

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Ústav automobilovej mechatroniky

Predmet: Návrh elektronických zariadení

Zadanie: Merací prevodník pre silomer

Garant predmetu: doc. Ing. Peter Fuchs, PhD.

Prednášajúci: Ing. Štefan Chamraz, PhD., Ing. Richard Balogh, PhD.

Vypracoval: Šimon Berta

Dátum: 21.4.2019

Krúžok: AM1

Úvod

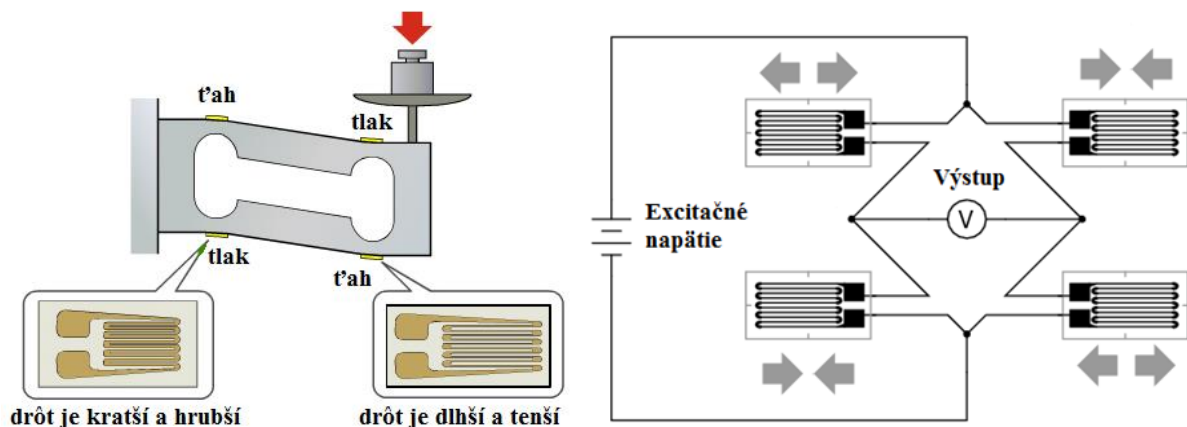
Meracie prevodníky majú v súčasnosti široké využitie v praxi. Slúžia ako medzičlánok medzi samotným snímačom a signál spracujúcim AD prevodníkom či mikropočítačom. Ich hlavný zmysel je v premene a zosilnení veličiny zo snímača (v našom prípade el. odporu) na hodnotu unifikovaných napät'ových alebo prúdových signálov (napr. 1-5 V, 4-20 mA atď.), s ktorými potom vedia ďalšie zariadenia v meracom kanáli pracovať.

Tenzometrický silomer

Vo svojej bakalárskej práci budem potrebovať určitý spôsob, ako dynamicky merať hodnotu sily pôsobiacej od zaveseného závažia na pružine, na základe ktorej budem schopný určiť jeden zo základných deformačných parametrov pružiny - jej tuhosť. Ako snímač bude použitý nosníkový silomer (Obr. 1), ktorý sa skladá zo špeciálne upraveného hliníkového nosníku (ktorý je schopný sa pružne deformovať pôsobiacou silou) a štyroch odporovo rovnakých fóliových kovových tenzometrov prilepených na najviac namáhané miesta nosníka (Obr. 2). Dané tenzometre sú zapojené do Wheatstoneovho mostíku (Obr. 2), pričom ide o zapojenie plného mostíka, aby sme kompenzovali hlavnú poruchovú veličinu – vplyv teploty na odpor tenzometrov. Pri deformácii nosníka sú vždy dva tenzometre namáhané na tlak a dva na ťah, pričom tieto sú zapojené vždy v protiľahlých vetvách mostíka (Obr. 2).



Obr. 1 Nosníkový silomer^[1]



Obr. 2 Zmena odporu tenzometrov pri deformácii^[2]/Mostíkové zapojenie tenzometrov^[3]

Ak teda napájame takýto odporovo vyvážený mostík napájacím (excitačným) napätím, dochádza pri deformácii silomeru ku zmene odporu tenzometrov (rádovo desatiny ohmu) a teda na výstupe z mostíka nameriame malé napätie lineárne úmerné veľkosti deformácie. Toto napätie je však veľmi malé (rádovo mV), preto je potrebné ho pred AD prevodníkom dostatočne zosilniť a prípadne odfiltrovať nežiadúci šum naindukovaný v prírodných vodičoch ku snímaču. Preto je potrebné použiť vhodne navrhnutý merací prevodník.

Uvažované parametre silomeru sú nasledovné (viac informácií je možné nájsť v datasheete^[4]): max. zaťaženie 5 kg, napájanie (excitácia) 5 V, rozsah napät'ového diferenciálneho výstupu z mostíka 0 až 4,6 mV pri zaťažení 0 až 50 N v jednom smere. Požadované parametre meracieho prevodníka by mali byť nasledovné: napät'ový rozsah výstupu 0 až 5V (pri zaťažení 0 až 50 N), malý šum na výstupe, nesymetrické napájanie prevodníku (+5V a 0V).

Princíp činnosti prevodníku

Navrhnutý merací prevodník sa funkčne skladá z troch hlavných celkov, pričom prvé dva tvoria zapojenie tzv. prístrojového zosilňovača a tretí celok je filtračný. Prístrojový zosilňovač využíva vlastnosti zapojenia operačných zosilňovačov na zosilnenie veľmi malých napät'ových signálov zo silomeru.

V prvej časti sú kvôli zachovaniu vysokého vstupného odporu na vstupe prevodníka (sem sa pripája priamo silomer) zaradené dva operačné zosilňovače, ktoré plnia funkciu napät'ových sledovačov, pričom výstupný napät'ový signál zo silomeru aj zosilňujú. Veľkosť zosilnenia je daná hodnotami rezistorov $R1$, $R2$ a odporového trimra RVI . Výhodou takéhoto

zapojenia je možnosť meniť (nastavovať) zosilnenie prevodníka jediným prvkom, a to trimrom *RV1*.

Za nimi sa nachádza operačný zosilňovač v diferenčnom zapojení (takto zapojený operačný zosilňovač zosilňuje na výstupe napät'ový rozdiel medzi jeho dvoma vstupmi). Tento člen vďaka zvoleným hodnotám rezistorov nezosilňuje (má zosilnenie rovné 1), má ale za úlohu prevádzať výstupné diferenciálne napätia zo sledovačov na jedno výstupné napätie. Odporovým trimrom *RV2* možno meniť referenciu napätia, vieme teda nastaviť dolnú hranicu výstupného signálu (napät'ový začiatok prevodovej charakteristiky).

Na konci sa nachádza zapojenie aktívneho dolnopriepustného filtra druhého rádu (typ Sallen-Key) so zosilnením 1, ktorý je nastavený na určitú medznú frekvenciu, a ktorý filtruje nežiadúce naindukované šumové napät'ové signály vyšších frekvencií a zabraňuje aliasingu na vstupe AD prevodníka, ktorý pripájame priamo na výstupný signál z nami navrhnutého prevodníka pre silomer.

Popis použitých súčiastok:

Ako integrovaný obvod obsahujúci operačné zosilňovače bol zvolený obvod MCP602 od výrobcu Microchip^[5], nakoľko svojimi parametrami plne vyhovuje požadovanej aplikácii: vysoký vstupný odpor ($10^{13} \Omega$), malý výstupný odpor, nesymetrické napájanie (+2,7 až +5,5 V a 0 V), Rail-to-Rail vstup a výstup, nízky šum na výstupe, malý prúdový odber, obsahuje dva obvody operačných zosilňovačov v jednom DIP-8 púzdre, malý napät'ový ofset výstupu, vysoké CMRR (90 dB), nízky napät'ový drift vplyvom teploty ($\pm 2,5 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) a výstupné napätie nedosiahne opačnú fázu v prípade dosiahnutia napájacieho potenciálu.

Rezistory sú z rady E24 s toleranciou $\pm 1 \%$ a na príkon 0,6 W, a boli určené tak, aby ich hodnoty boli rádovo k Ω . Kondenzátory *C1* a *C2* sú volené fóliové, kvôli lepšej teplotnej stabilite. Kondenzátory *C3* a *C4* sú keramické a slúžia na filtráciu napájacieho napätia a ako lokálne zdroje napätia (tzv. bypass decoupling kondenzátory) pre operačné zosilňovače. Odporové trimre *RV1* a *RV2* sú viacotáčkové, aby bolo možné presnejšie nastaviť ich hodnotu odporu. Na vstupe aj výstupe prevodníka sa nachádzajú štandardné pinové konektory pre jednoduchšie pripojenie silomeru a napájania s výstupným signálom pre AD prevodník (Obr. 3).

Celkové zosilnenie K prevodníka je dané vzorcom^[6]:

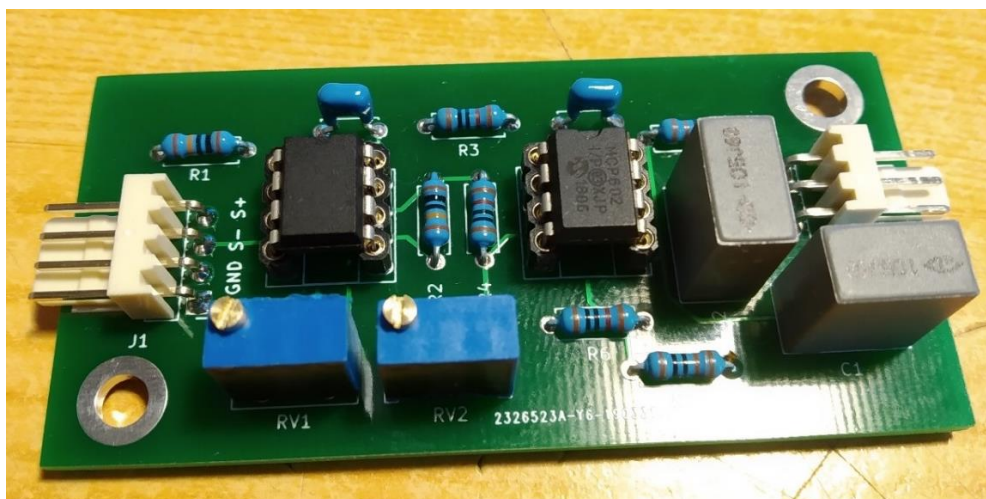
$$K = \left(1 + \frac{2R1}{RV1}\right) \left(\frac{R5}{R3}\right) \quad (1)$$

čo pri hodnotách $RV1 = 185 \Omega$, $R1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R3 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R5 = 10 \text{ k}\Omega$ zodpovedá zosilneniu $K = 1082$. To pri maximálnom diferenčnom napätí výstupu mostíka silomeru 4,6 mV (pri zaťažení 50 N) na vstupe dáva hodnotu napätia 4,97 V na výstupe prevodníka.

Vzhľadom na to, že na vstup meracieho prevodníku bude privedený signál s maximálnou frekvenciou okolo 16 Hz, bola za medznú frekvenciu koncového dolnopriepustného filtra zvolená hodnota o rád vyššia - 160 Hz. Hodnoty $R6$, $R7$, $C1$ a $C2$ pre filter boli teda určené tak, aby podľa nasledovného vzorca^[7]:

$$f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{R6C1R7C2}} \quad (2)$$

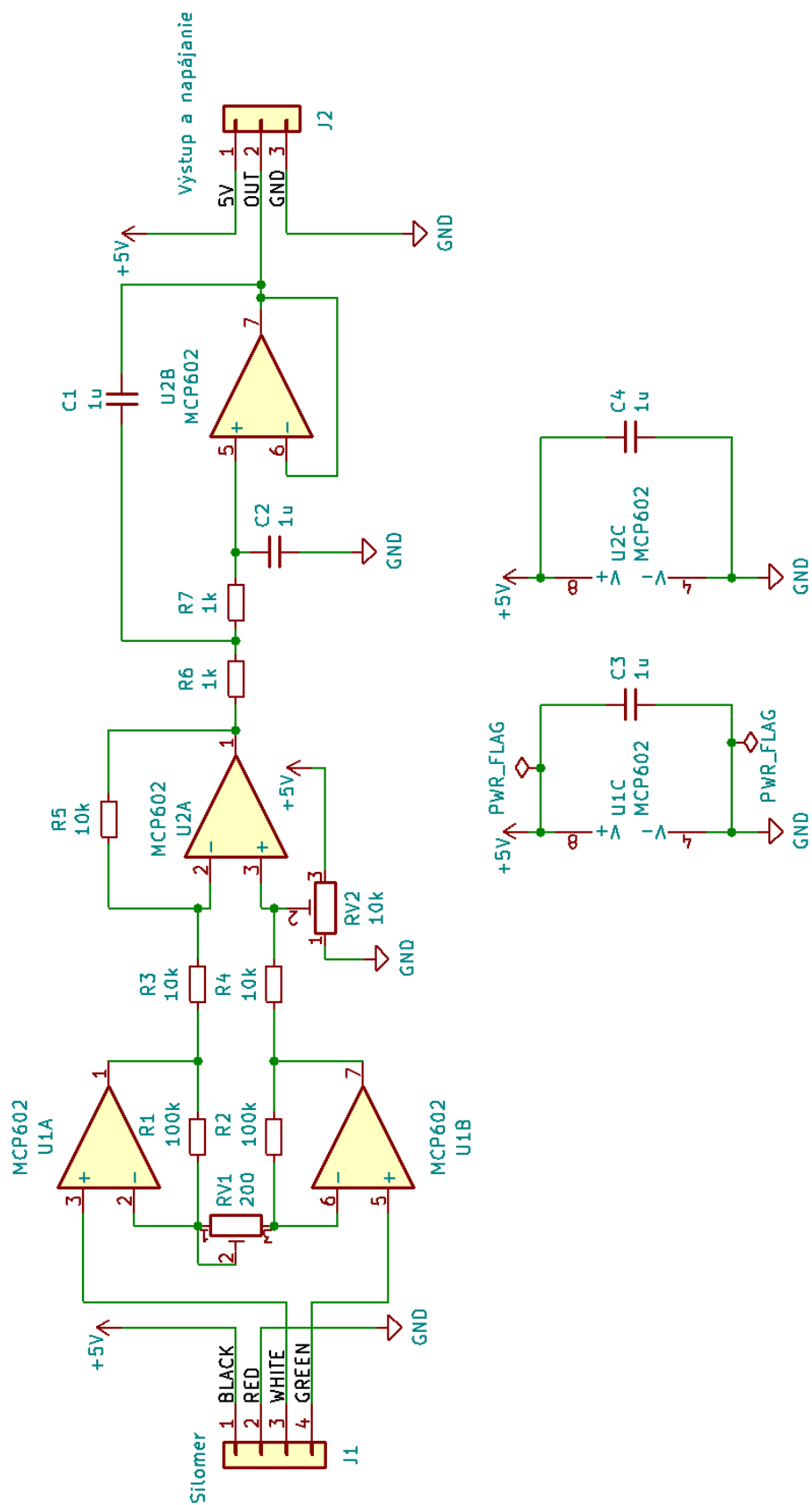
vyšla medzná frekvencia f_m blízka 160 Hz (159,155 Hz pri uvažovaní štandardných hodnôt súčiastok). Rezistory $R6$ a $R7$ boli teda zvolené s hodnotou 1 k Ω , preto kondenzátory $C1$ a $C2$ musia mať hodnotu 1 μF .



Obr. 3 Osadená a funkčne odskúšaná DPS meracieho prevodníku

Schéma zapojenia

Schéma (Obr. 4) vznikla v programe KiCAD, úspešne zvládla test ERC (electronic rules check- test pravidiel zapájania elektrických obvodov). Schéma popisuje zapojenie len meracieho prevodníku, pričom sa v nej nachádzajú konektory pre pripojenie silomeru a napájania s výstupným signálom.

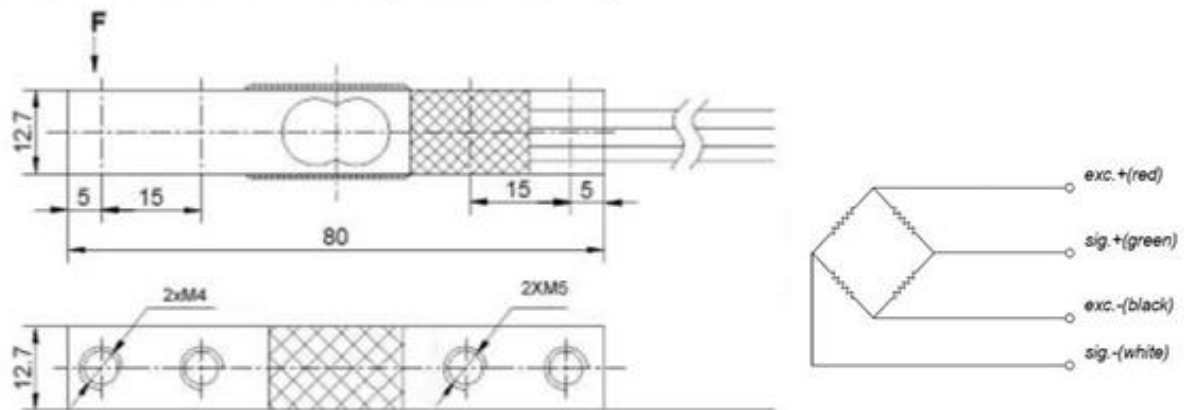


Obr. 4 Schéma zapojenia meracieho prevodníku

Datasheet nosníkového silomeru

Na Obr. 5 je možné nájsť základné technické informácie o použítom nosníkovom silomere vrátane rozmerov, elektrického zapojenia, napájania, chýb merania a teplotného rozsahu použitia.

Electrical connection and Dimensions:(dimension unit: mm)



Specifications:		
capacity	kg	3,5,10,20,25,30,50
safe overload	%FS	120
ultimate overload	%FS	150
rated output	mV/V	1.0 ± 0.15
excitation voltage	Vdc	5 - 10
combined error	%FS	± 0.05
zero balance	%FS	± 0.1
non-linearity	%FS	± 0.05
hysteresis	%FS	± 0.05
repeatability	%FS	± 0.05
creep	%FS/3min	± 0.05
input resistance	Ω	1000 ± 15
output resistance	Ω	1000 ± 10
insulation resistance	M Ω	≥ 2000
operating temperature range	°C	-10 ~ +55
compensated temperature range	°C	-10 ~ +40
temperature coefficient of SPAN	%FS/10°C	± 0.05
temperature coefficient of ZERO	%FS/10°C	± 0.05

Obr. 5 Datasheet použitého nosníkového silomeru^[4]

Zoznam použitých súčiastok

Súčiastky (Tab. 1) boli zakúpené v elektrotechnickom obchode GME. Integrované obvody MCP602 boli použité z vlastných zásob.

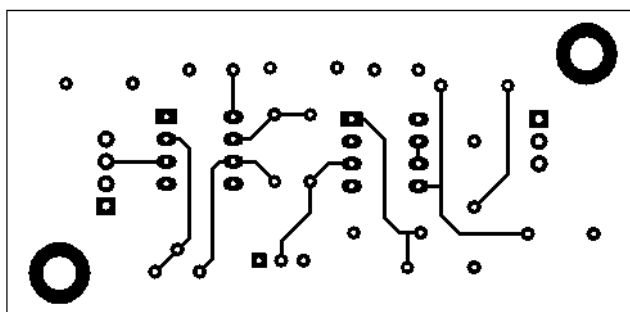
Tab. 1 Zoznam použitých súčiastok

Množstvo	Referencia	Opis	Typ	Hodnota	Obj. číslo	Cena (€/ks)	Footprint	Datasheet
2	U1, U2	integrovaný obvod	MCP602-I/P		311-054	0,73	DIP-8	http://ww1.microchip.com/download/en/DeviceDoc/21314g.pdf
2	R1, R2	rezistor	MF0207104F TB	100 k Ω	110-121	0,10	DIN0207	https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.110-121.1.pdf
3	R3, R4, R5	rezistor	MF0207103F TB	10 k Ω	110-097	0,10	DIN0207	https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.110-097.1.pdf
2	R6, R7	rezistor	MF0207102F TB	1 k Ω	110-073	0,10	DIN0207	https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.110-073.1.pdf
2	C1, C2	kondenzátor fóliový	C231J105J30 A301	1 μ F	121-104	0,27	C_Rect_L10.3mm_W5.7mm_P7.50mm	https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.121-104.1.pdf
2	C3, C4	kondenzátor keramický	R20W105K1 HH5B	1 μ F	120-258	0,16	C_Disc_D5.0mm_W2.5mm_P5.00mm	https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.120-258.1.pdf
1	RV1	odporový trimer	M64Y201KB 40	200 Ω	112-130	0,98	Potentiometer_Trimmer_Bourns_3296Y	https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.112-130.1.pdf
1	RV2	odporový trimer	M64W103KB 40	10 k Ω	112-233	0,83	Potentiometer_Trimmer_Bourns_PV36W	https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.112-233.1.pdf
1	J1	konektor 4-pinový	137-04 RG	4 pin	800-171	0,20	Pin_Header_Angled_1x04_2.54mm	https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.800-171.1.pdf
1	J2	konektor 3-pinový	137-03 RG	3 pin	800-169	0,17	Pin_Header_Angled_1x03_2.54mm	https://www.gme.sk/data/attachments/dsh.800-169.1.pdf

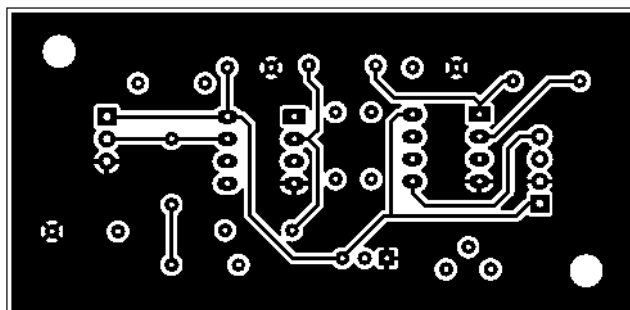
Návrh dosky plošných spojov

Návrh plošného spoja (Obr. 6) a generovanie gerber súborov pre jeho výrobu bolo realizované pomocou príslušných nástrojov v programe KiCAD. Pri návrhu sa brali do úvahy požiadavky na malé rozmery, upevňovacie diery a blízkosť súčiastok. Dosku plošných spojov sme nechali vyrobiť vo firme PRINTED s.r.o..

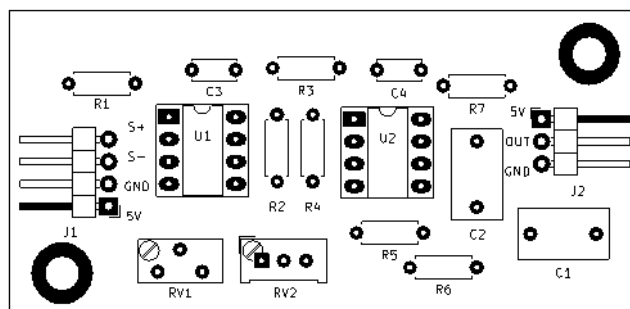
Vrchná vrstva



Spodná vrstva



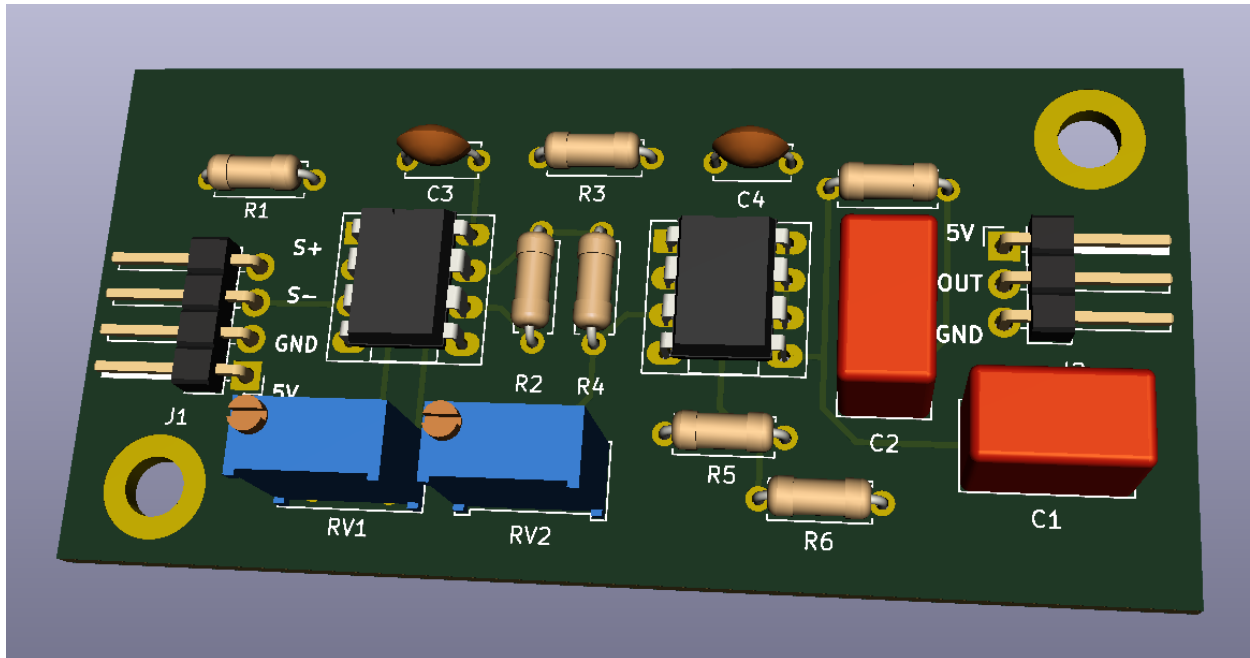
Rozmiestnenie súčiastok



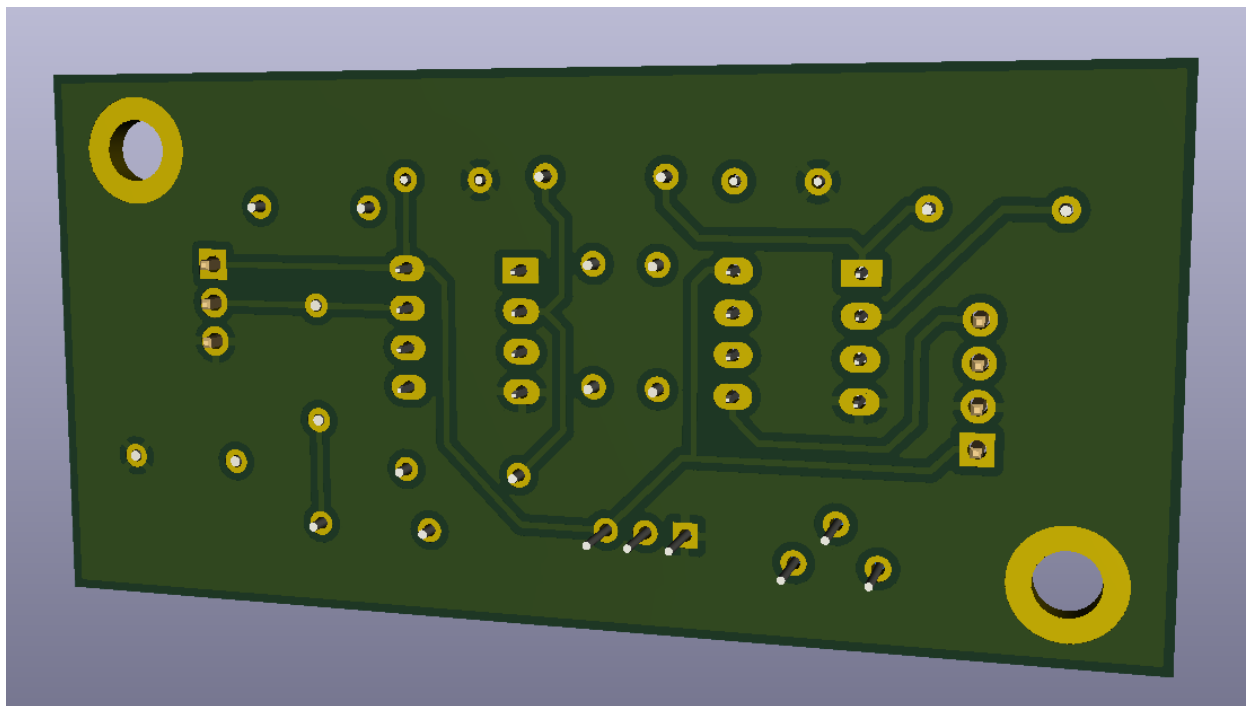
Obr. 6 Návrh dosky plošných spojov

3D model prevodníku

Na Obr. 7 a 8 je možné vidieť 3D model prevodníku, ktorý vznikol v programe KiCAD na základe použitých footprints a 3D modelov pre jednotlivé súčiastky.



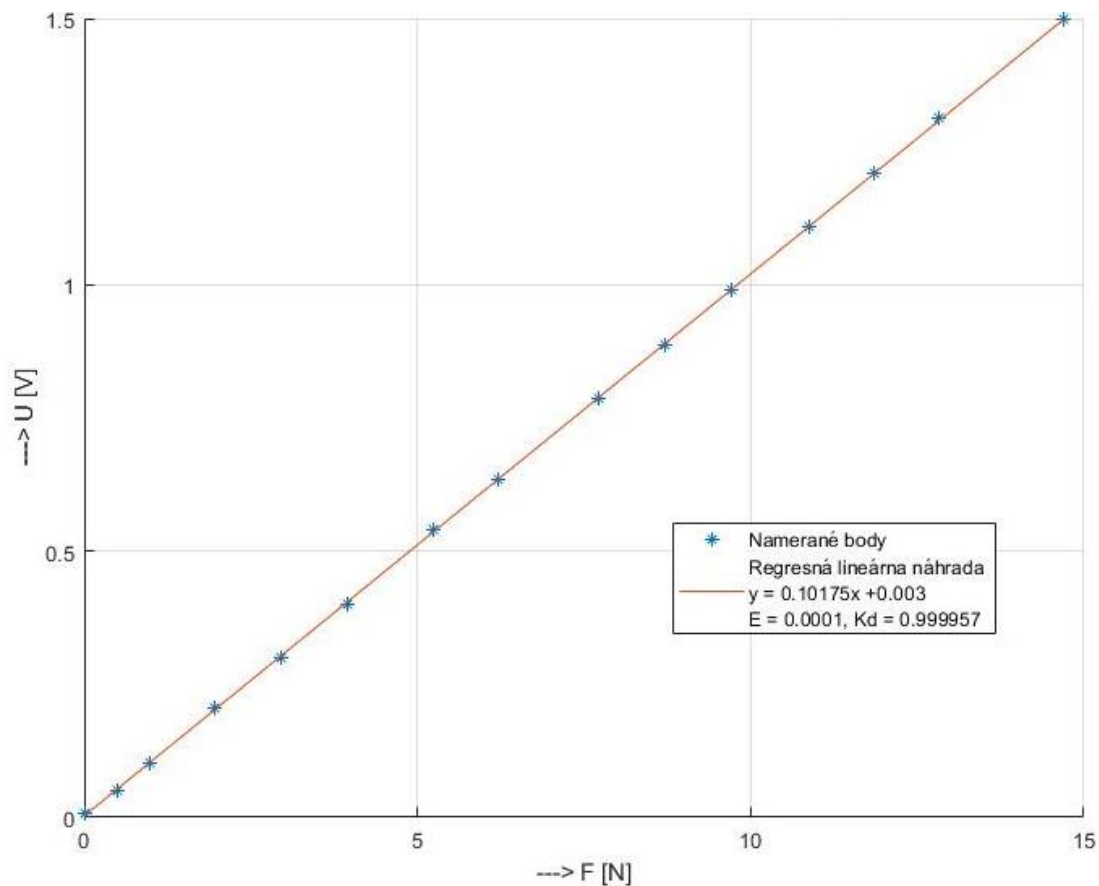
Obr. 7 3D model prevodníku - pohľad na vrchnú stranu



Obr. 8 3D model prevodníku - pohľad na spodnú stranu

Prevodová charakteristika (silomer + prevodník)

Na Obr. 9 je možné vidieť nameranú prevodovú charakteristiku (závislosť výstupného napätia U od zaťažovacej sily F) použitého silomeru a navrhnutého prevodníku, pričom je možné vidieť, že táto charakteristika je naozaj lineárna, keďže bodmi tejto char. možno preložiť lineárnu priamku. Charakteristika začína takmer od nulovej hodnoty napätia pri nulovom zaťažení silomeru silou a má sklon približne 0,11 V/N. Charakteristika nepokračuje až do predpokladaného maximálneho zaťaženia 50 N, nakoľko pri jej meraní nebolo k dispozícii závažie s hmotnosťou väčšou než 1,5 kg. Predpokladaná teoretická hodnota napätia výstupu, na základe nameranej charakteristiky, pri zaťažení 50 N je 5,09 V, avšak v praxi túto hodnotu dosiahneme len výnimočne. Meranie charakteristiky nasledovalo až po dôkladnom nastavení zosilnenia prevodníku a posunu napätia výstupu pomocou trimrov $RV1$ a $RV2$.



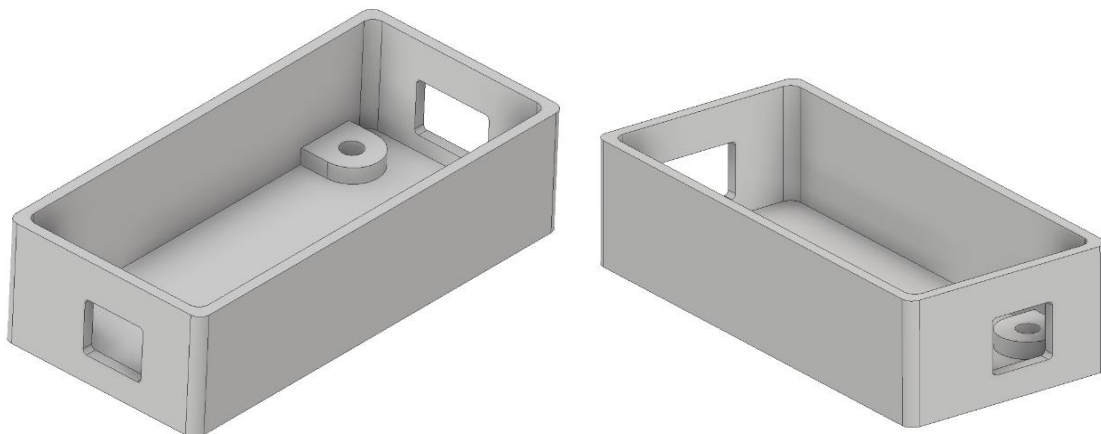
Obr. 9 Prevodová charakteristika silomeru a prevodníku

Krabička pre merací prevodník

Krabička pre merací prevodník bola navrhnutá v programe Autodesk Inventor (Obr. 10 a 11), vyexportovaná vo formáte STL a potom vytlačená na 3D tlačiarňi Creality Ender 3 z bieleho PLA materiálu (Obr. 12 a 13).



Obr. 10 Vrchný diel krabičky



Obr. 11 Spodný diel krabičky



Obr. 12 Vytlačená krabička na 3D tlačiarňi



Obr. 13 Merací prevodník v krabičke

Záver

Cieľom tohto semestrálneho zadania bolo navrhnuť a zostrojiť fungujúce zapojenie meracieho prevodníku pre tenzometrický silomer. Zariadenie malo byť schopné optimálne zosilniť signál zo snímača (v požadovanom napäťovom rozsahu), aby bolo možné priviesť výstupné napätie z prevodníku na vstup AD prevodníka pre analýzu nameraných dát v mikropočítači. Zariadenie bolo celé navrhnuté v programe KiCAD, osadené a následne odskúšané a skalibrované pre využitie v špeciálnom zariadení na meranie tuhosti pružín. Po osadení dosky plošných spojov a pred kalibráciou bolo potrebné pomocou odporových trimrov nastaviť vhodné zosilnenie a napäťový posun výstupu z prevodníka. Po odskúšaní a overení funkčnosti v rámci použitého meracieho rozsahu možno konštatovať splnenie cieľu zadania, nakoľko zariadenie od prvého pripojenia snímača a napájania funguje správne a aj jeho nastavenie bolo jednoduché a bezproblémové.

Zdroje informácií a obrázkov

- [1] PIXEL ELECTRIC: *YZC-133 Load Cell Weight Sensor 5kg* [online]. [cit: 2019-04-21]. Dostupné na internete: <https://pixelelectric.com/yzc-131-load-cell-weight-sensor-5kg/>
- [2] ANRATEK: *Load cell-10kg, Straight bar (TAL220)* [online]. [cit: 2019-04-21]. Dostupné na internete: <https://www.anratek.com/load-cell-10kg-straight-bar-tal220>
- [3] SPARKFUN: *Getting Started with Load Cells* [online]. [cit: 2019-04-21]. Dostupné na internete: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-load-cells/all>

- [4] HTC SENSOR: *TAL220 Micro parallel beam type load cell* [online]. [cit: 2019-04-21]. Dostupné na internete: <http://www.htc-sensor.com/products/94.html>
- [5] MOUSER ELECTRONICS: *MCP602-I/P* [online]. [cit: 2019-04-21]. Dostupné na internete: <http://www.mouser.com/datasheet/2/268/21314f-29012.pdf>
- [6] ELECTRONICS TUTORIALS: *The Differential Amplifier* [online]. [cit: 2019-04-21]. Dostupné na internete: https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_5.html
- [7] OKAWA ELECTRIC DESIGN: *Sallen-Key Low-pass Filter Design Tool* [online]. [cit: 2019-04-21]. Dostupné na internete: <http://sim.okawa-denshi.jp/en/OPseikiLowkeisan.htm>