



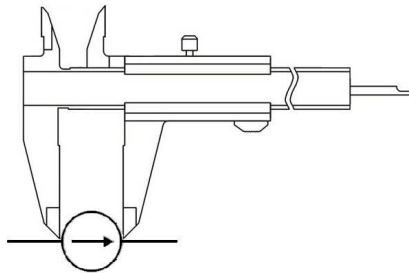
Jan Jevšovar

Tokovni senzor

$\pm 100\text{A DC}$

Seminarska naloga

pri predmetu
Elektronska vezja



V Ljubljani, avgust 2011

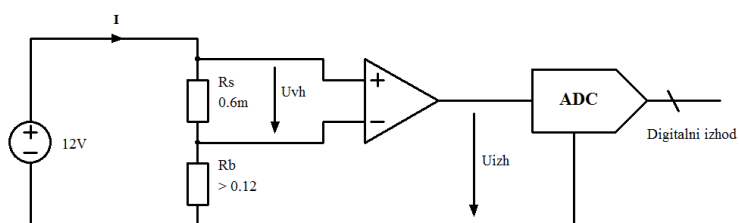
Uvod

Naloga opisuje načrtovanje tokovnega senzorja za velike enosmerne tokove. Osnovna zahteva za začetek načrtovanja je bila največji dovoljeni tok, ki ga senzor zaznava, to je 100A v obe smeri. Naslednja zahteva je bila čim večja ločljivost pri odčitavanju toka in čim manjši offset.

Bločna shema senzorja

Namen uporabe senzorja je v 12V enosmernih sistemih (npr. avtomobilski akumulator). Vezje tok zaznava kot napetost U_{vh} na upor R_s . U_{vh} se spreminja od -60 do +60mV. Težava nastopi, ko želimo meriti majhne tokove oz. vhodne napetosti, saj nam offsetna napetost operacijskega ojačevalnika lahko popolnoma pokvari meritev.

Ojačevalnik z najmanjšim možnim offsetom sem realiziral kot neinvertirajoči ojačevalnik z maso na potencialu 12V in dodatnim 24V napajanjem. Uporabil sem operacijski ojačevalnik LTC2050 (»zero offset op-amp«) z največjim vhodnim offsetom $3\mu V$. Za analogno-digitalni pretvornik sem vzel LTC2452, 16-bitni diferencialni pretvornik.



Shema vezja

Vezje je sestavljeno iz treh delov – vhodni ojačevalnik, AD pretvornik s prilagodilnikom logičnih nivojev in napajalnik.

Napajalnik

Masa celotnega senzorja je postavljena na nivo +12V glede na merilni sistem. Operacijski ojačevalnik in AD pretvornik se napajata s $\pm 2.5V$ glede na maso senzorja (+15.5V/+9.5V glede na maso merilnega sistema).

Vhodna napetost napajalnika je $\pm 12V$. 12V je najprej stabiliziranih navzdol na 2.5V s pomočjo referenčne zener diode, operacijski ojačevalnik v obliki napetostnega sledilnika pa skrbi za dovolj velik izhodni tok in nizko izhodno upornost. Podobno nalogo ima tudi drugi ojačevalnik, le da ustvarja -2.5V kot invertirajoči ojačevalnik z ojačenjem -1.

Vhodni ojačevalnik

Ojačenje vhodne napetosti je izvedeno operacijskim ojačevalnikom v neinvertirajoči izvedbi. Na izhodu ojačevalnika je še RC filter 1. reda, ki zmanjša šum z izhodni napetosti. Vhodna napetost se spreminja od -60 do +60mV, ojačana je s faktorjem 33, kar nam da na izhodu napetost -2 do +2V.

Analiza vhodnega ojačevalnika

Ojačenje vhodne stopnje je določeno z uporoma R_{16} in R_{17}

$$G = 1 + \frac{R_{16}}{R_{17}} = 32.8$$

Izhodno offsetno napetost ob ničelni vhodni napetosti določa naslednji izraz

$$u_{out_off} = A_u \frac{(R_{16} + R_{17}) \cdot U_{off}}{(A_u - 1) \cdot R_{17} - R_{16}}$$

Tipična izhodna offsetna napetost (pri $u_{off} = \pm 0.5\mu V$) je torej $\pm 16\mu V$, kar ustreza toku $0.8mA$. Največja izhodna offsetna napetost (pri $u_{off} = \pm 3\mu V$) pa znaša $\pm 100\mu V$, kar ustreza toku $5mA$.

Offsetna napetost je tako v najslabšem primeru manjša kot je ločljivost AD-ja.

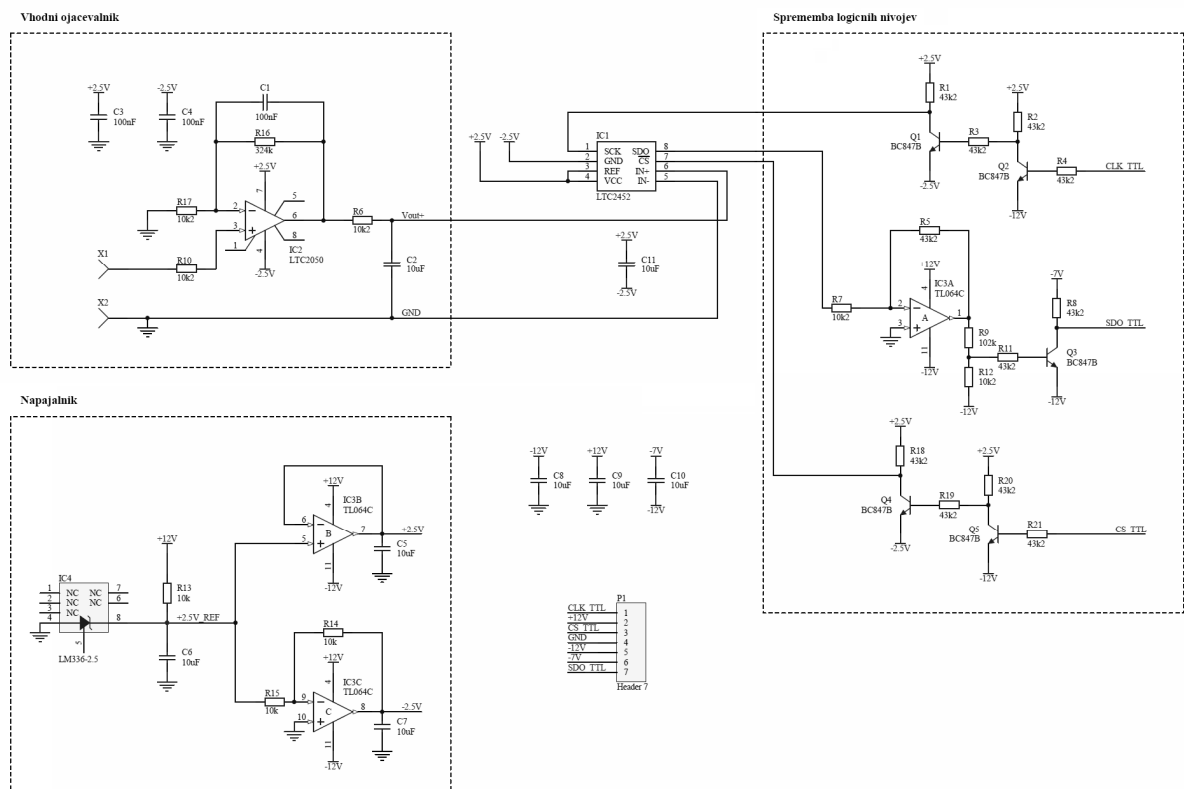
AD pretvornik in prilagoditev logičnih nivojev

V vezju je uporabljen diferencialni 16-bitni AD pretvornik. Tokovna ločljivost je tako $7.6mA$ pri polnem območju $\pm 100A$.

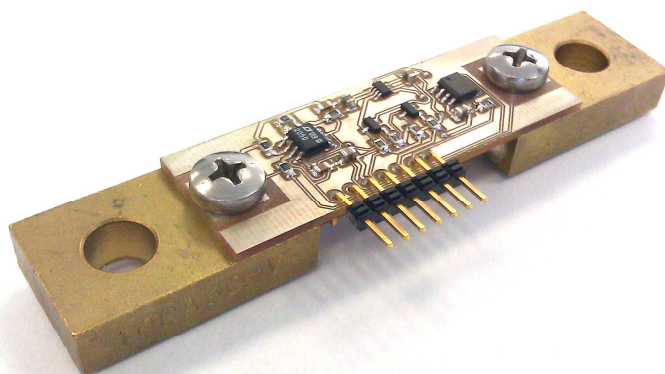
Ker je masa AD-ja dvignjena na $+12V$, so dvignjeni tudi vsi njegovi digitalni signali. Spraviti jih je torej treba za $12V$ nižje, do mase celotnega sistema. Podobno je treba dvigniti digitalne signale v AD. Izhodni signali so v obliki protokola SPI.

Realizacija vezja

Vezje je izdelano na dvostranski FR4 ploščici velikosti $35 \times 20mm$ v SMD tehnologiji. Za merilni upor je uporabljen močnostni upor $R_s = 0.6m\Omega$.



Shema celotnega vezja



Slika končnega izdelka

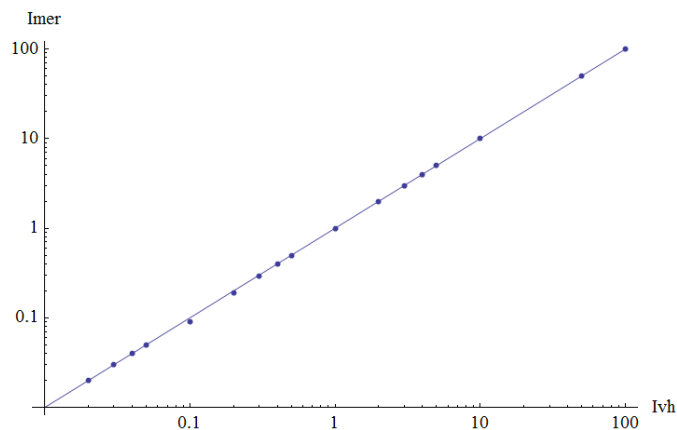
Meritve in rezultati

Spodnje meritve so bile izvede pri napajalni napetosti $\pm 12\text{V}$ in temperaturi 25°C .

Vhodni tok [A]	Izmerjeni tok [A]	Vhodna napetost [μV]	ADC [bit]
0.00	0.00	0	0 ± 1
0.01	0.00	6	1
0.02	0.02	12	3
0.03	0.03	18	4
0.04	0.04	24	6
0.05	0.05	30	7
0.10	0.09	60	13
0.20	0.19	120	26
0.30	0.29	180	39
0.40	0.40	240	53
0.50	0.50	300	66
1.00	1.00	600	131
2.00	2.00	1200	262
3.00	3.00	1800	393
4.00	4.00	2400	523
5.00	5.01	3000	655
10.0	10	600	1309
50.0	50	3000	6538
100	100	6000	13080
-0.01	-0.01	6	-2
-0.02	-0.02	12	-3
-0.03	-0.03	18	-4
-0.04	-0.04	24	-6
-0.05	-0.05	30	-7
-0.10	-0.09	60	-13
-0.20	-0.19	120	-26
-0.30	-0.29	180	-39
-0.40	-0.40	240	-53
-0.50	-0.50	300	-66
-1.00	-1.00	600	-131
-2.00	-2.00	1200	-262
-3.00	-3.00	1800	-393
-4.00	-4.00	2400	-524
-5.00	-5.01	3000	-655
-10.0	-10	600	-1308
-50.0	-50	3000	-6536
-100	-100	6000	-13070

Delovanje sem preveril tudi pri napajalnih napetostih $\pm 16\text{V}$ in $\pm 10\text{V}$ ter pri temperaturi približno 100°C . Rezultati pri teh pogojih niso opazno odstopali od zgornjih.

Graf izmerjenega toka v odvisnosti od vhodnega toka



Zaključek

Rezultati meritev naprave zadostujejo zahtevam. Senzor lahko uporabimo tudi za druga območja meritve tokov, če zamenjamo merilni upor in prilagodimo ojačenje vhodne napetosti.

Viri

- LTC2452, Ultra-Tiny, Differential, 16-Bit $\Delta\Sigma$ ADC with SPI Interface, Datasheet
- LTC2050/LTC2050HV Zeo-Drift Operational Amplifier in SOT-23, Datasheet
- LM336-2.5 Voltage Reference Diode, Datasheet
- TL064 Low Power JFET-Input Operational Amplifier, Datasheet
- BC847 NPN General Purpose Transistor, Datasheet