

440

ZESPÓŁ AUTOMATYKI ELEKTRONICZNEJ

BE 10

Nazwa ONB/ZNB

Główny wykonawca

mgr inż. Elżbieta Jachczyk

Wykonawcy:

mgr inż. Tadeusz Goszczyński

tech. Andrzej Kulik

Wykonanie modelu komputerowego stanowiska KAL 401  
do sprawdzania charakterystyk par czujników temperatury.

Etap 2. Uruchomienie stanowiska KAL 401, wykonanie badań  
funkcjonalnych i metrologicznych.

(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

Zleceniodawca

praca statutowa

Kierownik Pracowni

mgr inż. Tadeusz Goszczyński

Z-ca Dyrektora  
d/s Bad.-Rozwojowych

dr inż. Jan Jabłkowski

Kierownik Zespołu

doc.dr inż. J.Korytkowski

Pracę zakończono dnia 30.12.1996r.

Nr arch. 7376

Nr zlecenia S1677

## Analiza deskryptorowa

STANOWISKO BADAWCZE : POMIAR + KOMPUTERY + PRZETWORNIKI  
POMIAROWE

### Abstrakt

Przedstawiono wyniki badań metrologicznych i funkcjonalnych stanowiska do badania charakterystyk par czujników temperatury KAL 401. Badania metrologiczne miały na celu stwierdzenie błędu pomiaru rezystancji, wnoszonego przez stanowisko. Badania funkcjonalne polegały na sprawdzeniu poprawności analizy otrzymanych wyników pomiaru.

### Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Wykonanie modelu komputerowego stanowiska KAL401 dla 15 czujników jako stanowiska na Targi Poznańskie wraz z demonstracyjnym programem pracy stanowiska na komputer PC.
2. Opracowanie instrukcji obsługi stanowiska KAL401 dla użytkownika.

### Rozdzielnik

Egz. 1. .... OIN .....

Egz. 2. .... ZAE - 3 .....

Egz. 3. .... ZAE - 1 .....

# **Badania metrologiczne i funkcjonalne sterownika KAL401**

## **SPIS TREŚCI**

<b>1. BADANIA METROLOGICZNE</b>	<b>2</b>
1.1. Określenie dokładności multimetru	2
1.2. Sposób określania błędów sterownika KAL401	3
1.3. Wyniki pomiarów	4
1.4. Analiza wyników	7
<b>2. BADANIA FUNKCJONALNE</b>	<b>8</b>
2.1. Sprawdzenie sprzętu	8
2.2. Sprawdzenie funkcji realizowanych przez sterownik	8
<b>ZAŁ. 1</b>	<b>10</b>
<b>ZAŁ. 2</b>	<b>12</b>
<b>ZAŁ. 3</b>	<b>14</b>

## 1. Badania metrologiczne

Badania metrologiczne miały na celu zbadanie błędu pomiaru rezystancji wnoszonego przez stanowisko KAL401. W skład tego błędu wchodzi błąd pomiaru wnoszony przez multimetr 2002 KEITHLEY oraz błąd wnoszony przez multiplexer podłączający rezystancje do multimetru.

### 1.1. Określenie dokładności multimetru

Dokładność pomiaru dla stosowanego multimetru typu 2002 KEITHLEY określona podstawie jego danych technicznych wynosi:

dla 1000  $\Omega$  (zakres 200  $\Omega$  - 2 k $\Omega$ ):

błąd systematyczny pomiaru rezystancji:  $\pm 9,8 \text{ m}\Omega$

błąd chwilowy względem punktu wzorcowania:  $\pm 6,4 \text{ m}$

graniczny błąd pomiaru jest mniejszy od  $\pm 16,2 \text{ m}\Omega$  co daje błąd pomiaru  $\leq 0,0016\%$ ;

dla 100  $\Omega$  (zakres 20 $\Omega$  - 200 $\Omega$ ):

błąd systematyczny pomiaru rezystancji:  $\pm 2,5 \text{ m}\Omega$

błąd chwilowy względem punktu wzorcowania:  $\pm 0,77 \text{ m}\Omega$

graniczny błąd pomiaru jest mniejszy od  $\pm 3,3 \text{ m}\Omega$  co daje błąd pomiaru  $\leq 0,0033\%$ ;

dla 25  $\Omega$  (zakres 20 $\Omega$  - 200 $\Omega$ ):

błąd systematyczny pomiaru rezystancji:  $\pm 1,25 \text{ m}\Omega$

błąd chwilowy względem punktu wzorcowania:  $\pm 0,2 \text{ m}\Omega$

graniczny błąd pomiaru jest mniejszy od  $\pm 1,45 \text{ m}\Omega$  co daje błąd pomiaru  $\leq 0,006\%$ .

Pomiar wykonywany jest z podwyższoną dokładnością uzyskaną dzięki odpowiedniemu nastawieniu następujących parametrów multimetru:

- włączenie kompensacji pomiaru, która dla zakresu 20 $\Omega$  i 200 $\Omega$  koryguje napięcie przesunięcia zera tzw. offset do  $\pm 0,2 \text{ V}$ ;
- dobranej doświadczalnie optymalnej wartości czasu całkowania na 8 PLC;
- rozdzielczości na 7,5 cyfry
- filtra uśredniającego wartość pomiarzoną z 5 odczytów.

## 1.2. Sposób określania błędów sterownika KAL401

Błąd wznoszony przez multiplexer sterownika został wyznaczony poprzez porównanie wyników pomiarów oporników wzorcowych podłączonych bezpośrednio do multimetru z wynikami pomiarów tych samych oporników przyłączanych do multimetru poprzez sterownik KAL401, przy zachowaniu tych samych nastaw multimetru. W celu sprawdzenia całego zakresu pomiarowego, w jakim będzie pracowało stanowisko, zastosowano następujące oporniki wzorcowe:

- $30\Omega$  ustawione na CAMBRIDGE PRECISION RESISTANCE BOX, nr fabr.: L-269455 (odpowiadające zakresowi platynowego termometru wzorcowego Pt25 stosowanemu w KAL401 do pomiaru temperatury),
- $100\Omega$  NORMA WIEN, nr fabr.: 750879,
- $1000\Omega$  NORMA WIEN, nr fabr.: 750881.

Do przeprowadzenia powyższych badań zastosowano programy testujące **test1** i **test2**, napisane w języku C. Program **test1** ustawia poprzez interfejs IEC-625 4-przewodowy pomiar rezystancji o odpowiednich parametrach. Program **test2** adresuje kolejne kanały pakietu multiplexera, powodując przyłączanie kolejnych kanałów z rezystancjami wzorcowymi do multimetru oraz wysterowuje multimetr poprzez interfejs IEC-625. Listingi programów testujących znajdują się w zał. 1, 2.

### 1.3. Wyniki pomiarów

Otrzymano następujące wyniki pomiarów:

#### Opornik wzorcowy 30Ω:

Pomiary bezpośrednie bez sterownika:

	Rezystancja zmierzona
1	30,00021
2	30,00028
3	30,00018
4	30,00025
5	30,00025
6	30,00016
7	30,00012
8	30,00013
9	30,00028
10	30,00016

$$R_{sr} = 30,00020 \Omega$$

$$R_{max} = 30,00028 \Omega$$

$$R_{min} = 30,00012 \Omega$$

#### Pomiary rezystancji przełączanej sterownikiem KAL401

Nr kan.	Nr pomiaru		
	1	2	3
1	29,99896	29,99924	29,99925
2	29,99956	29,99997	29,99990
3	29,99940	29,99938	29,99910
4	29,99951	29,99960	29,99985
5	29,99939	29,99933	29,99908
6	29,99935	29,99980	29,99982
7	29,99930	29,99945	29,99909
8	29,99951	29,99985	29,99974
9	29,99912	29,99943	29,99934
10	29,99954	29,99995	29,99987
11	29,99920	29,99920	29,99914
12	29,99951	29,99976	29,99993
13	29,99967	29,99947	29,99945
14	29,99932	29,99975	29,99981
15	29,99931	29,99923	29,99927
16	29,99968	30,00004	29,99995

$$R_{sr} = 29,999509\Omega$$

$$R_{max} = 30,00004\Omega$$

$$R_{min} = 29,99896\Omega$$

### Opornik wzorcowy 100Ω:

Pomiary bezpośrednie bez sterownika:

1	100,05566
2	100,05588
3	100,05571
4	100,05575
5	100,05538
6	100,05564
7	100,05546
8	100,05556
9	100,05565
10	100,05565

$$R_{\text{sr}} = 100,05563 \Omega$$

$$R_{\text{max}} = 100,05588 \Omega$$

$$R_{\text{min}} = 100,05538 \Omega$$

Pomiary rezystancji przełączanej sterownikiem KAL401

Nr kan.	Nr pomiaru		
	1	2	3
1	100,05366	100,05386	100,05452
2	100,05593	100,05761	100,05771
3	100,05370	100,05398	100,05453
4	100,05599	100,05754	100,05785
5	100,05368	100,05411	100,05472
6	100,05618	100,05750	100,05765
7	100,05403	100,05479	100,05511
8	100,05627	100,05757	100,05768
9	100,05411	100,05499	100,05541
10	100,05649	100,05752	100,05777
11	100,05419	100,05495	100,05551
12	100,05660	100,05739	100,05769
13	100,05435	100,05509	100,05537
14	100,05686	100,05762	100,05774
15	100,05445	100,05505	100,05553
16	100,05703	100,05788	100,05801

$$R_{\text{sr}} = 100,05591 \Omega$$

$$R_{\text{max}} = 100,05801 \Omega$$

$$R_{\text{min}} = 100,05366 \Omega$$

**Opornik wzorcowy 1000Ω:**

Pomiary bezpośrednie bez sterownika:

1	1000,2810
2	1000,2810
3	1000,2811
4	1000,2812
5	1000,2812
6	1000,2815
7	1000,2811
8	1000,2816
9	1000,2819
10	1000,2814

$$R_{\text{sr}} = 1000,2813 \Omega$$

$$R_{\text{max}} = 1000,2819 \Omega$$

$$R_{\text{min}} = 1000,2810 \Omega$$

Pomiary rezystancji przełączanej sterownikiem KAL401

Nr kan.	Nr pomiaru		
	1	2	3
1	1000,2812	1000,2828	1000,2832
2	1000,2840	1000,2845	1000,2859
3	1000,2814	1000,2812	1000,2826
4	1000,2842	1000,2853	1000,2859
5	1000,2817	1000,2824	1000,2831
6	1000,2842	1000,2851	1000,2858
7	1000,2816	1000,2815	1000,2828
8	1000,2850	1000,2843	1000,2860
9	1000,2812	1000,2815	1000,2829
10	1000,2844	1000,2854	1000,2863
11	1000,2813	1000,2830	1000,2829
12	1000,2847	1000,2861	1000,2863
13	1000,2818	1000,2830	1000,2835
14	1000,2847	1000,2868	1000,2863
15	1000,2814	1000,2826	1000,2836
16	1000,2853	1000,2861	1000,2868

$$R_{\text{sr}} = 1000,2838 \Omega$$

$$R_{\text{max}} = 1000,2868 \Omega$$

$$R_{\text{min}} = 1000,2812 \Omega$$

#### 1.4. Analiza wyników

Pomiary bezpośrednie bez sterownika oporników wzorcowych wykazały następujące graniczne błędy chwilowe pomiarów względem punktu wzorcowania (wartości średniej z wielu pomiarów):

dla opornika wzorcowego 30  $\Omega$   $\leq 0,08$  m $\Omega$  (dopuszczalny 0,2 m $\Omega$ );

dla opornika wzorcowego 100  $\Omega$   $\leq 0,25$  m $\Omega$  (dopuszczalny 0,77 m $\Omega$ );

dla opornika wzorcowego 1000  $\Omega$   $\leq 0,6$  m $\Omega$  (dopuszczalny 6,4 m $\Omega$ ).

Są to wartości znacznie mniejsze od dopuszczalnych błędów chwilowych deklarowanych przez producenta multimetru typu 2002 firmy KEITHLEY.

Obliczono i niżej podano wyznaczone w trakcie pomiarów błędy pomiaru rezystancji wzorcowych wnoszone przez sterownik KAL401.

Dla każdej z trzech mierzonych rezystancji (30  $\Omega$ , 100  $\Omega$ , 1000  $\Omega$ ) wartością odniesienia rezystancji jest wartość średnia z 10 pomiarów bezpośrednich (bez kasyty sterownika). Dla pomiarów tych rezystancji za pośrednictwem sterownika KAL401 wyznaczone zostały wartość średnia i maksymalna z 48 pomiarów (3 pomiary dla każdego z 16-tu kanałów). Na tej podstawie wyznaczony został względny błąd średni i błąd maksymalny w stosunku do określonej powyżej wartości odniesienia. Obliczone błędy pomiaru wnoszone przez sterownik KAL401 przedstawione są w poniższej tabeli:

Rezystancja	Błąd średni [%]	Błąd maksymalny [%]
30 $\Omega$	0,0023	0,0041
100 $\Omega$	-0,00028	0,0024
1000 $\Omega$	-0,00025	0,00055

Graniczne błędy stanowiska wnoszone przez sterownik i zastosowany multimetr typu 2002 firmy KEITHLEY można oszacować następująco:

- dla rezystancji ok. 30  $\Omega$   $\leq 0,01\%$
- dla rezystancji ok. 100  $\Omega$   $\leq 0,006\%$
- dla rezystancji ok. 1000  $\Omega$   $\leq 0,002\%$

## 2. Badania funkcjonalne

Badania funkcjonalne polegały na sprawdzeniu poprawnego działania sprzętu i funkcji realizowanych przez sterownik KAL401.

### 2.1. Sprawdzenie sprzętu

#### 2.1.1. Zmierzone prądy zasilania:

$$I_{5V} = 0,715 \text{ A oraz}$$

$$I_{12V} = 0,185 \text{ A}$$

odpowiadają założeniom projektowym.

2.1.2. Sprawdzenie poprawności adresowania pakietów i kanałów multiplexera sterownika zostało przeprowadzone za pomocą programu testującego `test3.c` (zał. 3). Sprawdzenie wykazało poprawne adresowanie i przełączanie kanałów multiplexera.

### 2.2. Sprawdzenie funkcji realizowanych przez sterownik

W ramach tych badań sprawdzono poprawność wyznaczania temperatury, pomiaru rezystancji par czujników, analizy danych pomiarowych oraz raportu z badania pary czujników. W tym celu zasympulowany został pomiar dla trzech wartości temperatur, przy czym jako termometr wzorcowy służyła rezystancja  $R_T$  ustawiona na dekadzie CAMBRIDGE PRECISION RESISTANCE BOX, nr fabr.: L-269455 a jako para czujników R1 i R2 para dekad OD-6, nr fabr. 6318 i 6319. Nastawy dekady precyzyjnej CAMBRIDGE określono według świadectwa uwierzytelnienia platynowego termometru oporowego Pt25 firmy Tinsley nr fabr. 270253, a dekad OD-6 zgodnie z idealną charakterystyką z PN-83/M-53852 z dokładnością do 0,1  $\Omega$ .

Dla nastaw:

$R_T$	R1	R2
30 $\Omega$	117,2 $\Omega$	117,2 $\Omega$
33 $\Omega$	128,8 $\Omega$	128,8 $\Omega$
43 $\Omega$	167,2 $\Omega$	167,2 $\Omega$

otrzymano następujące wyniki pomiarów:

	T1		T2		T3	
R1	44,41	117,21	74,43	128,80	176,56	167,21
R2	44,41	117,24	74,43	128,84	176,56	167,24

Na podstawie tych wyników program sterownika wyznaczył podane na stronie następnej charakterystyki i tabelę wyników pary czujników.

Uzyskane wyniki wykazują poprawne działanie funkcjonalne sterownika KAL401.

TABELA WYNIKOW CZUJNIKA WODY GORACEJ

Lp.	t	Robl	Rnorm	dR	Et	Edop	ocena
-	°C	om	om	om	°C	°C	
1	20	107.689	107.793	-0.104	-0.267	2.00	DOBRY
2	56	121.703	121.703	-0.000	-0.001	2.00	DOBRY
3	92	135.520	135.463	0.058	0.152	2.00	DOBRY
4	128	149.142	149.072	0.070	0.187	2.00	DOBRY
5	164	162.568	162.531	0.037	0.101	2.00	DOBRY
6	200	175.799	175.840	-0.041	-0.111	2.00	DOBRY

TABELA WYNIKOW CZUJNIKA WODY ZIMNEJ

Lp.	t	Robl	Rnorm	dR	Et	Edop	ocena
-	°C	om	om	om	°C	°C	
1	20	107.710	107.793	-0.083	-0.214	2.00	DOBRY
2	56	121.739	121.703	0.036	0.094	2.00	DOBRY
3	92	135.565	135.463	0.102	0.269	2.00	DOBRY
4	128	149.188	149.072	0.116	0.308	2.00	DOBRY
5	164	162.607	162.531	0.076	0.205	2.00	DOBRY
6	200	175.823	175.840	-0.016	-0.044	2.00	DOBRY

TABELA WYNIKOW PARY CZUJNIKOW

Lp.	t1	t2	t1-t2	Elt	Edop	ocena
	°C	°C	°C	%	%	
1	23	20	3	0.877	3.500	DOBRY
2	34	31	3	1.494	3.500	DOBRY
3	46	43	3	2.057	3.500	DOBRY
4	57	54	3	2.562	3.500	DOBRY
5	69	66	3	3.007	3.500	DOBRY
6	80	77	3	3.389	3.500	DOBRY
7	30	20	10	-0.325	2.500	DOBRY
8	64	54	10	0.368	2.500	DOBRY
9	98	88	10	0.910	2.500	DOBRY
10	132	122	10	1.292	2.500	DOBRY
11	166	156	10	1.504	2.500	DOBRY
12	200	190	10	1.539	2.500	DOBRY
13	40	20	20	-0.543	1.250	DOBRY
14	72	52	20	-0.078	1.250	DOBRY
15	104	84	20	0.325	1.250	DOBRY
16	136	116	20	0.664	1.250	DOBRY
17	168	148	20	0.934	1.250	DOBRY
18	200	180	20	1.133	1.250	DOBRY
19	180	20	160	-0.147	1.250	DOBRY
20	200	40	160	0.053	1.250	DOBRY

WYNIK BADANIA JEST POZYTYWNY

## Zał. 1

### Program testowy test1.c do ustawiania 4-przewodowego pomiaru rezystancji na multimetrze 2002 KEITHLEY

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <dos.h>
#include <conio.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

extern int ietrig(int);
extern int ieseg(int);
extern ieinit(int,int,int);
extern ieoutput(int,char*,int);
extern ieabort(void);
extern ieenter(int,char *,int);

main ()
{
char dvmstr[100],instr[100],readings[14];
int dlug,przep,a;

a=ieseg(0xD000);
//printf("\n ieseg, a = %d",a);
//getch();
ieinit(0x2B8,21,0);
//printf("\n ieinit");
//getch();
a=ieabort();
//printf("\n ieabort, a = %d",a);
//getch();
clrscr();
strcpy(dvmstr,"*RST");
dlug=strlen(dvmstr);
a=ieoutput(16,dvmstr,dlug);
//printf("\n komenda RST, a=%d",a);
//getch();
strcpy(dvmstr,":conf:fres");
dlug=strlen(dvmstr);
ieoutput(16,dvmstr,dlug);
strcpy(dvmstr,":sens:fres:nplc 8; dig 7.5; ocom on; aver:coun 5; tcon rep; stat on");
dlug=strlen(dvmstr);
a=ieoutput(16,dvmstr,dlug);
//printf("\nUstawienie parametrow 4-przewodowej rezystancji, a=%d",a);
//getch();
strcpy(dvmstr,":form:elem read");
```

## Zał. 2

**Program testowy test2.c podłączający kolejno kanały multiplexera w sterowniku do multimetru 2002 KEITHLEY i ustawiający 4-przewodowy pomiar rezystancji**

```
//program pomiaru
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <dos.h>
#include <conio.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
extern int ieseg(int);
extern ieinit(int,int,int);
extern int ieoutput(int,char*,int);
extern int ieabort(void);
extern int ieenter(int,char*,int);

void PrzelaczCzujnik(int NrZlacza, int NrCzujnika)
{
    int adres = 0x300;
    int stan, maska;
    int multiplex = NrCzujnika + 16*NrZlacza;
    multiplex = ~multiplex;
    outp(adres,multiplex);
    delay(20);
    stan = inp(adres);
    maska = 1<<NrZlacza;
    stan = stan&maska;
    if(stan==0)
    {
        printf("BLAD MULTIPLEXERA zlacze nr %d czujnik nr %d", NrZlacza+1, NrCzujnika+1);
    }
}

main ()
{
    int NrZlacza, NrCzujnika;
    int dlug,przep;
    char oustr[100],instr[100];

    NrZlacza=0;
    clrscr();
    //for (NrZlacza =0; NrZlacza < 3; NrZlacza ++ )
    //{

    for (NrCzujnika = 0; NrCzujnika < 16; NrCzujnika ++ )
    {
```

### Zał. 3

#### Program testowy test3.c adresujący kolejno kanały multiplexera w sterowniku

```
#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <conio.h>
#include <string.h>
#include <math.h>

void PrzelaczCzujnik(int NrZlacza, int NrCzujnika)
{
    int adres = 0x300;
    int stan, maska;
    int multiplex = NrCzujnika + 16*NrZlacza;
    multiplex = ~multiplex;
    outp(adres,multiplex);
    delay(8);
    stan = inp(adres);
    maska = 1<<NrZlacza;
    stan = stan&maska;
    if(stan==0)
    {
        printf("BLAD MULTIPLEXERA zlacze nr %d czujnik nr %d", NrZlacza+1, NrCzujnika+1);
    }
}

main ()
{
    int NrZlacza, NrCzujnika;
    int dlug,przep;
    char oustr[100],instr[100];

    NrZlacza=0;
    clrscr();
    //for (NrZlacza =0; NrZlacza < 3; NrZlacza ++ )
    //{

    for (NrCzujnika = 0; NrCzujnika < 16; NrCzujnika ++ )
        {

            PrzelaczCzujnik(NrZlacza,NrCzujnika);
            printf("nr zlacza = %d nr czujnika = %d\n",NrZlacza+1, NrCzujnika+1);
            getch();
        }
}
```