

CZESŁAWA KOLMEROWA

Katedra Elektroniki Przemysłowej

POMIAR DYNAMICZNEGO ZAKRESU ASYMETRII MOSTKA METODĄ
OBRACAJĄCEGO SIĘ ODCINKA NA EKRANIE OSCYLOGRAFU KATODOWEGO

Streszczenie. Omówiono pracę mostka niezrównoważonego z podaniem jej analizy przy zasilaniu napięciem stałym i napięciem zmiennym modulowanym amplitudowo. Podano zasadę wyznaczania dynamicznego zakresu zmienności asymetrii mostka oraz średnich wartości asymetrii metodą obracającego się odcinka na ekranie oscylografu katodowego. Opisano też sposób cechowania statycznego i dynamicznego metodą zerową.

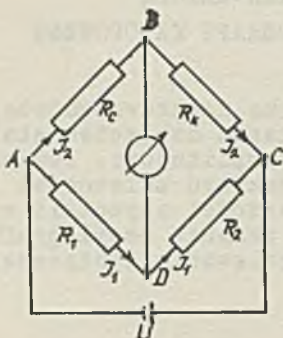
1. Wstęp

Układy mostkowe stosuje się często przy użyciu czujników parametrycznych do pomiaru wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi. W wypadku czujników oporowych tensometrycznych przeważnie spotyka się w technicznych przyrządach uniwersalnego typu mostki wychyłkowe czyli niezrównoważone. W mostkach tych wielkość mierzonej oporności lub jej zmiany określa się ze wskazań przyrządu włączonego w przekątną pomiarową.

Parametry układu dobiera się tak, by dla danej określonej wielkości oporności czujnika mostek znajdował się w stanie równowagi. Przy zmianach oporności czujnika pojawia się w przekątnej pomiarowej różnica potencjałów wykazywana przyrządem. Zależy ona od oporności przyrządu i będzie maksymalna dla przyrządu o nieskończenie wielkiej oporności. Ponieważ w dalszych rozważaniach występuje wyłącznie oscyloskopowy wskaźnik mostka, analizę pracy mostka Wheatstone'a przeprowadzono przy założeniu nieskończenie wielkiej oporności przyrządu.

2. Analiza pracy mostka wychyłkowego

Przy zasilaniu mostka Wheatstone'a (rys. 1) napięciem stałym U różnica potencjałów na przekątnej pomiarowej pomiędzy punktami B i D jest napięciem wyjściowym mostka i wynosi



$$U_0 = J_2 R_0 - J_1 R_1 \quad (1)$$

Natężenie prądu J_1 i J_2 wynosi:

$$J_1 = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

$$J_2 = \frac{U}{R_0 + R_k} \quad (3)$$

Rys. 1. Mostek wychyłkowy Wheatstone'a

gdzie R_0 oznacza oporność ozujnika czynnego, R_k oporność czujnika kompensującego wpływ zmian temperatury, a R_1 i R_2 oporność pozostałych ramion mostka.

Po wstawieniu wielkości (2) i (3) do równania (1) otrzymamy:

$$U_0 = \frac{U R_0}{R_0 + R_k} - \frac{U R_1}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

Po zróżniczkowaniu tego wyrażenia względem zmiennej R_0 otrzymamy:

$$\frac{dU_0}{dR_0} = U \frac{R_k}{(R_0 + R_k)^2} \quad (5)$$

skąd

$$dU_0 = U \frac{R_k}{(R_0 + R_k)^2} \cdot dR_0 \quad (6)$$

Przechodząc do przyrostków skończonych można napisać:

$$\Delta U_0 = U \cdot \frac{R_k}{(R_0 + R_k)^2} \cdot \Delta R_0 \quad (7)$$

Wzór ten jest słuszny dla małych zmian oporności czujnika (mała ΔR_0) i dla małych wartości ΔU_0 , co w praktyce jest zawsze spełnione.

Ponieważ czujnik czynny i kompensacyjny posiadają równe oporności, więc $R_0 = R_k$ i wobec tego wzór (7) przyjmie postać:

$$\Delta U_0 = \frac{U}{4} \frac{\Delta R_0}{R_0} \quad (8)$$

Jak widać z tego wzoru zmiany napięcia wyjściowego są wprost proporcjonalne do napięcia zasilania mostka i do względnych zmian oporności czujnika czynnego. W dalszych rozważaniach oznaczę dla uproszczenia oporność czujnika czynnego symbolem R bez indeksu.

3. Mostki wychyłowe z modulacją amplitudy sygnału nośnego

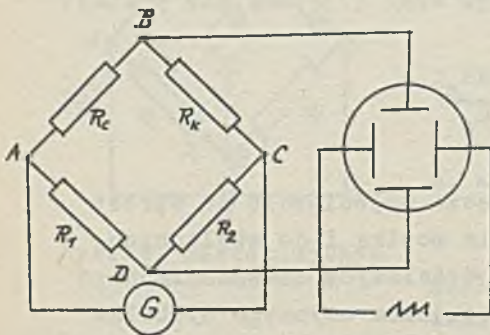
Często zachodzi potrzeba pomiaru wielkości statycznych, quasistatycznych i dynamicznych przy pomocy jednego mostka typu uniwersalnego i zależy nam na stosowaniu prostych i stabilnych wzmacniaczy zmiennego napięcia wraz z oscyloskopem katodowym w roli wskaźnika. Wtedy zasilamy mostek zmiennym napięciem jako sygnałem nośnym. Zmienne przebiegi wielkości mierzonej oddziałują na czynny czujnik, a zmiany jego oporności powodują amplitudową modulację sygnału nośnego. Metoda ta jest pożyteczna dla przypadku, gdy przeprowadza się pomiar tylko wartości szczytowych bez uwzględnienia znaku zmian oporności czujnika. Zmiana tego znaku daje bowiem jedynie zmianę fazy sygnału modulującego o 180° , co jest trudne do odczytania z oscylogramu. W przypadku badania przebiegów o charakterze przemiennym należy posługiwać się metodą mostka wstępnie roz-

strojonego o wielkość, zależną od amplitudy przemiennego przebiegu. W takim wypadku oscylogram odpowiadający wstępnemu rozstrojeniu da sam sygnał nośny, będący sygnałem odniesienia. Odpowiada on stanowi zerowemu, od którego mierzy się wartości zmiennych przebiegów już z uwzględnieniem ich znaków.

Stosowanie konwencjonalnego układu z włączonym generatorem podstawy czasu w oscylografie (rys. 2) jest wprawdzie popraw-

ne, ale otrzymane w takim układzie oscylogramy czasowe (rys. 3) umożliwiają tylko obserwację przebiegu, nie zapewniają natomiast wygody pomiarowej, muszą być synchronizowane i są trudne do rejestrowania.

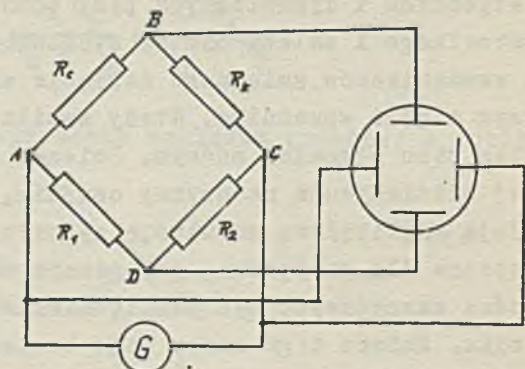
Znacznie korzystniejszym układem będzie układ z rys. 4. Doprowadza się tutaj na płytki X napięcie



Rys. 2. Mostek z sygnałem nośnym modulowanym amplitudowo



Rys. 3. Oscylogram czasowy drgań modulowanych



Rys. 4. Schemat układu do rejestracji przebiegów dynamicznych

z generatora sygnału nośnego. Jest to generator akustyczny, a jego częstotliwość musi być około 10 razy większa od największej częstotliwości przebiegów badanych, dla zachowania dobrych warunków modulacji. Na płytce X podaje się napięcie wyjściowe asymetrii mostka.

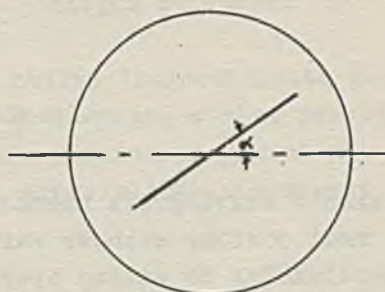
Gdy na osujnik nie działa wielkość mierzona, mostek jest w stanie równowagi i wychylenie plamki na ekranie oscylografu w kierunku poziomym określi równanie:

$$X = o_1 U \sin 2 \pi Ft \quad (9)$$

Współczynnik o_1 określa osułość oscylografu dla płytek X, U jest amplitudą sygnału nośnego, a F częstotliwością tego sygnału. W kierunku pionowym napięcie wyjściowe będzie równe zero, więc $Y = 0$ i nie będzie pionowego wychylenia plamki. Wobec tego na ekranie oscylografu pojawi się odcinek prostej poziomej, którego długość będzie proporcjonalna do amplitudy napięcia U generatora sygnału nośnego (rys. 5).



Rys. 5. Oscylogram mostka zrównoważonego



Rys. 6. Oscylogram dla asymetrii stałej

Gdy na osujnik działa wielkość stała, nastąpi statyczne odchylenie mostka od równowagi i wychylenie plamki na ekranie

można wyrazić dla kierunku poziomego równaniem (9) jak poprzednio, a dla kierunku pionowego:

$$Y = o_2 U \frac{dR}{R} \sin 2\pi Ft, \quad (10)$$

gdzie współczynnik o_2 oznacza czułość osylografu dla płytek Y z uwzględnieniem współczynnika wzmożenia wzmacniacza.

Ponieważ plamka osylografu wykonuje na ekranie ruch wypadkowy, określony równaniami (9) i (10), więc wyznaczamy z równania (9) wartość $U \sin 2\pi Ft = \frac{X}{o_1}$ i wprowadzamy ją do równania (10) otrzymując:

$$Y = \frac{o_2}{o_1} \left(\frac{dR}{R} \right) X \quad (11)$$

Jest to równanie prostej tworzącej z osią X kąt α , przy czym

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y}{X} = \frac{o_2}{o_1} \left(\frac{dR}{R} \right), \quad (12)$$

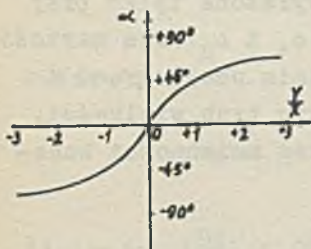
zaś

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{Y}{X} \quad (13)$$

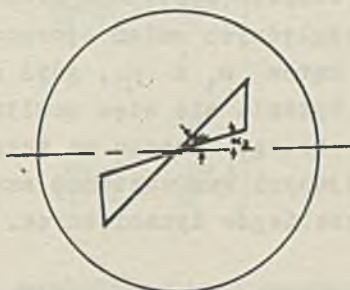
Na ekranie osylografu odcinek odchyli się o kąt α (rys. 6). Jego rzut poziomy zachowa wartość X, a rzut pionowy będzie proporcjonalny do zmiany oporności dR czynnego czujnika. Jeśli zależność (13) przedstawimy wykreślnie (rys. 7), to z arcotangensojdy tej wynika ważny dla pracy mostka wniosek: kąt α zmienia się najszybciej w pobliżu $\frac{X}{Y} = 0$, czyli w pobliżu równowagi mostka. Czułość wskazań jest więc dla tej metody największa w pobliżu równowagi mostka i maleje ze wzrostem odchylenia od stanu równowagi.

Gdy na ozujnik czynny działa wielkość zmienna i oporność ozujnika - w ogólnym wypadku - wykazuje pewną składową średnią $(\frac{dR}{R})_0$ oraz składową zmienną $(\frac{dR}{R})_1 \sin 2\pi ft$, otrzymamy na wychylenie poziome X równanie (9) niezmiennione, a dla wychylenia pionowego

$$Y = \frac{o_2}{o_1} \left[\left(\frac{dR}{R}\right)_0 + \left(\frac{dR}{R}\right)_1 \cdot \sin 2\pi ft \right] X \quad (14)$$



Rys. 7. Krzywa oszułości



Rys. 8. Oscylogram dla przebiegów zmiennych

Oscylogram będzie teraz odcinkiem o stałej długości rzutu poziomego, obracającym się dokoła punktu środkowego, a więc przybierze kształt dwóch świecących trójkątów złączonych kątami wierzchołkowymi, utworzonymi przez dwie przecinające się proste (rys. 8) o równaniach:

$$Y_1 = \frac{o_2}{o_1} \left[\left(\frac{dR}{R}\right)_0 + \left(\frac{dR}{R}\right)_1 \right] X \text{ dla } \sin 2\pi ft = 1 \quad (15)$$

oraz

$$Y_2 = \frac{o_2}{o_1} \left[\left(\frac{dR}{R}\right)_0 - \left(\frac{dR}{R}\right)_1 \right] X \text{ dla } \sin 2\pi ft = -1 \quad (16)$$

Proste te tworzą z osią X kąty α_1 i α_2 , które określa się przez

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{o_2}{o_1} \left[\left(\frac{dR}{R} \right)_0 + \left(\frac{dR}{R} \right)_1 \right] \quad (17)$$

oraz

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{o_2}{o_1} \left[\left(\frac{dR}{R} \right)_0 - \left(\frac{dR}{R} \right)_1 \right] \quad (18)$$

W tych wzorach występuje średnia wartość $\left(\frac{dR}{R} \right)_0$ i amplituda $\left(\frac{dR}{R} \right)_1$ względnych zmian oporności czujnika wyrażona tylko przy pomocy kątów α_1 i α_2 , gdyż współczynniki o_1 i o_2 mają wartość stałą. Wyłania się więc możliwość wyskalowania oscylogramu i bezpośredniego odczytu na ekranie oscylografu tych wielkości, określających nam wartości szczytowe i zakres zmienności badanych przebiegów dynamicznych.

4. Cechowanie mostków wychyłowych modulowanych

Cechowanie statyczne mostka przeprowadza się w ten sposób, że dla mostka niezrównoważonego wprowadza się kompensację zmian oporności czujnika. W wypadku wzrostu oporności czujnika pod wpływem działania wielkości mierzonej należy cechowanym opornikiem zabocznikować czujnik czynny tak, by sprowadzić skośny odcinek oscylogramu rys. 6 do poziomu. Kontrolę poziomu daje tutaj skala ekranu lub skala celofanowa umieszczona przed ekranem. W wypadku zmniejszenia się oporności czujnika pod wpływem działania wielkości mierzonej należy zabocznikować cechowanym opornikiem czujnik kompensacyjny.

Przy zastosowaniu takiej statycznej kompensacji otrzymamy

$$\operatorname{tg} \alpha = 0 = \frac{o_2}{o_1} \left[\left(\frac{dR}{R} \right)_0 - \left(\frac{dR}{R} \right)' \right] \quad (19)$$

gdzie $\left(\frac{dR}{R} \right)'$ oznacza względną zmianę oporności kompensowanej gałęzi mostka. Ponieważ zmiany oporności czynnika czynnego są

rzędu omów, a oporności czujnika rzędu setek omów, oporność booznika kompensującego wypada duża - rzędu setek kiloomów. Dlatego oporności dodatkowe przewodów booznika i oporność przejściowa kontaktów wyłącznika booznika są do pominięcia.

Cechowanie dynamiczne przeprowadza się podobnie, sprowadzając kolejno booznikującym opornikiem kompensacyjnym odcinki prostych Y_1 i Y_2 , tworzących osylogram w kształcie trójkątów, do nałożenia się na oś poziomą X przez obrót dokoła środka. Spełnia się więc kolejno warunek:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = 0 = \frac{o_2}{o_1} \left[\left(\frac{dR}{R} \right)_0 + \left(\frac{dR}{R} \right)_1 + \left(\frac{dR}{R} \right)' \right] \quad (20)$$

oraz

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = 0 = \frac{o_2}{o_1} \left[\left(\frac{dR}{R} \right)_0 - \left(\frac{dR}{R} \right)_1 + \left(\frac{dR}{R} \right)'' \right] \quad (21)$$

Wielkości $\left(\frac{dR}{R} \right)'$ i $\left(\frac{dR}{R} \right)''$ oznaczają względne zmiany oporności kompensowanych booznikiem gałęzi mostka.

Stąd zmienna amplituda nierównowagi mostka:

$$\left(\frac{dR}{R} \right) = \frac{\left(\frac{dR}{R} \right)' - \left(\frac{dR}{R} \right)''}{2} \quad (22)$$

oraz średnia asymetria mostka:

$$\left(\frac{dR}{R} \right)_0 = - \frac{\left(\frac{dR}{R} \right)'' + \left(\frac{dR}{R} \right)'}{2} \quad (23)$$

Można więc w prosty sposób wyznaczyć metodą zerową średnią asymetrię mostka i zmienne ekstrema przebiegów dynamicznych, przy czym w tych wzorach nie występuje napięcie zasilania mostka, ani współczynniki o_1 i o_2 .

LITERATURA

- [1] Roliński Z. - Zarys elektrycznej tensometrii oporowej WNT Warszawa 1962
- [2] Sacharewicz H., Jankiewicz Z., Pietrzak A. - Podstawy mier-
nictwa elektronicznego, MON, Warszawa 1964.
- [3] Zimmermann R. - Pomiarы naprężen i drgań metodami elektrycz-
nymi PWT Warszawa 1959.
- [4] Jellonek A., Karkowski Z. - Pomiarы radiotechniczne PWT
Warszawa 1961.
- [5] Magyari B. - Badania i pomiarы oscylografem Wyd. Komunika-
cji i Łączności Warszawa 1963.
- [6] Perry C.C., Lissner H.R. - The strain gage primer Mc Graw-
Hill, Nowy Jork - Toronto - Londyn, 1955.
- [7] Partige G.R. - Principles of electronic instruments Prenti-
ce Hall, 1958.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 10.12.1968 r.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА АССИМЕТРИИ МОСТА МЕТОДОМ
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ОТРЕЗКА НА ЭКРАНЕ КОТОДНОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Р е з ю м е

Статья представляет анализ неуравновешенного моста и его рабо-
ты с сигналом несущей частоты, модулированным по амплитуде.

Приведен принцип измерения динамического диапазона ассиме-
трии моста методом вращающегося отрезка на экране катодного
осциллографа.

В окончании определен способ статической и динамической
калибровки моста.

MEASUREMENT THE DYNAMIC RANGE OF THE BRIDGE ASSYMETRIE WITH
THE METHOD OF TURNING SECTOR ON THE OSCILOSCOP SCREEN

S u m m a r y

The article contains the analysis of the unbalanced bridge with an d.c. and carrier frequency supply. The principle of measurement the dynamic range of the bridge assymetrie with the method of turning sector on the oscilloscop screen are given with the manner of static and dynamic calibration.