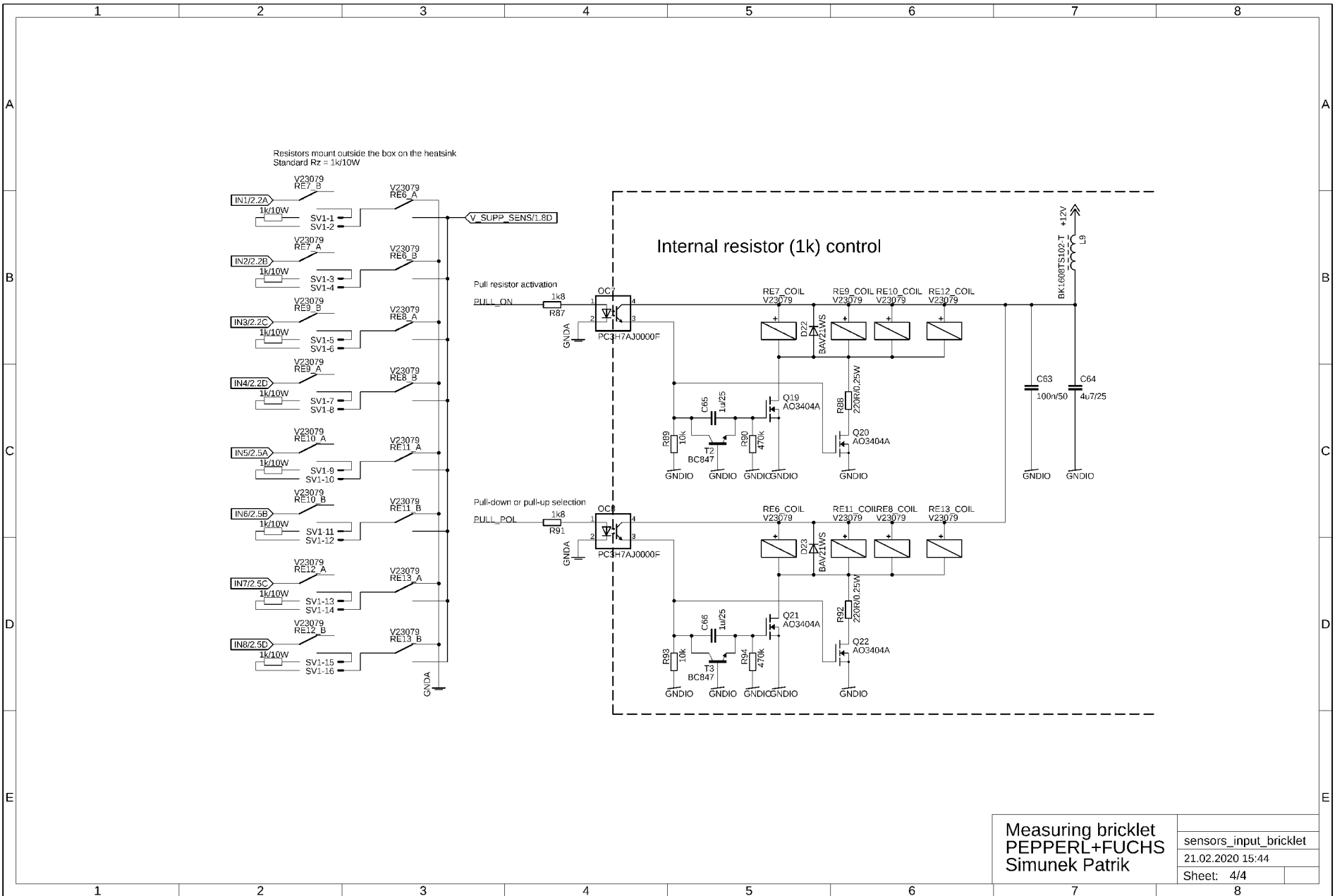
A MĚŘICÍ KARTA (SENSORS INPUT BRICKLET)

A.1 Schéma zapojení list 1

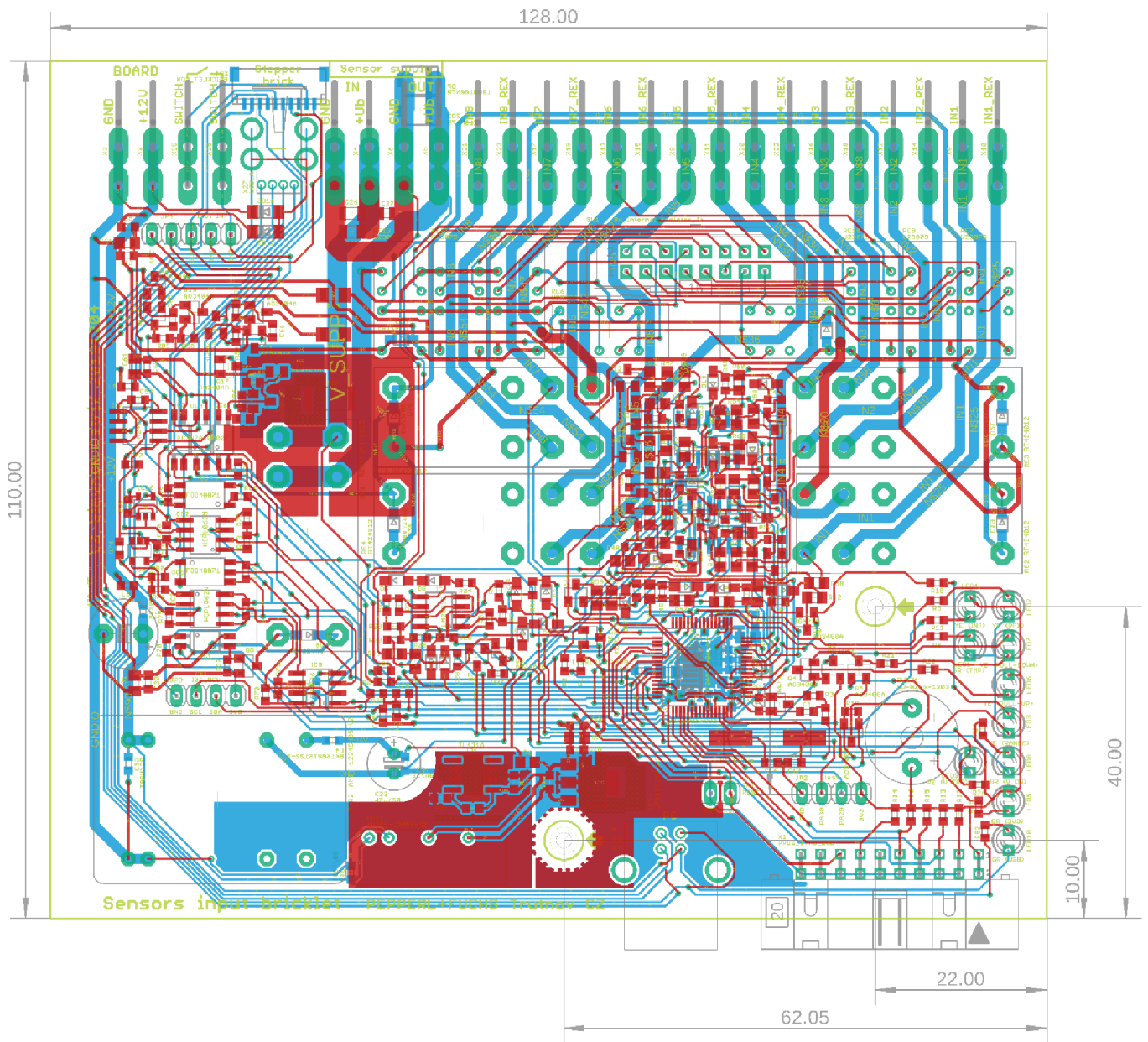


Measuring bricklet
PEPPERL+FUCHS
Simunek Patrik
sensors_input_bricklet
21.02.2020 15:44
Sheet: 1/4

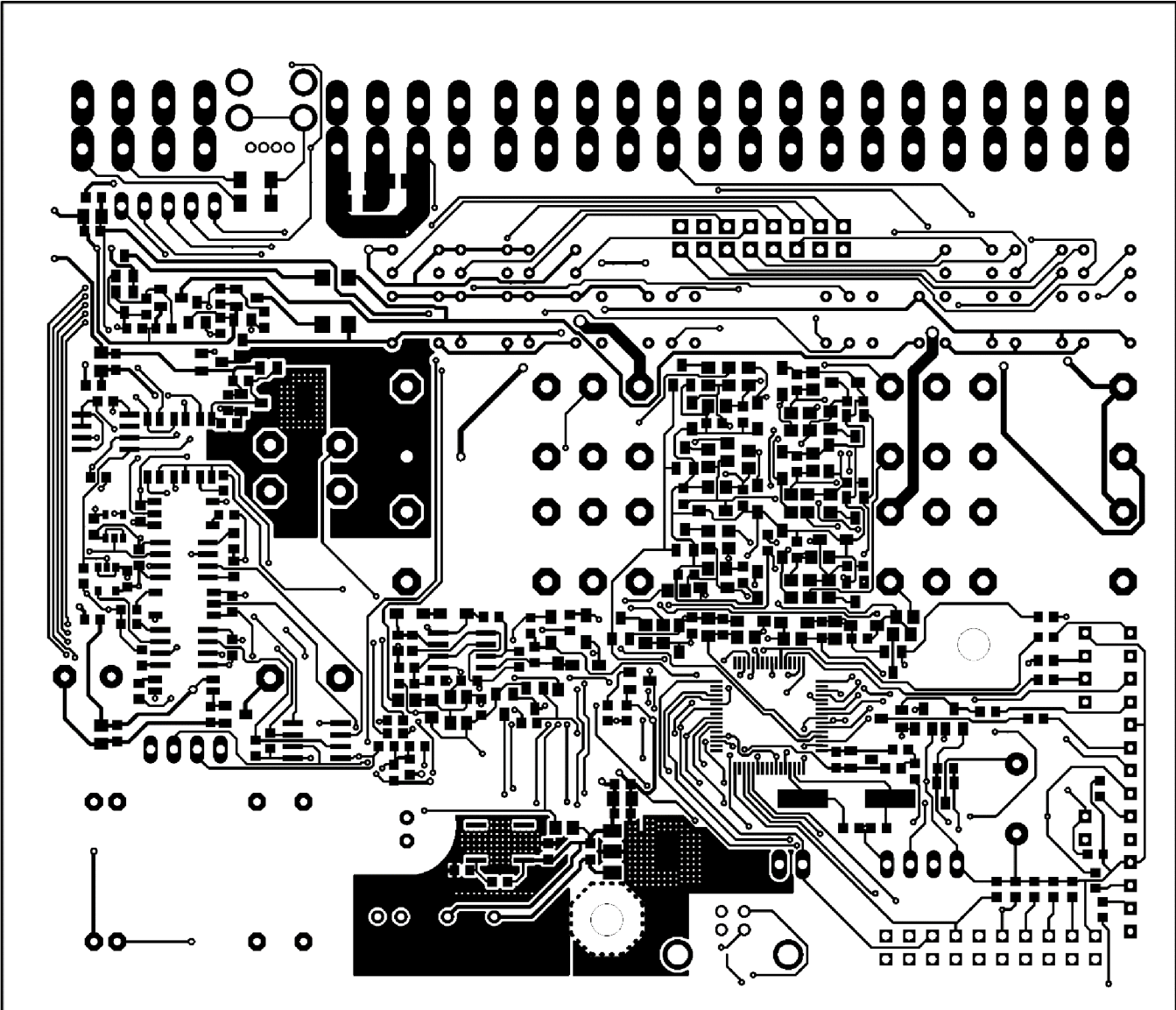




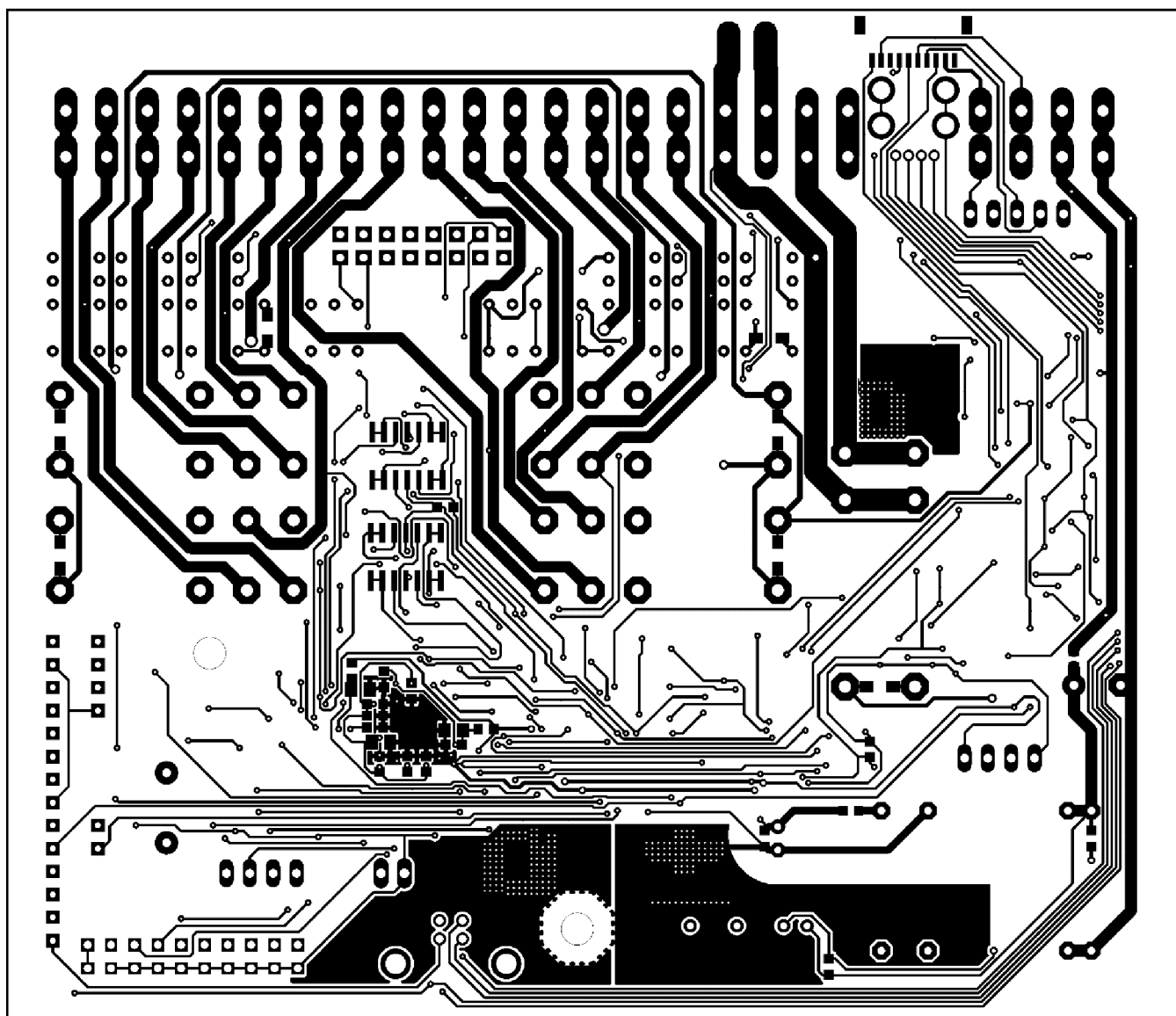
A.5 Náhled desky plošného spoje s rozměry



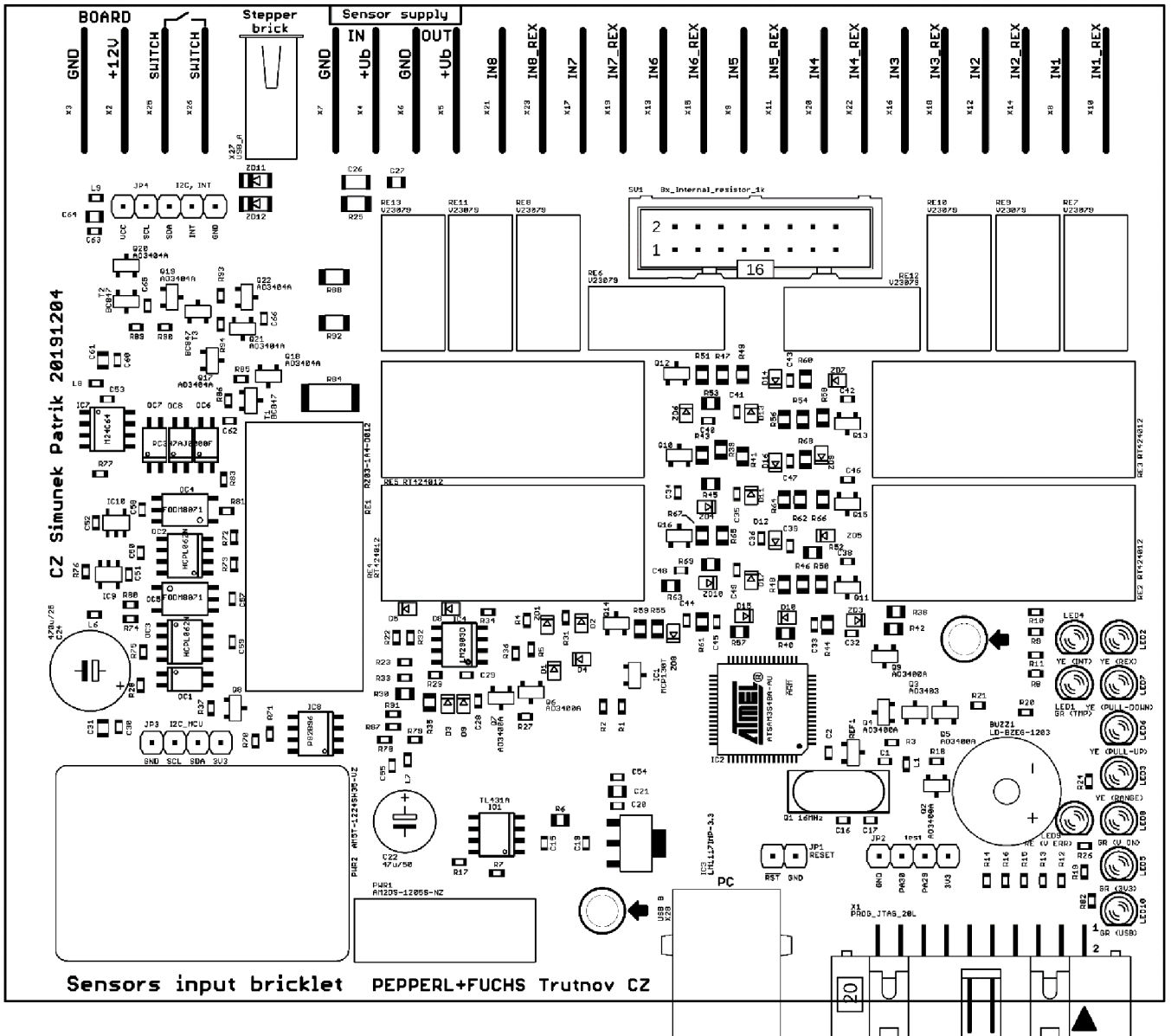
A.6 Vrchní strana desky plošného spoje



A.7 Spodní strana desky plošného spoje



A.8 Osazovací plán vrchní strany



A.10 Seznam použitých součástek

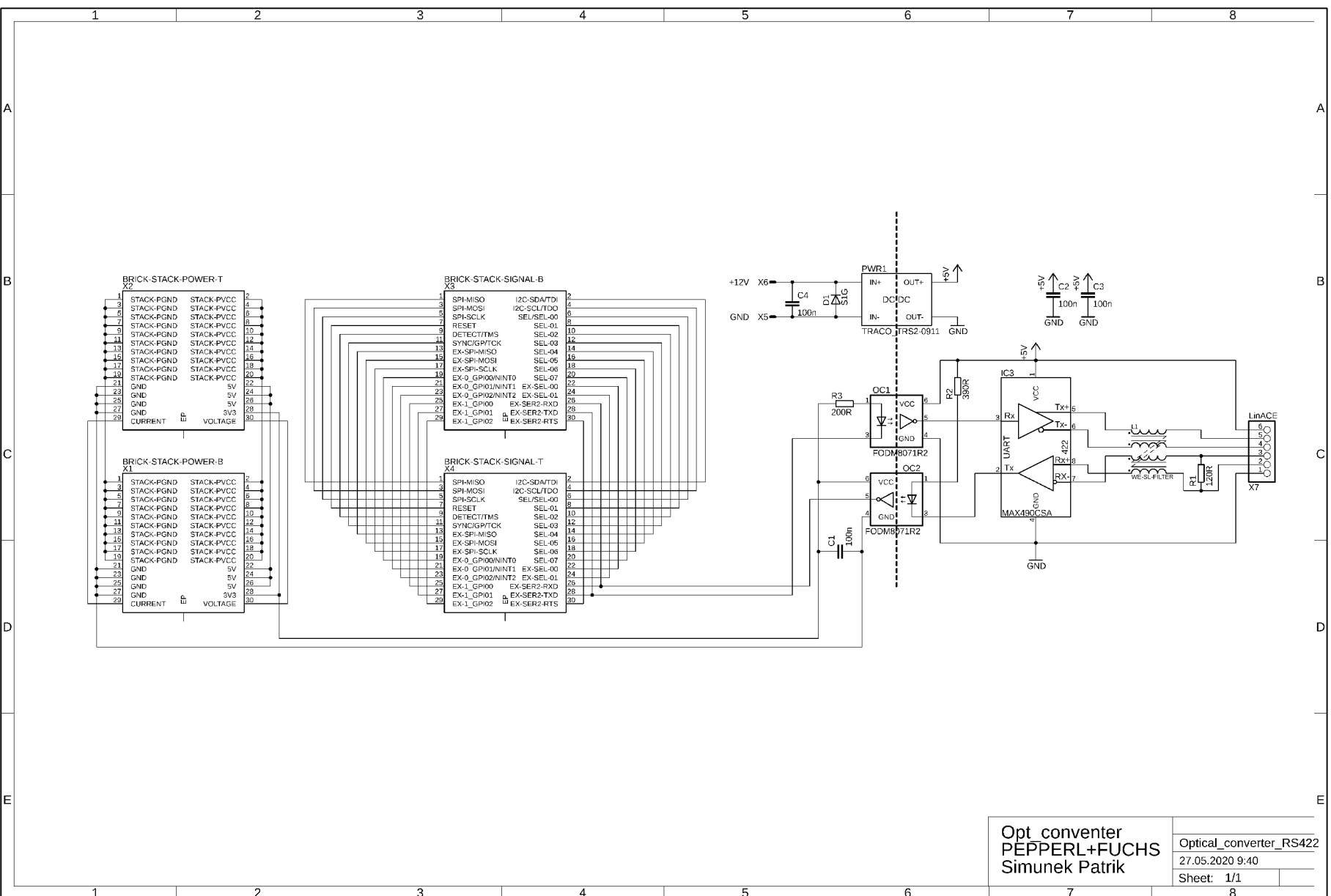
Počet	Součástka	Hodnota	Pouzdro	Popis
19	C4, C5, C6, C8, C11, C12, C13, C14, C20, C29, C50, C51, C52, C53, C54, C56, C57, C58, C59	100n/10	C0603K	C-EUC0603K
13	R1, R4, R7, R17, R18, R27, R31, R32, R36, R37, R85, R89, R93	10k	R0603	R-EU_R0603
13	Q2, Q4, Q5, Q6, Q7, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15, Q16	AO3400A	SOT23	N-MOSFET
12	D1, D2, D4, D5, D6, D8, D18, D19, D20, D21, D22, D23	BAV21WS	SOD323	DIODE";SOD323-W"
10	D3, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16, D17	BAT54JFILM	SOD323-W	DIODE_SCHOTTKY323
8	C18, C23, C25, C30, C36, C37, C60, C63	100n/50	C0603K	C-EUC0603K
8	R40, R41, R48, R49, R56, R57, R64, R65	10k_0,1%	R0805	R-EU_R0805
8	R42, R43, R50, R51, R58, R59, R66, R67	220k_0,1%	R0805	R-EU_R0805
8	R8, R9, R10, R11, R19, R20, R21, R24	2k2	R0603	R-EU_R0603
8	R44, R45, R52, R53, R60, R61, R68, R69	2k_0,1%	R0805	R-EU_R0805
8	R38, R39, R46, R47, R54, R55, R62, R63	820k_0,1%	R0805	R-EU_R0805
8	L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9	BK1608TS102-T	R0603	INDUCTOR_FERITE
8	ZD3, ZD4, ZD5, ZD6, ZD7, ZD8, ZD9, ZD10	MM3Z18VT1G	SOD323-W	DIODE_ZENER
8	RE6, RE7, RE8, RE9, RE10, RE11, RE12, RE13	V23079	V23079	V23079
7	Q8, Q17, Q18, Q19, Q20, Q21, Q22	AO3404A	SOT23	N-MOSFET
6	R72, R73, R74, R75, R80, R81	180R	R0603	R-EU_R0603
5	R12, R13, R14, R15, R16	47k	R0603	R-EU_R0603
4	R2, R3, R78, R79	1k	R0603	R-EU_R0603
4	R28, R83, R87, R91	1k8	R0603	R-EU_R0603
4	OC1, OC6, OC7, OC8	PC3H7AJ0000F	SO4	OPTOCOUPLER
4	RE2, RE3, RE4, RE5	RT424012	RT424005	RT424005
3	C1, C2, C55	1u/10	C0603K	C-EUC0603K
3	C62, C65, C66	1u/25	C0603K	C-EUC0603K
3	C3, C7, C9	2u2/10	C0805K	C-EUC0805K
3	R86, R90, R94	470k	R0603	R-EU_R0603
3	C31, C61, C64	4u7/25	C0805K	C-EUC0805K
3	T1, T2, T3	BC847	SOT23	BJT_NPN SOT23
3	X3, X6, X7	GND	F5.0D1.3L13.5	CON-FASTON-2
2	X4, X5	Ub	F5.0D1.3L13.5	CON-FASTON-2

Počet	Součástka	Hodnota	Pouzdro	Popis
2	C16, C17	10p/50	C0603K	C-EUC0603K
2	R76, R77	12k	R0603	R-EU_R0603
2	R88, R92	220R/0,25W	R1206	R-EU_R1206
2	R70, R71	390R	R0603	R-EU_R0603
2	R26, R82	3k9	R0603	R-EU_R0603
2	IC9, IC10	74LVC1G07	SOT23-5	741G07
2	OC4, OC5	FODM8071	SO6-5	TLP2348
2	OC2, OC3	HCPL062N	SO8	VO0631
2	X25, X26	SWITCH	F5.0D1.3L13.5	CON-FASTON-2
2	IC5, IC6	TL084D	SO14	TL084D
2	ZD11, ZD12	ZMD36	MINIMELF	DIODE_ZENER2"
1	X2	+12V	F5.0D1.3L13.5	CON-FASTON-2
1	R34	100R	R0603	R-EU_R0603
1	R23	100k	R0603	R-EU_R0603
1	C27	100n/100	C0805K	C-EUC0805K
1	D7	10MQ100NTR	SMA	DIODE_SCHOTTKY1
1	R25	10k/0,5W	R1206	R-EU_R1206
1	R22	130k	R0603	R-EU_R0603
1	R5	15k	R0603	R-EU_R0603
1	Q1	16MHz	CSM-7X-DU	CSM-7X-DU
1	R35	1k_0,1%	R0805	R-EU_R0805
1	C10	1n/10	C0603K	C-EUC0603K
1	C26	1u/100	C1206K	C-EUC1206K
1	R33	22k	R0603	R-EU_R0603
1	R30	27k_0,1%	R0805	R-EU_R0805
1	R29	2M	R0603	R-EU_R0603
1	C19	330n/10	C0603K	C-EUC0603K
1	C15	3u3/10	C0603K	C-EUC0603K
1	C24	470u/25	E5-8,5	CPOL-EUE5-8.5
1	C22	47u/50	E2,5-7	CPOL-EUE2.5-7
1	R6	4k7/0,25W	R0805	R-EU_R0805
1	C21	4u7/10	C0805K	C-EUC0805K
1	R84	82R	R2512	R-EU_R2512
1	SV1	8x_resistor_1k	ML16	ML16E
1	PWR1	AM2DS-1205S-NZ	AIMTEC_AM2DS-NZ	DC-DC_AM2DS-NZ
1	PWR2	AM5T-1224SH35	AIMTEC_AM5V-VZ	DC-DC_AM5T-VZ
1	Q3	AO3403	SOT23	P-MOSFET
1	IC2	ATSAM3S4BA-AU	QFP50P-64N	ATSAM3S4BA-AU
1	L1	BK1608TS102-T	R0603	INDUCTOR_FERITE
1	X24	BRICKLET_CON	BRICKLET_CON	BRICKLET_CON
1	ZD1	BZT52C3V3	SOD323-W	DIODE_ZENER
1	I.05	GR (3V3)	LED3MM	LED3MM
1	I.01	GR (TMP)	LED3MM	LED3MM
1	I.10	GR (USB)	LED3MM	LED3MM
1	I.08	GR (V ON)	LED3MM	LED3MM

Počet	Součástka	Hodnota	Pouzdro	Popis
1	JP4	I2C, INT	1X05	PINHD-1X5
1	JP3	I2C_MCU	1X04	PINHD-1X4
1	BUZZ1	LD-BZEG-1203	LD-BZEC-1212	BUZZER
1	IC3	LM1117IMP-3.3	SOT223	LM1117IMP-3.3
1	IC4	LM2903D	SO08	LM2903D
1	REF1	LM4040BIM3-2.5	SOT23	LM4040BIM3-2.5
1	IC7	M24C64	SO8	M24C64
1	IC1	MCP130T	SOT23	MCP130T
1	IC8	P82B96	SO8	P82B96
1	X1	PROG_JTAG_20L	ML20L	PROG_JTAG_20L
1	I.09	RE (V ERR)	LED3MM	LED3MM
1	JP1	RESET	1X02	PINHD-1X2
1	RE1	RZ03-1A4-D012	SPST-NO	G2R-1A-E24VDC
1	IO1	TL431A	SOIC8	TL431SOIC8
1	X28	USB B	85-32004-00X	MINI-USB
1	X27	USB_A	USB_A_ANGULAR1	USB
1	I.04	YE (INT)	LED3MM	LED3MM
1	I.07	YE (PULL-DOWN)	LED3MM	LED3MM
1	I.06	YE (PULL-UP)	LED3MM	LED3MM
1	I.03	YE (RANGE)	LED3MM	LED3MM
1	I.02	YE (REX)	LED3MM	LED3MM
1	ZD2	Z1SMA75	SMA	DIODE_ZENER1
1	JP2	test	1X04	PINHD-1X4

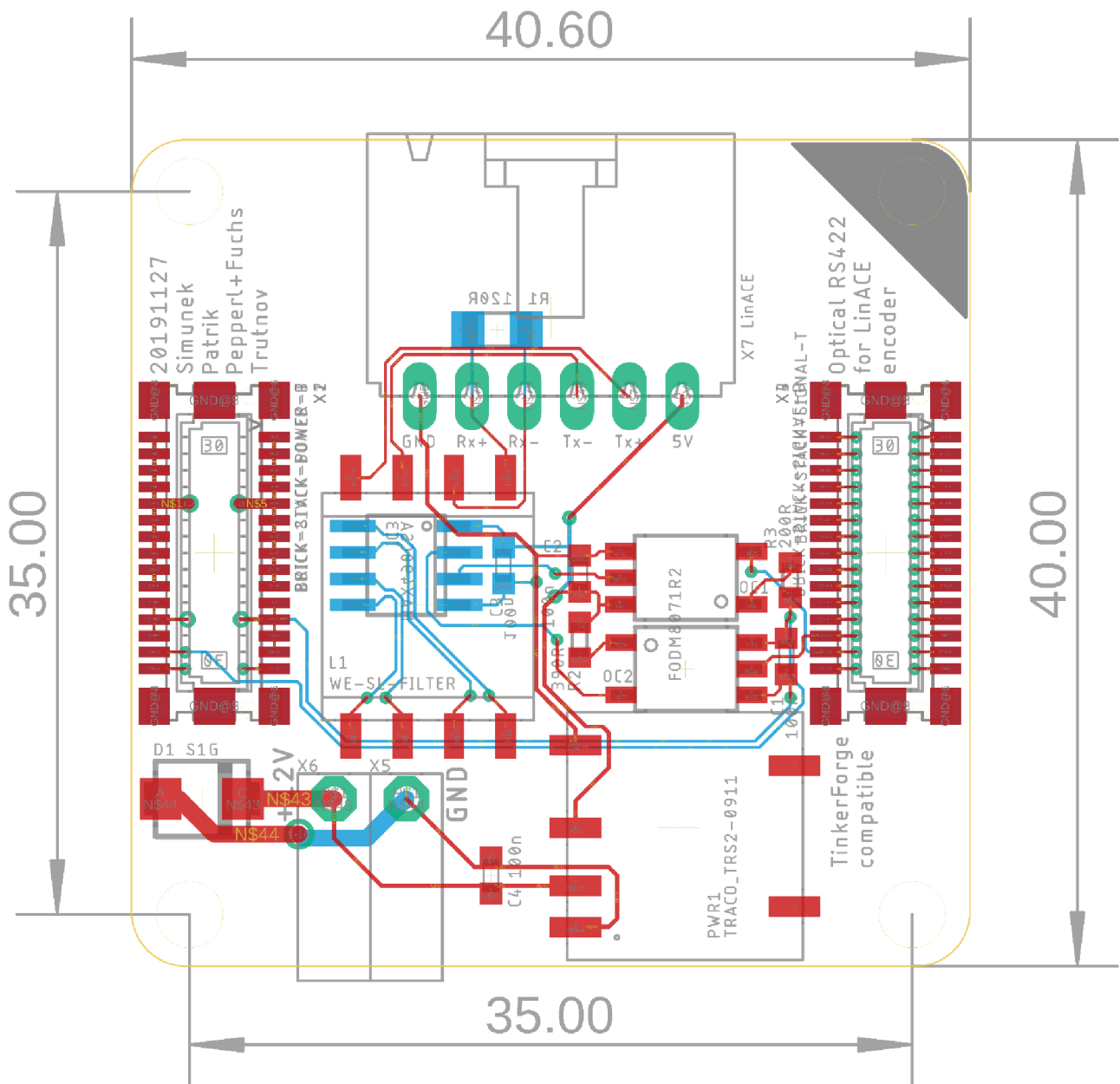
B PŘEVODNÍK UART NA RS422 S OPT. ODDĚLENÍM

B.1 Schéma zapojení

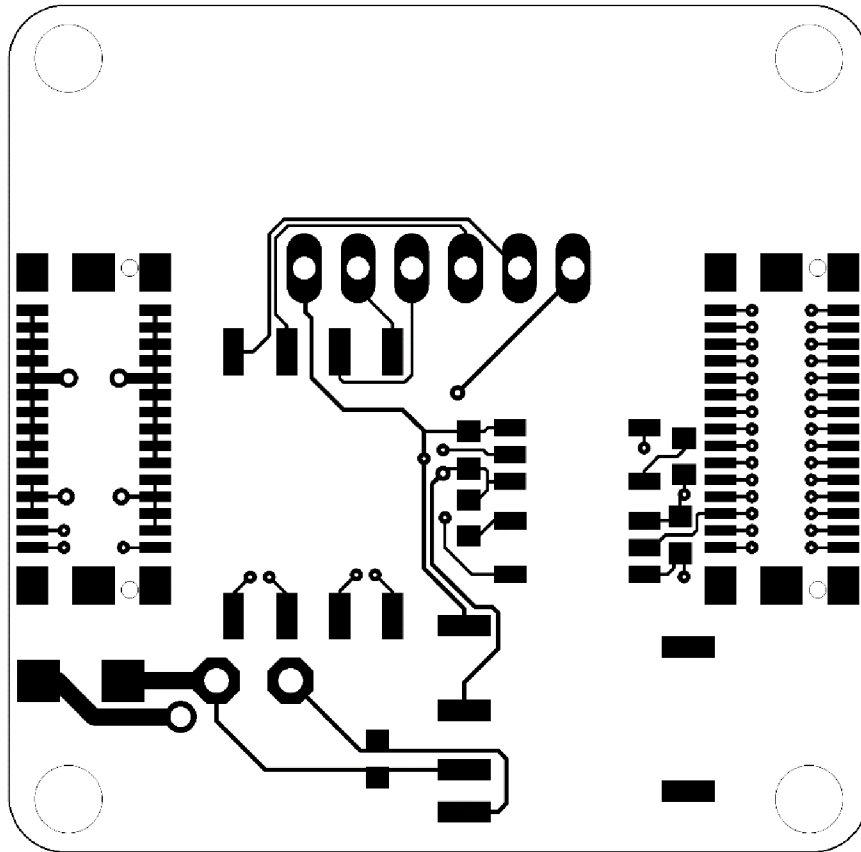


Opt converter PEPPERL+FUCHS Simunek Patrik	Optical_converter_RS422
	27.05.2020 9:40
	Sheet: 1/1

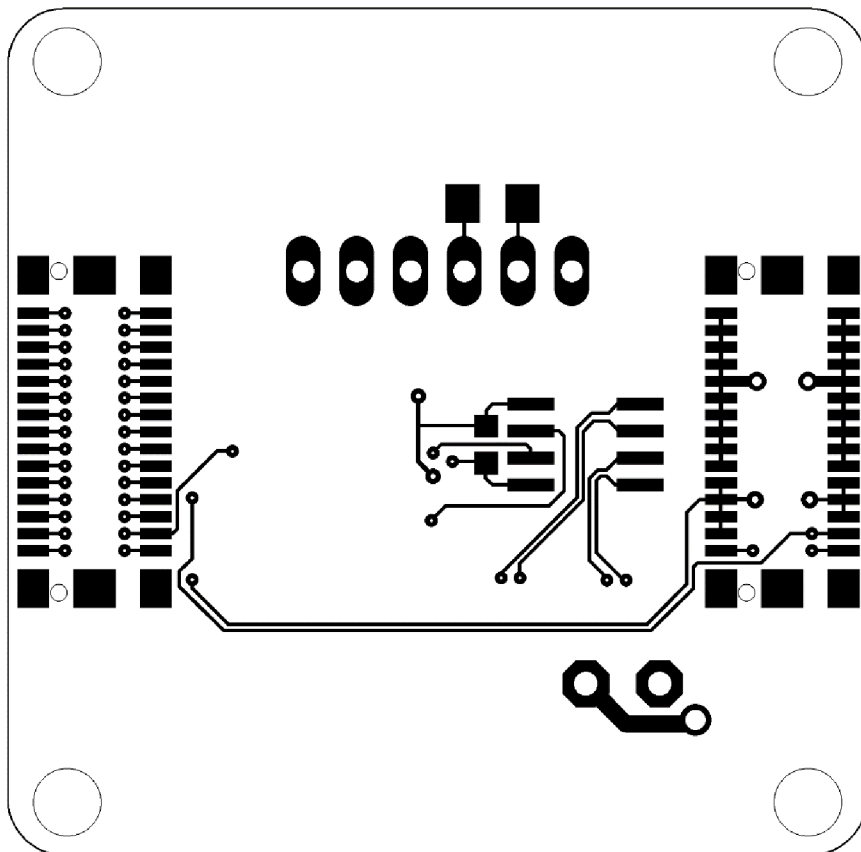
B.2 Náhled desky plošného spoje s rozměry



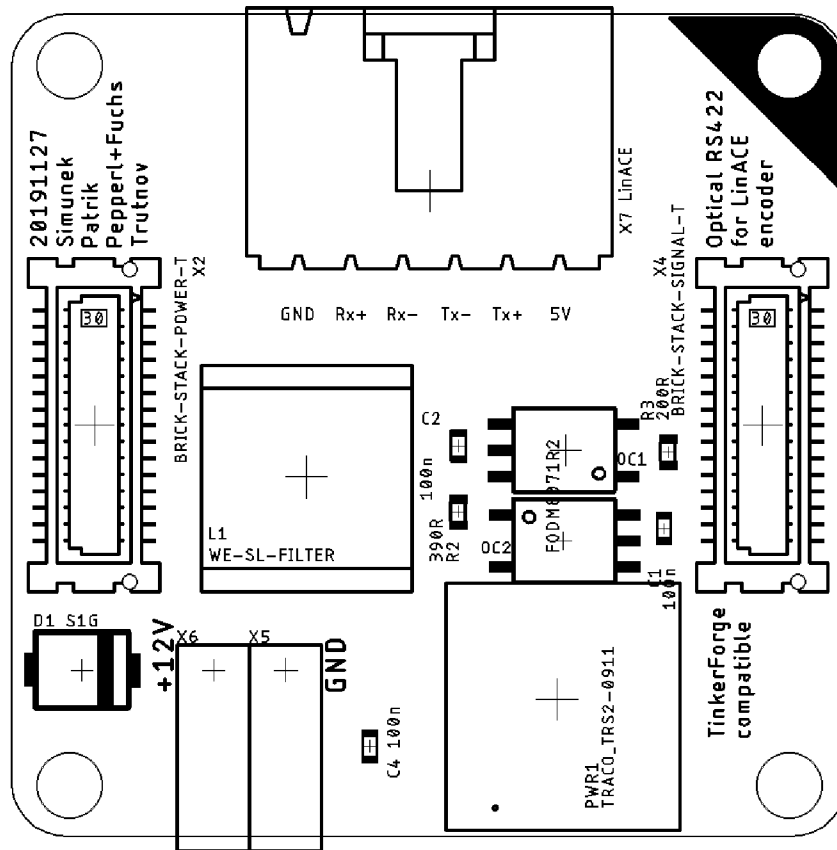
B.3 Vrchní strana desky plošného spoje



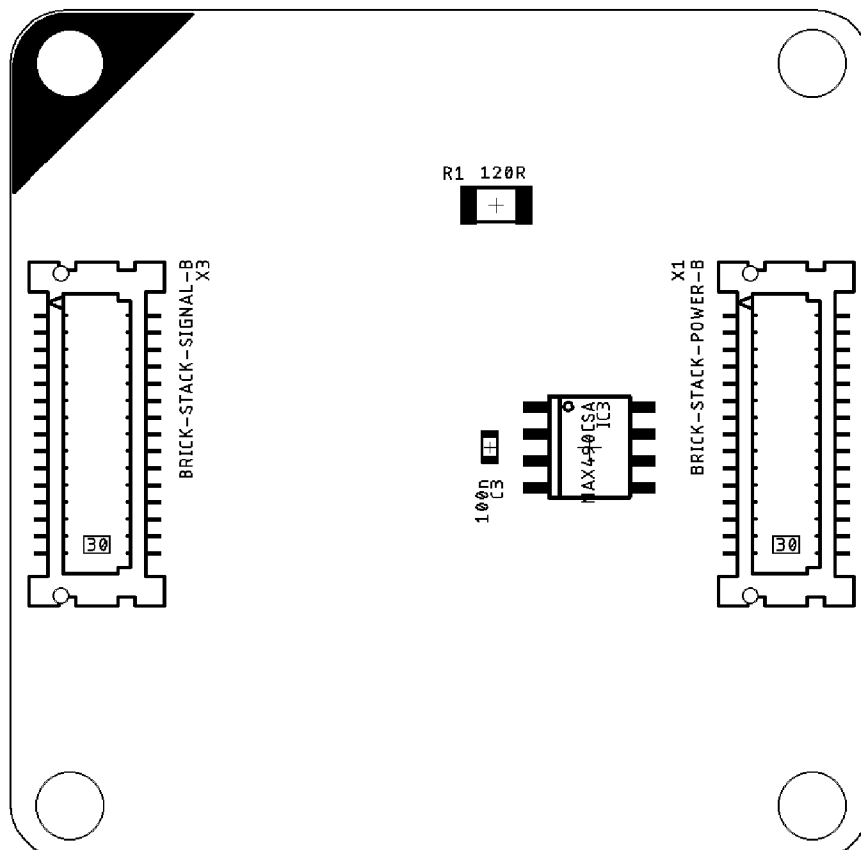
B.4 Spodní strana desky plošného spoje



B.5 Osazovací plán vrchní strany



B.6 Osazovací plán spodní strany

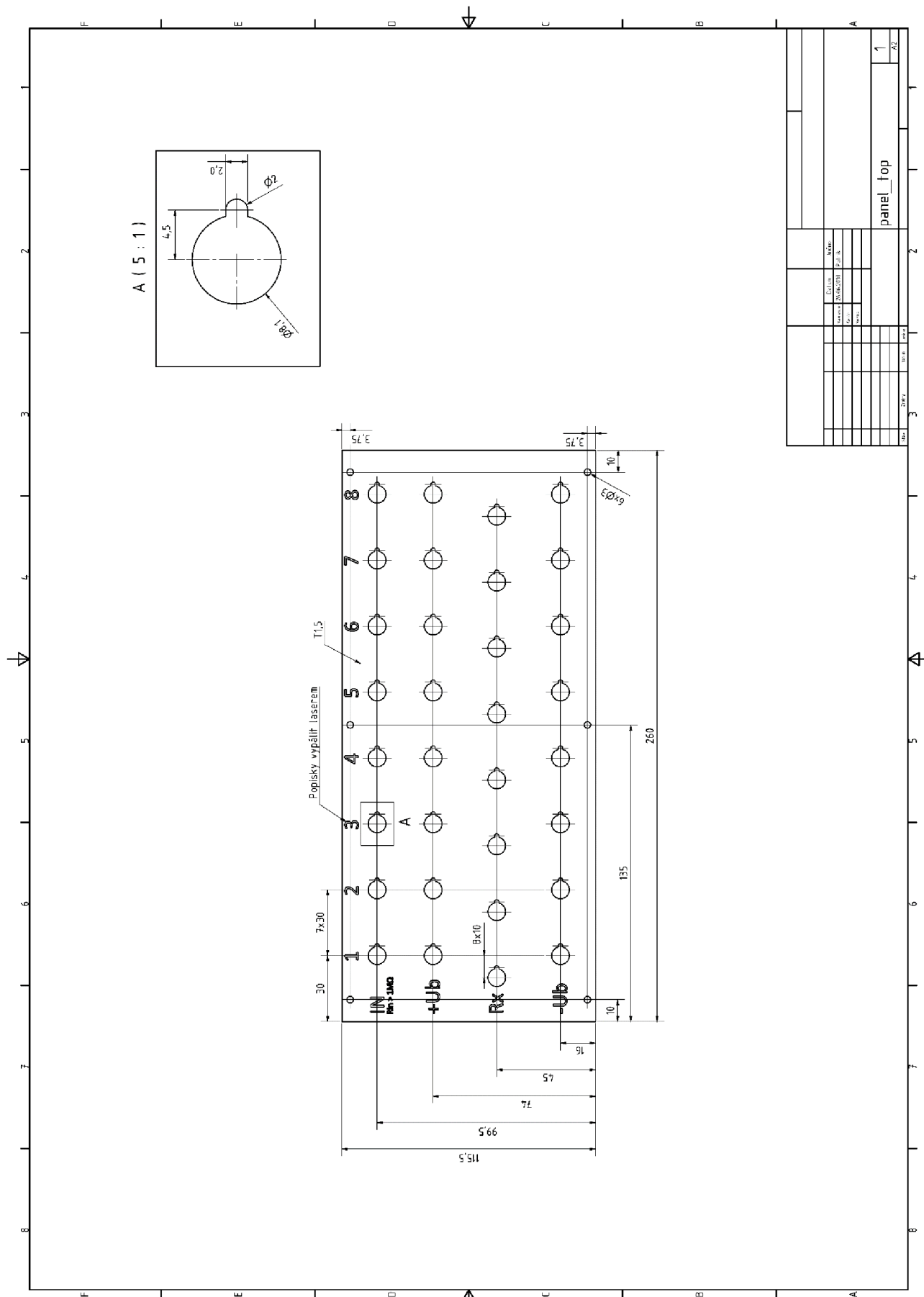


B.7 Seznam použitých součástek

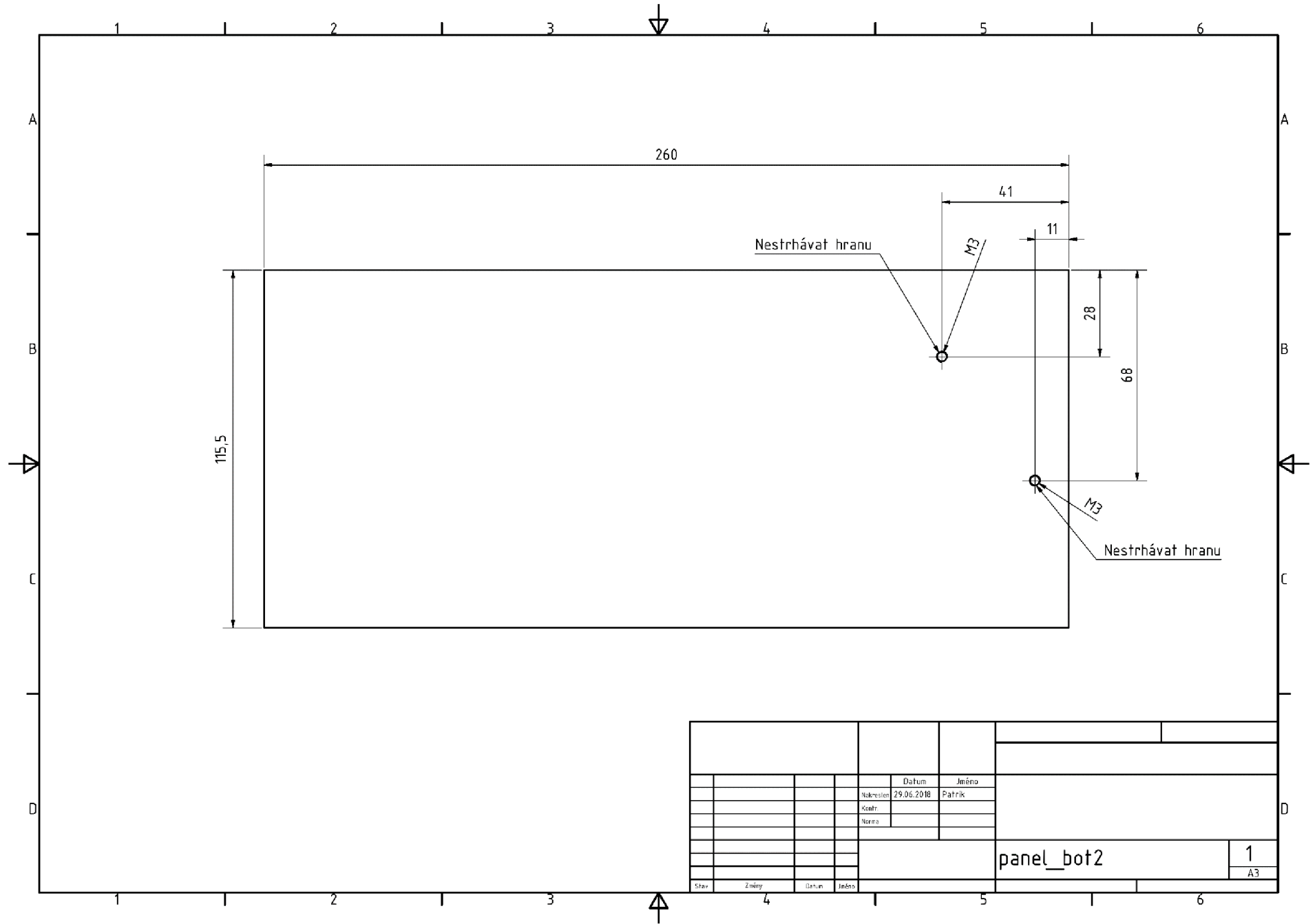
Počet	Součástka	Hodnota	Pozdro	Popis
4	C1, C2, C3, C4	100n	C0603K	C-EUC0603K
2	OC1, OC2	FODM8071R2	SO6-5	FODM8071R2
1	X6	+12V	SVORK_ROZPOJ	CON_SVORKOVNICE
1	R1	120R	R1206	R-EU_R1206
1	R3	200R	R0603	R-EU_R0603
1	R2	390R	R0603	R-EU_R0603
1	X1		88033-30XX	BRICK-STACK-POWER-B
1	X2		88628-30XX	BRICK-STACK-POWER-T
1	X3		88033-30XX	BRICK-STACK-SIGNAL-B
1	X4		88628-30XX	BRICK-STACK-SIGNAL-T
1	X5	GND	SVORK_ROZPOJ	CON_SVORKOVNICE
1	X7	LinACE	1X06/90_MOLEX	PINH-1X6MOLEX
1	IC3	MAX490CSA	SO8	MAX490CSA
1	D1	S1G	SMA	DIODE1
1	PWR1	TRACO_TRS2-0911	TRACO_TRS2-	TRACO_TRS2-0911
1	L1	WE-SL-FILTER	WE-SL-FILTER	WE-SL-FILTER

C KRABICE NA MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

C.1 Čelní deska krabice



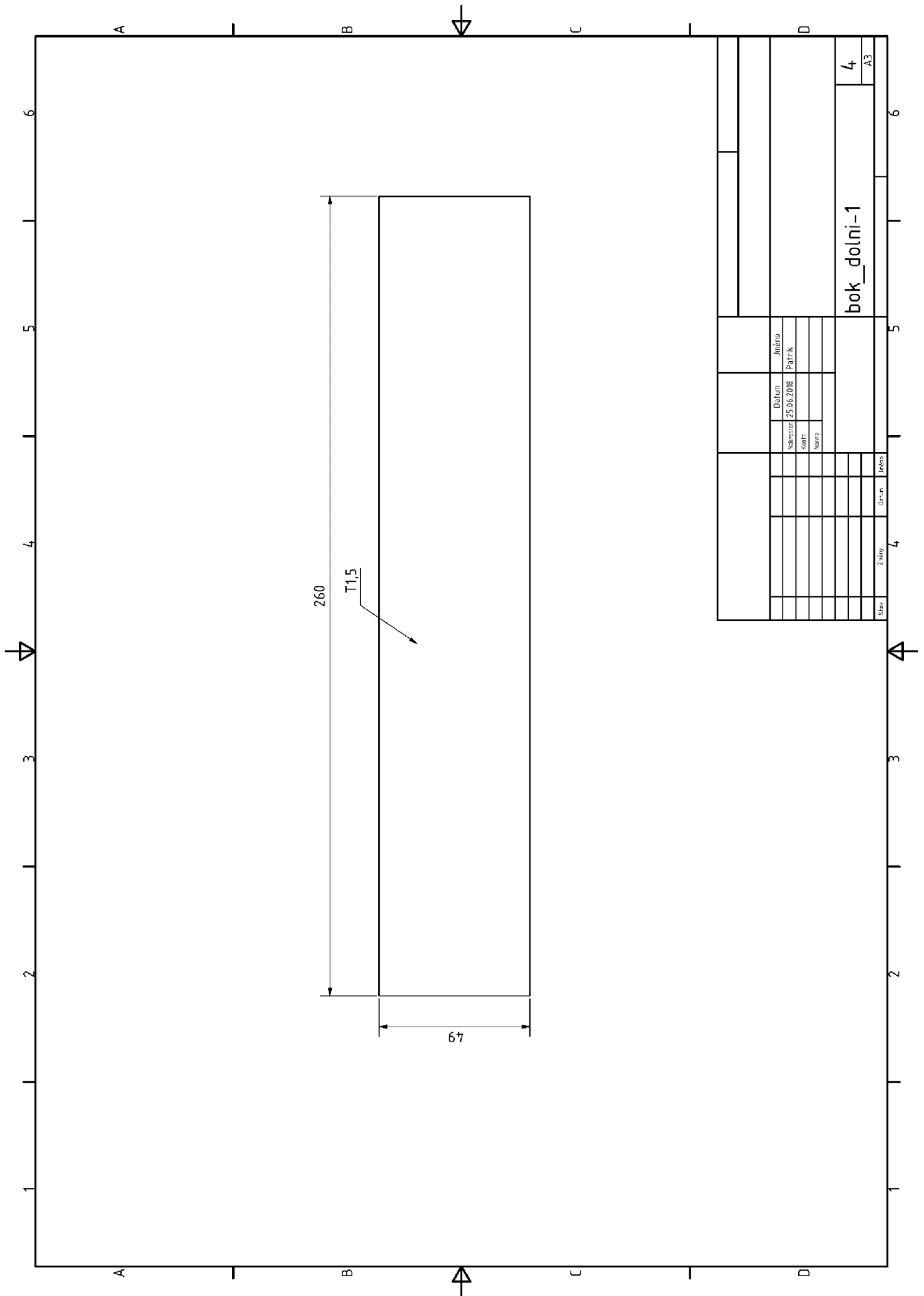
C.2 Zadní deska krabice



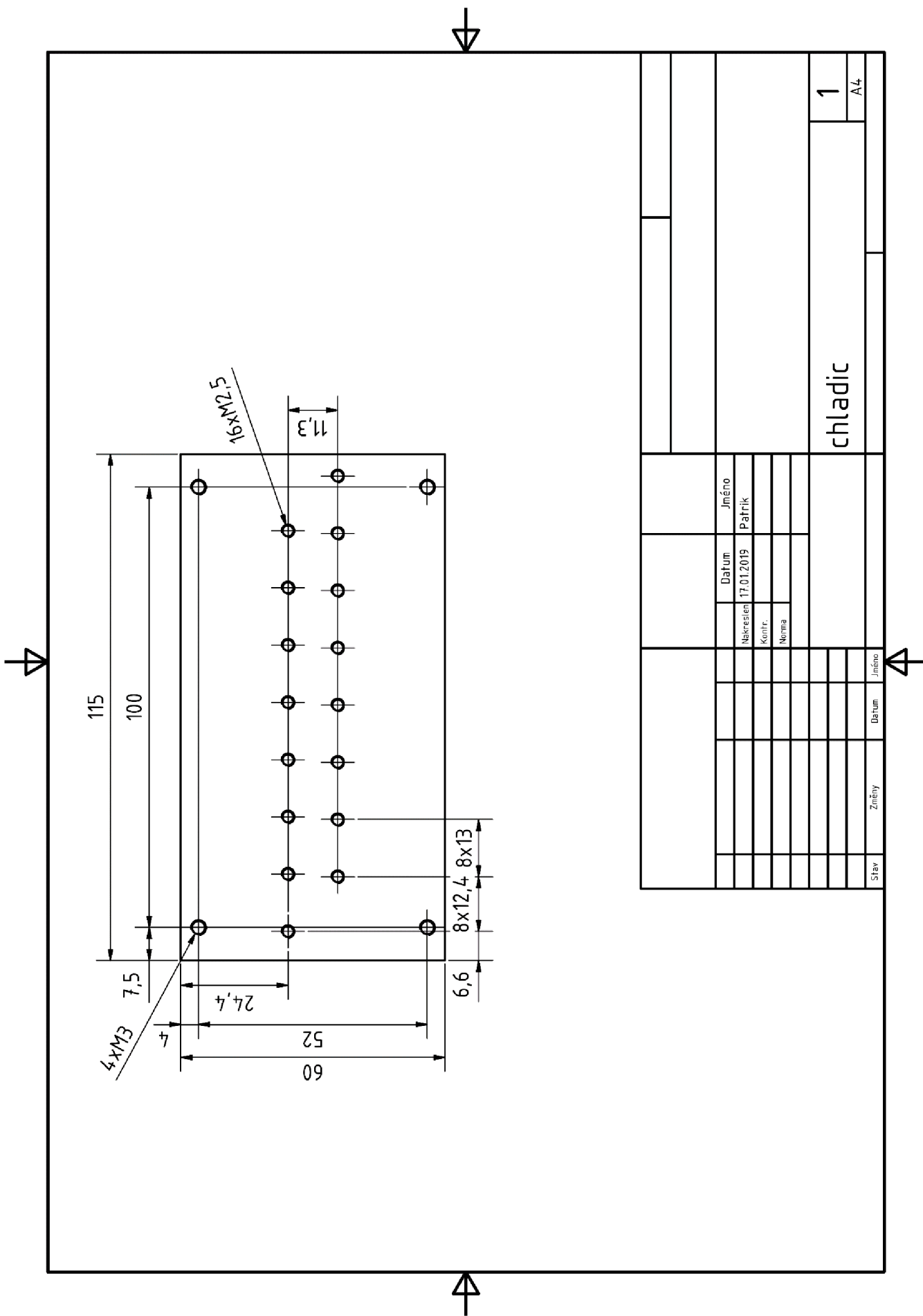
77

		Datum	Jméno		
		Nakreslen	29.06.2018	Patrik	
		Stav			
		Název			
Stav	Změny	Datum	Jméno	panel_bot2	
					1
					A3

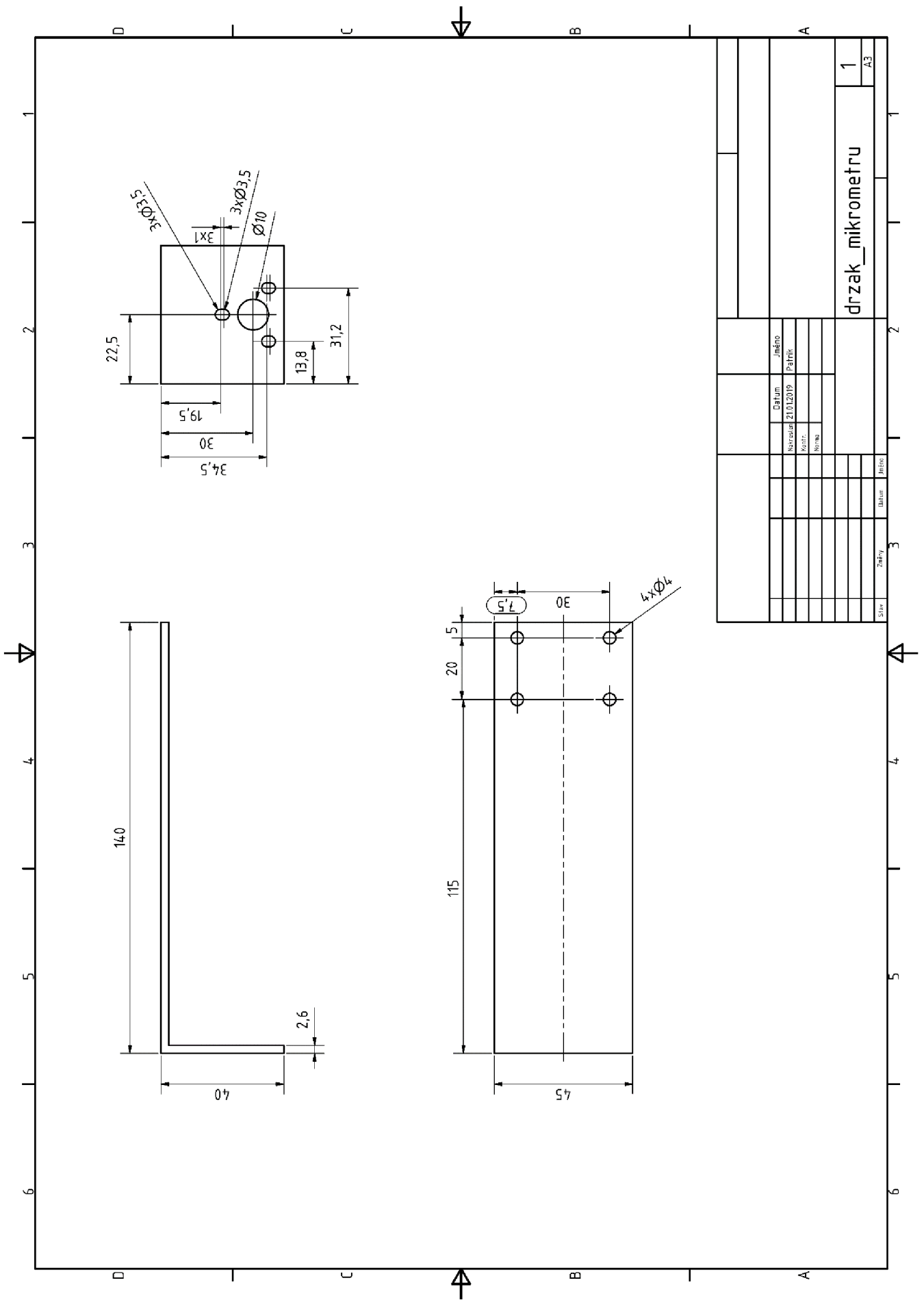
C.4 Dolní deska krabice



C.7 Chladič pro rezistory



C.8 Držák mikrometru



D NAMĚŘENÁ DATA

#	T [°C]	Ub [V]	Sensor 1	H1 [mm]	...	Sensor 7	H7 [mm]	Sensor 8	H8 [mm]
1 / 1									
1	25,6	23,99	Trvale:	0		3,33	0,14	Trvale:	0
3	-25	23,99	Trvale:	0		3,36	0,12	Trvale:	0
5	-15	23,99	Trvale:	0		3,31	0,12	Trvale:	0
7	0	23,99	Trvale:	0		3,27	0,11	Trvale:	0
11	25	23,99	Trvale:	0		3,29	0,14	Trvale:	0
13	50	23,97	Trvale:	0		3,33	0,16	Trvale:	0
15	75	23,99	Trvale:	0		3,32	0,23	Trvale:	0
17	84,9	23,97	Trvale:	0		Kmitá:	3	Trvale:	0
19	25	23,99	Trvale:	0		3,33	0,15	Trvale:	0

Čas [min]	Konfigurace vstupů	Mód napájení	Zátěž	Pozice měření
0	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard
90	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard
60	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard
60	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard
60	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard
60	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard
60	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard
60	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard
90	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard
60	novy	Připojeno	Připojeno Pull-down 1k	standard

D.1 Data z ampérmetru načtená pomocí skriptu

T [°C] =	25,1	Ub [V] =	24
Pozice [mm]	Hodnoty		
0	106		
0,5	443		
1	962		
1,5	1614		
2	2274		
2,5	2822		
3	3228		
3,5	3501		
4	3682		
4,5	3801		
5	3879		
5,5	3932		
6	3969		
6,5	3993		
7	4010		

E TABULKA ADRES I2C REGISTRŮ MĚŘICÍ KARTY

Definice	Adr.	Popis	Jednotka	R/W
CONTROL	1	Kontrolní registr pro ovládání měřicí karty		R/W
MASK	2	Maska vstupů		R/W
STATES	3	Logické stavy snímačů		R
STATES_INDET	4	Neurčité stavy snímačů		R
CHANGED_STATES	5	Doposud nepřečtené změněné stavy		R
CHANGES_READED	6	Indikátor vyčtení změněných stavů		R
ADC_RESOL	7	Rozlišení SD převodníku	[bit]	R
V_RANGE_L	8	Nízký rozsah měření	[V]	R
V_RANGE_H	9	Vysoký rozsah měření	[V]	R
V_IN1	10	Napětí na vstupu 1	[μ V]	R
V_IN2	14	Napětí na vstupu 2	[μ V]	R
V_IN3	18	Napětí na vstupu 3	[μ V]	R
V_IN4	22	Napětí na vstupu 4	[μ V]	R
V_IN5	26	Napětí na vstupu 5	[μ V]	R
V_IN6	30	Napětí na vstupu 6	[μ V]	R
V_IN7	34	Napětí na vstupu 7	[μ V]	R
V_IN8	38	Napětí na vstupu 8	[μ V]	R
V_SUPPLY	42	Napájecí napětí pro snímače	[μ V]	R
CPL_LOW_IN1	46	Práh nízkého stavu vstupu 1	[μ V]	R/W
CPL_HIGH_IN1	50	Práh vysokého stavu vstupu 1	[μ V]	R/W
CPL_LOW_IN2	54	Práh nízkého stavu vstupu 2	[μ V]	R/W
CPL_HIGH_IN2	58	Práh vysokého stavu vstupu 2	[μ V]	R/W
CPL_LOW_IN3	62	Práh nízkého stavu vstupu 3	[μ V]	R/W
CPL_HIGH_IN3	66	Práh vysokého stavu vstupu 3	[μ V]	R/W
CPL_LOW_IN4	70	Práh nízkého stavu vstupu 4	[μ V]	R/W
CPL_HIGH_IN4	74	Práh vysokého stavu vstupu 4	[μ V]	R/W
CPL_LOW_IN5	78	Práh nízkého stavu vstupu 5	[μ V]	R/W
CPL_HIGH_IN5	82	Práh vysokého stavu vstupu 5	[μ V]	R/W
CPL_LOW_IN6	86	Práh nízkého stavu vstupu 6	[μ V]	R/W
CPL_HIGH_IN6	90	Práh vysokého stavu vstupu 6	[μ V]	R/W
CPL_LOW_IN7	94	Práh nízkého stavu vstupu 7	[μ V]	R/W
CPL_HIGH_IN7	98	Práh vysokého stavu vstupu 7	[μ V]	R/W
CPL_LOW_IN8	102	Práh nízkého stavu vstupu 8	[μ V]	R/W
CPL_HIGH_IN8	106	Práh vysokého stavu vstupu 8	[μ V]	R/W
BOUNCE_COUNTER_RST	110	Reset všech počítadel přeskoků		R/W
BOUNCE_COUNTER_IN1	111	Počet překmitů na vstupu 1		R
BOUNCE_COUNTER_IN2	112	Počet překmitů na vstupu 2		R
BOUNCE_COUNTER_IN3	113	Počet překmitů na vstupu 3		R
BOUNCE_COUNTER_IN4	114	Počet překmitů na vstupu 4		R
BOUNCE_COUNTER_IN5	115	Počet překmitů na vstupu 5		R
BOUNCE_COUNTER_IN6	116	Počet překmitů na vstupu 6		R
BOUNCE_COUNTER_IN7	117	Počet překmitů na vstupu 7		R
BOUNCE_COUNTER_IN8	118	Počet překmitů na vstupu 8		R

CAL_ADC_OFFS	120	Hodnota napětí pro kalibraci offsetu pro všechny rozsahy	[μ V]	R/W
CAL_ADC_L_G	124	Hodnota napětí pro kalibraci gainu rozsahu do 15V	[μ V]	R/W
CAL_ADC_H_G	128	Hodnota napětí pro kalibraci gainu rozsahu do 70V	[μ V]	R/W
CAL_ADC_VIN_G	132	Hodnota napětí pro kalibraci gainu měření napájecího napětí	[μ V]	R/W
ADC_OFFSET_L	140	Hodnota offsetu pro rozsah do 15V pro 8 vstupů	[mV]	R/W
ADC_OFFSET_H	156	Hodnota offsetu pro rozsah do 70V pro 8 vstupů	[mV]	R/W
ADC_OFFSET_VIN	172	Hodnota offsetu pro měření napájecího napětí	[μ V]	R/W
ADC_GAIN_L	174	Hodnota gainu pro rozsah do 15V pro 8 vstupů	[μ V/bit]	R/W
ADC_GAIN_H	190	Hodnota gainu pro rozsah do 70V pro 8 vstupů	[μ V/bit]	R/W
ADC_GAIN_VIN	206	Hodnota gainu pro měření napájecího napětí	[μ V/bit]	R/W
SAVE_ADC_CAL	210	Byte s příkazem uložení ADC kalibrace		W
ERROR_STATUS	250	Příčina posledního resetu		R
ERR_CONTROL_BACKUP	251	Záloha control registru před posledním resetem		R/W
ERR_MASK_BACKUP	252	Záloha mask registru před posledním resetem		R/W
RESET	255	Příkaz pro SW reset zařízení		W