

TEST PROTOTYPU CHLADIČA VZORKY GSC-1 PRE ANALYZÁTOR CELKOVÉHO ORGANICKÉHO UHLÍKA V LABORATÓRNYCH PODMIENKACH

Ján ILKO - Miroslav RUSKO

GSC-1 SAMPLE GAS CONDITIONER PROTOTYPE TEST FOR THE TOTAL ORGANIC CARBON ANALYZER IN LABORATORY CONDITIONS



Abstrakt

Štúdia pojednáva o prvom overení funkčnosti a prevádzkových parametrov prototypu chladiča GSC-1 navrhnutého ako súčasť úpravy vzorky pre analyzátor celkového organického uhlíka. Vyrobený bol pre integráciu do funkčného celku na základe požiadaviek ako sú konštrukčná modularnosť, jednoduchosť, stabilita teploty a malé rozmery. Chladič bol navrhnutý a skonštruovaný na základe skúseností s prevádzkou a údržbou analyzátora celkového organického uhlíka, ktorý je v prevádzke už tridsať rokov a postupom času prechádzal s príchodom nových technológií modernizáciou, najmä čo sa týka riadiaceho počítača a UV reaktora.

Kľúčové slová: Meranie, úprava vzorky, chladič plynnej vzorky, analyzátor TOC.

Abstract

The following study discusses the first verification of the functionality and operating parameters of the GSC-1 sample conditioner prototype designed as part of the sample preparation for the Total Organic Carbon analyzer. It was designed as a part of a functional unit according requirements such as structural modularity, simplicity, temperature stability and small mechanical dimensions. The cooler has been designed and built on experience with operation and maintenance of total organic carbon analyzer, which has been in operation for thirty years, and over time, with the arrival of new technologies, was going through modernization, particularly of the control computer and the UV reactor.

Key words: Measurement, sample conditioning, gas sample cooler, TOC analyzer.

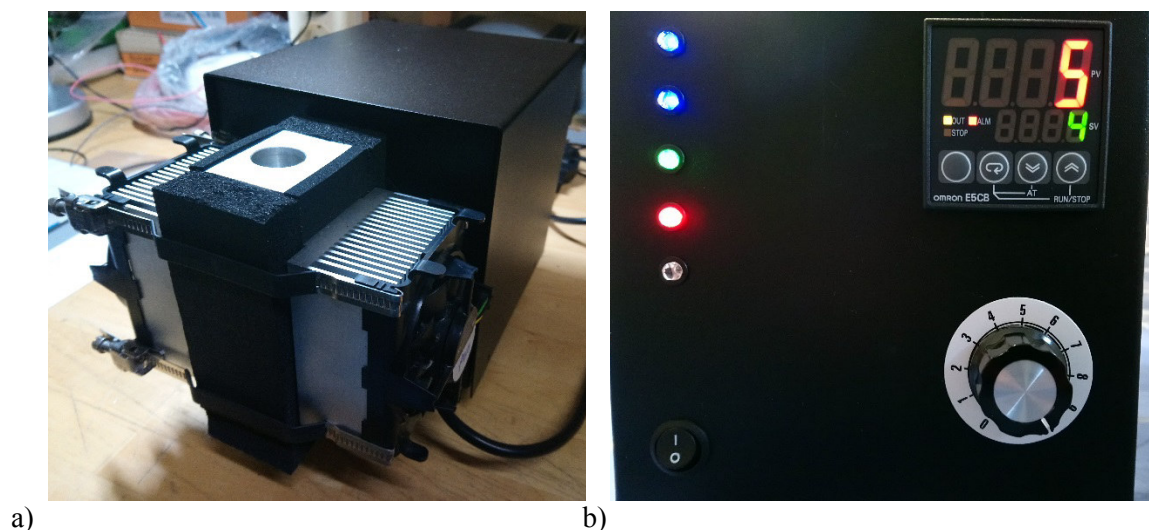
Úvod

Prototyp chladiča GSC-1 bol vyrobený pre úpravu plynnej vzorky pre analyzátor celkového organického uhlíka, ktorý je tiež plánovaný ako prototyp. Ten má byť navrhnutý na základe existujúcich analyzátorov TOC avšak s modifikáciami, ktoré majú priniesť vyššiu stabilitu merania, presnejšie výsledky, modernejšie prevedenie a najmä optimalizáciu pri pravidelnej údržbe analyzátora a zrýchliť a zefektívniť opravu v prípade poruchy.

Takýmto spôsobom bol navrhnutý a vyrobený prototyp chladiča GSC-1. Bol vykonaný test funkčnosti, prevádzkových parametrov a meranie stability teploty.

Popis chladiča GSC-1

Chladič GSC-1 (obr. 1) je jednonábový sušič plynnej vzorky so skleneným výmenníkom tepla zapusteným v hliníkovom bloku. Ten je ochladzovaný dvoma peltierovými článkami¹ z dvoch strán. Teplo z horúcej strany peltierových článkov je odvádzané hliníkovými chladiacimi blokmi s ventilátormi. Regulácia teploty je zabezpečená bežne dostupným regulátorom teploty s odporovým snímačom teploty Pt100 a priamym zobrazením nastavenej a aktuálnej teploty na dvojitém displeji. Výkon peltierových článkov je riadený regulátorom PWM (Pulse Width Modulation - modulácia šírky impulzov je bežne používanou technikou na všeobecné ovládanie jednosmerného napájania elektrického zariadenia, realizované pomocou moderných elektronických výkonových spínačov²), poskladaným z jednotlivých súčiastok. Signálom z PWM sú otvárané výkonové MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor³) tranzistory, ktorými je zabezpečené riadenie energie do peltierových článkov, nakoľko pri napätí 15 VDC tečie nimi prúd okolo 8,5 A. Indikačné LED diódy informujú o stave peltierových článkov, zapnutí prístroja, poruche a o signále z regulátora PWM.



Obr. 1 Chladič GSC-1 pohľad odzadu – a, pohľad spredu – b.

GSC-1 je skonštruovaný, okrem výmenníka tepla a bloku výmenníka, z ľahko dostupných dielov a elektronických súčiastok. Je zostavený modulárne a prehľadne, aby bola zabezpečená možnosť rýchlej opravy v prípade poruchy. Alarmový stav a signály o otáčkach ventilátorov sú vyvedené na konektor na zadnom paneli pre pripojenie k riadiacemu počítaču, ako informácia o stave chladiča.

Schéma zostavy prvkov chladenia bloku výmenníka je na obr. 3. Blok výmenníka má z oboch strán kontakt so studenou stranou peltierových článkov a hliníkové chladiče s ventilátormi odvádzajú teplo z horúcej strany peltierových článkov, ktoré využívajú termoelektrický efekt a pracujú ako tepelné čerpadlo⁴. Ventilátory aj peltierové články sú pripojené cez svorkovnicu do regulátora PWM, ako je zobrazené na obrázku č. 4.

¹ Peltierov článok je založený na termoelektrickom jave. Termoelektrický jav je vyvolaný prechodom elektrického prúdu cez dva rôzne materiály zapojené do série, čím vzniká na oboch materiálových spojoch rozdielna teplota (termogenerátor).

Peltierův článok jako tepelné čerpadlo. - [on-line] [2019-01-02] Dostupné na internete - URL:

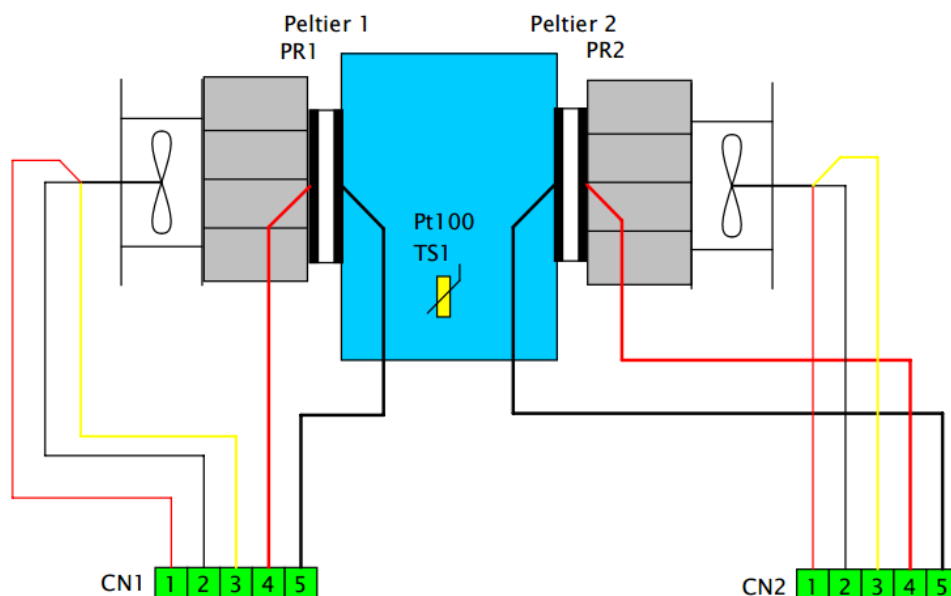
[http://fyzika.fce.vutbr.cz/userfiles/7809244608/files/Peltierovo%20tepeln%C3%A9%20%C4%8Derpadlo\(2\).pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/userfiles/7809244608/files/Peltierovo%20tepeln%C3%A9%20%C4%8Derpadlo(2).pdf)

² AGARWAL, T. 2016. Quora. What is pulse width modulation? - [on-line] [2019-01-22] Dostupné na internete - URL:

<https://www.quora.com/What-is-pulse-width-modulation>.

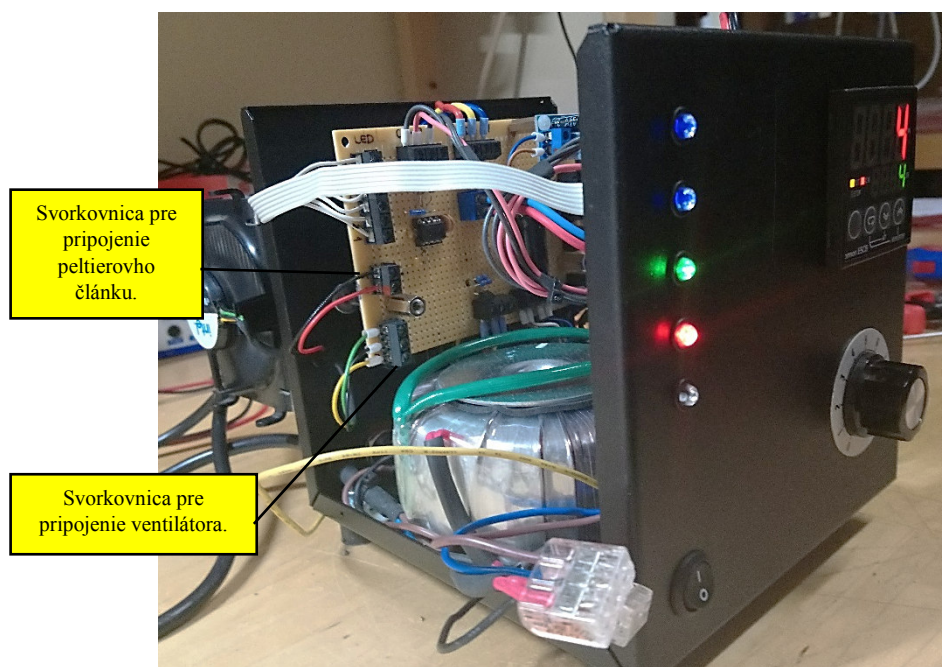
³ SAMOILOV, Arkadii V., et al. Methods to fabricate MOSFET devices using selective deposition process. U.S. Patent No 7,132,338, 2006.

⁴ TEM electronic components. 2015. Peltierove články značky Stonecold. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: https://www.tme.eu/sk/pages/Product_of_the_week:peltierove-clanky-znacky-stonecold.html



Obr. 3 Schéma zostavy prvkov chladenia bloku výmenníka chladiča vzorky GSC-1.

Výkonové tranzistory MOSFET sú taktiež pripojené cez svorkovnicu. Zabezpečuje to tak jednoduchšiu demontáž bloku PWM a následne výmenu tranzistora v prípade jeho poškodenia následkom prúdového alebo tepelného preťaženia.



Obr. 4 Pohľad na pripojenie ventilátora a peltierovho článku k modulu PWM.

Príprava na funkčný test a prístrojové vybavenie

Skúšaný chladič vzorky bol umiestnený v miestnosti so stabilnou teplotou a vlhkosťou vzduchu. Teplota a vlhkosť boli merané prístrojom Hygrometer TESTO 608-H1 (Obr. 5).



Obr. 5 Hygrometer TESTO 608-H1.⁵

Pre meranie teploty na styčnej ploche výmenníka tepla a bloku výmenníka a na meranie teploty usmerňovača bol použitý digitálny teplomer UNI-T UT322 s možnosťou merania a zobrazením dvoch meraní teploty naraz. Výsledky merania teploty posiela prístroj online v čase cez USB rozhranie priamo do počítača, tie sa zobrazujú v programe dodanému k prístroju. Namerané hodnoty je možné uložiť priamo ako tabuľku v programe MS Excel.

Vybrané technické parametre digitálneho teplomera UT322 uvádzané výrobcom sú:

- (K-Type): -200.0 °C to +1372 °C, -328.0 °F to +2501 °F.
- (J-Type): -210.0 °C to +1200 °C, -346.0 °F to +2192 °F.
- (T-Type): -250.0 °C to +400.0 °C, -418.0 °F to +752.0 °F.
- (E-Type): -150.0 °C to +1000 °C, -238.0 °F to +1832 °F.
- Temperature Best Accuracy: K,J,T,E-Type : 0.5 % +/- 0.8 °C.
- Display Resolution: 0.1 °C (when > 999.9 °C : 1 °C).
- T1, T2 input.
- °C/ °F/ K Selection.
- Data Logging: 100.⁶

Na meranie teploty boli použité termočlánky typu K. Teplomer UT322 s príslušenstvom je zobrazený na obr. 6. Nevýhodou tohto teplomera je, že nedokáže v originálnom programe zaznamenávať súčasne obe teploty.



Obr. 6 Digitálny teplomer UNI-T UT-322 s dodávaným príslušenstvom.⁷

Na sledovanie a záznam priebehu signálu PWM bol použitý digitálny osciloskop OWON PDS5022T (Obr. 7).

⁵ TESTO. Testo 608-H1 - Thermohygrometer. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: <https://www.testo.com/en-PH/testo-608-h1/p/0560-6081>.

⁶ UNI-T. Digital thermometer UNI-T UT322. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: <https://www.uni-t.cz/en/p/digital-thermometer-uni-t-ut322>.

⁷ LCSC. Uni-Trend Tech UT322. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: https://lcsc.com/product-detail/Instruments_Uni-Trend-Tech-UT322_C130591.html.



Obr. 7 Digitálny osciloskop OWON PDS5022T.⁸

Zostava merania bola navrhutá s cieľom odsledovať a zaznamenať:

- Rýchlosť dosiahnutia požadovanej teploty bloku výmenníka.
- Stabilitu teploty chladiča.
- Minimálnu dosiahnuteľnú teplotu chladiča pri danej konštrukcii.
- Minimálnu dosiahnuteľnú teplotu pri rôznych nastaveniach šírky impulzov PWM.
- Tepelné zaťaženie usmerňovača napájacieho obvodu peltierových článkov.
- Celkový chod chladiča.

Rozloženie prístrojov je na obr. 8. Teplota okolia bola 21,2 °C a vlhkosť vzduchu 44,5 %.



Obr. 8 Rozloženie zariadení testu chladiča GSC-1.

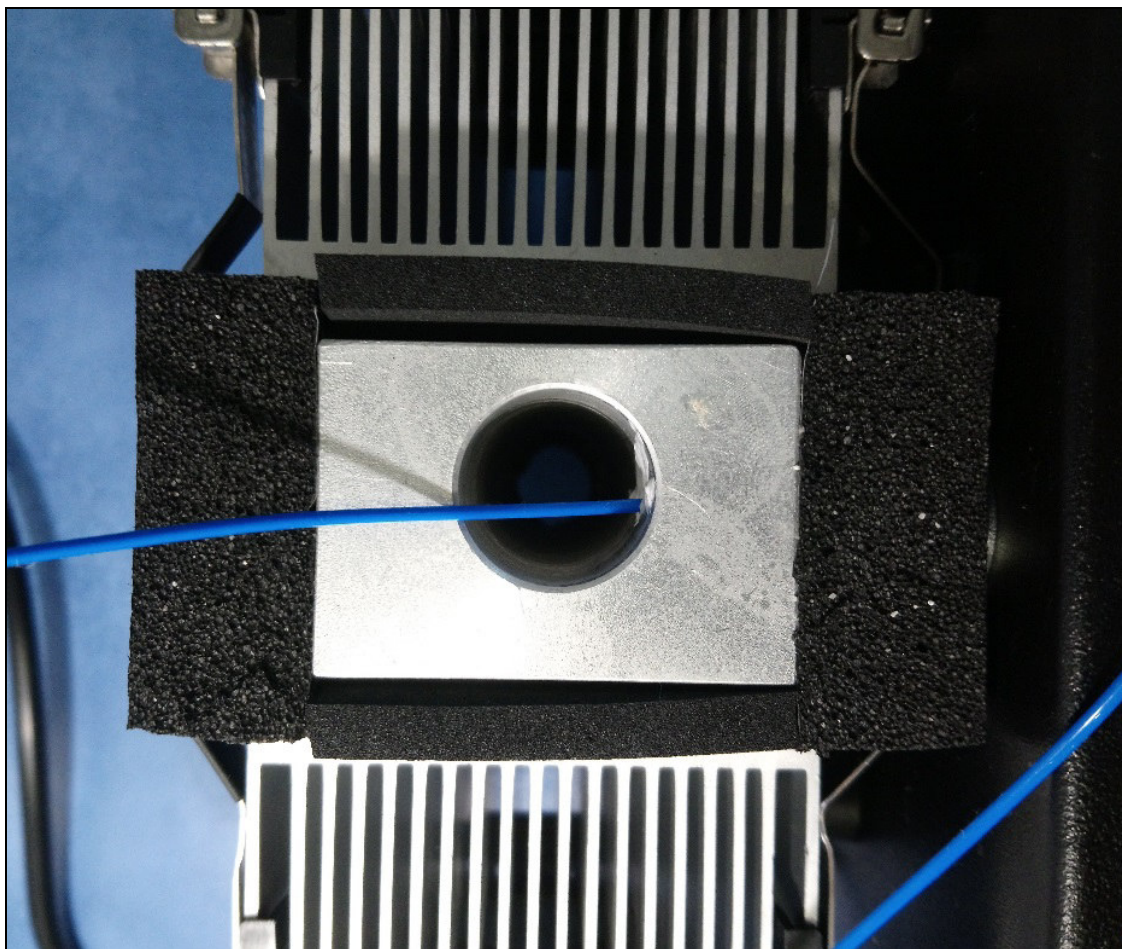
Pripojenie senzorov

Senzory teploty digitálneho teplomera UT322 boli priradené nasledovne:

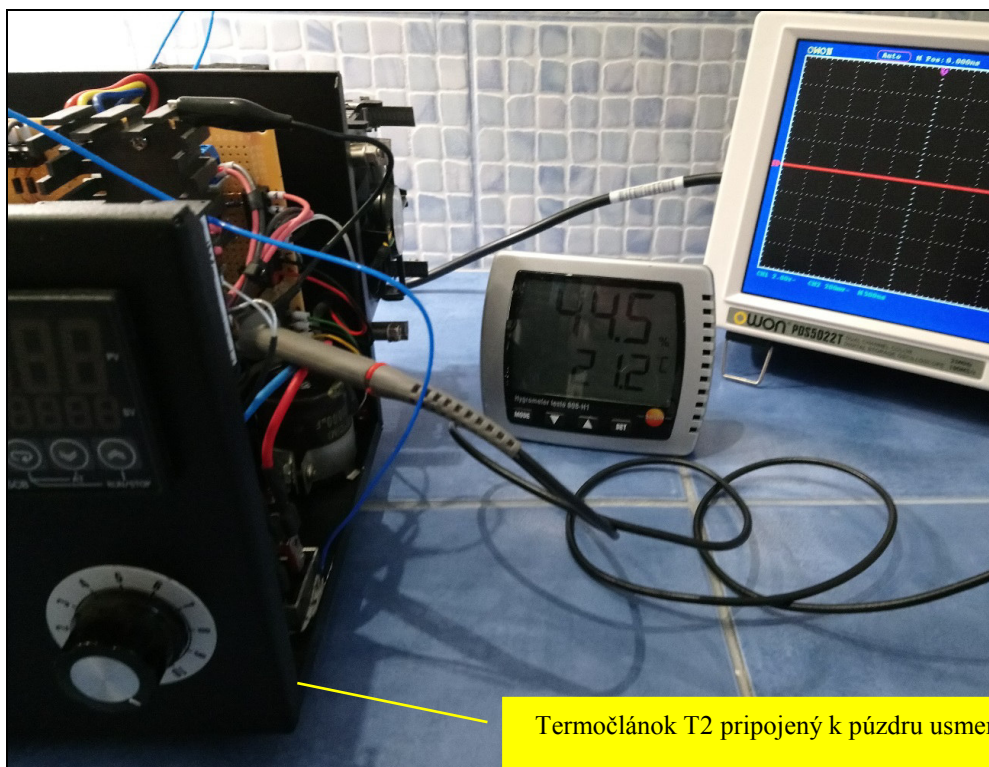
- Termočlánok T1 pripojený do bloku výmenníka tepla chladenia vzorky (Obr. 9).
- Termočlánok T2 pripojený k púzdru usmerňovača obvodu napájania peltierových článkov (Obr. 10).

⁸ MIGWELDING. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: <https://www.mig-welding.co.uk/forum/threads/why-are-oscilloscopes-so-big.56167/page-2>.

Osciloskopická sonda bola pripojená na výstup integrovaného obvodu SE555 PWM regulátora pre odsledovanie šírky a tvaru signálu PWM.



Obr. 9 Pripojenie termočlánku (Sonda T1) do bloku výmenníka tepla.

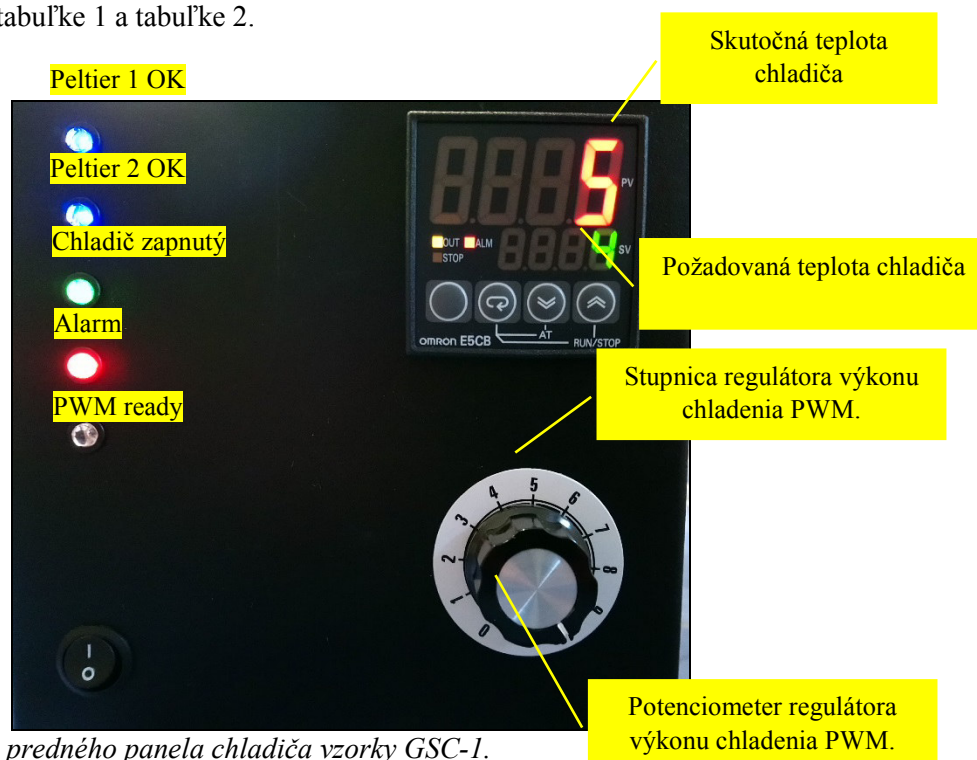


Termočlánok T2 pripojený k púzdrú usmerňovača

Obr. 10 Bod pripojenia termočlánku (Sonda T2) k púzdrú usmerňovača.

Začiatok testu

V prvej časti testu bol odsledovaný priebeh teploty po zapnutí na požadovanú teplotu 4 °C. Po dosiahnutí tejto teploty bola nastavená teplota 0 °C a odsledovaný čas poklesu na túto teplotu. Regulátor výkonu chladenia PWM bol potenciometrom nastavený na 100 %. Namerané hodnoty teploty sú uvedené v tabuľke 1 a tabuľke 2.



Obr. 11 Popis prvkov predného panela chladiča vzorky GSC-1.

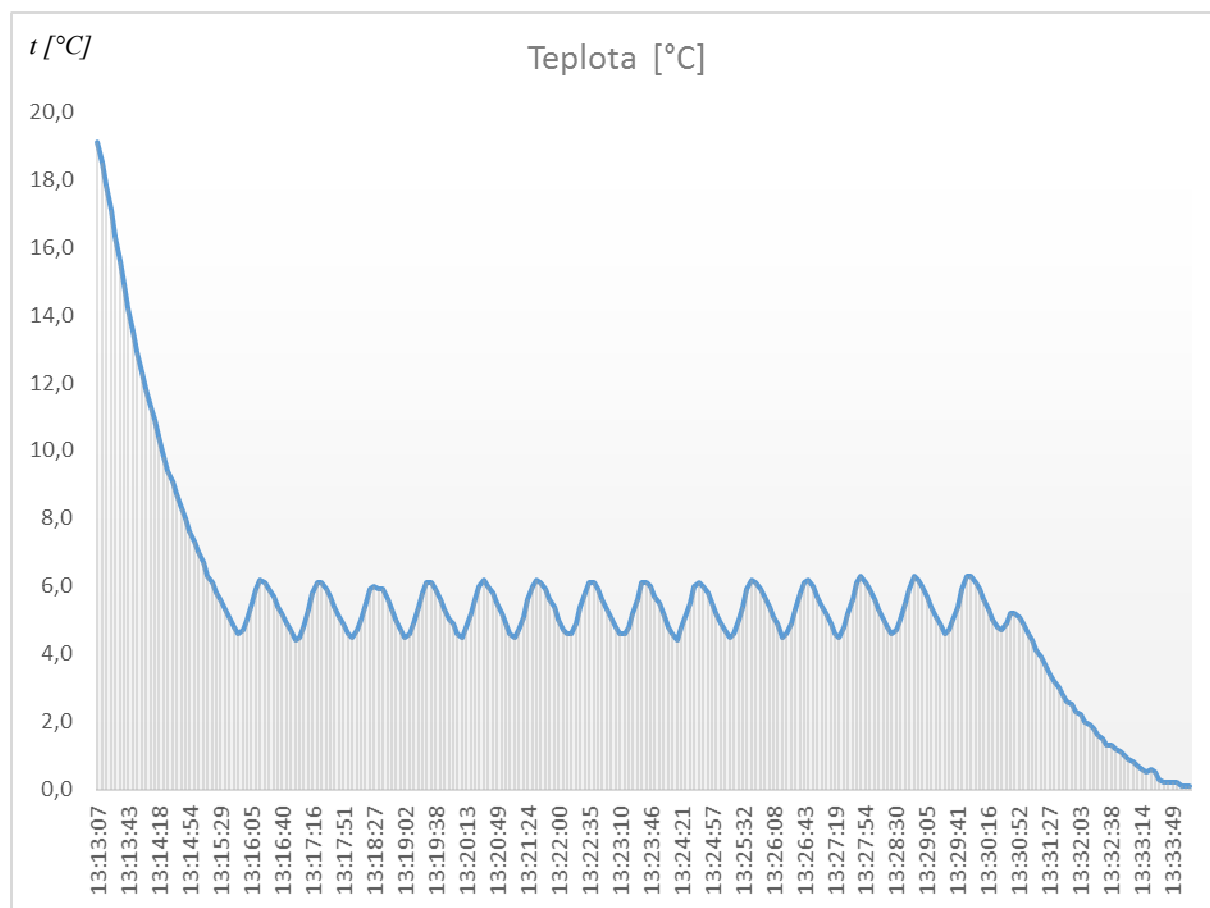
Tabuľka 1 Meranie 1 až 149.

Č. mer.	Čas	Tepl. [°C]	Č. mer.	Čas	Tepl. [°C]	Č. mer.	Čas	Tepl. [°C]
1	13:13:07	19,1	51	13:17:21	6,1	101	13:21:34	6,2
2	13:13:12	18,5	52	13:17:26	6,1	102	13:21:39	6,1
3	13:13:17	17,8	53	13:17:31	5,9	103	13:21:44	5,9
4	13:13:22	17,1	54	13:17:36	5,7	104	13:21:49	5,6
5	13:13:27	16,3	55	13:17:41	5,4	105	13:21:54	5,4
6	13:13:33	15,6	56	13:17:46	5,1	106	13:22:00	5,0
7	13:13:38	14,9	57	13:17:51	4,9	107	13:22:05	4,7
8	13:13:43	14,2	58	13:17:56	4,6	108	13:22:10	4,6
9	13:13:48	13,5	59	13:18:01	4,5	109	13:22:15	4,6
10	13:13:53	12,9	60	13:18:06	4,7	110	13:22:20	4,9
11	13:13:58	12,3	61	13:18:11	5,0	111	13:22:25	5,4
12	13:14:03	11,8	62	13:18:17	5,4	112	13:22:30	5,8
13	13:14:08	11,3	63	13:18:22	5,9	113	13:22:35	6,1
14	13:14:13	10,9	64	13:18:27	6,0	114	13:22:40	6,1
15	13:14:18	10,4	65	13:18:32	5,9	115	13:22:45	5,9
16	13:14:23	9,8	66	13:18:37	5,9	116	13:22:50	5,6
17	13:14:28	9,4	67	13:18:42	5,6	117	13:22:55	5,3
18	13:14:33	9,1	68	13:18:47	5,3	118	13:23:00	5,1
19	13:14:38	8,7	69	13:18:52	5,0	119	13:23:05	4,8
20	13:14:44	8,3	70	13:18:57	4,7	120	13:23:10	4,6
21	13:14:49	8,0	71	13:19:02	4,5	121	13:23:16	4,6
22	13:14:54	7,6	72	13:19:07	4,6	122	13:23:21	4,8
23	13:14:59	7,3	73	13:19:12	4,9	123	13:23:26	5,2
24	13:15:04	7,0	74	13:19:17	5,4	124	13:23:31	5,6
25	13:15:09	6,7	75	13:19:22	5,8	125	13:23:36	6,1
26	13:15:14	6,3	76	13:19:28	6,1	126	13:23:41	6,1
27	13:15:19	6,1	77	13:19:33	6,1	127	13:23:46	6,0
28	13:15:24	5,8	78	13:19:38	5,9	128	13:23:51	5,7
29	13:15:29	5,6	79	13:19:43	5,6	129	13:23:56	5,5
30	13:15:34	5,3	80	13:19:48	5,3	130	13:24:01	5,2
31	13:15:39	5,1	81	13:19:53	5,0	131	13:24:06	4,8
32	13:15:44	4,8	82	13:19:58	4,9	132	13:24:11	4,6
33	13:15:49	4,6	83	13:20:03	4,6	133	13:24:16	4,4
34	13:15:55	4,7	84	13:20:08	4,5	134	13:24:21	4,8
35	13:16:00	5,0	85	13:20:13	4,8	135	13:24:26	5,1
36	13:16:05	5,4	86	13:20:18	5,2	136	13:24:32	5,5
37	13:16:10	5,9	87	13:20:23	5,6	137	13:24:37	6,0
38	13:16:15	6,2	88	13:20:28	6,0	138	13:24:42	6,1
39	13:16:20	6,1	89	13:20:33	6,2	139	13:24:47	6,0
40	13:16:25	5,9	90	13:20:38	6,0	140	13:24:52	5,8
41	13:16:30	5,7	91	13:20:44	5,8	141	13:24:57	5,5
42	13:16:35	5,4	92	13:20:49	5,5	142	13:25:02	5,2
43	13:16:40	5,2	93	13:20:54	5,2	143	13:25:07	4,9
44	13:16:45	4,9	94	13:20:59	4,9	144	13:25:12	4,7
45	13:16:50	4,7	95	13:21:04	4,6	145	13:25:17	4,5
46	13:16:55	4,4	96	13:21:09	4,5	146	13:25:22	4,6
47	13:17:00	4,5	97	13:21:14	4,7	147	13:25:27	5,0
48	13:17:06	4,8	98	13:21:19	5,1	148	13:25:32	5,4
49	13:17:11	5,3	99	13:21:24	5,6	149	13:25:37	5,9

Tabuľka 2 Meranie 150 až 250.

Č. mer.	Čas	Tepl. [°C]	Č. mer.	Čas	Tepl. [°C]	Č. mer.	Čas	Tepl. [°C]
151	13:25:48	6,1	201	13:30:01	6,1	200	13:29:56	6,3
152	13:25:53	5,9	202	13:30:06	5,9	251	13:34:15	0,1
153	13:25:58	5,7	203	13:30:11	5,6	252	13:34:20	0,0
154	13:26:03	5,4	204	13:30:16	5,3	253	13:34:25	0,0
155	13:26:08	5,1	205	13:30:22	5,0	254	13:34:30	0,0
156	13:26:13	4,9	206	13:30:27	4,8	255	13:34:35	0,0
157	13:26:18	4,5	207	13:30:32	4,7	256	13:34:40	0,0
158	13:26:23	4,6	208	13:30:37	4,9	257	13:34:45	0,0
159	13:26:28	4,9	209	13:30:42	5,2	258	13:34:50	0,1
160	13:26:33	5,3	210	13:30:47	5,2	259	13:34:55	0,6
161	13:26:38	5,8	211	13:30:52	5,1	250	13:34:10	0,1
162	13:26:43	6,1	212	13:30:57	4,9			
163	13:26:48	6,2	213	13:31:02	4,6			
164	13:26:54	6,0	214	13:31:07	4,4			
165	13:26:59	5,7	215	13:31:12	4,1			
166	13:27:04	5,4	216	13:31:17	3,9			
167	13:27:09	5,2	217	13:31:22	3,7			
168	13:27:14	4,9	218	13:31:27	3,4			
169	13:27:19	4,6	219	13:31:33	3,2			
170	13:27:24	4,5	220	13:31:38	3,0			
171	13:27:29	4,8	221	13:31:43	2,8			
172	13:27:34	5,2	222	13:31:48	2,6			
173	13:27:39	5,6	223	13:31:53	2,5			
174	13:27:44	6,1	224	13:31:58	2,3			
175	13:27:49	6,3	225	13:32:03	2,2			
176	13:27:54	6,1	226	13:32:08	2,0			
177	13:28:00	5,9	227	13:32:13	1,9			
178	13:28:05	5,6	228	13:32:18	1,8			
179	13:28:10	5,3	229	13:32:23	1,6			
180	13:28:15	5,0	230	13:32:28	1,5			
181	13:28:20	4,8	231	13:32:33	1,3			
182	13:28:25	4,6	232	13:32:38	1,3			
183	13:28:30	4,7	233	13:32:43	1,2			
184	13:28:35	5,0	234	13:32:49	1,1			
185	13:28:40	5,5	235	13:32:54	1,0			
186	13:28:45	5,9	236	13:32:59	0,9			
187	13:28:50	6,3	237	13:33:04	0,8			
188	13:28:55	6,2	238	13:33:09	0,7			
189	13:29:00	6,0	239	13:33:14	0,6			
190	13:29:05	5,7	240	13:33:19	0,5			
191	13:29:11	5,4	241	13:33:24	0,6			
192	13:29:16	5,1	242	13:33:29	0,5			
193	13:29:21	4,9	243	13:33:34	0,3			
194	13:29:26	4,6	244	13:33:39	0,2			
195	13:29:31	4,7	245	13:33:44	0,2			
196	13:29:36	5,0	246	13:33:49	0,2			
197	13:29:41	5,4	247	13:33:54	0,2			
198	13:29:46	5,9	248	13:34:00	0,1			
199	13:29:51	6,3	249	13:34:05	0,1			

Grafické zobrazenie nameraných hodnôt teploty chladiča z tabuľky 1 a 2 je na grafe 1.



Graf 1 zobrazenie nameraných hodnôt teploty chladiča z tabuľky 1 a 2.

Druhá časť merania bola zameraná na porovnanie teplôt meraných regulátorom teploty chladiča a teplotou nameranou digitálnym teplomerom UT-322 pri rôznych nastaveniach výkonu chladenia regulátorom PWM.

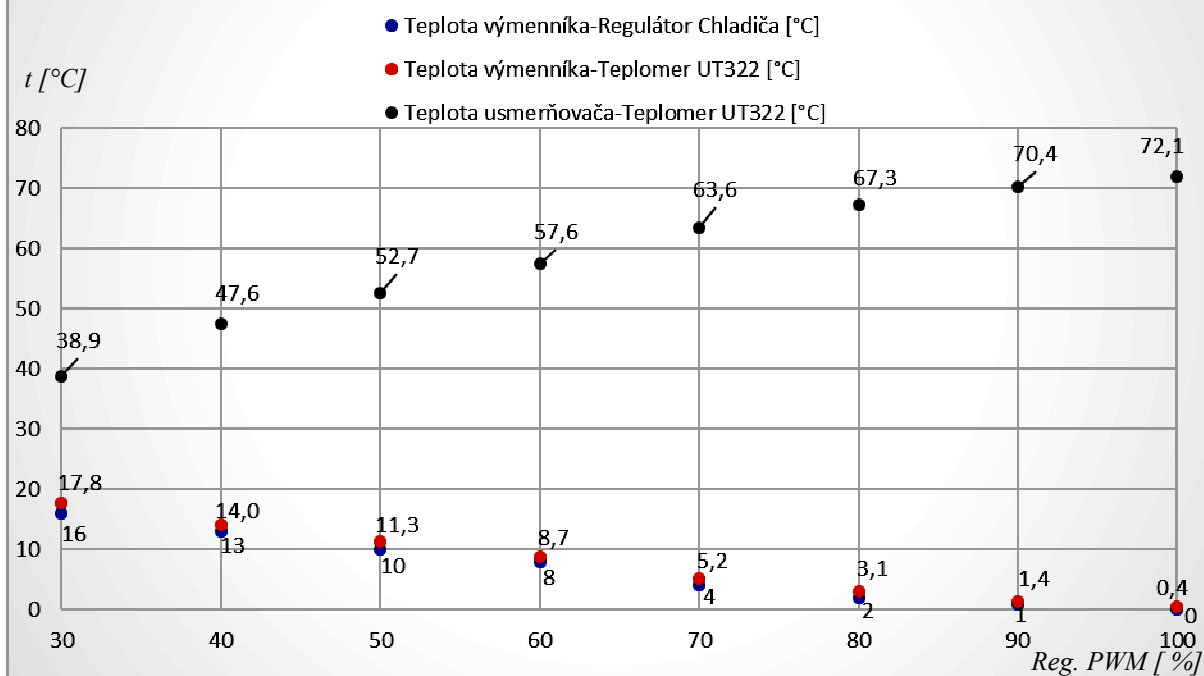
Výsledky merania sú zobrazené v tabuľke 3. Paralelne bola odsledovaná aj teplota púzdra usmerňovača, nakoľko pre veľký prúdový odber dochádza k jeho značnému ohrievaniu.

Tabuľka 3 Porovnanie meraných teplôt medzi regulátorom teploty a digitálnym teplomerom UT-322.

Číslo merania	Potenciometer PWM [%]	Teplota výmenníka-Regulátor Chladiča [°C]	Teplota výmenníka-Teplomer UT322 [°C]	Teplota usmerňovača-Teplomer UT322 [°C]
1	30	16	17,8	38,9
2	40	13	14,0	47,6
3	50	10	11,3	52,7
4	60	8	8,7	57,6
5	70	4	5,2	63,6
6	80	2	3,1	67,3
7	90	1	1,4	70,4
8	100	0	0,4	72,1

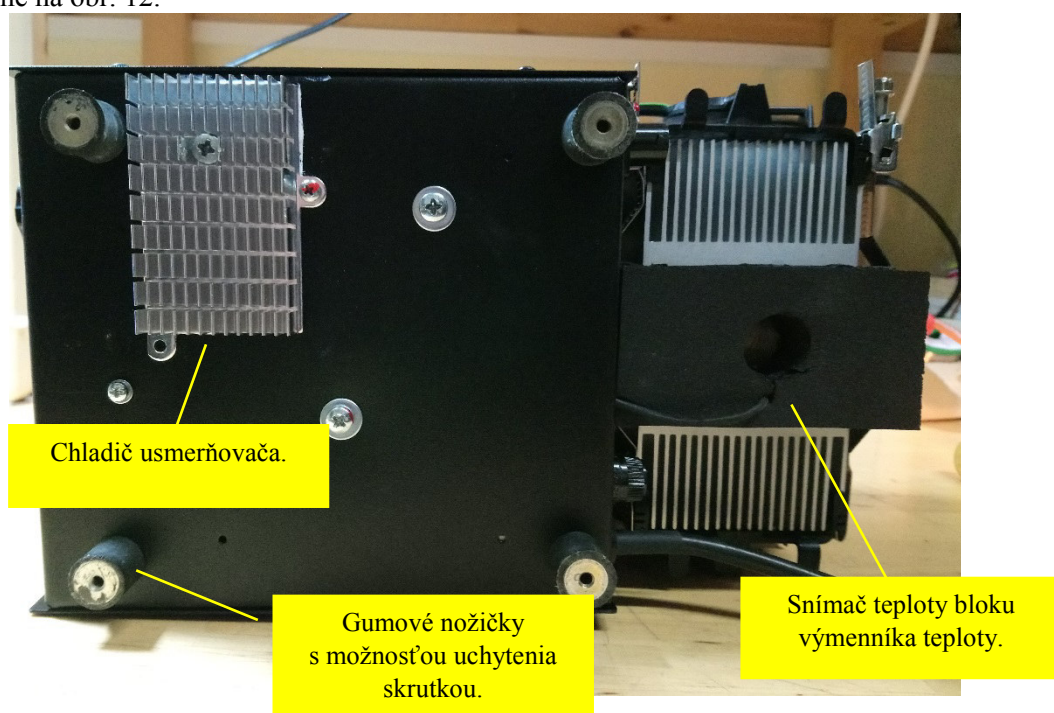
Grafické zobrazenie hodnôt v tabuľke 3 je v grafe 2.

Priebeh teploty usmerňovača v závislosti od výkonu chladenia.



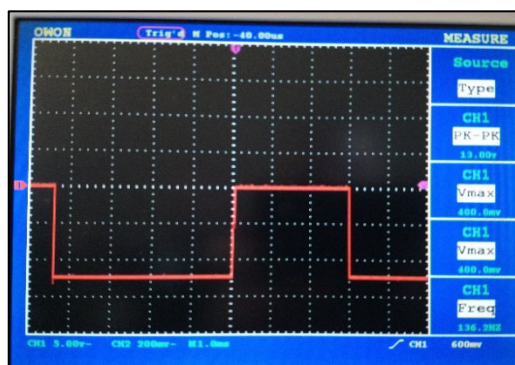
Graf 2 Priebeh teploty chladiča meranej samotným regulátorom teploty, digitálnym teplomerom a priebeh teploty usmerňovača elektrického prúdu obvodu napájania peltierových článkov.

Snímač teploty vnútorného regulátora teploty je integrovaný zo spodnej strany bloku výmenníka, ako je zobrazené na obr. 12.

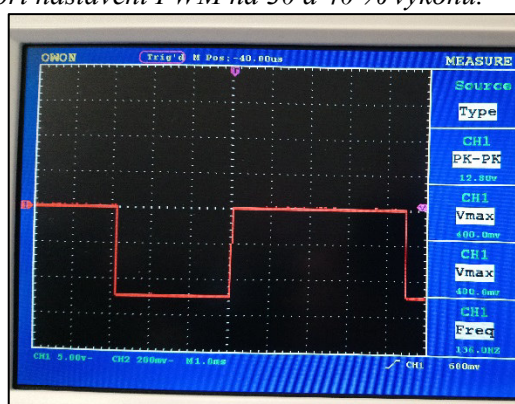
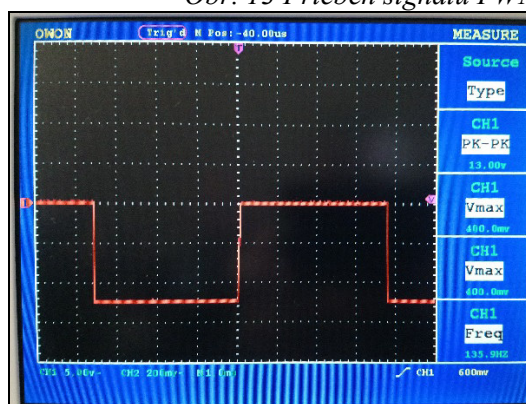


Obr. 12 Pohľad na spodnú stranu chladiča GSC-1.

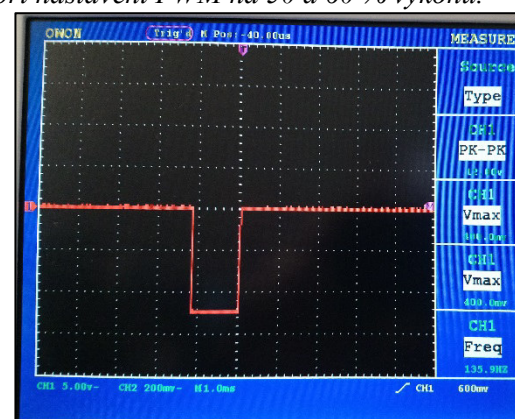
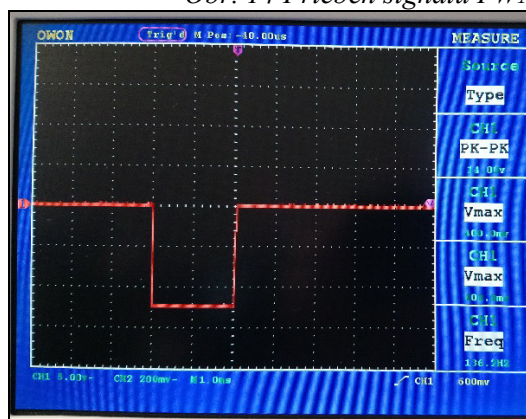
Počas merania bol sledovaný aj priebeh signálu regulátora PWM osciloskopom. Priebehy sú zobrazené na nasledujúcich obrázkoch.



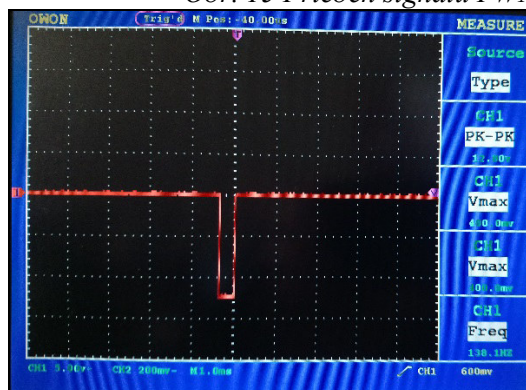
Obr. 13 Priebeh signálu PWM pri nastavení PWM na 30 a 40 % výkonu.



Obr. 14 Priebeh signálu PWM pri nastavení PWM na 50 a 60 % výkonu.



Obr. 15 Priebeh signálu PWM pri nastavení PWM na 70 a 80 % výkonu.



Obr. 16 Priebeh signálu PWM pri nastavení PWM na 90 a 100 % výkonu.

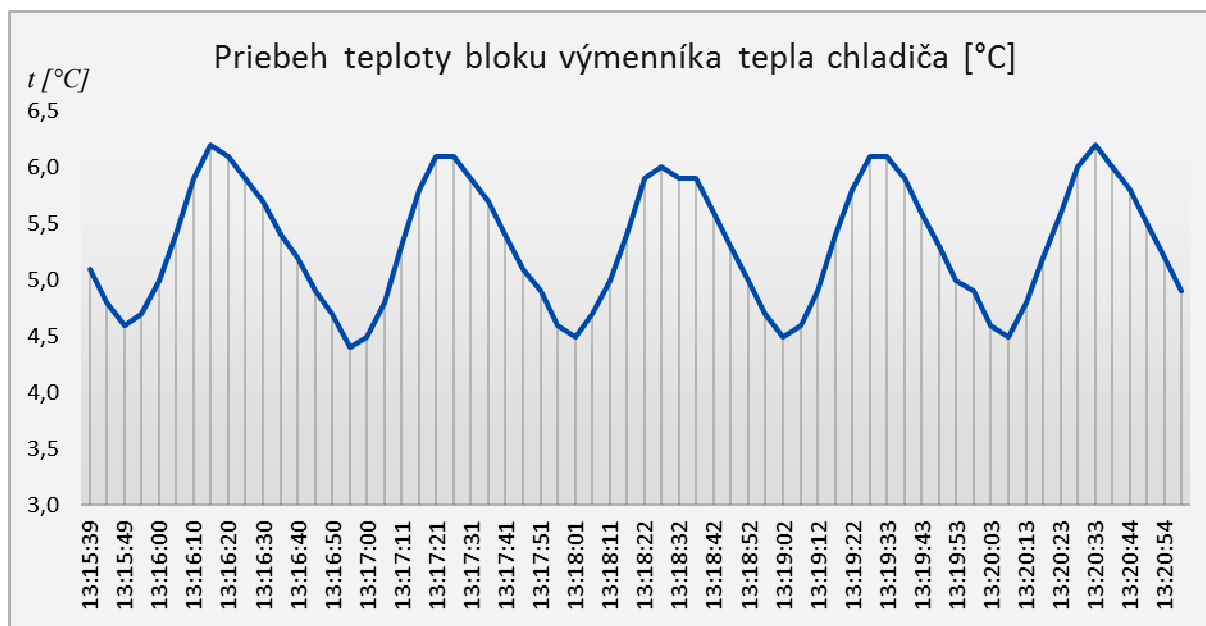
Vyhodnotenie testu prototypu chladiča plynnej vzorky GSC-1

Nastavená hodnota požadovanej teploty bloku výmenníka tepla bola 4 °C. Priemerná nameraná hodnota teploty pomocou digitálneho teplometa UT322 na vnútornej stene bloku výmenníka bola 5,3 °C. Teplota počas regulácie dosahovala minimálnu hodnotu 4,4 °C a maximálnu hodnotu 6,2 °C, ako je uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 4 Minimálna, maximálna a priemerná hodnota teploty výmenníka pri požadovanej teplote 4 °C.

Požadovaná teplota 4 °C	Teplota [°C]
Min	4,4
Max	6,2
Avg	5,3

Priebeh teploty je znázornený na nasledujúcom grafe číslo 3.



Graf 3 Grafické zobrazenie priebehu minimálnej, maximálnej a priemernej hodnoty teploty výmenníka pri požadovanej teplote 4 °C.

Regulátor teploty má od výrobcu prednastavenú hysterézu na 1 °C⁹, tú je však možné meniť v rozsahu 0,1 – 999,9 °C. V prípade požiadavky na vyššiu stabilitu cieľovej hodnoty teploty je možné znížiť hodnotu hysterézie.

Rozdiel medzi teplotami zobrazenými na regulátore teploty a digitálnom teplomeri pri cieľovej teplote 4 °C bol podľa grafu 2 až 1,2 K. Tento rozdiel bol spôsobený umiestnením snímačov teploty, pričom snímač regulátora z konštrukčného hľadiska je umiestnený v spodnej časti výmenníka a snímač digitálneho teplomera UT322 bol umiestnený v hornej časti výmenníka. Navyše, horná časť tepelnej izolácie bude osadená až po vsunutí skleneného výmenníka do hliníkového bloku chladiča. Tým sa zabezpečí homogénnejšie rozloženie teplôt v objeme bloku.

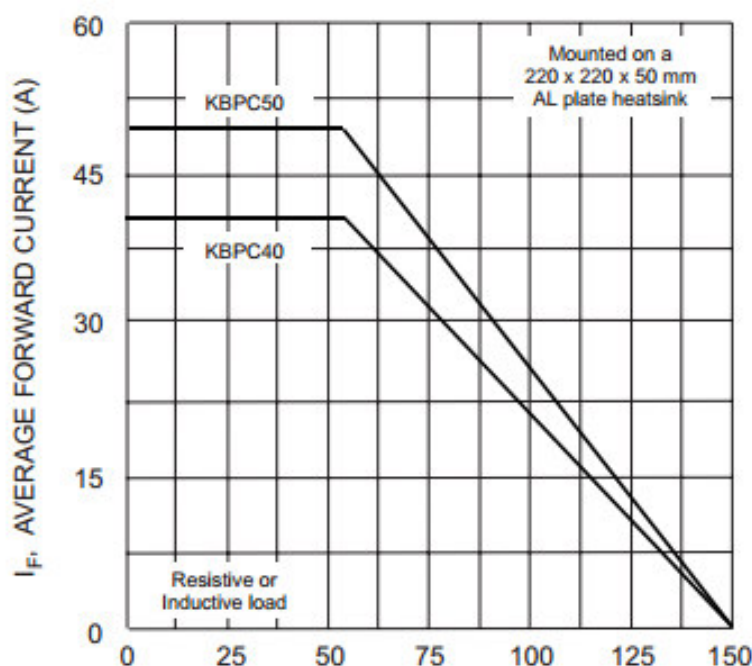
⁹ OMRON. E5CB Temperaturregler. Příbalový manuál k regulátoru.

Predpokladaný postačujúci výkon regulácie pre dosiahnutie teploty chladiča 4 °C pri normálnej prevádzke analyzátora bude 80 %. Tým sa zabezpečí nižšie integrálne prúdové a teplotné zaťaženie peltierových článkov, čo výrazne predĺži ich životnosť.

Počas testu bola sledovaná aj teplota usmerňovača prúdu pre obvody peltierových chladičov. Podľa tabuľky 3 bola pri plnom výkone PWM teplota púzdra usmerňovača 72,1 °C. Prevádzkové teploty spolu s prúdovým zaťažením sú zobrazené na grafe 4.

Pri deklarovanom priebehu sa počíta s chladičom na odvod tepla o rozmeroch 220x220x50 mm, čo je pre zachovanie požadovaných rozmerov chladiča vzorky nemysliteľné. Avšak, maximálny prúd tečúci cez usmerňovač bol nameraný 15 A, čo pri teplote takmer 75 °C je stále únosné. Prevádzkovú spoľahlivosť ukáže ďalší test zameraný na dlhodobú prevádzku prístroja.

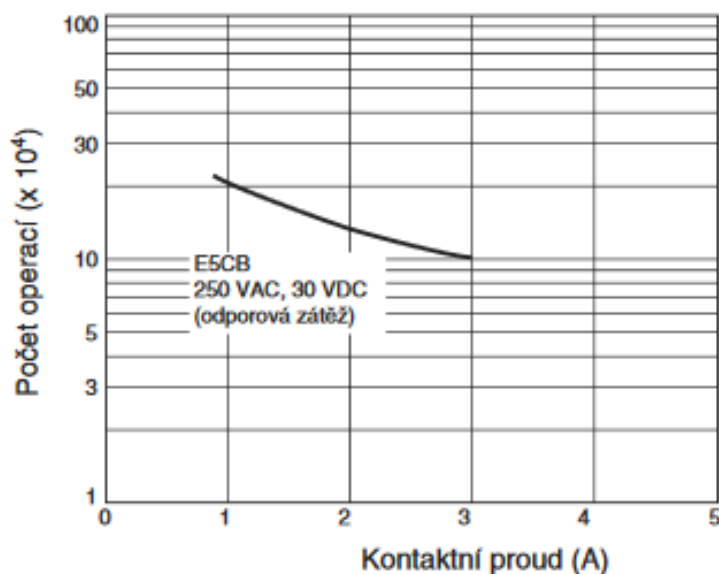
V prípade kritického prehrievania je možné doplniť aktívne chladenie pomocou vstavaného ventilátora do skrinky zariadenia.



Graf 4 Závislosť maximálneho prúdového zaťaženia usmerňovača KBPC50 od teploty púzdra.¹⁰

Regulátor teploty má na výstupe relé, ktorý sa na výstup spína napätie pre riadenie výkonového prvku. Krivka elektronickej životnosti vnútorného relé regulátora je na obr. 17. Signál o amplitúde 12 VDC je privedený na vstup optočlena AQY 212, ktorý spína signál z regulátora PWM do bloku výkonových tranzistorov. Keďže na vstupe optočlena je dióda LED o maximálnom prúde 50 mA, je relé regulátora teploty zaťažené len minimálne, čo prispieva k predĺženiu jeho životnosti. V každom prípade je potrebné rátať s možnou poruchou regulátora a jeho výmenou.

¹⁰ WTE. POWER SEMICONDUCTORS. KBPC40, 50/W series. - [on-line] [2019-01-29] Dostupné na internete - URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/wte/KBPC5010W.pdf>



Obr. 17 Krivka elektrickej životnosti výstupného relé regulátora teploty výmenníka.¹¹

Záver

Prototyp chladiča plynnej vzorky GSC-1 splnil očakávané parametre a je vhodný pre integráciu do analyzátoru celkového organického uhlíka. Rozmerovo je menší ako pôvodné chladiče v už existujúcich analyzátoroch. Mechanicky je pripravený pre upevnenie do skrinky analyzátoru s odpružením. Je vybavený konektorom pre pripojenie digitálnych výstupov do radiaceho počítača aby bola zaručená informácia o jeho chode, nakoľko ide o dôležitú súčasť celého analyzátoru. Výpadok chladenia vzorky by spôsobil, že plynná vzorka, ktorá nie je zbavená vlhkosti, môže spôsobiť narušenie vnútorného povrchu meracej kyvety a tak nenávratne a výrazne znížiť citlivosť analyzátoru.

Skrinka chladiča je vyrobená z oceľového plechu s povrchovou úpravou. V reálnych podmienkach, napr. čističkách odpadových vôd, je často agresívna atmosféra a preto sú prístroje a zariadenia dodávané v skrinkách vyrobených z plastu aby sa zabránilo korozívnym účinkom a znehodnocovaniu zariadení. Tento chladič vzorky je však braný ako prototyp a v prípade osadenia do spomínaného prostredia by mala byť zvolená konštrukcia s plastovou skrinkou.

Pre nasadenie v praxi je vhodné vyšpecifikovať náhradné diely. Do úvahy by pripadali v prvom rade peltierové články, nakoľko sa predpokladá, že ich životnosť bude najkratšia zo všetkých ostatných súčiastok použitých v konštrukcii chladiča vzorky. Ďalej náhradné tranzistory MOSFET, tu je vhodné pripraviť tranzistory už s naspájkovanými prírodnými vodičmi. Konce vodičov sú do modulu PWM pripojené cez svorkovnice čo pri výmene značne šetrí čas a nepoškodzuje dosku s plošným spojom prehrievaním, pokiaľ by tranzistory alebo prírodné vodiče boli priamo zapájkované do dosky. Ďalej usmerňovač s teplovodnou pastou, rezervné ventilátory chladičov, senzor teploty Pt100 a rezervné trubičkové prístrojové poistky.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

Agarwal, T. 2016. Quora. *What is pulse width modulation?* - [on-line] [2019-01-22] Dostupné na internete - URL: <https://www.quora.com/What-is-pulse-width-modulation>.

¹¹ OMRON. Regulátor teploty E5CB. - [on-line] [2019-01-29] Dostupné na internete - URL: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/cs/v1/h09e_e5cb_temperature_controller_datasheet_cs.pdf.

- Omron. E5CB Temperaturregler. *Príbalový manuál k regulátoru*.
- SAMOILOV, Arkadii V., et al. *Methods to fabricate MOSFET devices using selective deposition process*. U.S. Patent No 7,132,338, 2006.
- TEM electronic components. 2015. Peltierove články značky Stonecold. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: https://www.tme.eu/sk/pages/Product_of_the_week:peltierove-clanky-znacky-stonecold.html
- WTE. Power semiconductors. KBPC40, 50/W series. - [on-line] [2019-01-29] Dostupné na internete - URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/wte/KBPC5010W.pdf>
- Peltierův článek jako tepelné čerpadlo. - [on-line] [2019-01-02] Dostupné na internete - URL: [http://fyzika.fce.vutbr.cz/userfiles/7809244608/files/Peltierovo%20tepeln%C3%A9%20%C4%8Derpadlo\(2\).pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/userfiles/7809244608/files/Peltierovo%20tepeln%C3%A9%20%C4%8Derpadlo(2).pdf)
- LCSC. Uni-Trend Tech UT322. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: https://lscsc.com/product-detail/Instruments_Uni-Trend-Tech-UT322_C130591.html.
- Migwelding. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: <https://www.mig-welding.co.uk/forum/threads/why-are-oscilloscopes-so-big.56167/page-2>.
- Testo. Testo 608-H1 - Thermohygrometer. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: <https://www.testo.com/en-PH/testo-608-h1/p/0560-6081>.
- UNI-T. Digital thermometer UNI-T UT322. - [on-line] [2019-01-25] Dostupné na internete - URL: <https://www.uni-t.cz/en/p/digital-thermometer-uni-t-ut322>.
- Omron. Regulátor teploty E5CB. - [on-line] [2019-01-29] Dostupné na internete - URL: https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/cs/v1/h09e_e5cb_temperature_controller_datasheet_cs.pdf.

ADRESA AUTOROV

Ing. Ján ILKO, EUR-ING

- MEDON GmbH, Olbendorf, Republik Österreich
 - Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Trnava 917 24, Slovak Republic
- E-mail: jan.ilko@gmail.com

doc. RNDr. Miroslav RUSKO, PhD.

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnická fakulta Trnava,
Ústav integrovanej bezpečnosti, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika,
e-mail: miroprusko@centrum.sk

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.