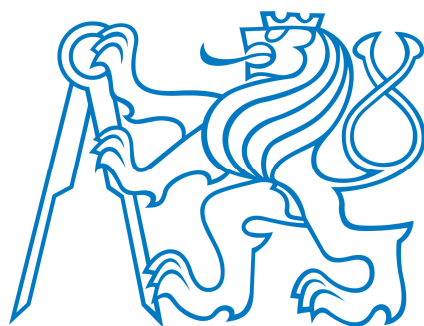


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta elektrotechnická

Katedra mikroelektroniky



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Měření síly u hrotové brusky

Obor: Elektronika

Vedoucí: Prof. Ing. Miroslav Husák CSc.

Vypracoval: Bc. Filip Štěpanovský

(5/2014)

Prohlašuji, že jsem na této diplomové práci na téma Měření síly u hrotové brusky pracoval samostatně a čerpal jsem pouze z literatury uvedené v seznamu použité literatury. Dále prohlašuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu. Proti dalšímu použití této práce nemám žádných námitek.

V Praze 12.5.2014

Filip Štěpanovský

.....

Zde bych chtěl poděkovat především konzultantovi Ing. Miroslavu Růžičkovi a Ing. Petrovi Černohorskému za cenné rady a pomoc na této práci. Dále bych chtěl poděkovat firmě Intronix za nabídnuté téma práce a poskytnuté zázemí. Závěrem bych ještě chtěl poděkovat svému vedoucímu Prof. Ing. Miroslavu Husákovi CSc. především za pomoc ohledně formální stránky této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá měřením a zobrazováním síly upnutí na koníku hrotové brusky s využitím indukčního snímače. Je navrhnut celý systém měření. Návrh se skládá z návrhu obvodového řešení, návrhu desky plošných spojů a návrhu řídicího programu. Navrhnutý systém byl realizován a byla ověřena jeho funkčnost. Důvodem k řešení této problematiky je objednávka zařízení toho typu výrobcem brusek firmě Intronix, kde je diplomant zaměstnán.

Klíčová slova: Měření síly, hrotová bruska, indukční snímač, koník, mikroprocesor

Abstract

This diploma thesis deal with measurement and display force of clamping on the tailstock of cylindrical grinding machine with inductive sensor. All measuring system is designed. Design consist of circuit design, design of printed circuit board and program proposal. The designed system was produced and its function was verified. The job was caused by the order of the device by the producer of grinding machines to Intronix comp., where the diploma candidate is employed.

Key words: Force measurement, cylindrical grinding machine, inductive sensor, tailstock, microprocessor

Seznam použitých symbolů a zkratek

a_n – koeficienty diferenciální rovnice vstupu

b_n – koeficienty diferenciální rovnice výstupu

$F(p)$ – přenosová funkce snímače

φ - fázový posuv [rad]

X – vstupní signál

Y – výstupní signál

δ – relativní chyba přenosu snímače

Δx – měřicí rozsah

x_{\max} – maximální hodnota snímače

I – množství informace [bit]

C - přenosová kapacita kanálu [bit/s]

T_m – minimální doba měření [s]

R_s – odpor snímače [Ω]

R_{iz} – odpor izolace [Ω]

C_v – kapacita vedení [F]

L_v – indukčnost vedení [H]

R – rezistivita [Ω]

C – kapacita [F]

L – indukčnost [H]

VLDT – vysoce lineární diferenciální transformátor (vVery Linear Differential Transducer)

AVR – architektura procesorů firmy Atmel

ALU – aritmeticko-logická jednotka (Arithmetic-logic Unit)

PIC – Procesory firmy Microchip Technology

8051 – Mikroprocesor vyvinutý firmou Intel

ARM – architektura procesorů od firmy ARM Limited (Advanced RISC Machine)

DSP – digitální signálový procesor

RISC – procesory s redukovanou instrukční sadou (Reduced Instruction Set Computing)

EEPROM – elektricky přepisovatelná paměť (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)

USB – univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)

SRAM – statická paměť (Static Random Access Memory)

USART – Synchronní / asynchronní sériové rozhraní USART (Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter)

I2E – typ komunikační sběrnice

CPU – procesor (Central Processing Unit)

RxD – port pro příjem sériové komunikace

TxD – port pro vysílání sériové komunikace

Gnd – uzemnění (ground)

LED – světlo emitující dioda (Light-Emitting Diode)

MOS FET – typ unipolárního tranzistoru (metal oxid semiconductor field effect transistor)

OZ – operační zesilovač

PWM – pulsně šířková modulace (Pulse Width Modulation)

DPS – deska plošných spojů

S - hodnota snímače [μm]

FL - dolní kalibrační hodnota síly [N]

FH - horní kalibrační hodnota síly [N]

SL - dolní mez snímače [μm]

SH - horní mez snímače [μm]

ASCII – znaková sada pro kódování textu (American Standard Code for Information Interchange)

CAL L – označení pro dolní kalibrační hodnotu síly

CAL H - označení pro horní kalibrační hodnotu síly

IP55 – stupeň krytí

PG 9 – typ průchodky s palcovým závitem

SMD – technologie povrchové montáže součástek (surface mount device)

Obsah

Úvod.....	10
1 Rozbor stávající problematiky	12
1.1 Výchozí podmínky	12
1.2 Porovnání používaných systému	13
1.3 Hrotová bruska	14
1.4 Snímač	15
1.5 Rozdělení snímačů:	16
1.6 Charakteristiky snímačů	17
1.7 Přenos informace snímačem.....	19
1.8 Popis používaných snímačů.....	21
1.8.1 Odporové snímače	21
1.8.2 Indukčnostní snímače	24
1.8.3 Optické snímače.....	29
1.9 Mikroprocesor	30
1.9.1 Mikroprocesor AVR.....	31
1.9.1.1 Mikroprocesor Atxmega	32
2 Návrh a realizace	33
2.1 Návrh obvodového řešení.....	33
2.1.1 Mikroprocesor.....	34
2.1.2 Zobrazovače.....	37
2.1.3 Filtry.....	39
2.1.4 Napájecí obvod	40
2.2 Návrh desky plošných spojů.....	42
2.3 Návrh programu.....	44
2.3.1 Hlavní smyčka	45
2.3.2 Přepočet síly.....	47
2.3.3 Převod na znaky.....	48
2.3.4 Zobrazení	50
2.4 Konstrukce.....	52
2.4.1 Zapouzdření	53

3 Dosažené výsledky	54
3.1 Postup výroby	54
3.2 Oživovací postup	56
3.3 Návod k obsluze	56
3.4 Parametry realizované elektroniky	57
4 Ekonomická analýza	59
5 Závěr.....	60
Použitá literatura:	62
Příloha	63

Úvod

Předmětem této práce je konstrukce a programové vybavení zařízení, určeného k měření síly upnutí obrobku u hrotové brusky.

Broušení není, z hlediska výkonnosti obrábění, samo o sobě příliš produktivní, přesto je jím dokončováno přes 80 % výrobků. Je to pro jeho přesnost a schopnost dosáhnout požadované drsnosti povrchu. V podstatě se jedná o nepřesnější způsob strojního obrábění, brousí se s přesností v řádu jednotek μm . Obecně lze říci, že přesnost brusek je o řád vyšší, než ostatních obráběcích strojů. To samozřejmě klade vysoké nároky na technologii, jejíž součástí je řada podpůrných funkcí.

Jednou z těchto podpůrných funkcí je u hrotové brusky měření síly upnutí obrobku. Správné nastavení síly upnutí je důležité z hlediska přesného opracování obrobku. Vzhledem k vysoké přesnosti je broušení velice choulostivé na deformaci obrobku. Jestliže je síla upnutí větší než přesně stanovená, obrobek se deformuje, čímž vznikne nepřesnost obrábění, což je nežádoucí. Naopak malá síla upnutí může mít, vzhledem k tlaku broušícího kotouče na obrobek, za následek vytržení obrobku z upínacího zařízení, což je z hlediska bezpečnosti nepřijatelné. Každý tvar a materiál vyžaduje jinou sílu upnutí.

Měření síly upnutí se používá z důvodu menších zkušeností brusičů. Síla upnutí se pohybuje v nevelkém intervalu a zkušený brusič pozná, jestli má dobře upnuto například podle odskakujících jisker. Měření síly upnutí se používá u strojů, zpravidla seřízených na určitou technologii, na kterých pracuje obsluha pouze zaučená.

Základním úkolem při návrhu měřicího systému je výběr snímače působící síly, aby vyhovoval daným požadavkům. Následuje problematika řešení vyhodnocování měřených hodnot, která se odvíjí od použitého snímače. Toto bude zajišťovat měřicí elektronika, která bude umístěna na krytu brusky v dosahu upínacího mechanismu tak, aby brusič měl kontrolu nad aktuální upínací silou, kterou bude měřicí elektronika zároveň zobrazovat. Systém bude pracovat ve velmi agresivním a vlhkém prostředí, což způsobuje zejména všudypřítomná chladicí kapalina, obrus materiálu a keramický prach z broušícího kotouče. Proto je třeba, aby byl co nejlépe vodotěsně zabezpečen, a to hlavně u ovládacích tlačítek, kterými je nutno měřicí systém osadit za účelem kalibrace. Z hlediska normy pro elektrické vybavení pracovních strojů je předepsané minimální krytí IP54. V tomto případě to však nestačí, aby byla zajištěna spolehlivá funkce přístroje, je nutno zařízení projektovat alespoň s krytím IP55.

V neposlední řadě je třeba vyřešit co nejjednodušší propojení snímače s elektronikou kabelem a také způsob napájení.

Vzhledem k tomu, že typ snímače je již navržen, je hlavním cílem této práce návrh měřicí elektroniky. Předpokládá se, že hlavním komponentem elektroniky bude mikroprocesor, který bude řídit měření, zobrazování a zajišťovat kalibraci přístroje. Pro mikroprocesor bude tedy nutné navrhnout algoritmus, podle kterého bude systém pracovat. Zobrazování budou zajišťovat sedmisedmiletové jednotky. Indukční snímač bude tedy snímat výchylku a mikroprocesor ji bude přepočítávat na sílu.

Měřicí elektronika by měla přepočítávat hodnotu výchylky snímače na odpovídající hodnotu působící síly, kterou by měla v pracovním stavu zobrazovat. Dále by měla umožňovat nastavení horní a dolní kalibrační hodnoty síly, ze kterých bude aktuální síla vypočítávána.

1 Rozbor stávající problematiky

1.1 Výchozí podmínky

Počáteční stav se nachází před vývojem nového systému. Impulsem k vývoji je poptávka po zařízení tohoto typu od výrobce brusek.

V následující práci se předpokládá využití následujících prvků:

- mikroprocesoru
- indukčnostního snímače

K převzetí z předešlého systému mají být využity následující části:

- princip vyhodnocení polohy snímače
- algoritmus na vyhodnocení polohy snímače
- filtrovací obvody
- napájecí obvod

Na počátku se práce nachází před návrhem obvodového řešení zbývajících komponent, jako je displej, tlačítka, zapojení mikroprocesoru, a před jejich zakomponováním do jednoho obvodu. Po návrhu obvodového řešení bude následovat návrh algoritmu, který bude pracovat s hodnotou polohy snímače (algoritmus pro její získání převzat). Navrhovaný algoritmus má za úkol ovládat systém, zajišťovat jeho kalibraci, výpočet síly upnutí obrobku a zajišťovat zobrazování na displeji.

1.2 Porovnání používaných systému

Použití indukčnostního snímače v oblasti měření síly není běžnou záležitostí. K měření se často s úspěchem využívají tenzometrické snímače jejichž nevýhoda je malá přetížitelnost. Toto je vyřešeno použitím indukčnostního snímače, před který je zařazen pružný člen. Lze tak před snímač umístit dorazy, které velké síly přenesou do ramen. Toto řešení by u tenzometrů bylo velice obtížné z důvodu působení síly přímo na snímač. Optické snímače jež mají vysokou přesnost by mohly být použity jedině při dokonalém utěsnění kvůli agresivnímu prostředí, což by bylo také velice náročné.

Pro porovnání s jiným systémem na měření síly upnutí na brusce využívající indukčnostní snímač je možno uvést řešení s průmyslovou sběrnici profibus. U tohoto řešení je na stroji elektronika vyhodnocující signál ze snímače a převádějící na digitální pro přenos po sběrnici. Pro vyhodnocení je potřeba v řídicím systému brusky zařízení, jehož vývoj je poměrně náročný z důvodu náročnosti implementace sběrnice profibus do řídicího systému. Toto řešení má sice své výhody (spolupráce s řídicím systémem), ale je poměrně drahé (až 50 000 Kč).

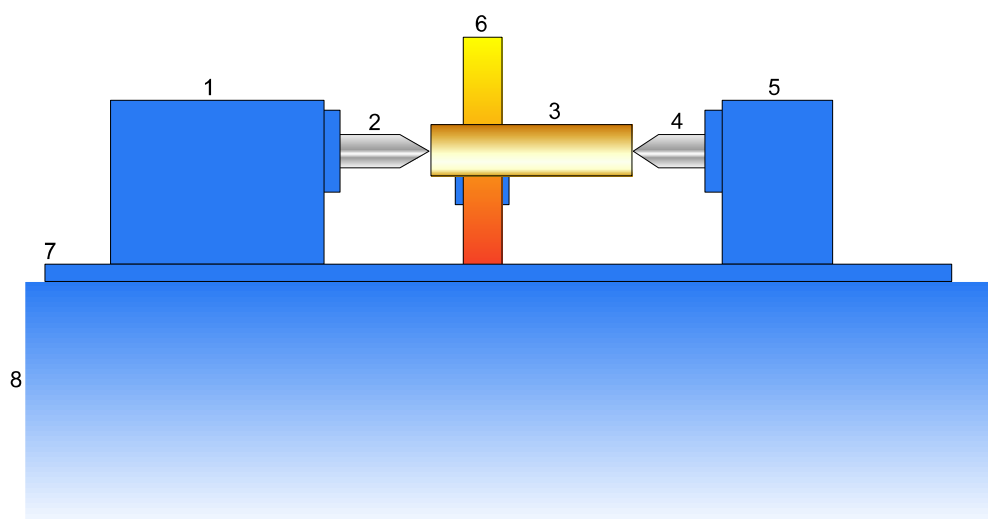
1.3 Hrotová bruska

Hrotová bruska je obráběcí zařízení, které má za úkol odebírat materiál z obrobku (opracovávaný materiál) prostřednictvím brousicího kotouče (obvodová rychlost otáčení je v rozmezí $60 - 90 \text{ ms}^{-1}$). Obrobek se upíná mezi hroty, které jsou umístěny na unášecím vřeteníku a na koníku. Vřeteno unášecího vřeteníku je pomocí unášecího zařízení poháněno a otáčí obrobek, rotuje tedy obrobek i brousicí kotouč. Z této konstrukce je patrné, že stroj bude obrábět válcové plochy, a to vnější nebo vnitřní.

Typické praktické výrobky hrotové brusky jsou různé válce, čepy, hřídele. Existují různé speciální hrotové brusky, např. na vačky nebo na menší obrobky, např. na broušení tělísek kuličkových ložisek.

Koník slouží k vlastnímu upnutí obrobku. Pohyblivý mechanismus uvnitř koníka, který obrobek upíná, se nazývá pinola a je ovládán pneumaticky nebo hydraulicky pomocí nožního spínače, který ovládá brusič. K jemnému doladění síly slouží šroub, který brusič utáhne pomocí ručního kola.

Koník a unášecí vřeteník jsou umístěny na stole, který je pohyblivý a zajišťuje tak podélný posuv obrobku. Brousicí kotouč je umístěn na brousicím vřeteníku, jež zajišťuje příčný posuv, čímž se kotouč dostává do záběru (tedy pohyb kolmý na podélný posuv koníku a unášecího vřeteníku).



Obr.1: Hrotová bruska (1 – unášecí vřeteník, 2 – hrot unášecího vřeteníku, 3 – obrobek, 4 – hrot koníku, 5 – koník, 6 – brousicí kotouč, 7 – posuvný stůl, 8 – lože)

1.4 Snímač

Snímač představuje prvek, jehož výběr dnes již nepředstavuje takovou klíčovost jako v minulosti, kdy nebylo možné citlivost, přesnost, nelinearitu apod. ovlivňovat elektronikou, jak tomu je při používání mikroprocesorů v dnešní době. Z hlediska návrhu jsou nejpodstatnější mechanické vlastnosti, cena, výrobní náročnost a konstrukce snímače. Snímače využívají velké množství fyzikálních principů, přičemž má každý své výhody a nevýhody, jako jsou parazitní vlastnosti, které jsou pro danou konstrukci omezovány a kompenzovány. Pro výběr snímače a posouzení vlastností jeho různých typů je nutné znát následující údaje:

- informační obsah
- energetické poměry
- spolehlivost snímače

Informační obsah nelze pomocí snímače zvětšovat, ale je nutné počítat s tím, že se v některých případech může zmenšit (např. u složitější transformace u snímačů).

Energetické poměry umožňují zjistit zpětný vliv snímače na měřený objekt, popřípadě vliv následujícího měřicího obvodu na vlastní snímač. Je nutné, aby energie měřeného objektu byla výrazně větší než energie měřicí soustavy, která je s objektem spojena. Při nedodržení této podmínky bude měření ovlivňováno samotnou měřicí soustavou a měření bude ztrácet na přesnosti.

Co se týče spolehlivosti je žádoucí, aby byla u jednotlivých částí snímače pokud možno srovnatelná.

Dále je nutné znát následující požadavky, které představují důležitá kritéria pro výběr snímače:

- jednoznačná závislost výstupní veličiny na vstupní veličině
- vhodný tvar základní přenosové charakteristiky
- velká citlivost snímače
- požadovaná přesnost snímače
- velká časová stálost snímače
- vhodná frekvenční charakteristika (časová konstanta)
- minimální závislost na parazitních vlivech (teplota, vlhkost, tlak, prašnost, apod.)

- minimální zatěžování měřeného objektu
- co největší elektrický výkon snímače
- maximální spolehlivost snímače
- jednoduchá konstrukce
- jednoduchá údržba
- minimální parazitní vliv snímače na okolí (popřípadě na obsluhu)

Pochopitelně je obtížné splnit všechna kritéria a je nutné se často uchýlit ke kompromisům.

1.5 Rozdělení snímačů:

Pro získání přehledu o vlastnostech snímačů a možnostech jejich srovnání je vhodné uvažovat o dvou základních skupinách snímačů:

- aktivní (generátorové) – vlivem měřené veličiny vytvářejí elektrickou energii, tudíž nepotřebují napájení
 - termoelektrické
 - piezoelektrické
 - indukční
 - další
- pasivní – působením neelektrické měřené veličiny se mění elektrický parametr, je nutné napájení
 - odporové
 - indukčnostní
 - kapacitní
 - optické
 - ultrazvukové
 - další

Rozdělení z hlediska převodu neelektrické veličiny:

- jednoduchý – měřená neelektrická veličina se mění přímo na elektrickou
- několikanásobný – měřená neelektrická veličina se převádí na jinou neelektrickou veličinu, která je převedena na elektrický signál

Tato skupina snímačů je v praxi velmi častá, přestože převod může být složitější.

Rozdělení podle snímané neelektrické veličiny:

- snímač mechanických veličin
- snímač tepelných veličin
- snímač chemických veličin
- snímač záření
- a další

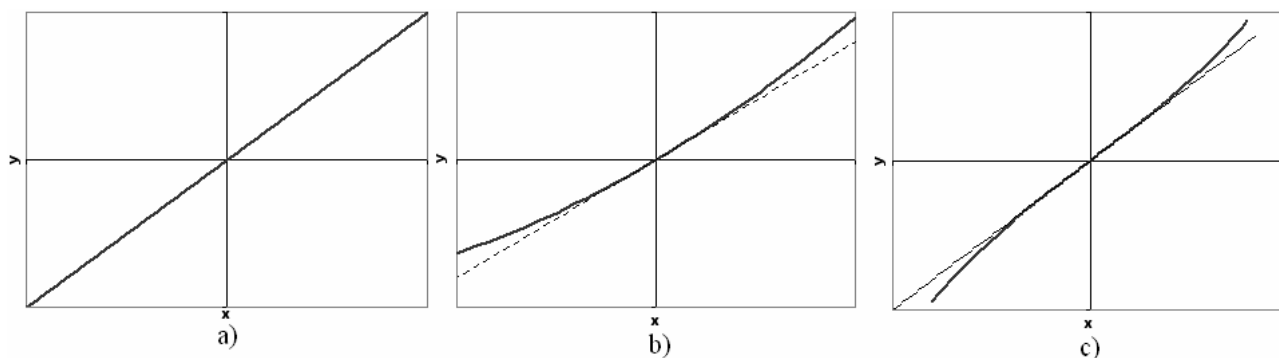
Speciální dělení, používané pouze u řešení speciálních požadavků:

- snímače dotykové
- snímače bezdotykové

1.6 Charakteristiky snímačů

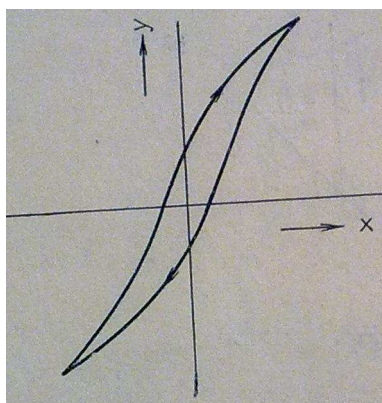
Charakter měřené veličiny může být buď statický nebo dynamický. Oba charaktery mají svoje priority. U statického měření vyžadujeme především lineární závislost mezi vstupní a výstupní veličinou. U měření dynamického vyžadujeme i další dynamické vlastnosti. Přenosová charakteristika má obecný tvar:

$$y = (a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n) x \quad (1)$$



Obr.2: Příklady přenosových charakteristik snímačů

Přenosové charakteristiky na obr.2 zobrazují závislosti při omezeném počtu členů obecné závislosti. Na obr.3 je vidět zkreslení hysterezí, která může být mechanická, magnetická a dielektrická. Z charakteristiky je patrné, že při jednom směru měření se na výstup dostane jiný obor hodnot než při opačném směru měření. Při popisu snímače je nutné tento vliv uvažovat a kompenzovat ho.



Obr. 3: Přenosová charakteristika ovlivněná hysterezí

Dynamické vlastnosti snímače vycházející z časové závislosti lze popsat obecně diferenciální rovnicí:

$$a_n x^{(n)} + \dots + a_0 x = b_m y^{(m)} + \dots + b_0 y \quad (2)$$

Přenosová funkce pak je:

$$F(p) = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}{a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \dots + a_0} \quad (3)$$

Přechodová a frekvenční charakteristika jsou řešením těchto diferenciálních rovnic. Přechodovou charakteristikou snímače rozumíme průběh výstupní veličiny v závislosti na čase při skokové změně vstupní veličiny. V některých případech bývá vhodnější popis snímače pomocí frekvenčních charakteristik. Při vstupním signálu $X(j\omega)$ má výstupní signál rozdílnou amplitudu a fázi $Y(j\omega)\exp(j\phi(j\omega))$. Přenos snímače lze pak zapsat rovnicí (4), kterou lze přepsat do tvaru (5). Fázový posuv je dán rovnicí (6).

$$F(j\omega) = \frac{Y(j\omega)e^{j\phi(j\omega)}}{X(j\omega)} = |F(j\omega)|e^{j\phi(j\omega)} \quad (4)$$

$$F(j\omega) = \Re\{F(j\omega)\} + j\Im\{F(j\omega)\} \quad (5)$$

$$\phi(j\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\Im\{F(j\omega)\}}{\Re\{F(j\omega)\}} \quad (6)$$

Grafické zobrazení přenosu (frekvenční charakteristiky) v komplexní rovině má nevýhodu, že průběh nedává názorný obraz o závislosti absolutní hodnoty přenosu a fázového úhlu na kmitočtu.

Pro větší názornost je proto vhodnější zobrazení pomocí amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky.

1.7 Přenos informace snímačem

Informace z výstupu snímače je dána signálem, který může být buď spojitý nebo disktrétní. Snímač pracující se spojitým signálem nabývá všech hodnot v měřitelném rozsahu. Signál disktrétní je principiálně omezen z důvodu vzorkování a následného kvantování. Každému vzorku je přiděleno nejbližší kvantum a tím vzniká malá chyba, která vytváří kvantizační zkreslení. Kvantizační zkreslení samozřejmě závisí na počtu bitů, na které je převedeno každé kvantum. Dále může být u digitálního signálu prováděno kódování.

Přesnost snímače je dána relativní chybou, která je vztažena k horní hranici měřicího rozsahu. Chyba δ může nabývat záporných i kladných hodnot. Měřené hodnoty se tedy mohou pohybovat v pásmu 2δ . Jestliže rozsah snímače je 0 až X_{\max} , můžeme měřicí rozsah rozdělit na pásma o šířce (7), jejichž počet je dán vztahem (8)

$$\Delta x = 2\delta x_{\max} \quad (7)$$

$$n = \frac{x_{\max}}{\Delta x} = \frac{1}{2\delta} \quad (8)$$

a jsou vzájemně odděleny úrovněmi s počtem $n' = n + 1$. Pomocí těchto fiktivních úrovní lze porovnat spojitě a disktrétně pracující snímače, protože odpovídají kvantovacím hladinám u disktrétních signálů.

Množství informace (9) je vyvozeno z předpokladu, že se měřená veličina může vyskytnout v libovolném okamžiku n počtu intervalů Δx se stejnou pravděpodobností. Pak pravděpodobnost, že měřená veličina bude v určitém intervalu, je převrácená hodnota počtu intervalů. Tímto vztahem lze porovnávat snímače analogové i digitální.

$$I = \log_2 \frac{1}{2\delta} \text{ [bit]} \quad (9)$$

Pro přesné měření je třeba uvažovat minimální dobu měření T_m , za kterou se snímaná hodnota objeví na výstupu snímače. Za jednotku času se dá provést $1/T_m$ měření za sebou. Což je maximální tok informace, který se označuje jako přenosová kapacita kanálu (10)

$$C = \frac{1}{T_m} \log_2 \frac{1}{2\delta} \text{ [bit/s]} \quad (10)$$

Dosažením množství informace získáme vztah (11) pro propustnost snímače.

$$C = \frac{1}{T_m} \quad (11)$$

Pokud se nemění statická chyba a doba měření, pak je propustnost konstantní.

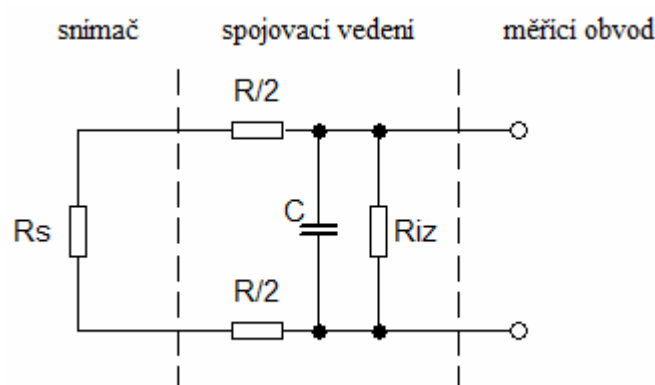
Snímače s několikanásobným převodem mohou mít části s různou propustností. Mohou se pak vyskytnout situace, kdy propustnost první části snímače je menší než druhá. V tomto případě se jedná o nadbytečnost druhé části. Opačný případ se nazývá filtrace, kdy druhá část snímače není schopna přenést vše, co první. Optimálním případem je, když mají obě části snímače shodnou propustnost.

1.8 Popis používaných snímačů

Zde jsou rozebrány snímače používané pro měření síly.

1.8.1 Odporové snímače

Tato skupina poměrně jednoduchých snímačů je založena na principu změny neelektrické veličiny, která je převedena na změnu odporu. Snímač je pasivní, je tedy třeba ho napájet. Vyhodnocování bývá prováděno přes vyvážený nebo nevyvážený odporový můstek.



Obr.4: Náhradní schéma odporového snímače

Aby bylo čidlo připojeno k měřicímu obvodu s co nejmenšími ztrátami, zachováním citlivosti apod., je nutné dodržet podmínku:

$$R \ll R_s \ll R_i \quad (12)$$

Odporové snímače polohy

Jedná se o potenciometr, jehož sběrač (jezdec) mění polohu v závislosti na neelektrické veličině a tím mění odpor

Konstrukce potenciometrů:

- kruhové
- deskové
- šroubovicové
- rtuťové

- elektrolitické
- speciální

Použití:

měření polohy, tlaku apod.

+ jednoduchost, stálost dělicího poměru

- nízká přesnost, nízká životnost (střední doba života)

Tenzometry

Změna odporu je dána deformací tenzometru, který je tvořen kovovým nebo polovodičovým odporovým článkem.

Snímače s volným odporovým článkem

Mezi soustavy držáků jsou uchycené odporové drátky. Působením síly se drátky se roztahují a tím se mění jejich odpor. Toto řešení je velmi náročné na výrobu a má malou zatížitelnost.

Kovové tenzometry lepené

Odporový článek je přilepený na podložce, která je přilepena na měřicí část. Odporový drát má charakter mřížky. Je nutné, aby šířka snímače byla co nejmenší z důvodu příčné citlivosti.

Přesnost měření je výrazně závislá na teplotě. Při dlouhodobém zatížení snímače dochází k povolování tenzometru - mění se velikost odporu s časem. Při dynamickém provozu se mění jeho vlastnosti také. Tyto vlivy se projevují při přesném měření (pod 0,5 %). Střední doba života je dána především kvalitou použitého lepidla a ochranou před vlhkostí a teplotou.

Polovodičové tenzometry

Nejčastěji jsou použita tenká vlákna vyrobená z monokrystalu křemíku. Vodivost závisí na krystalografické orientaci, druhu vodivosti (P nebo N) a na měrném odporu. Zvětšováním koncentrace příměsí se zvyšuje teplotní stabilita. Materiál typu P má lineárnější průběh než N. Nelinearitu lze kompenzovat celou řadou způsobů [2]. Polovodičové tenzometry jsou lepeny buď přímo na měřený materiál nebo jsou opatřeny podložkou (stejně

jako kovové tenzometry). Vhodnou konstrukcí bývá obvykle řešen problém linearizace a teplotní kompenzace. Jejich konstrukční provedení se liší podle jejich funkčnosti [2].

Dále se používá tenzometr s PN přechodem, na který působí hrot a tím mění jeho charakteristiky. Tyto tenzometry mají velice malé rozměry, jsou velmi jednoduché, mají vysoký mechanický rezonanční kmitočet. Jsou vhodné pro statické i dynamické měření. Jejich konstrukce je však velice náročná a mají malou přetížitelnost.

Nevýhody:

- velká závislost na teplotě, malá přetížitelnost
- maximální přetížitelnost 10 až 30 %

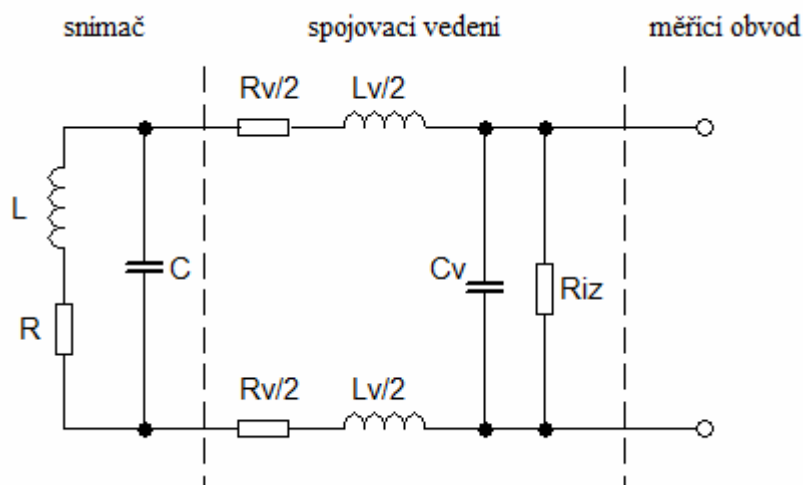
U snímání tlakové a tahové síly se pro převedení síly na deformaci používá pružný element, na kterém jsou nalepeny tenzometry (princip použití pružného elementu je běžný i u jiných typů snímačů). U pružného prvku je nutné, aby měl tyto parametry:

- dostatečnou pevnost a odolnost proti porušení
- vysokou mez pružnosti
- minimální hysterezi a dopružování materiálu
- dlouhodobou stabilitu mechanických veličin
- lineární průběh pružné deformace v měřeném rozsahu v závislosti na zatížení
- minimální vnitřní pnutí

Větší počet použitých tenzometrů zajišťuje vyšší citlivost.

1.8.2 Indukčnostní snímače

Tato skupina snímačů, u které je měřenou veličinou měněna indukčnost, umožňuje řešení většiny problémů z oboru měření neelektrických veličin. Jedná se o pasivní snímač, který bývá zapojen s pomocným střídavým napětím nejčastěji s můstkovými nebo rezonačními obvody.



Obr.5: Náhradní schéma indukčnostního snímače

V náhradním obvodu na obr. 5 je vidět, že cívka má kromě indukčnosti také parazitní kapacitu a odpor, který je dán počtem vinutí. Vzhledem k tomu, že je potřeba, aby snímač měl velkou reaktanci ωL , což při běžných kmitočtech (5 až 50 kHz) nelze splnit, je snímač kmitočtově závislý, protože ωL závisí více na kmitočtu než R , který je závislý především na teplotě. Kapacita C příliš neovlivňuje snímač, protože její reaktance je daleko menší než reaktance indukčnosti při stejném kmitočtu. Vzhledem k působení veličin náhradního obvodu připojovacího vedení na citlivost snímače a jejich proměnlivost způsobenou teplotou, vlhkostí, stárnutím apod., je nutné nastavit reaktanci cívky ωL aby platilo:

$$R, \frac{1}{\omega C} \ll R_v, \omega L_v \ll \omega L \ll R_z, \frac{1}{\omega C_v} \quad (13)$$

Rozdělení indukčních snímačů:

Podle toho, jestli měřená veličina působí na:

- vstup do cívky
- vstup do jádra

Dle přítomnosti jádra:

- cívka bez jádra
- cívka s jádrem (feromagnetické nebo vodivé)

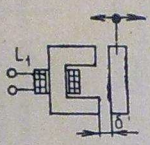
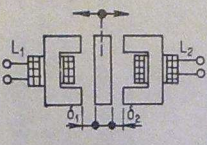
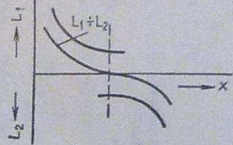
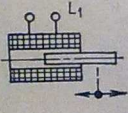
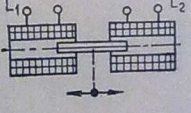
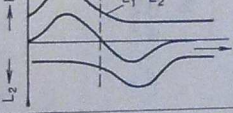
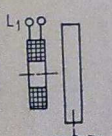
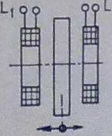
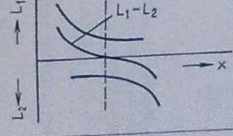
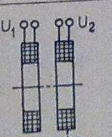
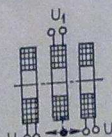
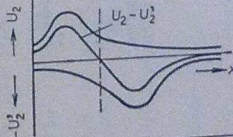
Dle charakteru mechanické veličiny:

- snímače úhlové
- snímače lineární

Dle uspořádání cívky, popřípadě magnetického obvodu:

- s malou vzduchovou mezerou
- s otevřeným magnetickým obvodem
- s potlačeným polem
- bez feromagnetika

Snímání tahové a tlakové síly se provádí snímačem s malou vzduchovou mezerou nebo s otevřeným magnetickým koncem, viz [2]. Obvykle se v čidle nachází deformační člen (může být i vně), který převádí tlakovou sílu na pohybovou výchylku snímače.

Typ snímače	Princip	Diferenční uspořádání	Charakteristika	Rozsah
Malá vzduchová mezera				3 μm až 5 μm
Otevřený magnetický obvod				3 μm až 100 mm
S potlačeným polem				3 μm až 5 mm
Bez feromagnetika				3 μm až 3 mm

Tabulka 1: Základní typy indukčních snímačů [2]

Indukční snímač s malou vzduchovou mezerou

Snímač pracuje buď s pohyblivou částí feromagnetika nebo s pohyblivou cívkou. Vzhledem k nelinearitě snímače s pohyblivou vzduchovou mezerou se používá většinou pouze její diferenční varianta, kterou se nelinearita kompenzuje a používá se při změně velmi malých poloh, viz tabulka 1. U varianty s pohyblivou cívkou platí, že posunutím cívky na jednu nebo druhou stranu se zvětšuje dílčí magnetický tok, jenž prochází cívkou a na svorkách je napětí, jehož velikost je úměrná nesymetrii a tedy posunutí cívky. Pokud je cívka uprostřed pólových nastavců, je výsledný magnetický tok rovný nule.

Indukční snímač s otevřeným magnetickým obvodem

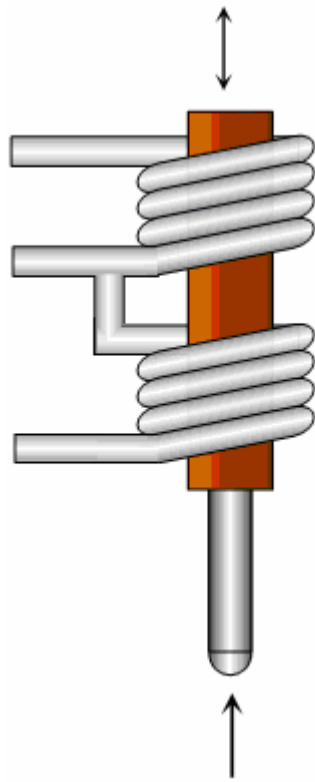
Tento snímač je obvykle složen z cívky, do níž se zasouvá feromagnetické jádro. Cívka většinou bývá umístěna ve feromagnetickém krytu, který je v podélném směru rozdělen, aby nevytvářel závit nakrátko, viz tabulka 1. Oproti předchozímu snímači má tento menší citlivost, větší počet závitů a další nevýhody. Výhodou je možnost použití pro větší

změny polohy (± 100 až ± 300 mm). Z těchto důvodů vznikla kombinace této i předchozí varianty.

Snímač použitý v této práci je snímač s otevřeným magnetickým obvodem, s diferenciálním uspořádáním. Konkrétní snímač je na obr. 6, zapojení cívek je naznačeno na obr. 7, na kterém jsou nad sebou umístěny dvě opačně orientované cívky uvnitř, kterých je pohyblivé jádro spojené s hřídelkou zajišťující výchylku. Toto uspořádání se nazývá polomůstek. U podobných používaných konstrukcí bývá navíc ještě jedna cívka a snímač tak funguje jako vysoce lineární diferenciální transformátor (VLDT), což zvyšuje jeho nároky na přesnost navinutí cívek a celkovou náročnost konstrukce. Pro aplikaci v této práci je polomůstek postačující.



Obr.6: Použitý indukčnostní snímač



Obr.7: Zapojení cívek indukčního snímače

1.8.3 Optické snímače

Principem tohoto typu snímačů je vyhodnocování odraženého paprsku. Snímač má v sobě zdroj paprsku a detektor. Paprsek dopadá na místo, kde jsou drážky a odráží se do detektoru, který rozeznává, jestli paprsek dopadl na drážku či nikoli. Změnou polohy měřeného objektu dochází k přejíždění paprsku přes drážky a tím vzniká sekvence impulsů, které jsou načítány čítačem. V čidle musí být ještě snímač posunutý o násobek čtvrtiny vzdálenosti drážek, což zajišťuje indikaci směru posuvu.

Tyto snímače dosahují veliké citlivosti, přesnosti a linearity, avšak není vhodné jejich použití v místech, jako jsou pracovní prostory obráběcích strojů, kde je velké množství nečistot a všudypřítomná chladicí kapalina.

1.9 Mikroprocesor

Jedná se o součástku pracující obdobně jako procesor, realizovanou obvykle na jednom čipu s vysokou integrací. Mikroprocesor je sekvenční obvod, který zpracovává postupně jednu nebo více instrukcí z pevně nastaveného uživatelského algoritmu (programu). Přechytené instrukce jsou zpracovávány postupně nebo mohou být zpracovávány současně (paralelně). Po spuštění obvodu je nutné nastavit počáteční stav (dán čítačem instrukcí) pro definování začátku zpracovávání instrukcí z programu a nastavit některé důležité registry (přerušovacího systému, sériové komunikace, interních periferií, atd.). Zrychlení procesoru se dosahuje použitím více jader v jednom procesoru.

Základní části centrální procesorové jednotky:

- Řadič (registr A) – obsahuje jeden operand aritmetické nebo logické operace a ukládá se do něj i výsledek. U AVR tuto funkci může zastávat, kterýkoli z registrů R0 až R31
- Banky registrů – soubor registrů s rychlým přístupem k ALU, slouží k ukládání mezivýsledků, mohou představovat ukazatel, nebo mít funkci určenou výrobcem
- Stavový registr – uchovává příznaky operací v ALU nebo obsahu střadače.
- Programový čítač – generuje adresu, z které bude čtena instrukce programu. Tato hodnota obvykle nebývá přístupná.
- ALU (aritmeticko-logická jednotka) – provádí aritmetické a logické operace
- Instrukční registr - registr uchovávající dočasně načtenou instrukci
- Ukazatel zásobníkové paměti – 8 nebo 16-ti bitový ukazatel do datové paměti pro zápis a čtení návratových adres z podprogramů nebo přerušení. Může sloužit k dočasnému bezadresovému ukládání dat.

Příklad v současné době používaných mikroprocesorů:

AVR, PIC, 8051, ARM, DSP (digitální signálový procesor), atd.

1.9.1 Mikroprocesor AVR

AVR označuje typ mikroprocesoru s harvardskou strukturou od firmy Atmel pracující 8 nebo 32 bitově. Patří do architektury RISC, kde je kladen důraz na jednoduchost. Mají omezenou a vysoce optimalizovanou instrukční sadu. Ve skutečnosti jsou redukovány pouze typy strojových instrukcí (práce s pamětí a řídicí instrukce). Procesor komunikuje s pamětí po sběrnici. Nezáleží na tom, na co se který registr využije. Využívá řetězení instrukcí pipelining, kde jsou instrukce rozděleny do různých částí mikroprocesoru a tak zpracovávány najednou.

Paměť mikroprocesoru je připojena dle Harvardské struktury. Je tedy zvlášť paměť pro program a zvlášť paměť pro data. Práce s pamětmi tedy probíhá paralelně ve stejném okamžiku, čímž je rychlejší než Von Neumannova architektura, kde jsou data i program na jedné paměti a práce s ní je sekvenční.

V mikroprocesoru je integrována Flash a EEPROM paměť. Paměť Flash slouží k uložení programu, který nelze uložit v paměti externí. V paměti EEPROM jsou ukládány proměnné, různá nastavení, atd. Obě paměti uchovávají svůj obsah i při odpojení napájení a jsou připojeny dle Harvardské struktury.

Mikroprocesoru AVR se programuje přes AVR programátor a příslušný program pro kompilaci zdrojového kódu do kódu strojového. Nejčastěji se používá nástroj vyvinutý firmou Atmel a to program AVR studio.

Firma Atmel nabízí vývojový kit umožňující testovat navrhnuté programy v reálném procesoru. Kit je napájen i programován přes USB kabel, není k němu tudíž třeba programátor. Lze k němu připojovat vlastní přípravky a další periferie.

1.9.1.1 Mikroprocesor Atxmega

Použitý mikroprocesor od firmy Atmel má označení ATXMEGA128a3-au a má následující vlastnosti:

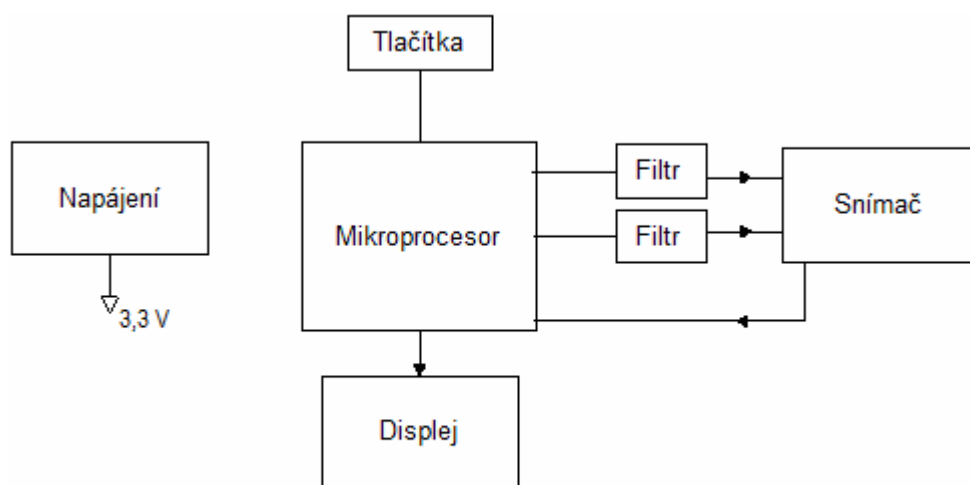
- počet pinů: 64
- počet programovatelných vstupů/výstupů: 50
- napájení: 1,6 – 3,6 V
- rychlost: 32 Mhz
- flash: 128 kB + 8 kB
- EEPROM: 2 kB
- SRAM: 8 kB
- 12 bitový AD převodník (ADC)

Mikroprocesor obsahuje sériové rozhraní USART, možnost využití sběrnice I2C, časovač, čítače, DMA řadič pro transfer dat nezávisle na CPU, událostní systém, může ho využívat většina periférií a DMA řadič, což výrazně odlehčuje CPU, ultra nízká spotřeba - picoPOWER technology pro minimální spotřebu 100nA v Power down módu, EBI sběrnice pro rozšíření RAM, přidání periférií (LCD) nebo v paměti namapovaných zařízení, volně dostupná Qtouch knihovna pro práci s kapacitními dotykovými panely, full speed USB připojitelnost bez externích krystalů (u některých modelů), řadič LCD displeje pro přímé připojení znakového modulu k procesoru, skutečná 1,6V funkcionalita a CPU rychlost až do 32 Mhz, kryptovací protokoly AES, DES, 3-úrovňový řadič přerušení (priorita je volně definovatelná uživatelem), CRC modul (cyclic redundancy check) pro kontrolu integrity dat, RTC (real time clock) s volitelným bateriovým záložním systémem, analogové komparátory s nastavitelnou hysterezní a zpožděním, detekce selhání externího oscilátoru - v případě výpadku začne CPU pracovat s interním 2 MHz oscilátorem.

2 Návrh a realizace

2.1 Návrh obvodového řešení

Pro návrh obvodového řešení je celý měřicí systém rozdělen do bloků na obr. 8. Elektronika obsahuje všechny bloky mimo snímače. Popis návrhu jednotlivých bloků je popsán v kapitolách níže.

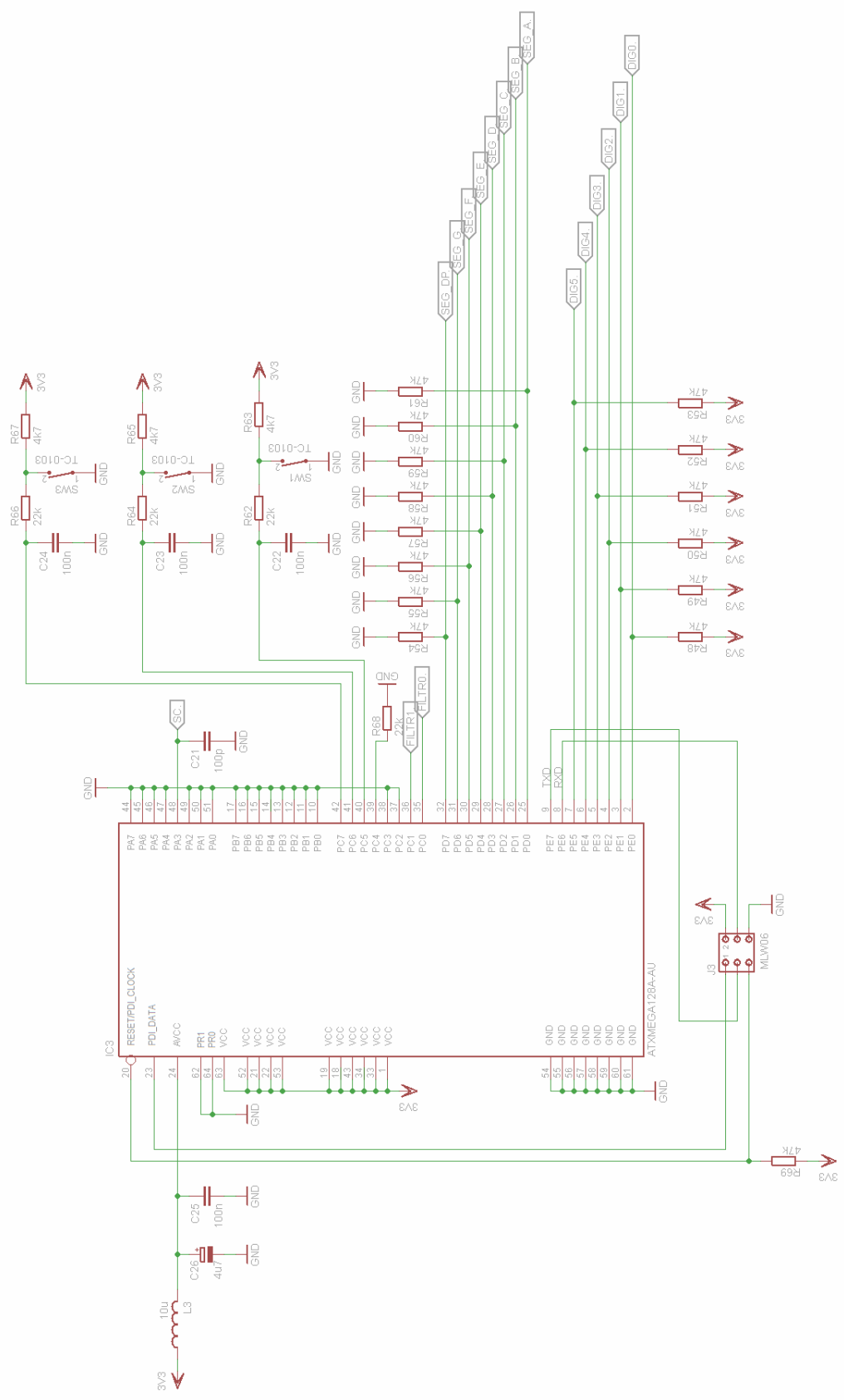


Obr.8: Blokové schéma celého zařízení

2.1.1 Mikroprocesor

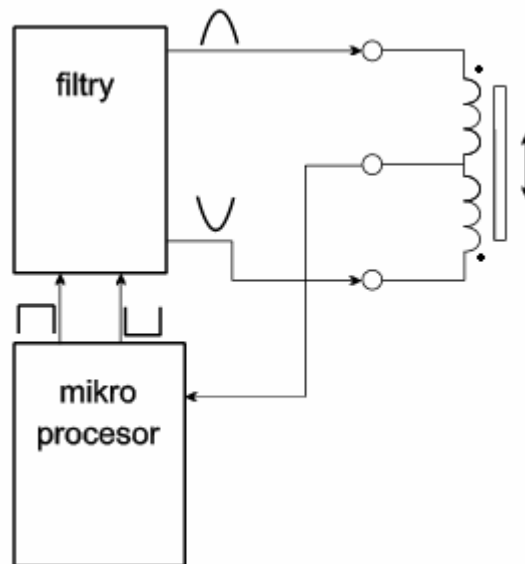
Vývody PE0 – PE5 jsou použity jako výstup pro řízení jednotlivých segmentů a piny PD0 – PD7 řídí jednotlivé zobrazovače. Tlačítka jsou připojena na piny PC5 – PC7, v klidovém stavu je na vstupech napětí, které je po sepnutí vyzkratováno na zem a na vstup se dostane log 0, což je okamžitě zaregistrováno jako stisknutí příslušného tlačítka. Paralelně zařazené kondenzátory 100 pF odstraňují zátky generované při stisknutí tlačítka, je nutné je volit opatrně z důvodů prodloužení doby náběhu překlopení z log 0 do log 1, což by mohlo dělat problémy s vyhodnocením stavu. Piny PC0 a PC1 jsou výstupy pro porovnávací signál do filtrů, viz níže. Do pinu PA3 přichází signál vyhodnocení. Na těchto vstupech jsou kondenzátory 100 pF použity proti rušení. Do konektoru MLW06 jsou připojeny programovací vstupy (PDI_DATA, RESET/PDI_CLOCK) a sériová linka (RxD, TxD) mikroprocesoru, přes kterou by bylo možné komunikovat s elektronikou externě, dále lze přes ni pomocí loaderu mikroprocesor přeprogramovat. Nevyužité vstupy a výstupy jsou ošetřeny připojením na gnd. Schéma zapojení je na další straně na obr. 9.

Dále je použito několik kondenzátorů, které jsou připojeny mezi napájení a gnd a vyhlazují rušení ze stínící plochy, což platí pro celý obvod.



Obr.9: Schéma zapojení mikropočesoru

Z mikroprocesoru je vyslán obdélníkový impuls tvořen sekvencí impulsů rozložených tak, aby jejich šířka kopírovala amplitudy sinusoidy. Jedná se vlastně o modulaci PWM, kde šířka impulsu odpovídá okamžité amplitudě v tomto případě sinusoidy. Takto modifikovaný obdélníkový signál umožňuje lepší filtraci z důvodu menšího obsahu vyšších harmonických oproti obdélníkovým impulsům. Obdélníkový přichází signál do filtru, kde je odfiltrován na první harmonickou a je vytvořena sinusoida. Obdobně je vytvořena sinusoida s opačnou fází přes druhý filtr. Oba signály dále putují do snímače, kde dojde k jejich odečtení. Podle schématu na obr. 10 přichází do horní cívky z elektroniky kladná půlvlna sinusoidy a do spodní cívky záporná půlvlna. V uzlu mezi cívkami se obě půlvlny sečtou a výsledná sinusoida se vrací do elektroniky k porovnání a vyhodnocení. Vinutí cívek jsou orientována opačně, takže pokud je jádro v nevychýlené poloze (přesně uprostřed obou cívek), mají cívky stejnou impedanci a signály se odečtou. V případě výchylky je impedance obou cívek rozdílná a odečtený signál lze porovnávat. Výsledný signál je tedy úměrný rozdílu impedancí cívek, která je úměrná výchylce. Poloha snímače je určena z amplitudy výsledného signálu. Pokud je čidlo v pozici dolní kalibrace, je na výstupu sinus nulovou amplitudou, tedy stejnosměrné napětí a poloha snímače je 0 μm . Při posuvu čidla za spodní kalibrační hodnotu, nabývá výsledná sinusoida na amplitudě a poloha čidla je záporná, což je určeno z obrácené fáze výstupního signálu oproti kladným hodnotám.



Obr.10: Blokové schéma vyhodnocení signálu ze snímače

V mikroprocesoru je příchozí signál navzorkován a převeden na číslíkové vyjádření, dále je zpracováván dle kapitoly popisující algoritmus mikroprocesoru.

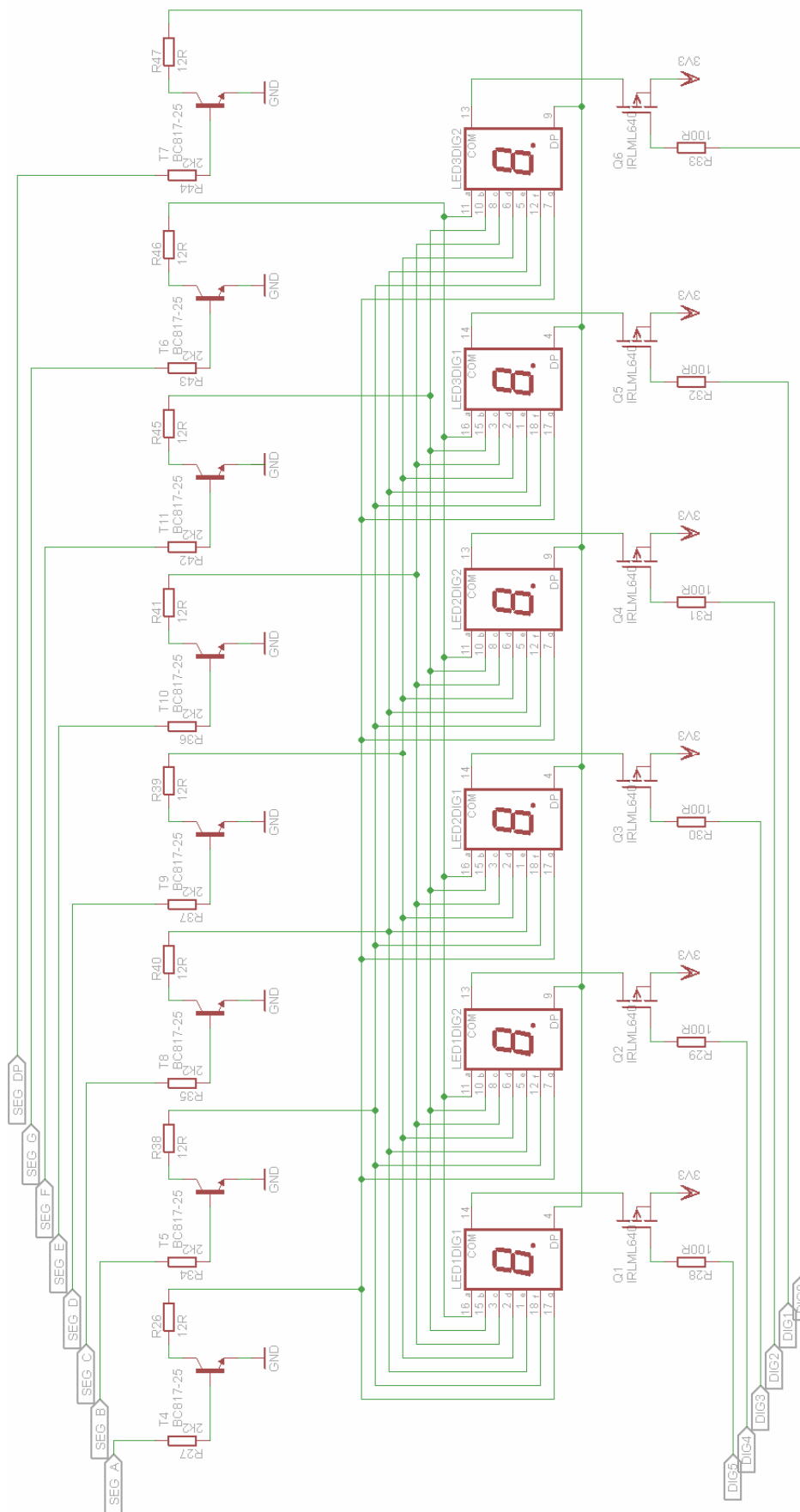
2.1.2 Zobrazovače

V případě zobrazování je třeba vyřešit způsob připojení segmentů k mikroprocesoru. Nejvýhodnější způsob zapojení se ukazuje pomocí multiplexování, kde jsou jednotlivé zobrazovače rozsvěcované postupně. Způsob přímého propojení by byl nepřijatelný z hlediska množství použitých vstupů a množství použitých cest na desce plošných spojů. Zapojení vychází z doporučeného zapojení dle katalogových listů zobrazovačů.

Použito je 6 sedmissegmentových LED zobrazovačů, konkrétně jsou použity 3 moduly, z nichž každý obsahuje 2 zobrazovače z důvodů ušetření místa. Každý má své napájení, které je ovládané přes tranzistor MOS FET mikroprocesorem. Vývody pro ovládání konkrétních segmentů jsou spojeny a ovládány přes bipolární tranzistory tak, aby byly rozsvěceny logickou nulou. Spínací bipolární tranzistory jsou rovněž ovládány z mikroprocesoru. Schéma zapojení na obr. 11.

Rozsvěcení celého displeje se provádí po krocích, cifra po cifře. Rychlost přepínání je tak rychlá, aby ji lidské oko nezaznamenalo, a dá se jí regulovat jas displeje.

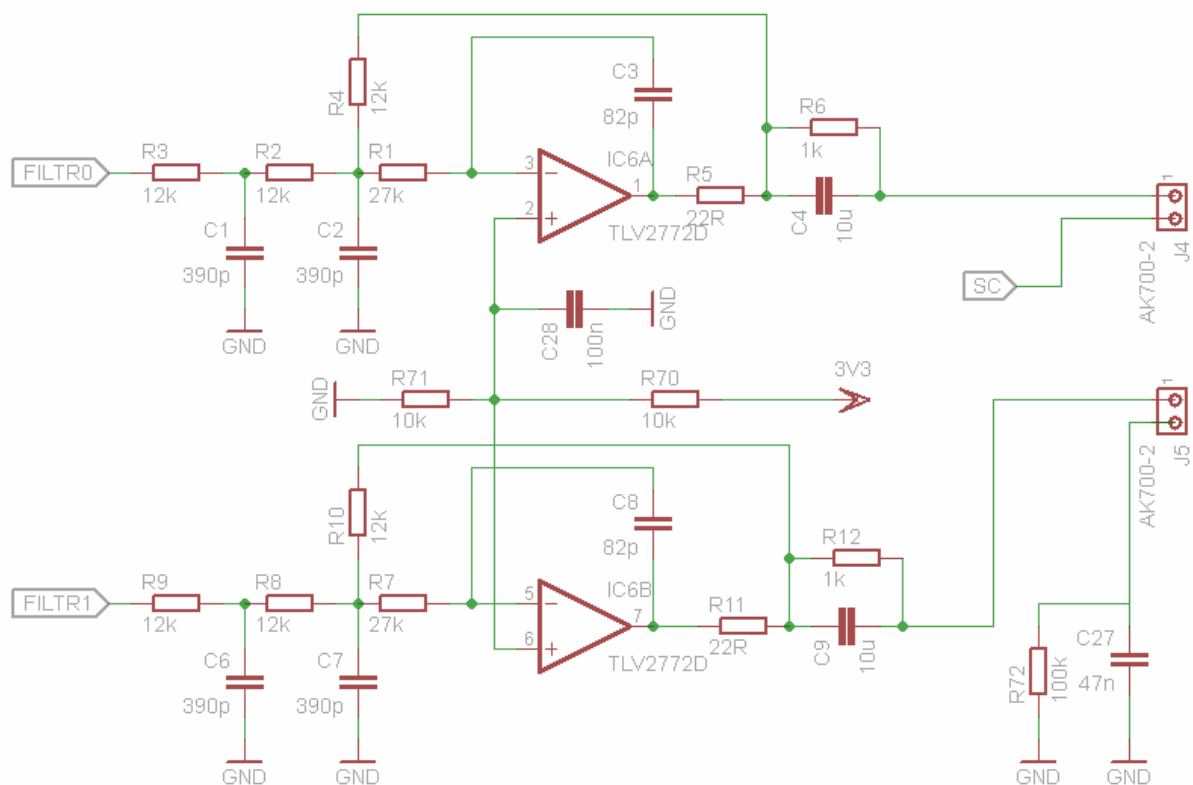
Na displeji je nalepená průhledná tmavě červená fólie. Barva fólie odpovídá barvě LED diod v zobrazovačích, což způsobuje odfiltrování ostatních barev a lepší viditelnost svítícího displeje.



Obr.11: Schéma zapojení LED zobrazovačů

2.1.3 Filtry

K filtrování je využit převzatý obvod, jenž je kompromisem mezi jednoduchostí zapojení a filtrací. V obvodu jsou použity 2 filtry s OZ pracující jako dolní propust 3. řádu. Zapojení (obr. 12) vyplývá z dřívějších používaných filtrů 2. řádu používaných firmou Intronix. V tomto zapojení byl přidán na vstup RC člen, čímž vznikl filtr 3. řádu. Oba filtry dostávají signály z procesoru, z kterých vyfiltrují vyšší harmonické a vyrobí tak sinusoidu. Příchozí signál je, jak již bylo řečeno, vyjádření sinusoidy PWM modulací, aby docházelo ke kvalitnější filtraci. Čím vyšší řád filtru, tím přesnější vyfiltrování, ale větší náročnost na přesnost součástek a náročnější analýza. Výsledné sinusoidy putují do konektoru, kam je připojen indukčnostní snímač. Integrovaný obvod je napájen pouze kladným napětím 3,3 V.

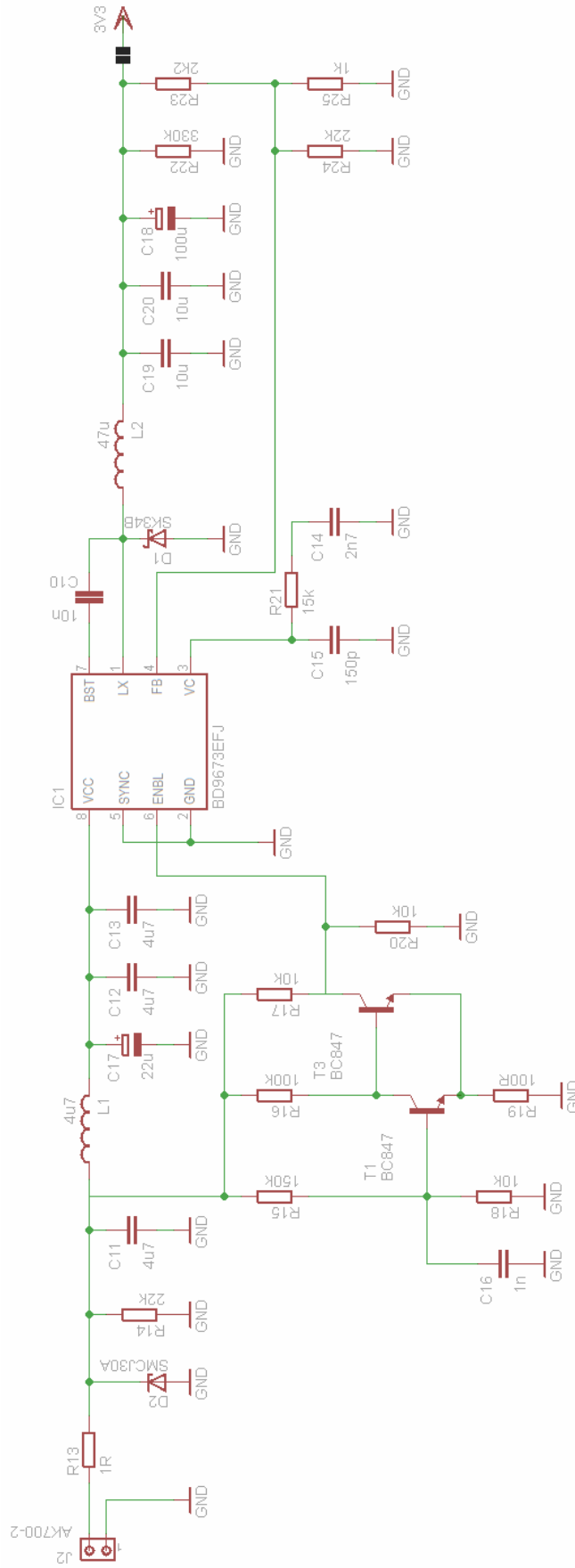


Obr.12: Schema zapojení filtrů

2.1.4 Nápájecí obvod

Návrh toho obvodu je nenáročný z důvodu převzetí z dřívější elektroniky. Obvod má být napájen stejnosměrným napětím 24 V, což odpovídá napětí, které je v elektrickém rozvodu brusky k dispozici a lze je snadno převést na napětí 3,3 V, se kterým pracuje mikroprocesor.

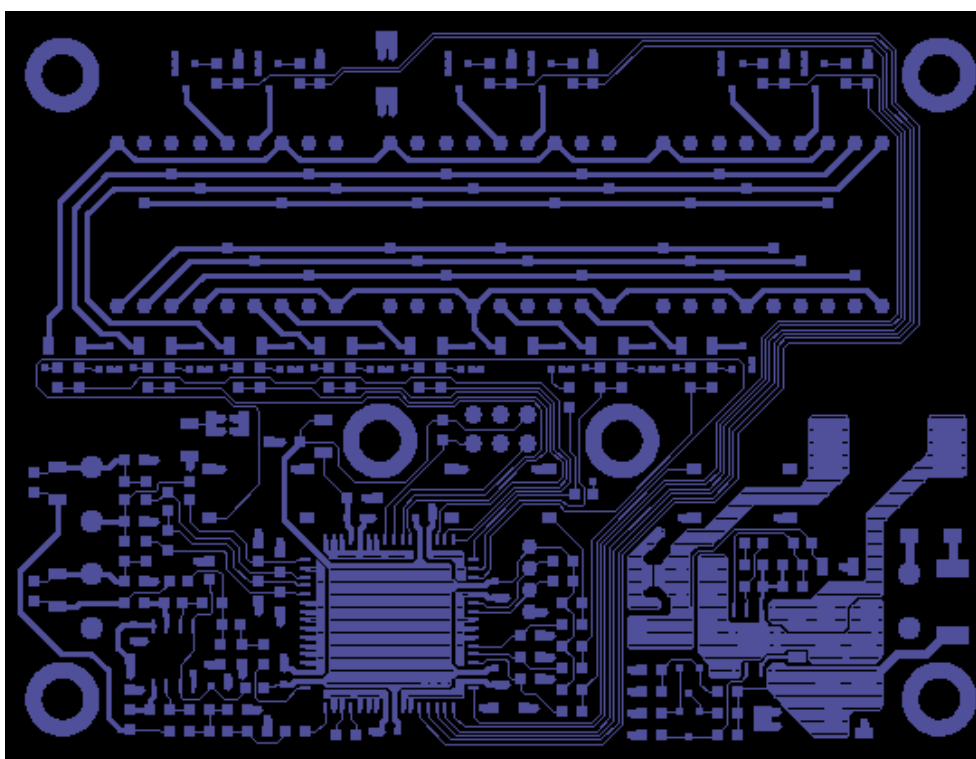
Na vstupu se nachází jednowattový 1 Ω rezistor zajišťující funkci pojistky. Dále následuje dioda proti přepólování napájecího napětí. Následuje obvod ze dvou NPN bipolárních tranzistorů zajišťující vypnutí spínaného regulátoru (vstup enable) při klesnutí napájecího napětí pod 6 V, což odpovídá napětí na výstupu 1,6 V, mikroprocesor by na takovém napětí pracoval neúplně, některé vstupy by fungovaly jiné ne apod., proto je lepší napájení vypnout úplně. Spínaný regulátor generuje impulsy, které po vyfiltrování odpovídají stejnosměrnému napětí o hodnotě 3,3 V. Vyfiltrování provádí cívka na výstupu obvodu. Výsledné napětí odpovídá periodě generovaných impulsů a je nastavena okolními součástkami viz doporučené schéma v [7]. Schéma je na obr. 13.



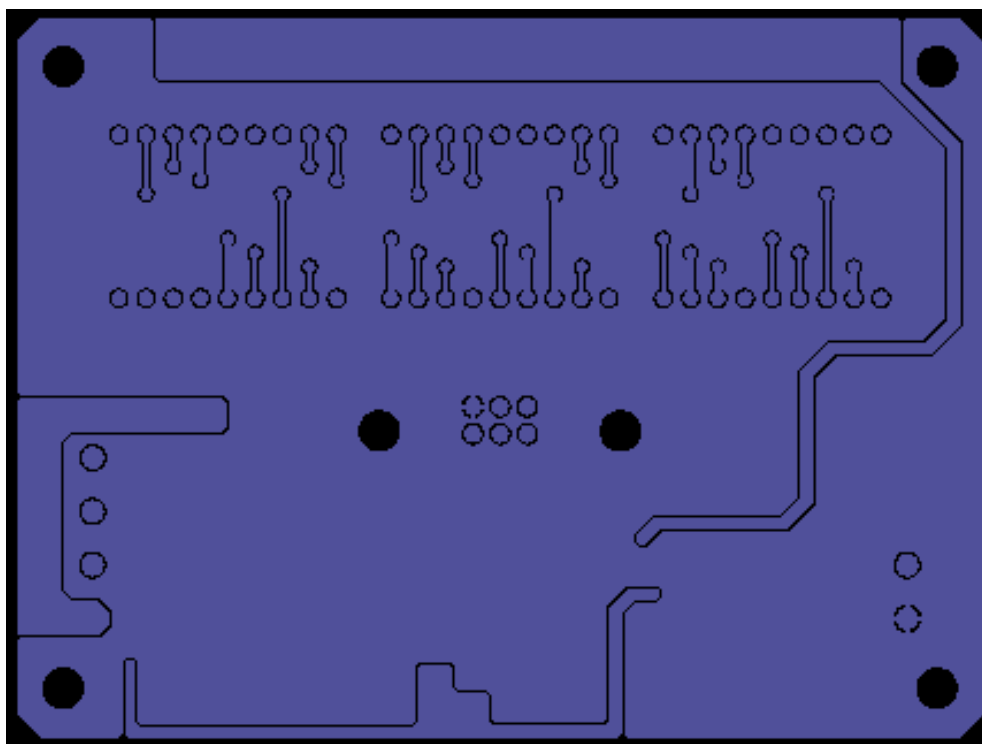
Obr.13: Schéma zapojení napájecího obvodu

2.2 Návrh desky plošných spojů

U návrhu DPS byl zadán požadavek, aby byla deska osazena součástkami pouze z jedné strany a na zadní straně byly umístěny pouze konektory. Zadní strana má být pokud možno jednolitou plochou se zemnicím potenciálem, případně s napájecím napětím součástek, aby zajišťovala funkci stínění proti všudypřítomnému elektromagnetickému rušení. Tento požadavek velice zkomplikoval návrh zejména kvůli použití dvouvrstvé DPS (snížení ceny DPS oproti čtyřvrstvé technologii). Vzhledem k tomu, že automatický návrh uvedené požadavky nezohledňuje, bylo nutno navrhovat DPS ručně, což bylo velice zdlouhavé. Návrhy desek jsou uvedeny na obr. 14 a na obr. 15.



Obr.14: Návrh DPS - spoje a plochy pro součástky na přední straně

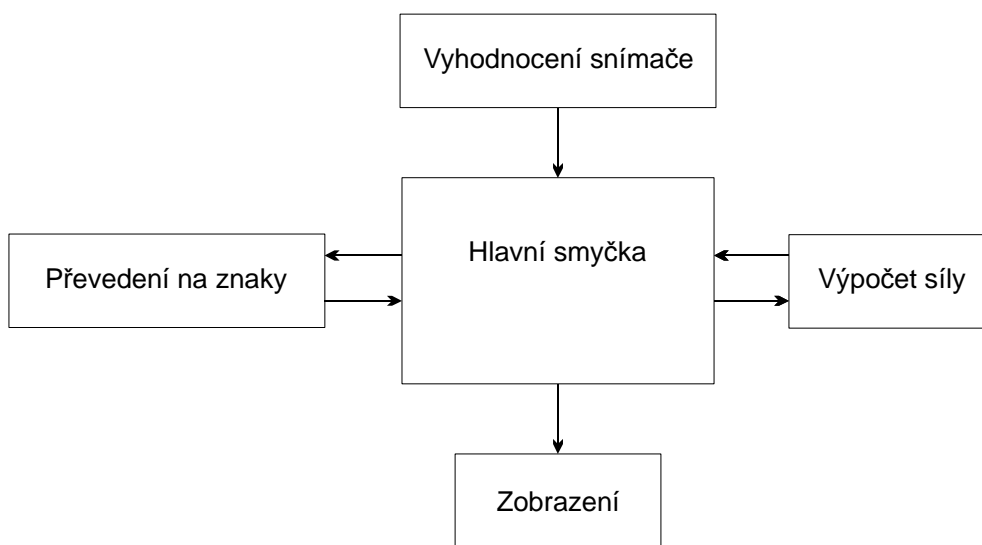


Obr.15: Návrh spojů na zadní straně DPS

Deska plošných spojů je tedy dvouvrstvá s prokvy vyrobená na objednávku od firmy PragoBoard. Napájecí obvod je se zbytkem desky propojen přes plošky, které je při ožívání nutné propájet. V případě poruchy, je možné odstranit z plošek cín a zjišťovat závadu v samostatně oddělených obvodech, aby případný vysoký odběr neohrozil např. mikroprocesor.

2.3 Návrh programu

Pro navrhnuté obvodové řešení je nutné navrhnout strukturu algoritmu, aby splňoval požadované funkce, ze kterých vyplývá blokové schéma viz obr. 16. Zde je potřeba vyřešit hlavní ovládání systému, zobrazování a přepočítání hodnoty snímače na hodnotu síly v N včetně kalibrace. Program pro mikroprocesor je navrhován v programovacím jazyce C. Dále jsou popsány návrhy jednotlivých částí algoritmu, které odpovídají používaným funkcím v programu.



Obr.16: Blokové schéma celého programu

2.3.1 Hlavní smyčka

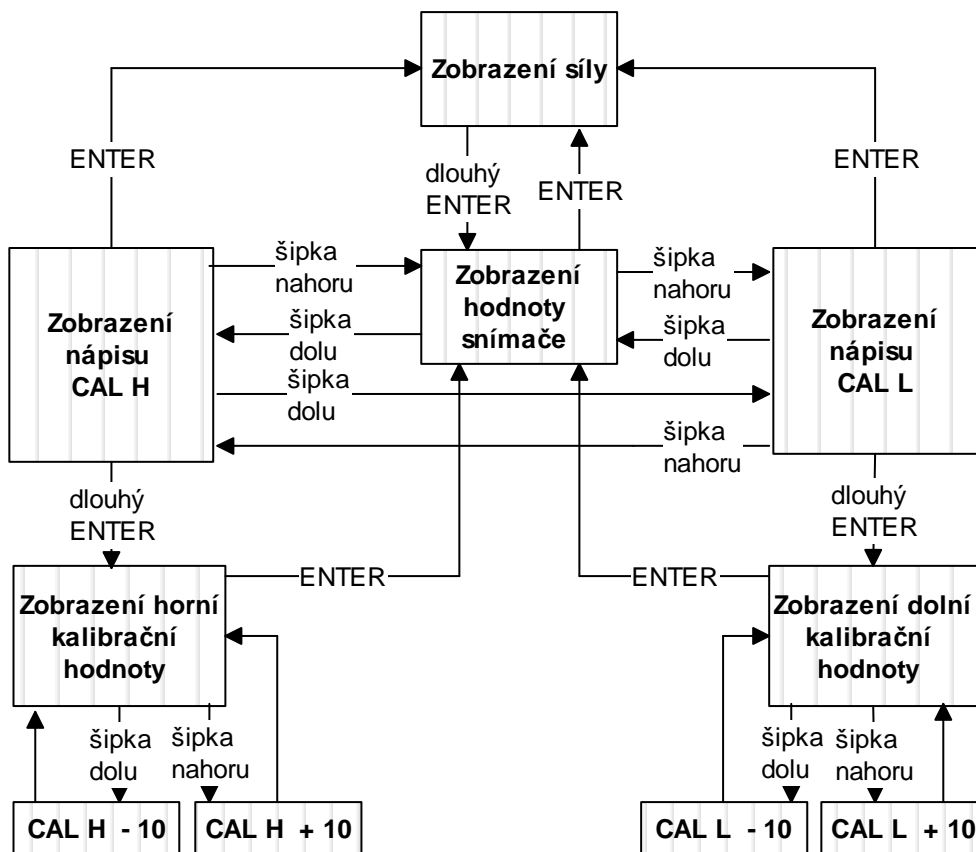
Hlavní funkci je třeba navrhnout tak, aby probíhala periodicky, aby docházelo k neustálému zobrazování a měření. V běžném provozu je třeba přepočítávat výchylku na sílu a tu zobrazovat. Ovšem pro kalibraci a pohyb uvnitř menu je již potřeba se pohybovat v hierarchii bloků programu.

Toto je vyřešeno pomocí příkazu switch, který je uvnitř nekonečné smyčky. Mezi návěstími funkce switch se program pohybuje pomocí stavu, který je měněn v každém bloku programu (respektive neměněn, pokud se má stejný blok operací vykonat znovu), což odpovídá pohybu v diagramu na obr. 17. V každém procesu jsou volány další funkce, které jsou popsány v kapitolách níže.

Po spuštění je zobrazena aktuální hodnota působící síly (spuštění funkcí přepočet, převedení na znaky a zobrazení). Zde je nutné řešit, jak vstoupit do menu, ve kterém by se měla elektronika kalibrovat. Nabízí se stisknutí tlačítka ENTER, stisknutí více tlačítek najednou apod. Použito je stisknutí dlouze ENTERu, aby nedocházelo ke vstupu do menu tak jednoduše.

Základem dlouhého ENTERu je vzestupný čítač, který je nejprve nastaven na dolní a horní mez čítání. Testováním, zda čítač načítal do horní hodnoty, se program dostane na další proces. Dokud čítač nenačítá, je program zacyklený a zobrazuje na displeji pomlčky. Přes vzorec (14) je vypočtena hodnota (od 0 do 6), které je přiřazen počet pomlček, které jsou postupně zobrazovány.

$$a = \frac{6 \cdot (DobaCitani - StavCitace)}{DobaCitani} \quad (14)$$



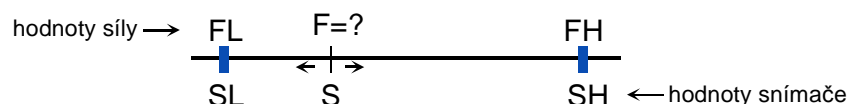
Obr.17: Diagram zobrazující pohyb v hlavní smyčce programu

Dlouhým stisknutím tlačítka ENTER se zobrazí hodnota snímače (vstup do menu). Dále se testováním stisknutého tlačítka spustí proces, např. šipkou nahoru se zobrazí nápis CAL L. Zde se dlouhým ENTERem zobrazí hodnota dolní kalibrační síly a lze jí měnit ± 10 šipkami. Pokud je nastavená hodnota potvrzena dlouhým ENTERem, je uložena do paměti EEPROM, pokud je stisknut ENTER pouze krátce, hodnota se neuloží a program dále pracuje s původní hodnotou CAL L. Při uložení kalibrační hodnoty je zároveň uložena hodnota snímače (SL), ze které je také počítána hodnota síly (viz kapitola 2.3.2). Obdobně funguje větev programu pro horní kalibrační hodnotu.

Pokud čítač nenačítá do horní hodnoty (program v každém cyklu testuje, zda je tlačítko ENTER stisknuté), vrátí se program do předchozího procesu.

2.3.2 Přepoččet síly

Je třeba vytvořit rovnici počítající sílu z polohy čidla, jehož hodnota je získána z převzatého algoritmu. Rovnice pro výpočet musí používat dolní a horní kalibrační hodnotu síly v N a zároveň polohy snímače při těchto pozicích.



Obr.18: Polohy hodnot v měřeném rozsahu

Funkce na přepoččet síly používá k výpočtu vzorec (15), jehož zápis do programu je jednoduchá instrukce na jednom řádku. Odečtením dolních hodnot od horních dostaneme *absolutní* hodnoty k dolní kalibrační hodnotě, jako by to byla nulová hodnota. Stejně tak se odečtením dolní hodnoty snímače od aktuální polohy snímače získá jeho *absolutní* hodnota. Vynásobením *absolutní* polohy snímače a *absolutní* horní hodnoty síly je získána hodnota, kterou je třeba podělit horní hodnotou snímače, abychom dostali hodnotu síly. Tato hodnota je ovšem opět *absolutní* (uvažuje dolní hodnotu nulovou), proto je k ní třeba ještě přičíst hodnotu dolní kalibrace síly.

$$F = FL + \frac{(S - SL) \cdot (FH - FL)}{SH - SL}, \quad (15)$$

kde je

S - hodnota snímače [μm]

FL - dolní kalibrační hodnota síly [N]

FH - horní kalibrační hodnota síly [N]

SL - dolní mez snímače [μm]

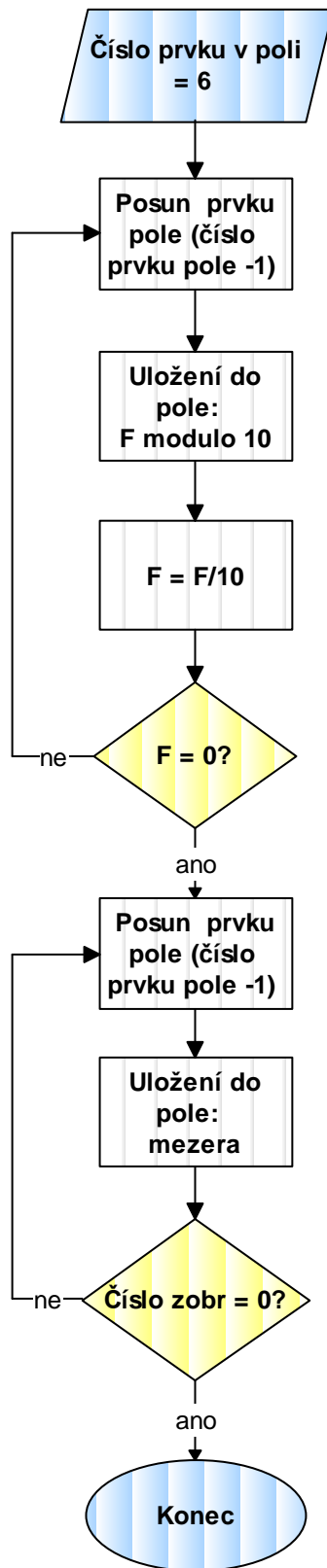
SH - horní mez snímače [μm]

2.3.3 Převod na znaky

Vypočtené hodnoty a další znaky je nutné v programu zpracovat tak, aby bylo možné jejich zobrazování. Z toho důvodu je nutné je rozdělit podle cifer pro jednotlivé zobrazovače. Touto funkcí se naplní pole šesti znaky, které jsou vyslány k zobrazení. Každý prvek pole představuje jeden zobrazovač.

Činnost funkce je patrná z obr. 19. Číslo prvku pole je nejprve nastaveno na hodnotu 5, což bude odpovídat zobrazovači zobrazující jednotky. Dále se do pole na místo 5 zapíše hodnota síly modulo 10 (hodnota je ještě přetypována na char, protože vypočtená síla je typu integer a do pole se bude ukládat jako znak, dále je k hodnotě připočtena ASCII nula, což je základ pro čísla v tabulce ASCII znaků) a vydělením číslem 10 se proces dostane na testování další cifry, tedy pokud je již nulová, pokračuje program na výpis mezer, pokud ne, poslední cyklus se opakuje. V této části se program dostane do cyklu, kde se přiřadí do pole tolik mezer, podle toho kolik zbývá dekrementací čísla prvku pole na nulu. Po dokončení procesu pro prvek adresy nula je funkce ukončena.

Tato funkce je téměř totožná s funkcemi převádějící na znaky hodnoty CAL L a CAL H, kde se do polí vkládají místo číslic i další znaky. Za zmínku stojí odlišnost ve funkci převádějící na znaky hodnotu snímače, kde se snímač může dostat do polohy ještě před dolní kalibrační hodnotou a hodnota snímače je pak nulová. Zde je při doplňování mezer za hodnotu na první pozici testováno, jestli je příznak znaménka 0 nebo 1. Jeli 1, za poslední zapsané číslo se zapíše znaménko minus.



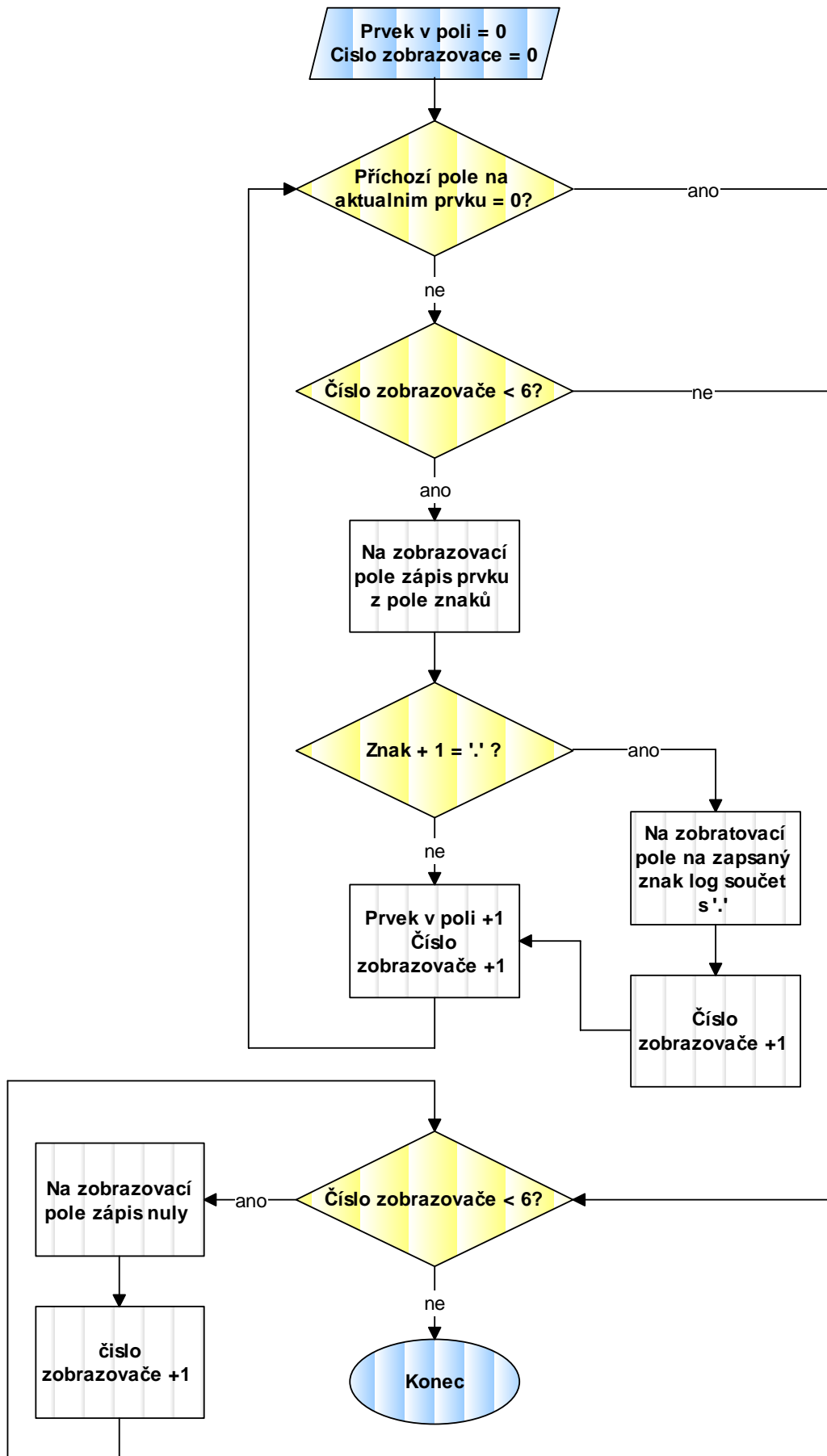
Obr.19: Vývojový diagram funkce převedení hodnot na znaky

2.3.4 Zobrazení

V této funkci jsou znakům z pole naplněným (příchozí pole) ve funkci viz obr. 20 přiřazovány hodnoty, které v binárním vyjádření odpovídají rozsvíceným segmentům na zobrazovačích. Jsou zde dva cykly.

V prvním cyklu je na pozici každého zobrazovače přiřazována hodnota vyjadřující rozsvícené segmenty na displeji (cyklus pracuje od hodnoty 0 a postupně inkrementuje). Tato hodnota leží na adrese pole, která odpovídá ASCII znaku, který byl předán z předchozího algoritmu. V cyklu je také testováno, zdali je následující ASCII znak tečka, pokud ano, přičte se k zobrazované hodnotě logickým součtem hodnota odpovídající rozsvícení desetinné tečky na zobrazovači. Pro další krok se samotná tečka vynechá a cyklus pokračuje v zobrazení dalšího znaku.

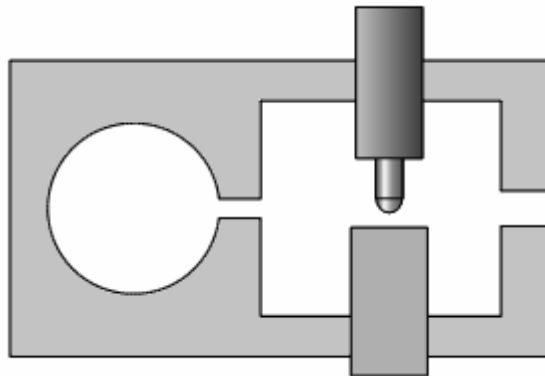
Druhý cyklus se spustí, pokud v prvním cyklu nebylo vyplněno všech šest prvků v poli pro zobrazení. V takovém případě se na zbytek pozic vloží hodnota odpovídající zhasnutí všech LED diod v zobrazovači. Kdyby toto nebylo ošetřeno, na nevyplněných pozicích by svítily LED diody odpovídající předešlému zobrazení.



Obr.20: Vývojový diagram funkce zobrazení

2.4 Konstrukce

K mechanickému převedení působící síly na výchylku je třeba zařadit do měřícího systému pružný člen. Hrot koníku působí na pružinu a ta způsobuje výchylku čidla. Na obr. 21 je pružný člen na ležato, v tomto případě působí síla přes vychylovací člen ze spoda a v horní části pružiny je umístěn snímač. Snímač i vychylovací člen jsou k deformačnímu členu připevněny. Tuhost pružiny lze zmenšovat zvětšováním průměru otvoru vlevo.



Obr.21: Snímač v pružném členu

2.4.1 Zapouzdření

Měřicí elektronika je umístěna v plastové krabičce s gumovým těsněním s IP55. Tlačítka jsou řešena způsobem, jenž nezhoršuje krytí krabičky. Do vrchního krytu jsou vyfrézovány kruhové drážky (viz obr. 22), díky kterým lze část krytu určenou pro tlačítko zmáčknout. Přes vrchní část krabičky je nalepena fólie, která drážky bezpečně utěsní. Stejně tak je utěsněný otvor pro displej. Tlačítka jsou realizována mikrospínači, které mají velmi malý zdvih. K vyvedení kabelu pro napájení a pro snímač jsou použity 2 průchodky PG 9, montované na spodní straně krabičky (z pohledu na přední stranu), které díky dobrým těsnícím vlastnostem celkové krytí prakticky nesnižují.



Obr.22: Pohled zevnitř na víko krabičky

Krabička je přimontována k železné destičce na povrchu brusky se dvěma otvory s vyříznutými závity, do kterých je uchycena šrouby.

3 Dosažené výsledky

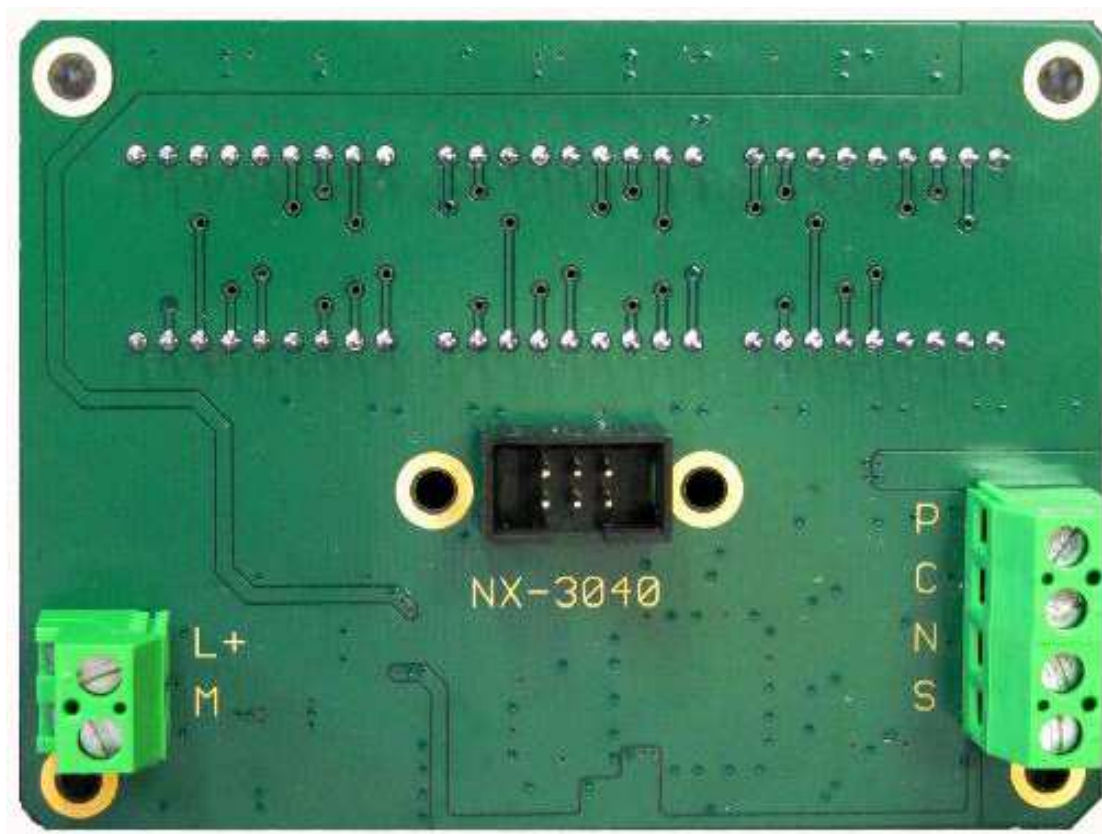
Po návrhu obvodového řešení, návrhu DPS a návrhu algoritmu se podařilo zkonstruovat funkční prototyp, podle kterého lze začít sériovou výrobou.

3.1 Postup výroby

Deska plošných spojů byla ručně osazena SMD součástkami. Na plošky určené pro součástky byla nanášena pájecí pasta, na kterou byly pinzetou usazeny (možno použít vakuovou pinzetu) součástky. Následně byly odstraněny chyby při pečení (posunuté součástky apod.). Dále bylo třeba propájet nožičky u procesoru a součástek, kde nebyl spoj uspokojivý. V další řadě byla deska umyta nahruho a vložena do ultrazvukové lázně k dokonalému omytí. Následně mohly být připájené součástky, které by mohly být v ultrazvukové lázni poškozeny (LED zobrazovače a konektory). Po posledním pájení byla deska domyta již ručně. Následovalo oživení elektroniky, viz následující kapitola. Kompletně osazené desky součástkami jsou na obr. 23 a obr. 24.



Obr.23: Osazená deska - pohled zepředu



Obr.24: Osazená deska - pohled zezadu

3.2 Oživovací postup

- Zkontrolovat správné osazení desky, hlavně správnou polaritu polarizovaných součástek (pozor na tantalové kondenzátory!).
- Připojit napájecí zdroj a postupně zvyšovat napájecí napětí od 0 do 24 V. Odebíraný proud by měl být přibližně **20 mA**. Zkontrolovat napětí na výstupu napájecího obvodu **3,3 V**.
- Propájet destičky spojující napájecí část s dalšími obvody.
- Zvyšovat napájecí napětí od 0 do 24 V. Odebíraný proud by neměl překročit **100 mA**.
- Připojit AVR programátor mezi PC a konektor MLW06 na desce a přes AVR studio nahrát program 3040.elf do mikroprocesoru.
- Zkontrolovat průběhy z filtrů (sinusoidy s opačnou fází) a výstupní signál ze snímače (sinusoida s amplitudou závislou na výchylce snímače).
- Provéřit funkci mikroprocesoru dle návodu k obsluze (poloha čidla se mění pomocí přípravku na mikroposuv, jenž je uveden v příloze).

3.3 Návod k obsluze

Standardně se na displeji zobrazuje síla v N. Pro vstup do menu stiskni dlouze ENTER (6 sekund, signalizováno pomlčkami). Krátkým ENTERem lze z menu odejít zpět.

Pro pohyb v menu slouží šipky nahoru a dolů.

Menu obsahuje 3 následující položky:

- absolutní poloha snímače v μm
- CAL L – kalibrace dolní hodnoty síly
- CAL H – kalibrace horní hodnoty síly

Dlouhým ENTERem lze vybrat kalibraci horní nebo dolní hodnoty síly. Hodnota v N se nastaví šipkami a potvrzení se provede dlouhým ENTERem. Zpět do menu lze přejít stisknutím krátkého ENTERu.

3.4 Parametry realizované elektroniky

Napájecí napětí **24 V**

Proudový odběr **70 mA**

Perioda impulsů ze spínaného regulátoru **2,5 ms** - odpovídá napětí **3,3 V** na výstupu

Rozkmit napětí na výstupech filtrů **1,5 V**

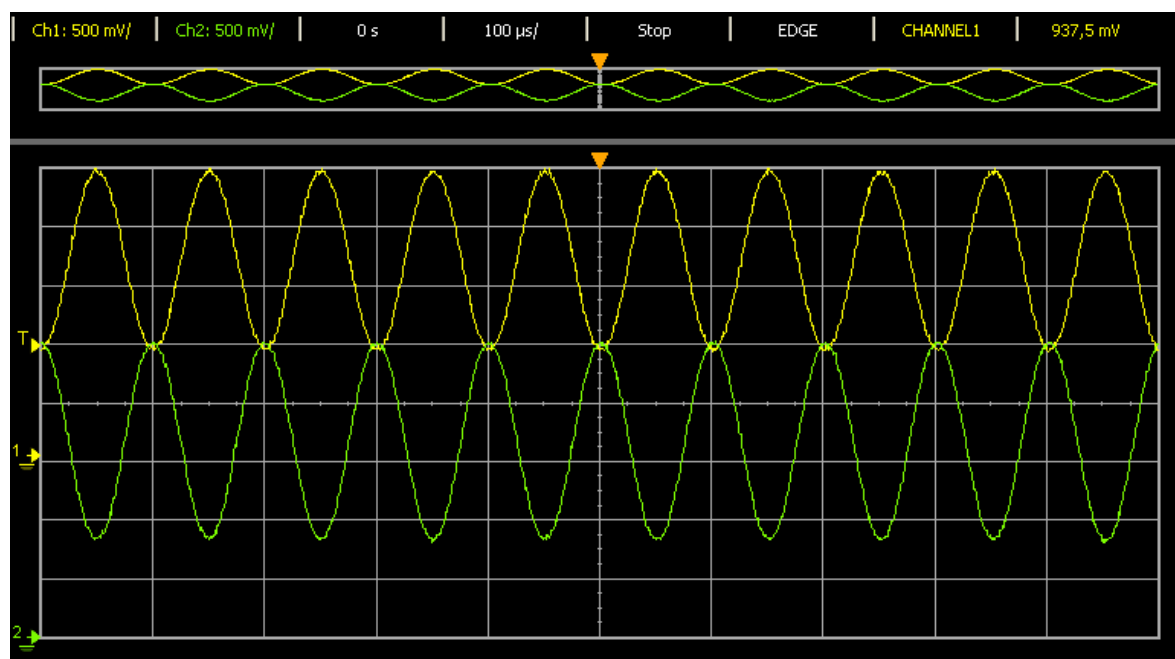
Maximální rozkmit výstupního napětí ze snímače **0,7 V**

Minimální rozkmit výstupního napětí ze snímače **0 V**

Perioda měřicího signálu **100 μ s**

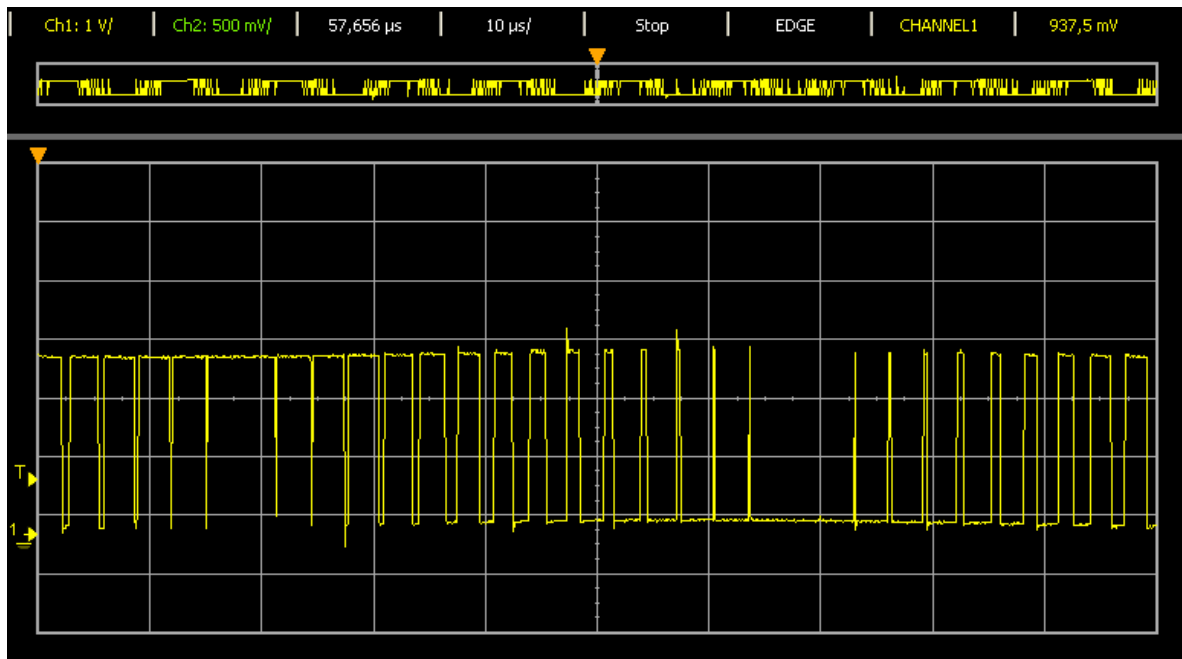
Frekvence měřicího signálu **10 kHz**

Na výstupu filtrů byly naměřeny průběhy sinusoid (obr.25) jejichž fáze je opačná. Rozdílná amplituda je dána chybou měření, respektive použitými sondami osciloskopu a nepřesností použitých součástek (přesnost 1 % a 5 %). Pro vyhodnocení je podstatná hlavně amplituda výstupního signálu z čidla.



Obr.25: Změřené průběhy na výstupech filtrů

Signál PWM modulace generovaný mikroprocesorem byl změřen a je zobrazen na obr.26. Na obrázku je vidět maximum i minimum následně tvarované sinusoidy. Maximum se nachází v místě nejširšího impulsu log 1 a minimum v místě nejširšího impulsu log 0.



Obr.26: Změřený průběh modulace PWM na vstupu filtru

Dále byl změřen výstupní signál ze snímače tedy sinusoida s amplitudou závislou na poloze snímače, tudíž by nemělo smysl uvádět jeho průběh.

4 Ekonomická analýza

Pro výrobu systému je nutné správně stanovit celkovou hodnotu výrobku, aby firma neprodělávala. Ke stanovení hodnoty je třeba znát všechny její aspekty. Vývoj byl směřován k co nejlevnější ceně výroby. Z přičtení marže k hodnotě výrobku vzniká cena.

Aspekt	Hodnota
vývoj (cena za práci vývojáře, cena potřebných programů a přípravků apod.)	10 000 Kč
režie (nájem, elektřina, voda, telefony apod.)	200 %
cena komponent (součástky, DPS, krabička, cín, pájecí pasta apod.)	6 000 Kč
koeficient používaných přístrojů (páječka, pec, měřicí přístroje apod.)	1 000 Kč
výroba (cena za práci – osazování, pájení, očišťování, oživování apod.)	2 000 Kč

Tabulka 2: Hodnoty aspektů ceny jednoho kusu

U ceny za DPS je třeba počítat s vyšší cenou za první desku u které jsou vyrobeny masky na desky další. Taková cena je několikanásobná.

Vzhledem k tomu, že se předpokládá malosériová výroba je stanovena na 30 kusů po dobu 3 let. Tím vzniká 90 kusů celkově k výrobě. Vydělením ceny vývoje celkovým počtem kusů dostaneme hodnotu vývoje na jeden kus. K této hodnotě se připočte cena komponent, cena za výrobu, koeficient používaných přístrojů a režie, která je stanovena jako procentuelní hodnota výrobku. Výsledkem je suma, která je celkovou hodnotou výrobku, v našem případě **27 334 Kč**.

5 Závěr

Obsahem této práce je návrh obvodového řešení zapojení mikroprocesoru, displeje a návrh desky plošných spojů, ale hlavně návrh části programu ovládajícího systém a zajišťujícího kalibraci. Část programu vyhodnocující hodnotu snímače, obvody filtrů a napájení byly převzaty (některé s drobnými modifikacemi) z předešlého přístroje firmy Intronix využívající k měření také indukčnostní snímač. Zařízení, které je obsahem této práce získalo označení NX3040 (řada 30 představuje měřicí systémy firmy Intronix).

Nutné bylo nejprve vyřešit obvodové řešení, které nepředstavovalo příliš velkou náročnost. Zapojení mikroprocesoru obsahuje pouze tlačítka, pomocné součástky a vývody, podobně zapojení displeje, kde jsou zapojeny pouze spínače řízené z mikroprocesoru. S filtračním a napájecím obvodem také nebyl problém, jelikož jsou oba téměř kompletně převzaté z dřívějšího systému. Následoval návrh desky plošných spojů, který představoval daleko větší časovou náročnost, než bylo původně předpokládáno, zejména kvůli požadavku osazení součástkami pouze z jedné strany. Následný návrh algoritmu byl stěžejním bodem celé práce. Nutné bylo seznámit se s ovládáním mikroprocesorů AVR a způsobem jejich programování. Program, jenž je napsán v jazyce C a je uveden v příloze, byl postupně navrhován a odlaďován až se stal funkčním. Navrhnutá elektronika byla realizována a ozkoušena s uspokojujícím výsledkem.

Použitý mikroprocesor byl zvolen, protože obsahuje A/D převodník a je nejlevnějším mikroprocesorem tohoto druhu, používaným firmou Intronix. A/D převodník je sice jen 12ti bitový, takže má menší rozlišovací schopnost, než jakou by měl například samostatný 16ti bitový. Toto je kompenzováno elektronicky, v převzatém algoritmu, řešícím vyhodnocování signálu ze snímače, díky němuž je dosahováno vysoké přesnosti. Použitý algoritmus je schopen vyhodnocovat polohu s velkou citlivostí, ovšem na úkor počtu měření za jednotku času. Jelikož měření síly upnutí není nikterak dynamické, je v našem případě rychlost vyhodnocování naprosto dostačující. Výhodou použitého vestavěného A/D převodníku jeho poměrně nízká cena, protože např. 16ti bitový převodník v podobných případech bývá nejdražší součástí na celé desce.

Použití u jiné aplikace měření síly než u hrotové brusky nevyžaduje žádný zásah do měřicí elektroniky, stačí vyřešit pouze mechanické uložení snímače. Pro jiný rozsah výchylky

lze jednoduše používaný snímač vyměnit. Ovšem je třeba počítat se schopností zpracovávat spíše statická měření.

Následný vývoj by se mohl týkat zlepšování vlastností deformačního (pružného) členu v měřicím systému, jenž se při zkouškách na brusce ukázal jako nejvíce problematický. V praxi se ukázalo, že mechanické uspořádání ručního posuvu způsobuje hysterezi měření. Řešením tohoto problému by mohla být funkce korigující hysterezi, případně vícebodová kalibrace.

Dalším logickým krokem ve vývoji je propojení měřicí elektroniky s řídicím systémem stroje. To znamená nahradit zobrazení měřené hodnoty převodem na sériovou sběrnici PROFIBUS, nebo PROFINET, což je ovšem záležitost finančně poměrně náročná a nevyplatí se, pokud se jedná o pouhé zobrazení měřené hodnoty na displeji ovládacího panelu stroje. Tento přenos nachází uplatnění u strojů s elektricky řízeným koníkem, kde se neupíná ručně, ale prostřednictvím servopohonu, ovládaného řídicím systémem stroje. To pak umožňuje automatické nastavování síly upnutí podle typu obrobku. Brusky s takto řešeným systémem upnutí jsou ale velmi nákladné a u většiny běžných strojů se tudíž vystačí s pouhým zobrazením.

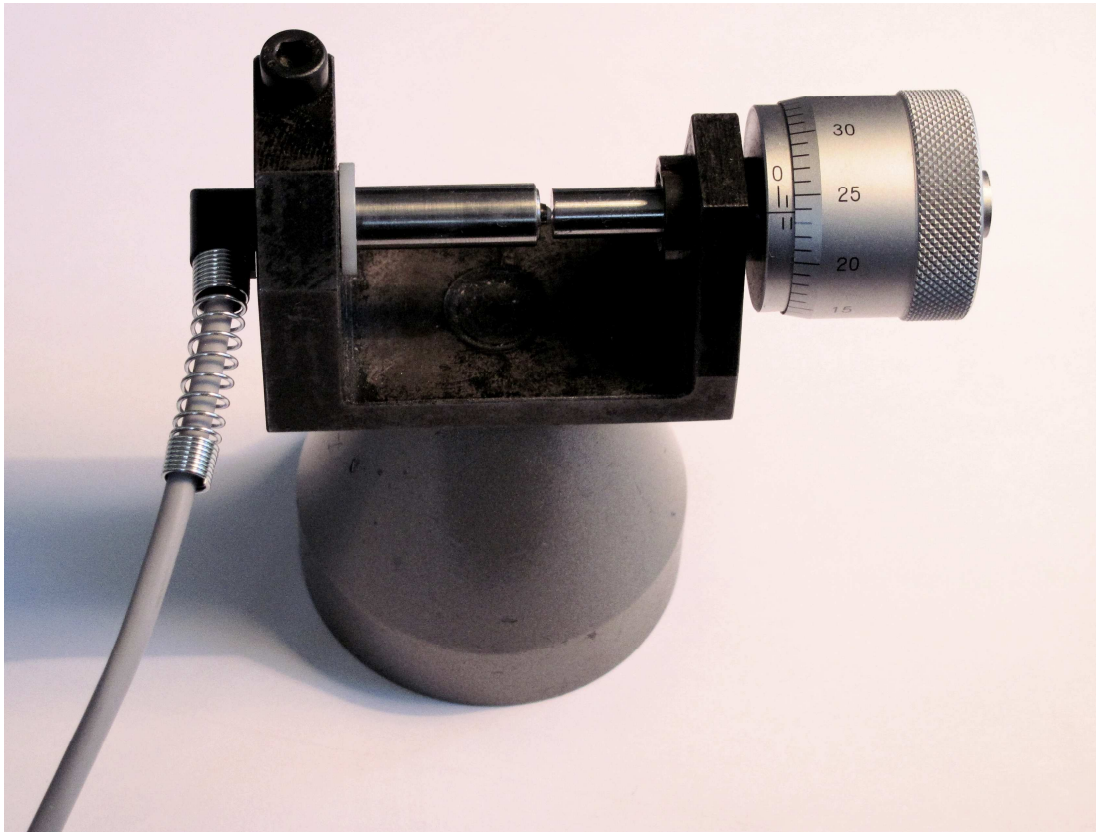
Použitá literatura:

- [1] *Matyáš, J.*: Některé základní pojmy měřicí techniky z hlediska teorie informace, rok 1966
- [2] *Zehnula, K.*: Snímače neelektrických veličin, automatizace a regulace, svazek 21, rok 1977
- [3] *Černý, Trmal, Maršálek*: Brusky a broušení, rok 1970
- [4] *Neumann, P.-Uhlíř, J.*: Elektronické obvody a funkční bloky (I, II), ČVUT 2001
- [5] *Kreidl, M., Šmíd, R.*: Technická diagnostika, senzory-metody-analýza signálu, BEN, 2006
- [6] *Martinek, R.*: Senzory v průmyslové praxi, BEN, 2004
- [7] *Datasheet, BD9673EFJ* ROHM Semiconductor, 2011
- [8] *Datasheet, ATXMEGA128A3-AU* Atmel Corporation, 2010
- [9] *Datasheet, TLV2772*, Texas Instruments, 1998

Příloha



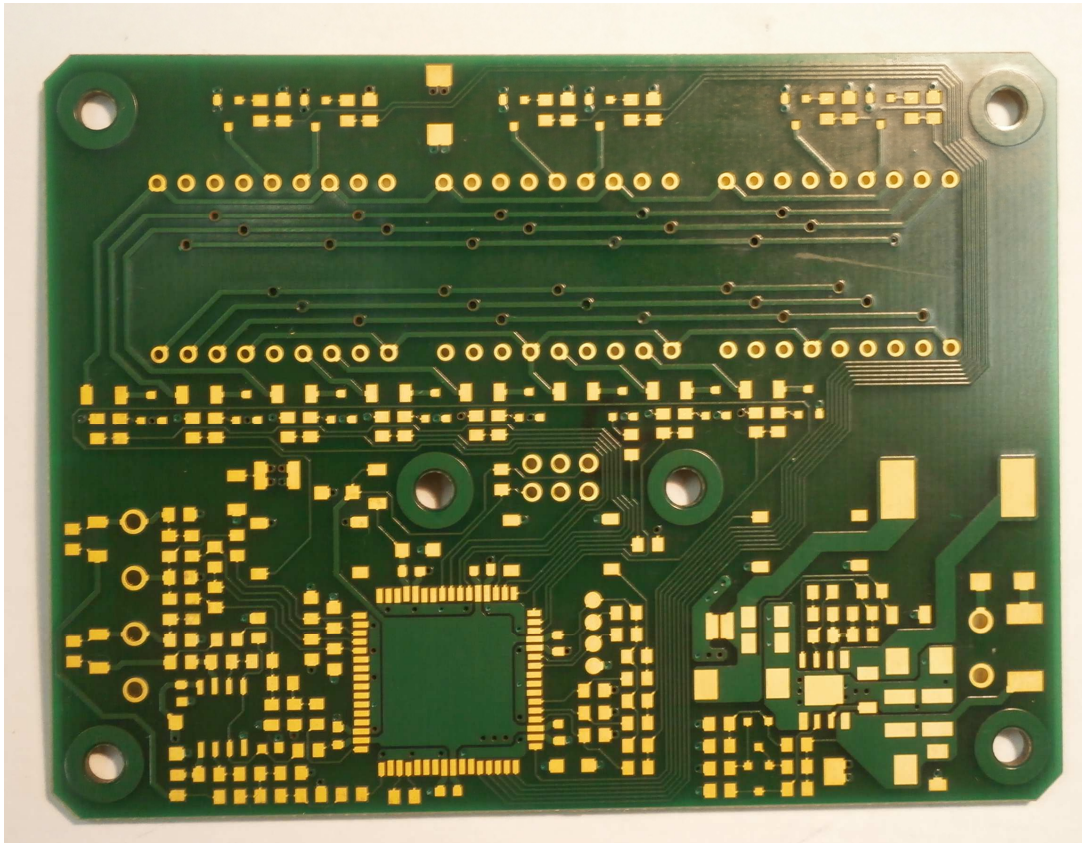
Příloha 1: Samotná krabička s víkem



Příloha 2: Přípravek pro testování mikroposuvu



Příloha 3: Elektronika v krabičce



Příloha 4: Neosazená DPS – přední strana

