

Jan SZMYTKIEWICZ

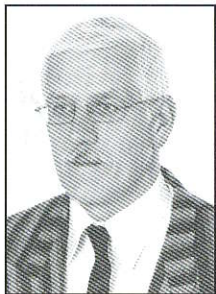
UNIWERSYTET ZIELONOGÓRSKI, INSTYTUT INFORMATYKI I ELEKTRONIKI

Adiustacja kalibratorów rezystancji

Dr inż. Jan Szmytkiewicz

Adiunkt w Instytucie Informatyki i Elektroniki, a wcześniej pracownik działu rozwoju zakładów Lumel, Imel i Calmet. Jest współautorem kilkunastu wdrożeń do produkcji kalibratorów uniwersalnych napięć i prądów stałych i przemiennych (ang. multifunction calibrator), kalibratorów sygnałów przemysłowych, termoelektrycznych, termorezystancyjnych oraz kalibratorów mocy jedno i trójfazowych. Szczególnym obszarem zainteresowań jest cyfrowa adiustacja przyrządów pomiarowych.

e-mail: j.szmytkiewicz@iie.uz.zgora.pl



Streszczenie

W artykule opisano konstrukcję dwóch kalibratorów rezystancji: kalibratora wielkich rezystancji typu CR10 i symulatora termorezystorów typu C405. W obu kalibratorach zastosowano mikroprocesorowy układ sterujący. Pozwala to na wprowadzenie cyfrowej adiustacji. Adiustacja dla obu kalibratorów wykonywana jest z wykorzystaniem części cyfrowej i części analogowej za pomocą potencjometrów. W artykule przedstawiono uwarunkowania oraz zalety wynikające z zastosowania takiego sposobu adiustacji.

Słowa kluczowe: kalibrator rezystancji, symulator termorezystorów, cyfrowa adiustacja, adjustacja hybrydowa.

The adjusting of resistance calibrators

Abstract

In the paper are described construction of two calibrators: high resistance calibrator type CR10 and thermoresistance simulator type C405. In both calibrators are applied microprocessor control unit. This unit permit to insert digital adjusting. The adjusting of the both calibrators are made by means of digital part and analog part by means of potentiometers. In the article are presented the conditions and advantages of used adjusting method.

Keywords: resistance calibrator, thermoresistance simulator, digital adjusting, hybrid adjusting.

1. Wprowadzenie

Obszar zastosowań kalibratorów rezystancji można podzielić na trzy grupy: sprawdzanie omomierzy, sprawdzanie mierników rezystancji izolacji oraz sprawdzanie termorezystancyjnych torów pomiarowych układów automatyki [1]. Ze względu na znacznie lepsze właściwości funkcjonalne, najszersze stosowane są kalibratory z możliwością cyfrowego programowania z pulpitu lub standardowego interfejsu. Generalnie ich konstrukcję można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- sterowane elektronicznie dekadę rezystancyjne,
- elektroniczne symulatory rezystancji.

Kalibratory zbudowane jako sterowane elektronicznie dekadę rezystancyjne mogą być wykorzystywane we wszystkich trzech wymienionych obszarach zastosowań. Zaletami tej konstrukcji są:

- szeroki zakres nastaw rezystancji,
- możliwość stosowania w szerokim zakresie prądów pomiarowych.

Do wad elektronicznych dekad rezystancyjnych należy:

- wpływ zmiany rezystancji przełączników na dokładność,
- stosunkowo duże gabaryty i znaczący pobór mocy.

W przeciwieństwie do nich elektroniczne symulatory rezystancji cechuje dość wąski zakres odtwarzanej rezystancji oraz mały zakres prądów pomiarowych ale nie występują w nich przełączniki, które pogarszają parametry techniczne przyrządu.

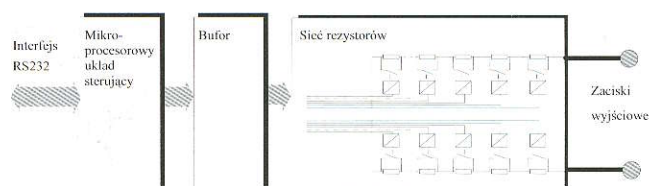
Do sprawdzania omomierzy, szczególnie w multimetrach, gdzie potrzebny jest szeroki zakres nastaw rezystancji od kilkunastu omów do kilkuset megaomów, stosuje się elektroniczne dekadę rezystancyjne [2]. Również do sprawdzania mierników rezystancji izolacji, ze względu na wymagany szeroki zakres rezystancji od kilkunastu megaomów do kilkunastu gigaomów oraz związane z tym wysokie napięcie robocze rzędu kilku kilowoltów, stosuje się sterowane elektronicznie dekadę rezystancyjne [3].

Natomiast liczną grupę przyrządów kontrolno pomiarowych takich jak: mierniki, regulatory, rejestratory i przetworniki temperatury przeznaczone do współpracy z czujnikami termorezystancyjnymi najczęściej sprawdza się z wykorzystaniem elektronicznych symulatorów rezystancji [4, 5].

Wspólną cechą obu konstrukcji kalibratorów rezystancji jest mniej lub bardziej rozbudowana część cyfrowa, która steruje pracą przyrządu. Stwarza to potencjalną możliwość zastosowania cyfrowej adiustacji [6].

2. Struktura kalibratora wielkich rezystancji typu CR10

Na rys.1 przedstawiono strukturę kalibratora wielkich rezystancji w postaci schematu blokowego. Mikroprocesorowy układ sterujący łączy odpowiednie rezystory, włączając je do szeregowej sieci rezystorów. Każdy z rezystorów jest złożony z kilku rezystorów w celu uzyskania wymaganej mocy i wytrzymałości napięciowej do 1000V lub 2500V zależnie od zakresu rezystancji.



Rys.1. Schemat blokowy kalibratora rezystancji

Fig. 1. Block scheme of resistance calibrator

Do budowy kalibratora należy użyć wielu drogich, precyzyjnych rezystorów wysokonapięciowych, co skłania do zastosowania takich rozwiązań układowych, aby liczba precyzyjnych rezystorów była możliwie mała. Największa wartość rezystancji nastawionej wynosi 10GΩ z rozdzielczością 10kΩ, co powoduje, że do wprowadzenia pełnej nastawy wymagane jest użycie 7 cyfr dziesiętnych (10000.00MΩ - 6 dekad).

Zastosowanie kodu binarnego do kodowania wartości rezystancji wyjściowej jest najbardziej wydajne i wymaga użycia 20 rezystorów o różnych wartościach. Wadą tego rozwiązania jest to, że rezystory powinny mieć nietypowe wartości rezystancji odpowiadające kolejnym potęgą liczby 2, np. wartości: 512kΩ, 1024kΩ, 2048kΩ itd.

Zastosowanie kodów dziesiętnych pozwala na uniknięcie tej niedogodności, ale wymaga stosowania większej liczby rezystorów - 6 dekad dziesiętnych wymaga 24 rezystorów. Problemem jest również wybór sposobu kodowania. Zestawienie różnych sposobów kodowania nastaw przedstawiono w tab. 1. Z analizy tablicy wynika, że optymalnym rozwiązaniem jest kod 4-2-2-1, który pozwala na zastosowanie rezystorów o jednakowej wartości (wartość 4 uzyskuje się przez szeregowe połączenie dwóch rezystorów, a wartość 1 przez ich równoległe połączenie).

Ze względów technologicznych związanych z procesem adiustacji zdecydowano się na następujący sposób kodowania:

- 4 młodsze dekady - kod 8-4-2-1 dający zapas technologiczny korzystny przy adiustacji,
- 2 starsze dekady (największe rezystancje) - kod 4-2-2-1.

Tab. 1. Sposób kodowania nastaw

Tab. 1. The way of code setting

Wartość nastawiona	Składniki sumy zależnie od typu kodu			
	8-4-2-1	5-2-2-1	4-2-2-1	4-3-2-1
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	1+2	1+2	1+2	3
4	4	2+2	2+2	4
5	4+1	5	4+1	4+1
6	4+2	5+1	4+2	4+2
7	4+2+1	5+2	4+2+1	4+3
8	8	5+2+1	4+2+2	4+3+1
9	8+1	5+2+2	4+2+2+1	4+3+2
10	8+2	5+2+2+1	-	4+3+2+1
Wymagana liczba różnych rezystorów	4	3	3	4

3. Adiustacja kalibratora

Adiustacja kalibratora realizowana jest dwoma sposobami:

- z wykorzystaniem analogowych elementów regulacyjnych dla trzech najniższych dekad,
- z wykorzystaniem cyfrowej metody adiustacji dla trzech starszych dekad.

Przyjęte rozwiązania wynikało z następującej analizy:

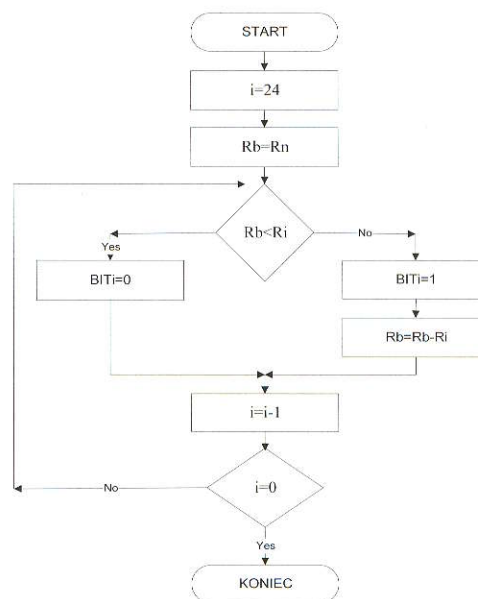
- wykorzystanie w adiustacji tylko elementów analogowych jest najtrudniejsze w przypadku najwyższych wartości rezystorów oraz uniemożliwia wynikające z przyjętego kodu załączania 4-2-2-1 stosowanie rezystorów o równych wartościach,
- zastosowanie tylko cyfrowej adiustacji wymagałoby wprowadzenia znacznej nadmiarowości układowej tak, aby zapewnić właściwą rozdzielczość,
- adiustacja trzech najstarszych dekad zapewnia wymaganą rozdzielczość bez wprowadzania nadmiarowości układowej.

Adiustacja z wykorzystaniem potencjometrów oraz etap wyznaczania poprawki [6] realizowane są z wykorzystaniem zewnętrznych wzorców u producenta lub w laboratorium pomiarowym.

Algorytm programu adiustacji umożliwia kolejne załączanie poszczególnych rezystorów. Dla każdego załączonego rezystora, z trzech najniższych dekad, regulując potencjometrem uzyskuje się wskazanie wzorcowego omomierza równe wartości nominalnej rezystora z tolerancją $\pm 0,1\%$. Dla każdego załączonego rezystora, z trzech najstarszych dekad, poprzez klawiaturę, modyfikowana jest nastawa rezystancji, tak aby wartość zmierzona wzorcowym omomierzem była równa wartości nominalnej rezystora z tolerancją $\pm 0,1\%$. Na tej podstawie zapamiętywana jest w części cyfrowej rzeczywista wartość rezystancji.

Jednym ze zrealizowanych zadań było opracowanie algorytmu, który pozwalała dla wprowadzonej nastawy wybrać te z rezystorów, które mają być włączone w szeregową sieć i który uwzględni tolerancję rezystancji stosowanych rezystorów. Algorytm programowania dekad został przedstawiony na rys. 2. W pamięci mikroprocesorowego układu sterującego dostępne są następujące dane wejściowe: R_n - wartość nastawionej rezystancji wprowadzona

z klawiatury lub przesłana z komputera przez interfejs szeregowy; R_i - 24-ro elementowa tablica rzeczywistych wartości rezystancji rezystorów utworzona w czasie adiustacji; BIT_i - 24-ro bitowa nastawa dekady; i - kolejne wagi rezystorów nastawy; $i=24$ - najwyższa wartość rezystancji; $i=1$ - najmniejsza wartość rezystancji.



Rys. 2. Algorytm programowania dekad

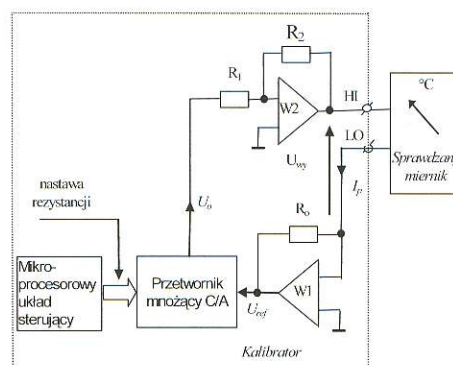
Fig. 2. Algorithm of decades programming

W wyniku realizacji przedstawionego na rys. 2 algorytmu zmienna BIT_i zawiera, w postaci bitowej, informację o włączeniu lub wyłączeniu poszczególnych rezystorów.

4. Elektroniczny symulator rezystancji

Kalibrator i miernik sygnałów przemysłowych typu C-405 [5] jest źródłem i miernikiem: napięcia do 20V, prądu do 20mA, rezystancji do 4k Ω oraz miernikiem temperatury i częstotliwości. Ponadto realizuje funkcję symulatora i miernika napięć termoelektrycznych oraz symulatora rezystancji czujników termorezystancyjnych Pt100, Pt500, Pt1000, Ni100, i Cu100 oraz miernika temperatury przystosowanego do dwuprzewodowego lub trzyprzewodowego podłączenia wymienionych czujników.

Schemat blokowy kalibratora dla funkcji symulatora termorezystorów przedstawiony został na rys. 3. Sprawdzany miernik temperatury jest przyłączany do zacisków wyjściowych "HI" i "LO" kalibratora.



Rys. 3. Schemat elektronicznego symulatora rezystancji

Fig. 3. The electrical scheme of resistance simulator

Prąd pomiarowy sprawdzanego miernika I_p wpływa przez zacisk "LO" do wejścia konwertera prąd-napięcie zbudowanego z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnym W1. Napięcie na wyjściu wzmacniacza wynosi:

$$U_{ref} = -I_p \cdot R_0 \quad (1)$$

Napięcie U_{ref} jest napięciem odniesienia dla przetwornika mnożącego C/A. Napięcie wyjściowe przetwornika U_0 wyrażone jest wzorem:

$$U_0 = k \cdot U_{ref} \quad (2)$$

gdzie: "k" wartość nastawy rezystancji z mikroprocesorowego układu sterującego.

Napięcie z przetwornika C/A jest wzmacniane w układzie wzmacniacza W2, którego wyjście połączone jest z zaciskiem "HI" kalibratora. Stąd napięcie wyjściowe kalibratora przyjmuje następującą wartość:

$$U_{WY} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \cdot U_0 \quad (3)$$

Podstawiając równanie (1) do równania (2), a następnie równanie (2) do równania (3) uzyskujemy następującą zależność:

$$\frac{U_{WY}}{I_p} = \left(\frac{R_2}{R_1} \cdot R_0 \right) \cdot k \quad (4)$$

Lewa strona równania (4) reprezentuje wartość rezystancji, mierzoną przez sprawdzany miernik. Wartość ta jest wprost proporcjonalna do nastawy "k" z mikroprocesorowego układu sterującego. Wartość nastawy obliczana jest w części cyfrowej na podstawie wprowadzonej przez użytkownika temperatury i wybranego typu termorezystora.

Adiustacja kalibratora C405 realizowana jest dwuetapowo z wykorzystaniem potencjometrów oraz z wykorzystaniem algorytmu wyznaczania poprawki [6]. Przy pomocy potencjometrów zerowane są błędy zera toru pomiarowego prądu (wzmacniacz W1) oraz toru wyjściowego (wzmacniacz W2). W ten sposób uzyskiwana jest zbliżona do liniowej charakterystyka przetwarzania napięcia wyjściowego U_{WY} w funkcji zmian prądu pomiarowego I_p . W kolejnym etapie, z wykorzystaniem zewnętrznego wzorcowego omomierza, wyznaczana jest poprawka dla dwóch podzakresów:

0...400Ω (dla czujników Pt100, Cu100 i Ni100),

0...4000Ω (dla czujników Pt500, Pt1000).

W trakcie eksploatacji kalibratora C405, wprowadzona nastawa rezystancji korygowana jest na podstawie zapamiętanej w części cyfrowej wartości poprawki.

Uzyskanie liniowej charakterystyki przetwarzania w pełnym zakresie prądu pomiarowego I_p pozwala na wyznaczenie poprawki tylko dla dwóch punktów pomiarowych dla każdego podzakresu. Możliwa byłaby również realizacja tylko cyfrowej adiustacji, ale ponieważ rzeczywistą charakterystykę przetwarzania opisuje wielomian wysokiego rzędu, wymagana byłaby adiustacja dla wielu punktów pomiarowych. Wymagałoby to wprowadzenia znacznej nadmiarowości algorytmicznej w stosunku do przyjętego dla kalibratora C405 procesu adiustacji.

Parametry metrologiczne kalibratora przedstawione zostały w tab. 2.

Tab. 2. Parametry metrologiczne kalibratora C405

Tab. 2. The C405 calibrator technical dates

Rodzaj termo- rezystora	Zakres nastaw [°C]	Błąd podsta- wowy	Zakres prądu pomiarowego
Pt100 (385)	-200,00 +850,00	0,03% +0,3°C	Pt100, Cu100, Ni100 $I_P=0,12 \text{ 3mA}$
Pt100 (391)	-200,00 +850,00		
Pt500	-200,0 +850,0	0,03% +0,5°C	
Pt1000	-200,0 +850,0		
Cu100	-60,0 +180,0	0,03% +0,3°C	
Ni100	-60,0 +180,0		

Ponadto kalibrator umożliwia realizację dodatkowych funkcji np. kompensację rezystancji połączeń lub uwzględnianie rezystancji linii. Inna funkcja, wynikająca z zastosowania układu mikroprocesorowego w części cyfrowej kalibratora, jest możliwość wprowadzania nastaw temperatury przez standardowy interfejs RS232.

5. Podsumowanie

Przedstawione w artykule kalibratory rezystancji różnią się zakresem odtwarzanych rezystancji i ich mocy oraz zakresem zastosowań. Duże różnice w wymaganiach spowodowały opracowanie dwóch zupełnie różnych struktur. Kalibrator wysokich rezystancji bazuje na przełączanej sieci rezystorów, kalibrator niskich rezystancji realizuje elektroniczną symulację rezystancji.

Pomimo tych różnic, w obu kalibratorach zastosowano mikroprocesorowy układ sterujący, który stworzył potencjalne możliwości zastosowania cyfrowej adiustacji. Realizacja cyfrowej adiustacji z całkowitym pominięciem potencjometrów spowodowałaby wprowadzenie znacznej nadmiarowości:

- układowej w kalibrators CR10,
- algorytmicznej w symulatorze rezystancji C405.

Realizacja procedury adiustacji hybrydowej z wykorzystaniem analogowych elementów regulacyjnych w połączeniu z cyfrową korekcją nastawy pozwoliły opracować dwie struktury kalibratorów bez zbędnej nadmiarowości układowej lub algorytmicznej.

6. Literatura

- [1] Lumel: Pomiar regulacja rejestracja. Katalog zbiorczy 1999
- [2] J. Bartoszewski: Sterowany symulator czujników termorezystancyjnych. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej 2003
- [3] K. Urbanski: Kalibrator wielkich rezystancji sterowany za pomocą komputera. Podstawowe Problemy Metrologii, Komisja Metrologii PAN, PPM'98, Gliwice 1998
- [4] Calmet: Kalibrator termorezystancji typu C403. Instrukcja obsługi 2002
- [5] Calmet: Uniwersalny kalibrator i miernik sygnałów przemysłowych typu C405. Instrukcja obsługi
- [6] J. Szytykiewicz: Cyfrowa adiustacja kalibratora/miernika sygnałów przemysłowych. Prace Komisji Metrologii Oddziału PAN w Katowicach 2001, s. 407-415