

JANUSZ PIOTROWSKI

Katedra Informatyki

NIEZALEŻNOŚĆ ZERA ANALIZATORÓW TERMICZNYCH
OD DWÓCH WIELKOŚCI WPLYWAJĄCYCH

Streszczenie. Przedstawiono zasadę takiej korekcji charakterystyk elementów pomiarowych analizatorów, aby w punkcie pracy i jego otoczeniu zmiany dwóch wielkości wpływających nie powodowały zmiany punktu zerowego analizatora. Dla wielkości wpływających: prąd zasilania i temperatura otoczenia pokazano dwa praktyczne sposoby doboru oporników korekcyjnych. Wyprowadzono wzory obliczeniowe, podano warunki pomiaru danych wyjściowych, omówiono przebieg realizacji doboru i uzyskane wyniki.

1. Wstęp

Zależność zera mostka z opornikami termometrycznymi, stosowanymi w analizatorach termicznych, od wielkości wpływających jest jednym ze źródeł błędów dodatkowych [1, 2]. Błędy te można ograniczyć do wartości dopuszczalnych przez stabilizację poszczególnych wielkości wpływających lub skorygowanie charakterystyk oporników tak, by uzyskać niezależność zera od danej wielkości wpływającej. Każdy z tych sposobów ma swoje zalety i wady. Pierwszy jest na ogół skuteczniejszy szczególnie przy dużych zmianach wielkości wpływającej, lepiej nadaje się do produkcji seryjnej, wymaga jednak dodatkowych urządzeń i energii. Drugi natomiast jest bardzo pracochłonny, gdyż wymaga indywidualnych dla każdej sztuki zabiegów technologicznych, ale daje oszczędność miejsca i energii. O wyborze metody zmniejszenia błędów dodatkowych decydują nierozumiejętności, jakie posiada producent. Ponadto przedstawiono 2 sposoby uzyskania niezależności zera od dwóch wielkości wpływających za pomocą oporników korekcyjnych zastosowane w przenośnych analizatorach tlenu KTM-8P oraz dwutlenku węgla typu MK-2P [3]. Podano wzory obliczeniowe oraz praktyczne wskazówki realizacji zadania dla mostka symetrycznego względem przekątnej zerowej, zawierającego 2 oporniki termometryczne i 2 oporniki stałe.

2. Równoczesna niezależność zera od dwóch wielkości

Dla mostka z elementami oznaczonymi na rys. 1, gdzie R_1, R_2 są opornikami termometrycznymi ($R_1 \approx R_2$), a R_3, R_4 opornikami stałymi, sygnał wyj-

ściowy $U_{g\infty}^x$ w punkcie zerowym przy oporności obciążenia przekątnej zero-
wej mostka $R_g = \infty$, zależy od wielkości wpływających x oraz y wg za-
leżności

$$U_g = f(x, y)$$

Oznacza to, że zależności zera [1] od tych wielkości nie są równe zero:

$$A_x = -\frac{\partial U}{\partial x} \neq 0; \quad A_y = -\frac{\partial U}{\partial y} \neq 0 \quad (2)$$

Wielkości x oraz y są dowolnymi spośród wielkości wpływających: I -
prąd grzejników, T_k - temperatura komór przetwornika, p - ciśnienie gazu,
 V - natężenie przepływu gazu przez komory przetwornika, G - skład gazu.
Wielkości te zmieniają się równocześnie w obu komorach przetwornika: po-
miarowej i porównawczej. Jest to stan wyjściowy.

Niezależność zera winien zapewnić układ przedstawiony na rys. 2, przy
czym R_b, R_d nazywa się opornikami korekcyjnymi. Układ taki posiada trzy
stopnie swobody: R_b, R_d oraz stosunek $R_3/R_4 = a$.

Można więc postawić 3 warunki doboru tych elementów:

$$\text{a) } U_g = 0 \quad \text{b) } A_x = 0 \quad \text{c) } A_y = 0 \quad (3)$$

Warunek (3a) jest spełniony, gdy

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_I}{R_{II}} = a \quad (4)$$

Zamiast (3b) można napisać

$$\frac{\partial a}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

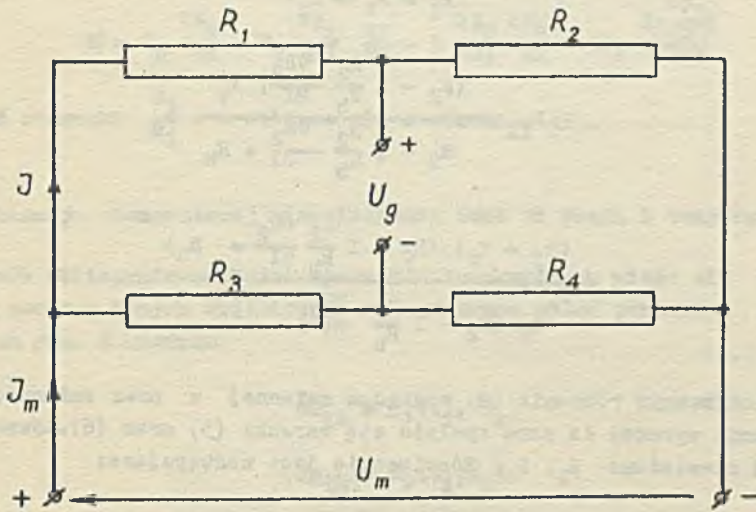
oraz

$$\frac{\partial a}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

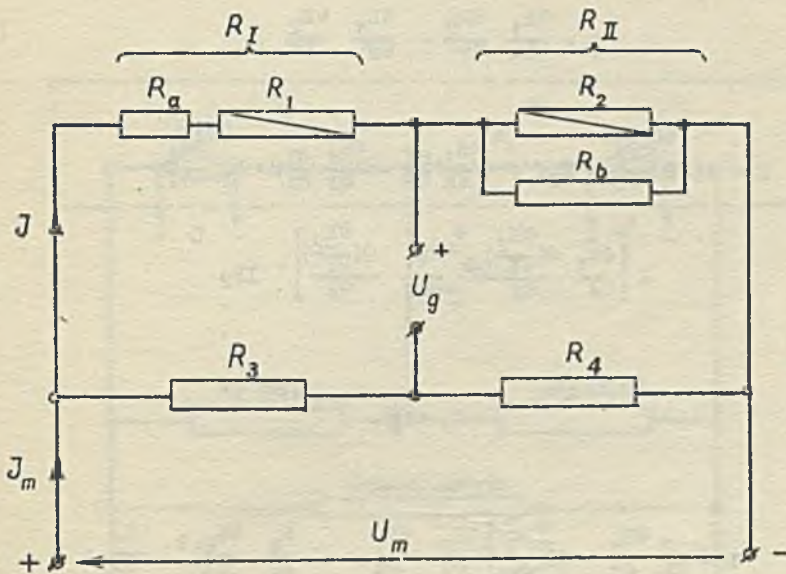
zamiast (3c).

Wymagania (4) ... (6) należy spełnić w warunkach odniesienia przez dobór
wartości $R_b, R_d, \frac{R_3}{R_4}$.

^{x)} W dalszej części indeks ∞ pominięto.



Rys. 1. Oznaczenie elementów mostka



Rys. 2. Schemat mostka z opornikami korekcyjnymi

Wprowadzając dane wyjściowe R_1, R_2 do wyrażenia na a , uzyskuje się [4]

$$R_I = R_1 + R_d \quad (7)$$

$$R_{II} = \frac{(R_2 - I \frac{R_2}{R_b} \frac{\partial R_2}{\partial I}) R_b}{R_2 - I \frac{R_2}{R_b} \frac{\partial R_2}{\partial I} + R_b} \quad (8)$$

oraz

$$a = \frac{(R_1 + R_d) (R_2 - I \frac{R_2}{R_b} \frac{\partial R_2}{\partial I} + R_b)}{R_b (R_2 - I \frac{R_2}{R_b} \frac{\partial R_2}{\partial I})} \quad (9)$$

Po zróżniczkowaniu równania (9) względem zmiennej x oraz zmiennej y i przyrównaniu wyrażen do zera spełnia się warunki (5) oraz (6). Równania te zawierają niewiadome R_b, R_d . Rozwiązanie jest następujące:

$$R_b = \frac{B}{A} \quad (10)$$

przy czym

$$A = \frac{\partial R_1}{\partial x} \frac{\partial R_2}{\partial y} - \frac{\partial R_1}{\partial y} \frac{\partial R_2}{\partial x} \quad (10a)$$

$$B = A(2I \frac{\partial R_2}{\partial I} - R_2) + (\frac{\partial R_1}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} - \frac{\partial R_1}{\partial y} \frac{\partial I}{\partial x}) R_2 \frac{\partial R_2}{\partial I} +$$

$$+ \left[\frac{\partial R_1}{\partial x} \frac{\partial (\frac{\partial R_2}{\partial I})}{\partial y} - \frac{\partial R_1}{\partial y} \frac{\partial (\frac{\partial R_2}{\partial I})}{\partial x} \right] IR_2 \quad (10b)$$

oraz

$$R_d = \frac{L}{M} \quad (11)$$

gdzie

$$L = R_2^2 \frac{\partial R_1}{\partial x} - 2I \frac{R_2^2}{R_b} \frac{\partial R_2}{\partial I} \frac{\partial R_1}{\partial x} + (I \frac{R_2}{R_b} \frac{\partial R_2}{\partial I})^2 \frac{\partial R_1}{\partial x} +$$

$$+ R_b (R_2 \frac{\partial R_1}{\partial x} - R_1 \frac{\partial R_2}{\partial x}) + R_1 R_2 \left[\frac{\partial R_2}{\partial I} \frac{\partial I}{\partial x} + I \frac{\partial (\frac{\partial R_2}{\partial I})}{\partial x} \right] \quad (11a)$$

oraz

$$M = R_b \frac{\partial R_2}{\partial x} - R_2 \frac{\partial R_2}{\partial I} \frac{\partial I}{\partial x} - I \frac{\partial R_2}{\partial I} \frac{\partial R_2}{\partial x} - IR_2 \frac{\partial(\frac{\partial R_2}{\partial I})}{\partial x} \quad (11b)$$

Wartość stosunku $\frac{R_2}{R_4} = a$ oblicza się z równania (9).

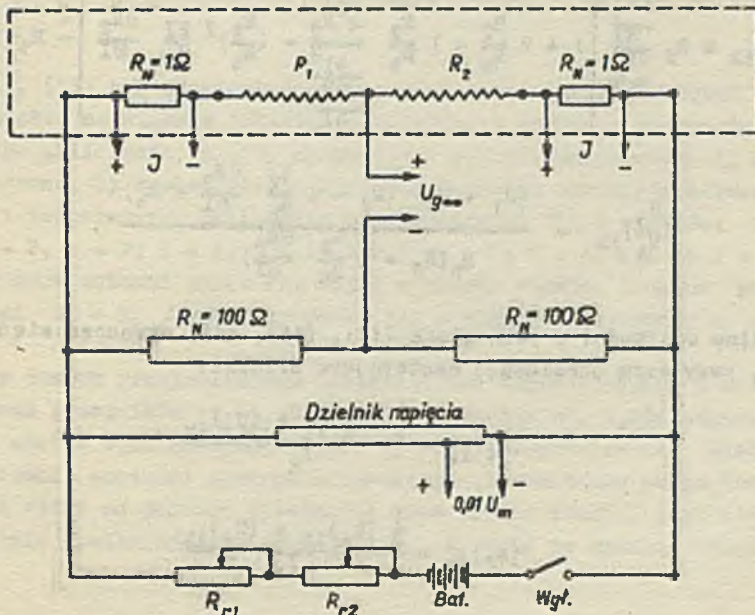
3. Realizacja równoczesnej niezależności zera od prądu i temperatury

Sposób obliczenia wartości oporników korekcyjnych wiąże się ściśle z metodą pomiaru danych wyjściowych. Zastosowano układ pomiarowy przedstawiony na rys. 3 mierząc

$$U_{m_{1k}} = f_1(t_1, I_k) \quad (12)$$

$$U_{g_{1k}} = f_2(t_1, I_k) \quad (13)$$

gdzie $i, k = 1, \dots, 5$ jak pokazano w tabl. 1.



Rys. 3. Schemat układu do pomiaru danych wyjściowych

Tablica 1

$t \backslash I$	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
t_1	11	12	13	14	15
t_2	21	22	23	24	25
t_3	31	32	33	34	35
t_4	41	42	43	44	45
t_5	51	52	53	54	55

Po podstawieniu $I = x$, $t = y$ z równań (10), (11) otrzymuje się:

$$(R_b)_{ik} = \frac{1}{2} IR_2 \frac{\frac{\partial R_1}{\partial I} + I \left(\frac{\partial^2 R_2}{\partial I^2} - \frac{\frac{\partial R_1}{\partial I} \frac{\partial^2 R_2}{\partial I \partial t}}{\frac{\partial R_2}{\partial I}} \right)}{\frac{\partial U}{\partial I} - \frac{\frac{\partial I}{\partial R_1} \frac{\partial U}{\partial t} - \frac{U}{I}}{\frac{\partial R_1}{\partial t}}} \quad (14)$$

$$(R_d)_{ik} = R_2 \frac{\frac{\partial R_1}{\partial I}}{\frac{\partial R_2}{\partial I}} \left[1 + 2 \frac{R_2}{R_b} + I \frac{R_2}{R_b} \frac{\frac{\partial^2 R_2}{\partial I^2} - \left(\frac{R_2}{R_b} \right)^2 \frac{2I}{R_2} \frac{\partial R_2}{\partial I}}{\frac{\partial R_2}{\partial I}} \right] - R_1 \quad (15)$$

$$\left(\frac{R_2}{R_1} \right)_{ik} = \frac{(R_1 + R_d) \left(R_2 - I \frac{R_2}{R_b} \frac{\partial R_2}{\partial I} + R_b \right)}{R_b \left(R_2 - I \frac{R_2}{R_b} \frac{\partial R_2}{\partial I} \right)} \quad (16)$$

Poszczególne wielkości w równaniach (14), (15), (16) wyznacza się dla punktu i, k , przy czym obowiązują następujące związki:

$$(R_1)_{ik} = \frac{1}{2} \frac{(U_m)_{ik} - (U_R)_{ik}}{I_k} \quad (17)$$

$$(R_2)_{ik} = \frac{1}{2} \frac{(U_m)_{ik} + (U_R)_{ik}}{I_k} \quad (18)$$

$$\left(\frac{\partial R}{\partial I}\right)_{ik} = \frac{R_{i(k+1)} - R_{i(k-1)}}{I_{k+1} - I_{k-1}} \quad (19)$$

$$\left(\frac{\partial R}{\partial t}\right)_{ik} = \frac{R_{(i+1)k} - R_{(i-1)k}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (20)$$

$$\left(\frac{\partial^2 R}{\partial I^2}\right)_{ik} = 2 \cdot \frac{\frac{R_{i(k+1)} - R_{ik}}{I_{k+1} - I_k} - \frac{R_{ik} - R_{i(k-1)}}{I_k - I_{k-1}}}{I_{k+1} - I_{k-1}} \quad (21)$$

$$\left(\frac{\partial^2 R}{\partial I \partial t}\right)_{ik} = \frac{\frac{R_{(i+1)(k+1)} - R_{(i+1)(k-1)}}{I_{k+1} - I_{k-1}} - \frac{R_{(i-1)(k+1)} - R_{(i-1)(k-1)}}{I_{k+1} - I_{k-1}}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (22)$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial I}\right)_{ik} = \frac{U_{g i(k+1)} - U_{g i(k-1)}}{I_{k+1} - I_{k-1}} \quad (23)$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial t}\right)_{ik} = \frac{U_{g (i+1)k} - U_{g (i-1)k}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (24)$$

Wzory (14), (15) tak przekształcono i wprowadzono takie wielkości mierzone, by uzyskać największą dokładność obliczenia wartości oporników korekcyjnych. Do obliczenia R_b , R_d wystarcza 9 punktów pomiarowych i , k . Ilość tą powiększono, by zaobserwować zależność wartości oporników korekcyjnych od prądu i temperatury. Obliczenia przeprowadzono dla 6 punktów: $i = 3$, $k = 3$; $i = 2$, $k = 2$; $i = 2$; $k = 4$; $i = 4$, $k = 2$; $i = 4$, $k = 4$; $i = 3$, $k = 3$ przy czym ostatni punkt dla dużej wartości różnic. Różnice pomiędzy wartościami $I_k - I_{k-1}$ wynosiły około 5%, a różnice temperatur $t_i - t_{i-1} = 5^\circ\text{C}$.

Pomiary danych przeprowadzono kompensatorem laboratoryjnym z niedokładnością: prąd grzejników ok. 0,02%, napięcie mostka ok. 0,03%, napięcie nierównowagi mostka 0,05 mV oraz temperaturą 0,1°C. Spodziewana niedokładność obliczenia wartości oporników korekcyjnych szacowano na poniżej 10%. Jaki to ma wpływ na poprawę zależności zera trudno ocenić, gdyż nie wiadomo jak silnie zmieniają się wartości R_b , R_d wraz ze zmianą temperatury i prądu.

Tablica 2

Lp.	Nr. pary grzejników	Różnica grzejników $\frac{\Delta R}{R}$	Przed doborze		Po doborze		Poprawki		Metoda oceny wyniku	Klasy prób	U w a g i
			$\Delta I \frac{mV}{deg}$	$\Delta T \frac{mV}{deg}$	$\Delta I \frac{mV}{deg}$	$\Delta T \frac{mV}{deg}$	ΔI	ΔT			
1	1K	-3,70	-8,76	-0,328	0,27 ^x	0,3			I	2	
2	2K	-1,17	-2,90	-0,499	0,425	0,071 ^x	6,8	7,0	I	1	dla $I_0 \Delta T = 0,165^x$
3	3K	-0,73	-1,53	-0,112	2,1	0,13 ^x			III	2	po I próbie $\Delta I = 0,01^x$
4	4K	1,2	3,22	-0,215	0,45 ^x	-0,199	7,1	1,08	I	1	$\Delta T = 0,24$
5	5K	4,10	7,88	0,848	0,78	0,1 ^x			I	2	
6	6K	-1,71	-4,20	-0,049	0,295 ^x	-0,043	14,2	1,1	I	1	dla $I_0 \Delta T = 0,028^x$
7	7K	-0,20	-0,53	0,012	0,1 ^x	-0,058	5,3	0,2	III	1	
8	8K	-0,72	-1,46	-0,218	0,064 ^x	0,017 ^x	22,8	1,5	I	1	
9	9K	-3,38	-8,05	-0,182	0,30 ^x	0,1 ^x			I	2	
10	10K	-0,64	-0,88	-0,007	0,027 ^x	0,056	32,6	0,80	III	1	
11	1T	-3,34	-9,15	-0,432	-0,47 ^x	0,076			II	2	
12	2T	-0,30	1,45	0,031	0,133 ^x	0,175	10,9	0,18	II	1	
13	4T	-1,33	-2,46	-0,524	0,196 ^x	0,06	12,5	9,9	III	1	
14	5T	-0,32	-1,50	-0,518	0,475	-0,062			II	2	
15	6T	0,77	3,28	-0,335	0,61	0,115 ^x			II	2	
16	7T	-1,15	-3,07	-0,207	0,056 ^x	0,127	57	1,6	II	1	
17	8T	0,98	3,46	-0,225	0,127	-0,06			II	2	
18	9T	1,68	4,24	-0,089	0,162 ^x	0,045 ^x			II	2	
19	10T	0,64	2,03	-0,176	0,09	-0,11 ^x			II	2	

4. Wyniki realizacji i ocena metody

Wynikiem obliczeń było 6 wartości $R_b, R_d, \frac{R_2}{R_4}$ w 6 różnych punktach, na ogół znacznie różniących się między sobą^{x)}. Powodem rozrzutu są zarówno zależność wyniku od współrzędnych punktu, w tym także od wartości różnic $\Delta I, \Delta t$ oraz błędy pomiaru i obliczeń. Wybór właściwych wartości trudny wobec rozrzutu wyników, przeprowadzono:

- I) biorąc średnią arytmetyczną,
- II) biorąc wartość obliczoną dla punktu środkowego $i = 3, k = 3$,
- III) biorąc wartość charakterystyczną dla obszaru zmian.

Po wmontowaniu odpowiednich oporników mierzono zależność (13) dla dobrane go doświadczalnie stosunku $\frac{R_2}{R_4}$, spełniającego warunek $U_g = 0$ w punkcie pracy $i = 3, k = 3$. Wynik doboru był prawidłowy, gdy w obszarze $I_1 - I_5, t_1 - t_5$ napięcie nierównowagi nie przekraczało dopuszczalnej wartości.

W tabelicy 2 podano zależności zera od prądu i od temperatury obliczane jako stosunek różnicy wartości maksymalnej i minimalnej U_g w przedziale temperatury lub prądu do długości przedziału. Gwiazdka przy wyniku oznacza, że w danym przedziale uzyskano warunek niezależności zera tzn. zależność $U_g = f(I)_{t=const}$ lub $U_g = f(t)_{I=const}$ posiada ekstremum.

Przy nieprawidłowym doborze pozostawiono oporniki korekcyjne i rozpoczynano dobór od początku tzn. od pomiaru danych wyjściowych. Efektywność doboru ilustruje tablica 3.

Tablica 3

Metoda	I	II	III
Ilość wyjściowa	7	8	4
I próba dobra	3	2	3
II próba dobra	2	4	—
wynik niezadawalający	2	2	1

Najlepszy wynik doboru oporników korekcyjnych daje metoda III. Wybór wartości charakterystycznej polega na ocenie zależności $U_g = f(I, t)$, odrzuceniu punktów obciążonych błędami pomiaru i wybraniu takiego punktu do obliczeń, który najlepiej charakteryzuje tę zależność w całym obszarze zmian

^{x)} Obliczenia wykonano na maszynie cyfrowej w Ośrodku Maszyn Matematycznych Politechniki Śląskiej. Program i obliczenia wykonała mgr K. Szczerbińska.

wielkości wpływających. Wynik tej oceny zależy od umiejętności osoby przygotowującej dane do obliczeń.

Stosowanie I metody też wymaga odrzucenia wyników odbiegających od średniej. Metoda II wymaga najmniejszego nakładu pracy na pomiary, bo wystarcza tylko 9 punktów pomiarowych. Wynik doboru jest zadowalający i nie odbiega znacznie od pozostałych metod. Do praktycznego zastosowania zaleca się więc metodę II.

Negatywny wynik doboru oporników korekcyjnych wskazuje, że wstępnie wybrana para grzejników jest nieodpowiednia i jeden grzejnik należy wymienić na inny. Przyczyną wyników negatywnych są błędy pomiarów i obliczeń lub nieodpowiednie grzejniki. Przez wielokrotne próby doboru uzyskuje się ostatecznie spełnienie warunków niezależności zera, lecz ekstrema zależności $U_g = f(I)_{I=const}$, $U_g = f(t)_{I=const}$ są zbyt "ostre", by daną parę grzejników uznać za dobrą. Przy obliczeniach uzyskuje się nieraz wartości A (wzór (10a)) bliskie zera, przez co dokładne obliczenie R_0 jest niemożliwe, wobec ograniczonej dokładności pomiarów danych.

Jak wynika z danych w tabelicy 2, stosowanie oporników korekcyjnych zmniejsza równocześnie zależność zera od prądu i temperatury ok. 5-krotnie lub więcej. Poprawa zależy głównie od początkowej różnicy charakterystyk grzejników. Im różnica jest większa, efekt zastosowania oporników korekcyjnych jest większy.

5. Uzyskanie niezależności drogą kolejnych operacji

Inny sposób zmniejszenia błędów zera zakłada kolejne ich eliminowanie. Najpierw należy uzyskać niezależność zera od jednej wielkości wpływającej a następnie nie naruszając uzyskanego wyniku doprowadzić do niezależności od drugiej wielkości. W omawianym przypadku pierwszą wielkością jest prąd zasilania^{x)} - może to być także inna wielkość, a drugą temperatura otoczenia.

Wybór temperatury jako drugiej wielkości poddyktowany jest zastosowaniem do realizacji drugiego zadania dwóch oporników: jednego z miedzi, drugiego z manganu. W temperaturze odniesienia $t_3 = t_0$ oporność ich jest jednaka i wynosi R_{k0} . Włączenie obu oporników w sąsiednie gałęzie mostka w szereg z grzejnikami R_I , R_{II} nie narusza stanu równowagi mostka przy zmianach prądu spełniając postawiony powyżej postulat.

^{x)} Sposób uzyskania niezależności zera od prądu podano poniżej w p. 6.

Dla prądu odniesienia $I_3 = I_0$ wskutek zmiany temperatury napięcie nierównowagi mostka zmienia się według zależności

$$U_{g\infty} = \frac{1}{2} I_0 R_{k0} \alpha (t - t_0) \quad (25)$$

jeżeli

$$R_k = R_{k0} [1 + \alpha (t - t_0)] \quad (26)$$

Ponieważ zależność zera od temperatury

$$A_T = \frac{U_{g\infty}}{t - t_0} \quad (27)$$

jest znana, więc z równania (25) można obliczyć wartość R_{k0}

$$R_{k0} = - \frac{2 A_T}{I_0 \alpha} \quad (28)$$

Znak minus w równaniu (28) wynika z warunku kompensacji, że napięcie (25) ma redukować napięcie w równaniu (27) do zera.

Dodatnia wartość R_{k0} (28) oznacza, że opornik miedziany należy włączyć w gałąź II, a manganinowy w gałąź I. Gdy wynik jest ujemny, oporniki włącza się odwrotnie.

Oporniki kompensacyjne można analogicznie dobrać do gałęzi R_3, R_4^x .

Niezależność zera od prądu można uzyskać stosując oporniki korekcyjne dobierane wg niżej podanego sposobu.

6. Niezależność zera od prądu w szerokim zakresie zmian prądu

Niezależność zera mostka od prądu uzyskuje się przez odpowiedni dobór oporników korekcyjnych R_b, R_d oraz stosunku $\frac{R_3^{xx}}{R_4^2}$. Dla oznaczeń jak na rys. 2, warunkiem niezależności zera jest równanie (5), przy czym $x = I$, tzn.

$$\frac{\partial a}{\partial I} = 0 \quad (29)$$

^{x)} Opisany sposób uzyskania niezależności zera od prądu i temperatury zastosował w naszej Katedrze mgr inż. J. Frączek.

^{xx)} Opisany sposób jest rozwinięciem metody podanej w PAK Nr 10(1964) [4], gdzie elementy dobierano dla warunku $R_3 = R_4$. Dobieranie niezależności zera od prądu bez warunku $R_3 = R_4$ jest trudniejsze, ale uzyskuje się niezależność zera w szerszym zakresie zmian prądu.

Wielkość a określona jest wzorami (4) oraz (7) ... (9). Zróżniczkowanie równania (9) względem prądu I i wykorzystanie (29) daje związek:

$$R_d = \frac{A R_b^3 + B R_b^2 + C R_b + D}{E R_b + H} \frac{1}{R_b^2} \quad (30)$$

gdzie

$$A = R_2 \frac{\partial R_1}{\partial I} - R_1 \frac{\partial R_2}{\partial I} \quad (30a)$$

$$B = R_2^2 \frac{\partial R_1}{\partial I} + R_1 R_2 \text{ dyn} \frac{\partial R_2}{\partial I} + R_1 R_2 I \frac{\partial^2 R_2}{\partial I^2} - R_2 I \frac{\partial R_1}{\partial I} \frac{\partial R_2}{\partial I} \quad (30b)$$

$$C = -2I R_2^2 \frac{\partial R_1}{\partial I} \frac{\partial R_2}{\partial I} \quad (30c)$$

$$D = R_2^2 I^2 \frac{\partial R_1}{\partial I} \left(\frac{\partial R_2}{\partial I} \right)^2 \quad (30d)$$

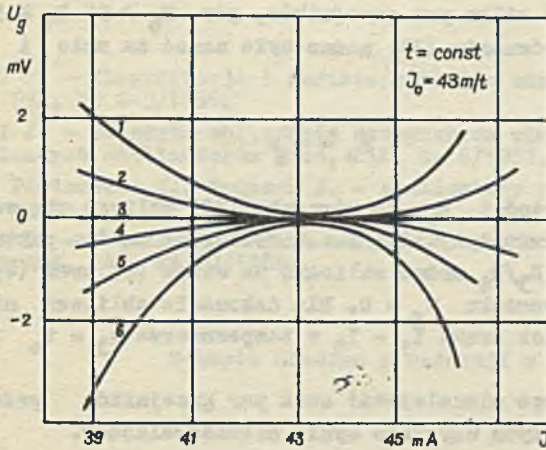
$$E = \frac{\partial R_2}{\partial I} \quad (30e)$$

$$H = -R_2 \text{ dyn} \frac{\partial R_2}{\partial I} - I R_2 \frac{\partial^2 R_2}{\partial I^2} \quad (30f)$$

Dobranie oporników korekcyjnych wg związku (30), przy czym jeden z oporników należałoby wybrać dowolny, daje nieskończenie wiele par spełniających warunek niezależności zera, co przedstawiono na rys. 4. Spośród par wartości R_b , R_d należy wybrać najlepszą, która zapewni niezależność zera, w szerokim zakresie zmian, prądu. Drugim warunkiem umożliwiającym taki wybór może być

$$\frac{\partial^2 a}{\partial I^2} = 0 \quad (31)$$

Ze względu na skomplikowaną postać matematyczną, warunku tego nie można wykorzystać dla celów praktycznych. Praktycznie warunek można spełnić w ten sposób, że wybiera się dwa punkty leżące wokół punktu pracy, np. I_2 , I_4 dla których równanie (30) ma być spełnione przez jedną i tą samą pa-



Rys. 4. Zależność zera od prądu dla różnych par oporników korekcyjnych spełniających warunków niezależności

zę oporników korekcyjnych. Jeżeli indeksy 2 oraz 4 oznaczają współczynniki równania (30) w punktach I_2 oraz I_4 , to można napisać

$$\frac{A_4 R_b^3 + B_4 R_b^2 + C_4 R_b + D_4}{E_4 R_b + H_4} = \frac{A_2 R_b^3 + B_2 R_b^2 + C_2 R_b + D_2}{E_2 R_b + H_2} \quad (32)$$

a stąd uzyskuje się równanie z jedną niewiadomą

$$R_b^4 + K R_b^3 + L R_b^2 + M R_b + N = 0 \quad (33)$$

w którym oznaczono

$$K = \frac{(B_2 E_4 - B_4 E_2) + (A_2 H_4 - A_4 H_2)}{A_2 E_4 - A_4 E_2} \quad (33a)$$

$$L = \frac{(C_2 E_4 - C_4 E_2) + (B_2 H_4 - B_4 H_2)}{A_2 E_4 - A_4 E_2} \quad (33b)$$

$$M = \frac{(D_2 E_4 - D_4 E_2) + (C_2 H_4 - C_4 H_2)}{A_2 E_4 - A_4 E_2} \quad (33c)$$

oraz

$$N = \frac{D_2 H_4 - D_4 H_2}{A_2 E_4 - A_4 E_2} \quad (33d)$$

Dla przeliczonych kilku par grzejników, gdy $R_b \geq 50 R_1 \approx 50 R_2$ współczynniki L, M, N w równaniu (33) można było uznać za małe i wartość R_b obliczać ze wzoru:

$$R_b \approx -K \quad (34)$$

Po wstawieniu wartości R_b do równania (30) oblicza się wartość opornika R_3 , przy czym współczynniki $A...H$ obliczane są dla punktu I_2 lub I_4 . Stosunek oporności R_3/R_4 można obliczyć ze wzoru (9) oraz (4) lub dobrać doświadczalnie dla warunku $U_g = 0$. Dla dokonania obliczeń niezbędne są pomiary dla 5 wartości prądu $I_1 - I_5$ w temperaturze $t_3 = t_0$ jak opisano powyżej.

Metodą tą dobierało niezależność zera par grzejników przedstawionych w tabelicy 3, dla których uzyskano wynik niezadowolający.

7. Wnioski

Z przedstawionych dwóch sposobów uzyskania niezależności zera każdy ma swoje zalety i wady. Równoczesny dobór oporników korekcyjnych może być zastosowany do dowolnych wielkości wpływających - to jest jego zaletą. Wskutek równoczesnego doboru otrzymuje się wynik zadowolający lub niezadowolający. Nie udało się wyniku niezadowolającego poprawić w prosty sposób tzn. by bez pomocnego obliczenia skorygować wartości R_b, R_d .

Uzyskanie niezależności zera drogą kolejnych operacji jest skuteczniejsze, lecz ograniczeniem jest konieczność zrealizowania drugiej operacji bez naruszenia niezależności od pierwszej wielkości wpływającej. Praktycznie można to zrobić tylko wówczas, gdy drugą wielkością jest temperatura. Niezależność zera od temperatury można uzyskać w każdym przypadku, lecz nie zawsze zmniejsza to błędy do wymaganych granic. Gdy zależność $U_g = f(t)$ jest silnie nieliniowa, to zastosowanie oporników metalowych nie daje zadowolającego wyniku.

Przedstawione sposoby uzyskania niezależności zera są zabiegami technologicznymi, który w istotnym stopniu poprawia własności metrologiczne analizatorów, szczególnie w produkcji jednostkowej, gdy wykonanie jednakowych oporników termometrycznych jest trudne.

LITERATURA

- [1] Piotrowski J. - Klasyfikacja i definicje błędów termicznych analizatorów gazu, PAK, Nr 8-9/1966.
- [2] Piotrowski J. - Metodyka obliczania statycznych własności metrologicznych termicznych analizatorów gazu, PAK, Nr 8/1967.
- [3] Romer E., Piotrowski J., Frączek J. - Analizatory przenośne tlenu i dwutlenku węgla PAK, Nr 8-9/1966.
- [4] Piotrowski J. - Niezależność zera mostka z oporami termometrycznymi od zmian prądu, PAK, Nr 10/1964.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 10.XII.1969 r.

НЕЗАВИСИМОСТЬ НУЛЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ ОТ ДВУХ
ВЛИЯЮЩИХ ВЕЛИЧИН

Резюме

Представлен принцип коррекции характеристик чувствительных элементов газоанализаторов позволяющий получить независимость нуля в рабочей точке и сблизить её от двух влияющих величин. Для влияющих величин тока питания и температуры окружения указаны практические способы подбора коррекционных сопротивлений. Выведены расчетные формулы, даны условия измерения параметров характеристик, описано порядок подбора и полученные результаты.

INDEPENDENCE OF ZERO POINT OF THERMAL GAS ANALYSERS FROM TWO
INFLUENCE VALUES

Resume

The principle of the correction of the analyser measurement elements characteristics, to avoid the effect of the two influence parameters, is discussed. The two practical manners of the correction resistance selection, for as parameters as current and ambient temperature, are given. The calculating equations and conditions of measurement of the starting data are given. The metod developed is illustrated by example.