

Číslicové meracie prístroje neelektrických veličín II. Číslicový snímač teploty

JÁN DANKO

Súhrn. V článku je uvedený opis činnosti a výsledky testovania realizovaného číslicového snímača teploty so snímačom — odporovým teplomerom Pt 100. V laboratórnych podmienkach sa využíva na vizuálnu signalizáciu a súčasne na zber dát pomocou mikropočítača (PMD 85-2), ktorý údaj o meranej teplote využíva na riadenie modelu výmenníka tepla.

2.0. Úvod

Platinové odporové teplomery ploché a keramické Pt 100 u nás vyrábajú ZPA Jinonice, závod Ústí nad Labem [4].

Platinové odporové teplomery ploché — Ptp 100 sú navinuté na doske z tvrdého papiera, spevnené epoxidovým lepidlom a chránené lakovaným papierom a medenou fóliou. Používajú sa pre rozsah teplôt od -100°C do $+110^{\circ}\text{C}$. Pre väčší rozsah meraných teplôt (od -200°C do 350°C) platinový drôtik je navinutý bifilárne na sludovej doštičke, spevnený silikónovým lakom a chránený sludovým obalom.

Na meranie vyšších teplôt (alebo veľmi nízkych) sa používajú platinové odporové teplomery keramické — Ptk (od -200°C do $+600^{\circ}\text{C}$ — typ MT, DMT alebo od -200°C do $+800^{\circ}\text{C}$ — typ MV, DMV). Platinové odpory keramické sú tvorené keramickým valčekom s pozdĺžnymi otvormi, v ktorých sú uložené odporové špirály z platinového drôtika (0,35 mm) na jednom konci pevne spojené a na druhom privarené k hrubším vývodným drôtom. Oba konce keramického valčeka sú hermeticky zatavené glazúrou. Podľa počtu odporových špirál v keramickom valčeku môže byť odporový teplomer jednoduchý — typ MT, MV alebo dvojitý — typ DMT, DMV.

Platinové odporové teplomery sú umiestňované do kovových ochranných armatúr (v závislosti od agresivity meraného prostredia).

Doc. Ing. Ján Danko, CSc., Katedra automatizácie, Chemickotechnologická fakulta STU, Radlinského 9, 8121 37 Bratislava.

Závislosť hodnoty odporu od zmeny teploty (statická charakteristika) pri odporových teplomeroch je daná vzťahom

$$R_{\vartheta} = R_0(1 + \alpha\vartheta) = R_0 + \Delta R \quad (1)$$

kde $R_{\vartheta} [\Omega]$ je odpor snímača pri meranej teplote $\vartheta [^{\circ}\text{C}]$,

$R_0 [\Omega]$ — odpor snímača pri $\vartheta = 0^{\circ}\text{C}$,

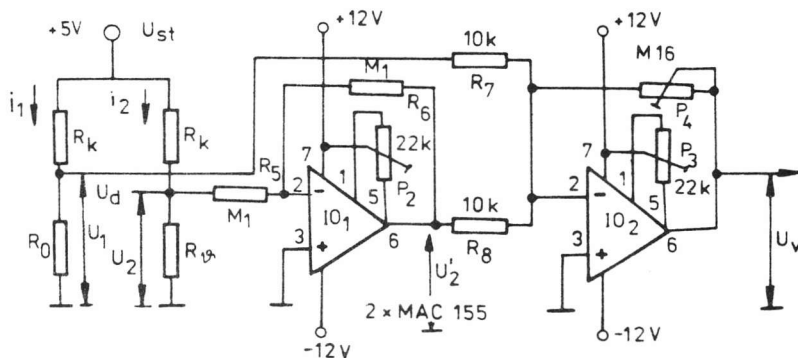
$\alpha [1/^{\circ}\text{C}]$ — teplotný súčiniteľ odporu pre Pt 100 $\alpha = 0,385 \cdot 10^{-2} 1/^{\circ}\text{C}$,

$\Delta R [\Omega]$ — zmena odporu, $\Delta R = R_0\alpha\vartheta$.

2.1 Analýza činnosti schémy meracieho prevodníka

Číslicový snímač teploty pozostáva z meracieho prevodníka a zosilňovača, vyhodnocovacieho zariadenia a zobrazovacej jednotky [1].

Analyzujeme činnosť prístroja ak vo funkcii meracieho prevodníka (mení výstupný signál snímača — zmenu odporu na zmenu napätia) použijeme nerovnovážny mostík (obr. 2.1), ktorý je napájaný stabilizovaným napätím $U_{st} = 5 \text{ V}$.



Obr. 2.1. Schéma zapojenia meracieho prevodníka a zosilňovača.

Fig. 2.1. Circuit diagram of measuring converter and amplifier.

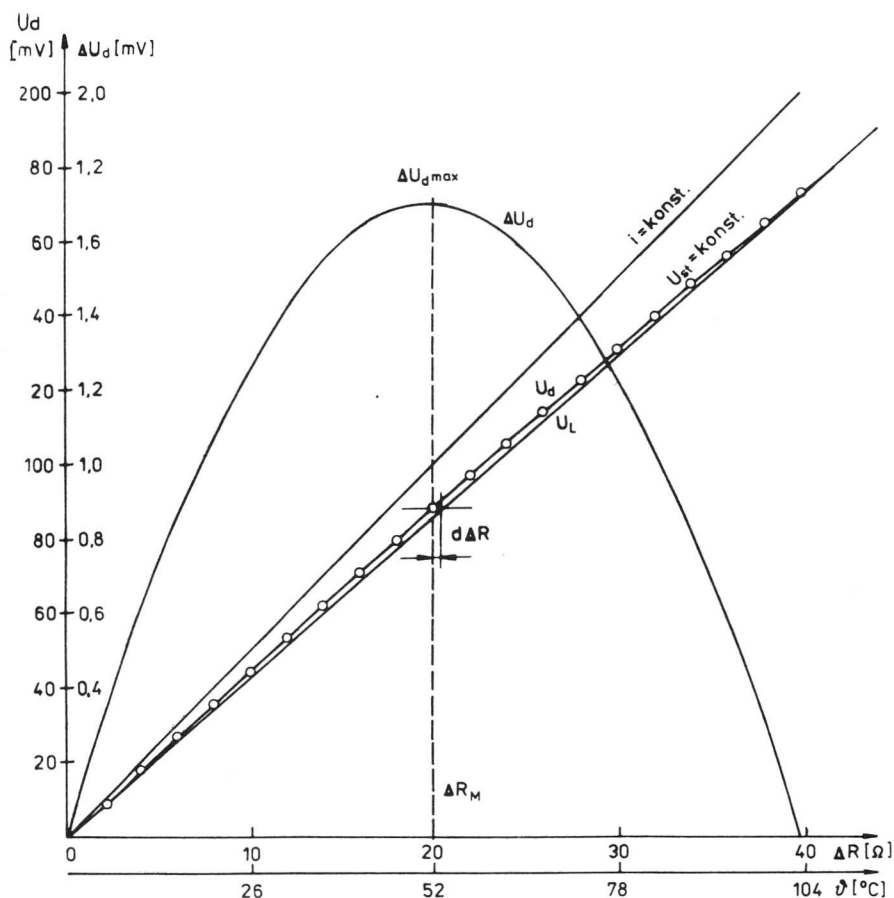
Keďže cez odporový teplomer môže tiecť maximálny prúd 10 mA, v schéme mostíka sú použité obmedzovacie rezistory R_k ; $R_k = 900 \Omega$, $R_0 = 100 \Omega$. (Pri uvedených odporoch rezistorov R_k , R_0 cez odporový snímač teploty $R_{\vartheta} = R_0 + \Delta R$ tečie prúd $i_2 \approx 5 \text{ mA}$.) Pretože výstupný signál nerovnovážneho mostíka — napätie U_d je upravované operačnými zosilňovačmi, ktorých vstupný odpor je $R_i \gg 1$ ($R_i = 10^7 \div 10^{12} \Omega$) pre merací prevodník platia nasledujúce vzťahy

$$i_1 = \frac{U_{st}}{R_0 + R_k}, \quad i_2 = \frac{U_{st}}{R_0 + \Delta R + R_k}, \quad (2)$$

$$U_d = U_2 - U_1 = i_2(R_0 + \Delta R) - i_1 R_0. \quad (3)$$

Úpravou vzťahov (2) a (3) dostaneme výraz (4), ktorý vyjadruje závislosť výstupného napätia U_d meracieho prevodníka od zmeny odporu ΔR odporového snímača teploty

$$U_d = U_{st} \frac{R_k}{R_k + R_0} \cdot \frac{\Delta R}{R_0 + \Delta R + R_k}. \quad (4)$$



Obr. 2.2. Závislosť výstupného napätia meracieho prevodníka (v mostíkovom zapojení) od zmeny odporu snímača.

Fig. 2.2. Dependence of the output voltage of the measuring converter (in the bridge configuration) on the resistance change of the sensing unit.

Grafická závislosť vzťahu (4) pre dané hodnoty rezistorov R_0 , R_k a napätia U_{st} je uvedená na obr. 2.2.

Závislosť $U_d = f(\Delta R)$ je nelineárna. V meranom rozsahu môžeme ju linearizovať pomocou referenčných bodov MPTS (medzinárodnej praktickej teplotnej stupnice). Napr. pre rozsah 0—100 °C môžeme linearizovať pomocou kúpeľa zo zmesi a vody a ľadu a bodu varu vody.

Linearizovanú závislosť $U_L = f(\Delta R)$ môžeme opísať vzťahom

$$U_L = k \Delta R, \quad (5)$$

kde k [mV/Ω] je smernica linearizovanej závislosti pre $\Delta R = 40 \Omega$ a $U_d = 173,08 \text{ mV}$, $k = 4,327 \text{ mV}/\Omega$.

(Pre referenčné body platí, že $U_d = U_L$.)

Chybu údaj meracieho prevodníka môžeme vypočítať ak do vzťahu (6) dosadíme výrazy (4) a (5)

$$\Delta U = U_d - U_L. \quad (6)$$

Hodnotu ΔR_m , pri ktorej ΔU je maximálna, vypočítame zo vzťahu

$$\frac{d}{d\Delta R} (\Delta U) = 0. \quad (7)$$

Riešením vzťahu (7) dostaneme rovnicu (8) na výpočet hodnoty ΔR_m , keď chyba údaj meracieho prevodníka je maximálna: $\Delta U = \Delta U_m$

$$\Delta R_m = -(R_0 + R_k) + \sqrt{\frac{U_{st}}{k} R_k}. \quad (8)$$

Napr. pre meraný rozsah teploty $0 \div 102,8^\circ\text{C}$ ($0 \leq \Delta R \leq 40 \Omega$) a pre vyššie uvedené hodnoty odporov rezistorov R_0 , R_k , k , U_{st} je $\Delta R_m = 19,79 \Omega$, čo zodpovedá teplote (podľa vzťahu (1)) $\vartheta_m = 51,4^\circ\text{C}$, keď podľa vzťahu (5) vyhodnocovacie zariadenie udáva $52,4^\circ\text{C}$. Maximálna chyba meracieho prevodníka uvedeného na obr. 2.1 je v 50 % meraného rozsahu a predstavuje 1 % z meracieho rozsahu.

Uvedená analýza nezohľadňuje nelinearitu snímača teploty — odporového teplomera v skúmanom rozsahu meraných teplôt, t.j. od 0 do 100 °C. Pri zohľadnení dovolenej maximálnej odchýlky v uvedenom rozsahu údaj číslcového teplomera sa zmení maximálne o $\pm 0,6^\circ\text{C}$.

Ak potrebujeme vyššiu presnosť merania musíme použiť inú schému meracieho prevodníka, napr. so zdrojom konštantného prúdu alebo s odporovým teplomerom v spätnej väzbe operačného zosilňovača.

Na ďalšie spracovanie výstupného signálu U_d meracieho prevodníka je použi-

tý merací zosilňovač (obr. 2.1), ktorý upraví signál U_d (impedančne a rozsahovo) na signál U_v [5].

Na vylúčenie vplyvu súhlasného rušivého napätia merací zosilňovač je vytvorený z dvoch operačných zosilňovačov IO_1 , IO_2 . (Súhlasné rušivé napätie pôsobí súčasne na obidve vstupné svorky meracieho zosilňovača s rovnakou amplitúdou a fázou ako dôsledok rozdielu potenciálov zemniacich svoriek meracieho prevodníka a zosilňovača.)

Na invertujúci vstup IO_1 (ktorý pracuje s jednotkovým zosilnením, t.j. $R_5 = R_6$) sa privádza napätie U_2 vrcholu mostíka vzhľadom k zemi. Výstupné napätie IO_1 $U'_2 = -U_2$ sa na invertovanom vstupe obvodu IO_2 spočítava s napätím U_1 druhého vrcholu mostíka. Pre výstupné napätie operačného zosilňovača s veľkým zosilnením ($k > 5 \cdot 10^4$) a veľkým vstupným odporom R_i ($R_i > 10^7 \Omega$) platí

$$\frac{U_2}{R_5} + \frac{U'_2}{R_6} = 0, \quad \text{ak} \quad R_5 = R_6 \quad U'_2 = -U_2, \quad (9)$$

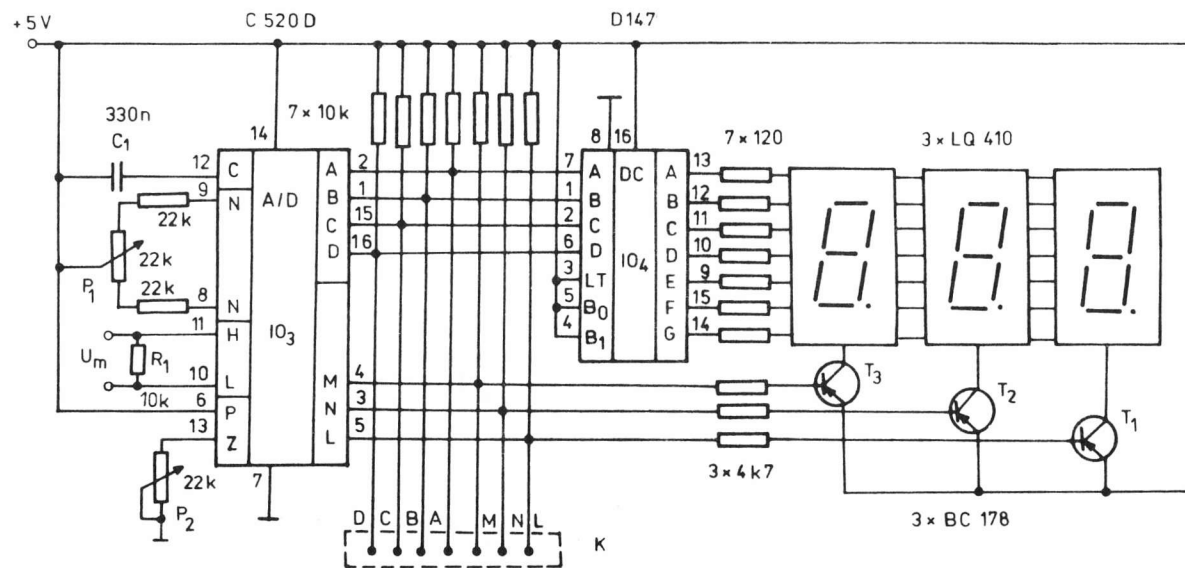
$$-\frac{U_2}{R_8} + \frac{U_1}{R_7} + \frac{U_v}{P_4} = 0, \quad \text{ak} \quad R_7 = R_8 \quad U_v = \frac{P_4}{R_8} (U_2 - U_1) = k U_d, \quad (10)$$

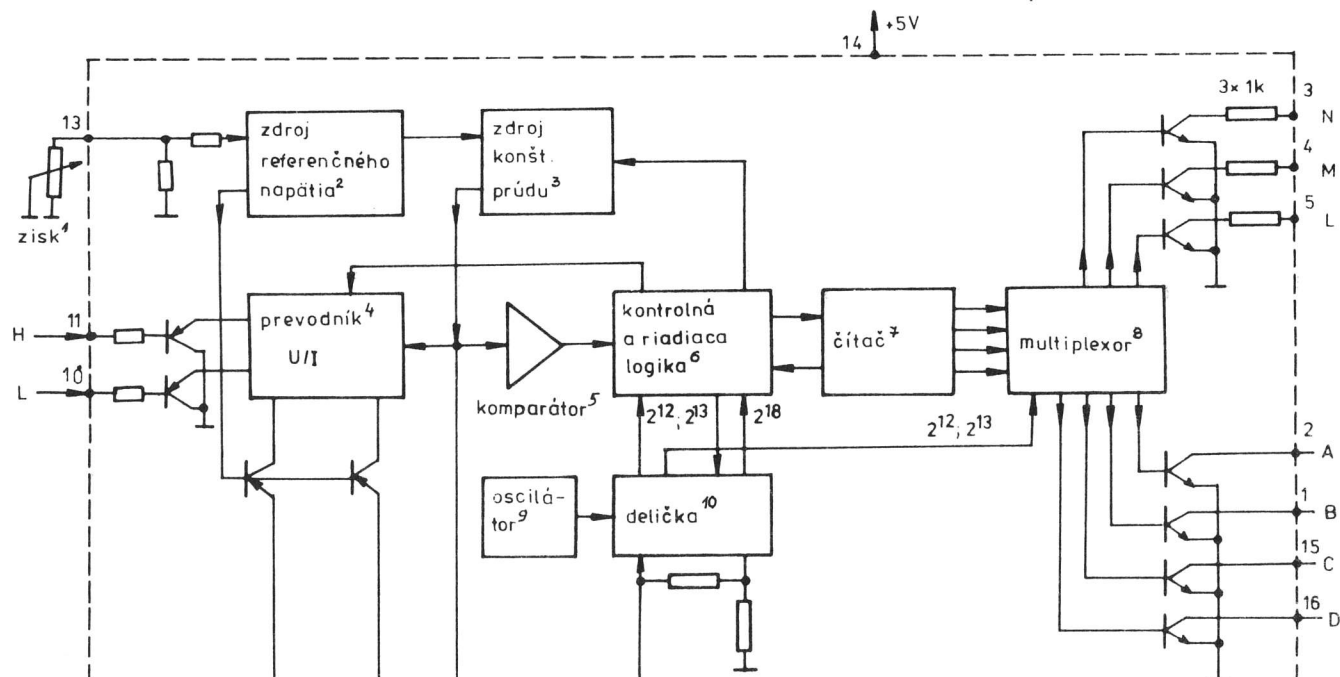
kde k je prevodový koeficient upravujúci rozsah zmeny U_d na rozsah zmeny napätia U_v , požadovaný vyhodnocovacím zariadením.

2.2 Opis činnosti vyhodnocovacieho zariadenia a zobrazovacej jednotky

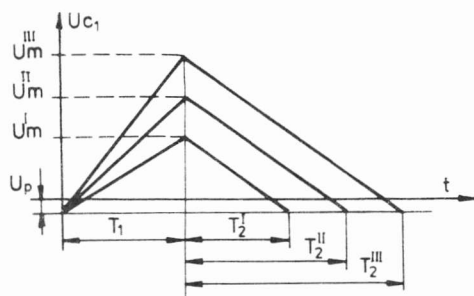
Schéma vyhodnocovacieho zariadenia a zobrazovacej jednotky je uvedená na obr. 2.3. Vyhodnocovacie zariadenie tvorí 10-bitový analógovo-číslcový prevodník C 520 D (IO_3), ktorý prevádza analógový signál U_v do binárne dekadického kódu (kódu BCD) a pomocou dekódera D 147 (IO_4) dekoduje do kódu sedem segmentových zobrazovacích jednotiek [2, 3].

Základným obvodom vyhodnocovacieho zariadenia je analógovo-číslcový prevodník (IO_3), ktorý pracuje na princípe dvojitej integrácie. Bloková schéma integrovaného obvodu C 520 D (IO_3) je na obr. 2.4. Celý prevod analógového signálu U_m do číslcového tvaru pozostáva z dvoch časových intervalov (obr. 2.5). Počas prvého intervalu T_1 sa nabíja externý integračný kondenzátor C_1 (pripojený na vývod 12) výstupným prúdom prevodníka napätie—prúd (obr. 2.4). Nabíjací prúd je priamoúmerný vstupnému napätiu U_m na vstupných svorkách 10, 11. Čas T_1 , počas ktorého je kondenzátor C_1 nabíjaný je konštantný a daný generátorom hodinových impulzov. Napätie na kondenzátore je úmerné meranému napätiu U_m . Počas druhého časového intervalu T_2 je konden-





zátor C_1 vybíjaný zdrojom konštantného prúdu až do dosiahnutia hodnoty prahového napätia komparátora, keď komparátor preklopí hodnotu svojho výstupného signálu a cez obvody kontrolnej a riadiacej logiky zablokuje čítač impulzov. Pretože kondenzátor C_1 je vybíjaný konštantným prúdom, čas vybíjania T_2 je úmerný veľkosti vstupného napätia U_m a teda aj obsahu čítača.



Obr. 2.5. Časové intervaly prevodu analógového signálu do číslicového tvaru.
Fig. 2.5. Time intervals of the conversion of analogue signal to the digital form.

Trimrom P_1 , ktorý je pripojený k vstupom 8, 9, zmenou symetrie napájania prúdových zdrojov sa nastavuje nula na zobrazovacích jednotkách.

Trimrom P_2 , pripojeným k vývodu 13, meníme pomer odporov v zdroji referenčného napätia. Zdroj referenčného napätia riadi zdroj konštantného prúdu, prúdové zdroje prevodníka napätie—prúd a tým aj veľkosť konštantného vybíjacieho prúdu integračného kondenzátora C_1 . Trimrom P_2 nastavujeme pri danej hodnote vstupného napätia U_m ($U_m = U_v$ výstupu meracieho zosilňovača) zodpovedajúcu hodnotu (v číslicovom tvare) na zobrazovacích jednotkách.

Oscilátor generuje kmity s frekvenciou od $0,2 \div 1,3$ MHz (v závislosti od rozptylu parametrov prvkov oscilátora), ktoré sú privádzané do deliča frekvencie pozostávajúceho z 19 klopných obvodov.

Trimrom P_3 , ktorý je pripojený na vstup 6, zmenou napätia nastavujeme režim práce prevodníka. Pri napätí 3,2—5 V prevodník pracuje v rýchлом režime merania ($48 \div 186$ meraní/s). Pri napätí $0 \div 0,4$ V je nastavený pomalý cyklus merania ($2 \div 7$ meraní/s). Pri napätí $0,8 \div 1,6$ V meranie je zastavené a v čítači sa udržiava posledná nameraná hodnota.

Kontrolná a riadiaca logika ovláda činnosť 3 a 1/2 miestneho dekadického synchronného čítača. Pozostáva z klopných obvodov a jeho maximálny načítaný počet impulzov je 1999.

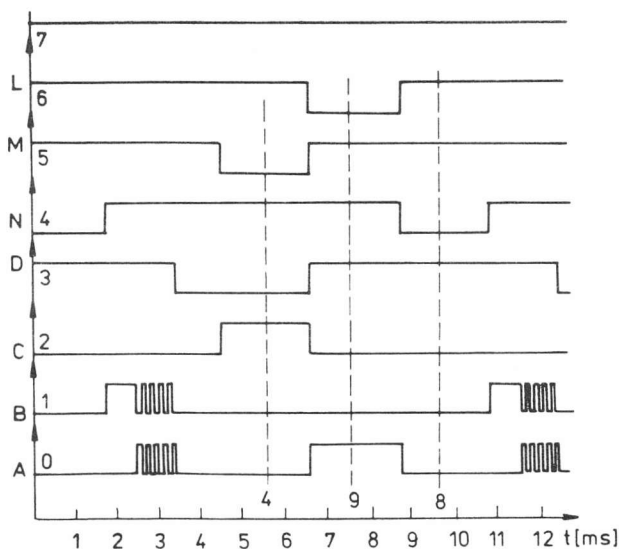
Počas intervalu T_1 (keď integračný kondenzátor C_1 sa nabíja) čítač načítava impulzy zo stavu 000 do 880. V priebehu ďalších 20 impulzov dochádza k prepnutiu integračného kondenzátora C_1 z nabíjacieho do vybíjacieho režimu.

Zápornému rozsahu meraného napätia od -99 mV do -1 mV zodpovedá stav čítača od 901 do 999. Záporné znamienko je indikované znakom [v najvyššom rade (v dekáde, ktorá zobrazuje číslice $\cdot 10^2$). Prekročenie max. záporného rozsahu sa indikuje na zobrazovacích jednotkách znakom [vo všetkých troch dekádoch.

Prechodom stavu čítača z 999 na 1000 na zobrazovacej jednotke zhasne záporné znamienko. Kladnému meranému napätiu od 0 do 999 mV zodpovedá stav čítača od 1000 do 1999. Dosiahnutie stavu čítača 2000 sa indikuje na zobrazovacích jednotkách ako prekročenie kladného rozsahu znakom] vo všetkých troch dekádoch.

Stav jednotlivých dekad čítača cez multiplexor sa postupne privádza na výstupy A, B, C, D (svorky 2, 1, 15, 16) prevodníka. Multiplexor je riadený frekvenčným signálom, ktorý sa odoberá z 12. alebo 13. klopného obvodu. Pri rýchlom meraní multiplexor vydáva len jeden výstupný údaj počas pracovnej periódy, pri pomalom meraní výstupný údaj počas jednej pracovnej periódy sa opakuje 24-krát.

Multiplexor spína výstupné tranzistory (obr. 2.4) s otvoreným kolektorom tak, že na výstupy A, B, C, D sa postupne privádza informácia v BCD kóde o počte načítaných impulzov v klopných obvodoch čítača najprv pre najvyšší rád — 10^2 (súčasne je otvorený tranzistor s výstupom M), potom pre najnižší rád — 10^0 (tranzistor s výstupom L je otvorený) a nakoniec pre stredný rád — 10^1 (tranzistor s výstupom N je otvorený).

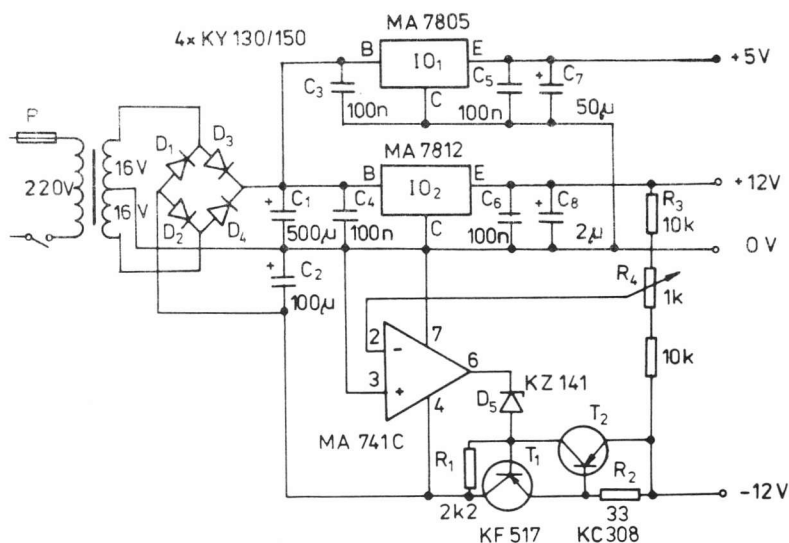


Obr. 2.6. Časový diagram činnosti integrovaného obvodu C 520 D.

Fig. 2.6. Time interval of the integrated circuit (C 520 D) action.

Celý cyklus činnosti A/D prevodníka (IO_3) v rýchlom režime je znázornený na časových závislostiach na obr. 2.6. Aktívny stav — vydanie výstupnej informácie o stave klopných obvodov príslušnej dekády čítača nastáva ak príslušný tranzistor výstupov M, N, L je otvorený, t.j. výstupný signál tranzistora má hodnotu odpovedajúcu $\log 0$. Na časových závislostiach na obr. 2.6 čítame na výstupe A/D prevodníka desiatkové číslo 489.

Táto informácia je privádzaná na vstup integrovaného obvodu IO_4 (D 147) — dekódera z kódu BCD na kód sedemsegmentových zobrazovacích jednotiek so spoločnou anódou (napr. LQ 410) a súčasne na konektor K, ktorý umožňuje komunikáciu s mikropočítačom (zber a spracovanie dát), v našom prípade to bol PMD 85-2.



Obr. 2.7. Schéma zapojenia zdroja napájacích napätí.
Fig. 2.7. Circuit diagram of the source of supply voltage.

Číslicový snímač teploty je napájaný z napájacieho zdroja, schéma ktorého je uvedená na obr. 2.7. Zdroj zabezpečuje napájanie vyhodnocovacieho zariadenia a meracieho prevodníka stabilizovaným napätím $+5\text{ V}$ s prúdovým odberom do 200 mA z integrovaného stabilizátora napätia MA 7805 (IO_1). Merací zosilňovač je napájaný napätím $\pm 12\text{ V}$ s prúdovým odberom do 20 mA , ktoré sa odoberá z integrovaného stabilizátora MA 7812 a integrovaného obvodu MA 741, ktorý riadi tranzistor T_1 , pracujúci vo funkcii prúdového zosilňovača. Napätie -12 V sa nastavuje trimrom R_4 . Tranzistor T_2 s odporom R_2 tvoria prúdovú ochranu (nastavenú na ca 20 mA).

Záver

Realizovaný číslicový snímač teploty pracuje spoľahľivo. V laboratórnych podmienkach sa využíva na vizuálnu signalizáciu a súčasne na zber dát pomocou mikropočítača (PMD 85-2), ktorý údaj o meranej teplote využíva na riadenie modelu výmeníka tepla, opis ktorého bude uvedený v ďalšom článku.

Literatúra

1. KAJNAR, V.: Číslicový teplomer, ARA, 1987, č. 8.
2. ANDRLÍK, F.: Číslicové panelové měřidlo. ARA, 1984, č. 12.
3. KOSORINSKÝ, J.: Číslicový multimeter DMM 520. ARA, 1987, č. 1.
4. Katalóg ZPA, Platinové měřicí odpory.
5. DANKO, J.: Číslicový snímač teploty. In: Zb. 7. celoštátnej konferencie ASR TP v chemickom a potravinárskom priemysle, 1989.

Do redakcie došlo: 11. 7. 1991

Цифровые измерительные приборы неэлектрических величин II. Цифровой датчик температуры

Резюме

В статье приведены принцип действия и результаты испытания реализованного цифрового измерителя температуры с датчиком — термометром сопротивления Пт 100. В лабораторных условиях применяется для визуальной сигнализации и одновременно для сбора данных с помощью микро-ЭВМ (PMD 85-2), которая использует данные об измеренной температуре для управления модели теплообменника.

Digital measuring instruments of non-electrical constants measurements II. Digital temperature sensing unit

Summary

The paper deals with function description and the analysis of measurement results of a digital temperature meter with sensor — resistance thermometer Pt 100. Under laboratory conditions, it is used for visual signalling and simultaneously for data collection by help of microcomputer, which uses datum on measured temperature for heat exchanger model control.