

VERGLEICH EINER NEUEN UND EINER GEBRÄUCHLICHEN KOMPENSATIONSSCHALTUNG ZUR MESSUNG KLEINER GLEICHSPANNUNGEN

Von

L. SCHNELL und J. TÖRÖK

Lehrstuhl für Meßtechnik und Instrumentenkunde, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 7. Juni, 1966)

Zur Präzisionsmessung sehr niedriger Gleichspannungen ist die Anwendung von Kompensatoren mit kleinem Innenwiderstand in Brückenschaltung weit verbreitet. Ihrem Wesen nach bestehen diese Vorrichtungen aus einer unausgeglichene Wheatstone-Brücke, an der man die Kompensationsspannung von den indikatorseitigen Klemmen der Brücke abtastet. Bei Gebrauch dreier Dekaden wird der Kreis der dem U_x das Gleichgewicht haltenden Kompensationsspannung von keinem Schalter unterbrochen (Abb. 1), womit die evtl. auf den Kontakten auftretenden Aktivspannungen (Thermospannung, Kontaktpotential) für die Kompensation unwirksam werden und die Durchgangswiderstände bzw. deren Änderungen die Genauigkeit der Messung nur insoweit beeinflussen, als sie sich auf die Größe des Hilfsstromes auswirken. Die Schaltung läßt sich mit weiteren zwei Dekaden ergänzen, womit die fünfstellige Ablesung ermöglicht wird. Zwar gibt es mehrere prinzipielle Lösungen für die Eingliederung der vierten und fünften Dekade, dennoch wird in der Praxis fast ausschließlich die auf den Vorschlägen von DIESELHORST, von WHITE und von HAUSRATH [1, 2, 3] basierende Lösung angewendet. Diese Schaltung enthält manche Widerstände von ungerunden Werten, weshalb ihre Herstellung schwerfällig und kostspielig wird.

Die Autoren haben zur Lösung einer und derselben Meßaufgabe zwei Kompensatoren mit Brückenschaltung — verschiedener Systeme, aber gleicher Spezifikation — entworfen. Die Spezifikation der Kompensatoren war folgende:

Höchste meßbare Spannung ± 110 mV (um die gegebenen Meßaufgaben lösen zu können, war es nötig, den Meßbereich auch auf die negative Richtung auszudehnen).

Anzahl der Dekaden: 5

Größe des Hilfsstromes: $I_s = 10^{-2}$ A

Eingangswiderstand, von der Hilfsstromquelle aus gesehen:

$$R_{ew} = 25 \Omega$$

a) Erste Version

Die Abb. 2 veranschaulicht die Schaltung; ihrem Wesen nach entspricht sie der gebräuchlichen Kompensatorenschaltung System Diesselhorst. Die zusammengehörigen Dekaden stehen miteinander im Zwangschluß; in den Dekaden

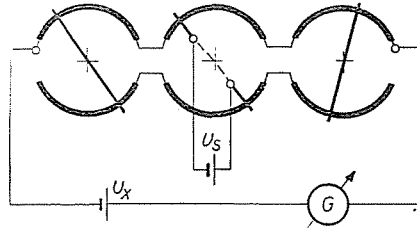


Abb. 1

den IV und V ändern sich die Werte der mit dem Widerstand $e = 1,011 \Omega$ parallel geschalteten Nebenschlußwiderstände derart, daß z. B. der resultierende Widerstand der oberen Seite der Dekade IV zwischen den Schaltstellungen -9 und $+9$ in Stufen von $0,0011 \Omega$ im Bereich von $0,9901 \Omega$ bis $1,0099 \Omega$ geändert wird. Die Änderung des resultierenden Widerstandes der unteren

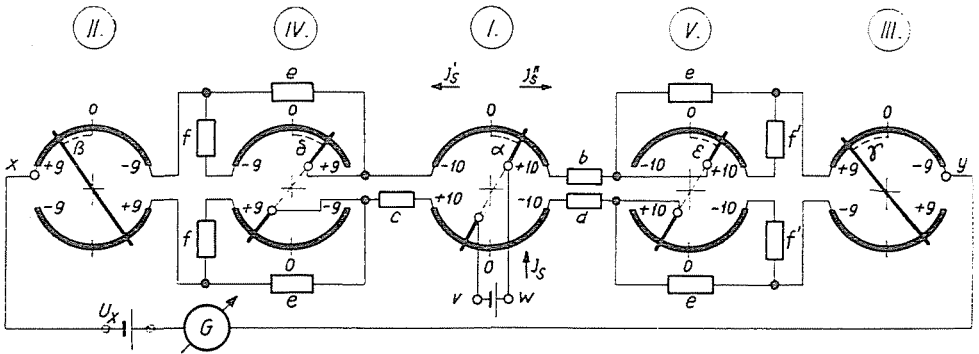


Abb. 2

Seite der Dekade IV erfolgt im entgegengesetzten Sinn, weshalb die Summe — unabhängig von der Schalterstellung — immer 2Ω bleibt. Die Situation bei der Dekade V ist sinngemäß ähnlich, mit dem Unterschied jedoch, daß sie nicht 9, sondern 10 Stellungen hat.

Auf Grund der Abb. 2 läßt sich die zwischen den Punkten x und y abtastbare Kompensationsspannung U_{xy} leicht ausrechnen. Die Stellungen der Dekaden I, II, III, IV und V wurden (in dieser Reihenfolge) mit $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ und

ε bezeichnet. Der Vorschrift der Spezifikation entsprechend wurde die Berechnung unter der Annahme von

$$I_s = 10^{-2} \text{ A}$$

und

$$R_{vw} = 25 \Omega$$

durchgeführt. Unter Umgehung der Detailberechnungen werden hier nur die Endergebnisse angegeben. Die Elemente der Dekade I sind Widerstände von 1Ω , die der Dekaden II und III von $0,11 \Omega$. Dekaden IV und V sind mit Widerständen $e = 1,011 \Omega$ parallel geschaltet, die Werte der einzelnen Elemente sind in Tabelle I zusammengefaßt. Ferner gilt

$$b = 107,91 \Omega,$$

$$c = 3,5200 \Omega,$$

$$d = 143,11 \Omega,$$

$$U_{xy} = [10^{-2} \alpha + 10^{-3} \beta + 10^{-4} \gamma + 10^{-5} \delta + 10^{-6} \varepsilon] \text{ V.}$$

Da

$$\alpha_{\max} = \varepsilon_{\max} = \pm 10, \text{ und } \beta_{\max} = \gamma_{\max} = \delta_{\max} = \pm 9,$$

ist die meßbare Höchstspannung tatsächlich $\pm 110 \text{ mV}$.

b) Zweite Version

Die von den Autoren ausgearbeitete Schaltung ist in Abb. 3. dargestellt. Sämtliche Dekaden bestehen aus Widerständen von 1Ω ; die Schaltung enthält im ganzen acht Widerstände, deren Wert nicht rund 1Ω beträgt. Die zusammengehörigen Dekaden stehen auch hier im Zwangsschluß miteinander, mit der Verschiebung der Dekaden IV und V wird also der Au-

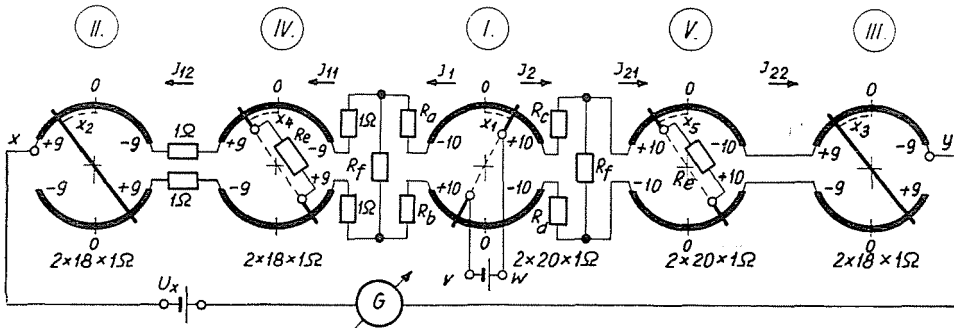


Abb. 3

Tabelle I

Werte der zur ersten Version benötigten Widerstände

Ω	Benötigte Stückzahl	Stelle und Zeichen des Einbaues
1,0000	40	I
0,1100	72	II—III
1,0110	4	e
107,91	1	b
3,5200	1	c
143,11	1	d
47,894	2	f
45,449	2	f'
2,4453	2	} IV—V
2,7170	4	
3,0365	4	
3,4162	4	
3,8717	4	
4,4247	4	
5,1056	4	
5,9564	4	
7,0396	4	
8,4470	4	
10,325	4	
12,905	4	
16,592	4	
22,124	4	
30,974	4	
46,460	4	
77,434	4	
154,86	4	
464,61	4	
Insgesamt	197	

schlußpunkt der Widerstände R_s geändert. Auf Grund der Bedingung der Spezifikation, daß $I_s = 10^{-2}$ A und $R_{vW} = 25 \Omega$, können die Werte von R_a , R_b , R_c und R_d , ferner die Größe der Kompensationsspannung U_{xy} in Abhängigkeit von den Schaltstellungen x_1 , x_2 , x_3 , x_4 und x_5 der Dekaden I, II, III, IV und V rechnerisch ermittelt werden.

Da $I_s = I_1 + I_2 = 10^{-2} \text{ A}$,

seien

$$I_{12} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_{22} = 10^{-4} \text{ A}$$

$$I_{11} - I_{12} = 10^{-5} \text{ A}$$

und $I_{21} - I_{22} = 10^{-6} \text{ A}$.

Unter Umgehung ihrer Einzelheiten ergibt die Berechnung folgende Resultate:

$$R_a = R_b = 0,5490 \ \Omega,$$

$$R_c = R_d = 124,30 \ \Omega,$$

$$R_e = 3800,0 \ \Omega,$$

$$R_f = 7,2022 \ \Omega.$$

Die zur Herstellung der ersten und zweiten Version benötigten Widerstände sind in den Tabellen I und II zusammengefaßt.

Tabelle II

Werte der zur zweiten Version benötigten Widerstände

Ω	Benötigte Stückzahl	Stelle und Zeichen des Einbaues
1,0000	192	I, II, III, IV, V
0,5490	2	R_a, R_b
124,30	2	R_c, R_d
3800,0	2	R_e
7,2022	2	R_f
Insgesamt	200	

Ein Vergleich der beiden Lösungen führt zu der Feststellung, daß bei der ersten Version im ganzen 20% aller nötigen Widerstände den Wert 1 Ω haben, während sich die restlichen 80% aus 26 verschiedenen Widerstandswerten zusammensetzen; bei der zweiten Version hingegen haben 96% aller Widerstände den Wert von 1 Ω , und nur die restlichen 4% bestehen aus vier verschiedenen Werten. Da die Herstellung und genaue Einstellung von 1-Ohm-Widerständen wesentlich einfacher ist, als die Anfertigung solcher von unrundern Werten, vereinfacht sich selbstverständlich auch die Herstellung und genaue Einstellung der für die zweite Version nötigen Widerstände gegenüber der ersten sehr wesentlich.

Die Verfasser haben an beiden Einrichtungen eingehende Untersuchungen durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß beide Versionen meßtechnisch gleichwertig sind, daß sich jedoch die zweite Version aus den erwähnten Gründen viel leichter realisieren läßt und deshalb als wesentlich günstiger anzusehen ist.

Zusammenfassung

Verfasser stellten zwei Kompensatoren mit Brückenschaltung und fünf Dekaden für den Meßbereich von ± 110 mV her. Die erste Version hatte die bekannte Diesselhorst-Schaltung, die zweite eine Schaltung, die Verfasser entwickelt haben. Die beiden Versionen sind meßtechnisch völlig gleichwertig, aber vom Standpunkt der Realisierung aus gesehen, ist die von den Autoren entwickelte Lösung die vorteilhaftere. Während nämlich bei der Lösung System Diesselhorst 20% der eingebauten 197 Widerstände runde Werte von 1 Ohm aufweisen, die restlichen 80% dagegen aus Widerständen mit 26 verschiedenen Werten bestehen, ist die von den Autoren ausgearbeitete Schaltung aus 200 Widerständen aufgebaut, die sich zu 96% aus solchen mit 1-Ohm-Rundwerten und nur zu den restlichen 4 Prozent aus Widerständen mit im ganzen vier verschiedenen Werten zusammensetzen.

Literatur

1. DIESELHORST, H.: Z. Instr. **28**, 1 (1908).
2. HAUSRATH, H.: Ann. d. Phys. **17**, 735 (1905).
3. WHITE, W. P.: Z. Instr. **27**, 210 (1907).
4. EICKE, H.: Z. Instr. **67**, 13 (1959).

Prof. Dr. László SCHNELL }
 József TÖRÖK } Budapest XI. Műegyetem rakpart 9, Ungarn