

UNIWERSALNY MOSTEK POMIAROWY

Pomiarów oporności elektrycznej można dokonywać na wiele sposobów. Wynikająca z definicji oporności metoda bezpośrednia, polegająca na jednoczesnym pomiarze natężenia i napięcia prądu płynącego przez opornik (rys. 1), nie jest stosowana ze względów praktycznych. Uzyskanie wyniku wymaga bowiem obliczeń, a wpływ niedoskonałości przyrządów pomiarowych na wynik pomiaru jest znaczny. Mierzenie oporności za pomocą zwykłego, baterijnego omomierza ma właściwie charakter orientacyjny, gdyż błędy są przy tym bardzo duże, a zakres możliwych do zmierzenia oporów niewielki.

Najdoskonalszym urządzeniem do pomiaru oporności jest mostek pomiarowy. Można za pomocą niego mierzyć oporności metodą porównania oporu mierzonego ze znanym, dokładnie wyskalowanym oporem zainstalowanym w mostku (rys. 2). Pomiar może odbywać się przy stałym lub zmiennym napięciu zasilającym, można więc mierzyć zarówno oporniki, jak i kondensatory lub cewki indukcyjne.

Mierząc za pomocą mostka tak dobieramy wartości Z_1 i Z_2 (czyli ustawiamy w odpowiednim miejscu styk potencjometru), aby przez wskaźnik zera W_z nie płynął prąd. Gdy to nastąpi, spełniona jest zależność $Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$. Przez zmianę oporności Z_4 zmienia się zakresy pomiarowe mostka, gdyż pomiar jest dokładny jedynie wtedy, gdy $Z_3 : Z_4$ lub $Z_1 : Z_2$ zawierają się pomiędzy (przykładowo) 0,1 i 10. Ograniczenie to wynika oczywiście z niedoskonałości wskaźnika i niemożliwości precyzyjnego ustalenia stosunku $Z_1 : Z_2$ poza podanym zakresem. Teoretyczny, idealny mostek nie naręcza podobnych ograniczeń.

Górna i dolna granica mierzonych oporności zależy od jakości i rodzaju wskaźnika zera. Dotyczy to zwłaszcza wysokich oporności; jeśli np. napięcie zasilania wynosi 15 V, a mierzony opór 5 megaohmów, to nawet przy całkowitym nie zrównoważeniu mostka prąd płynący przez miernik nie przekracza $3 \mu A$.

Tak mały prąd nie spowoduje wyraźnego wychylenia miernika, nawet jeśli będzie to czuły mikroamperomierz. O zrównoważeniu mostka nie może być w tym wypadku mowy.

Zakres pomiarowy mostka można znacznie powiększyć, dodając wskaźnik zera w postaci wzmacniacza różnicowego, wzmacniającego niezrównoważone napięcie pomiędzy gałęziami mostka. Wzmac-

niac powinien dawać bardzo duże wzmocnienie, a jednocześnie mieć bardzo wielką oporność wejściową, by swą obecnością nie zakłócał równowagi mostka. Obecnie istnieją już gotowe, scalone wzmacniacze różnicowe, noszące nazwę wzmacniaczy operacyjnych. Takimi wzmacniaczami są spotykane w sklepach elektronicznych układy MAA 501 do MAA 504. Produkowane są one w Czechosłowacji jako wersje najpopularniejszego chyba wzmacniacza operacyjnego μA 709. Różnice pomiędzy poszczególnymi typami wzmacniaczy polegają na osiąganej dokładności działania; do naszych celów wystarczy odmiana najmniej dokładna, a jednocześnie najtańsza.

Wzmocnienie układu MAA 501 wynosi 24 000, jest więc wystarczające. Niestety, oporność wejściowa jest niewielka, tylko ok. 200 kiloomów, uniemożliwia to bezpośrednie włączenie układu w obwód mostka. Trzeba więc, kosztem wzmocnienia, zwiększyć oporność wejściową wzmacniacza. Schemat odpowiednio przystosowanego wzmacniacza pokazany jest na rys. 3. Widać tam, że wzmacniacz operacyjny ma dwa wejścia, jedno ma symbol +, a drugie znak -. Pierwsze jest nazywane wejściem nieodwracającym, a drugie odwracającym.

Napięcie wyjściowe wzmacniacza można wyrazić wzorem:

$$U_{wy} = S_n \times (U_+ - U_-) = 24000 \times (U_+ - U_-)$$

Zastosowanie dzielników napięcia zmniejsza wzmocnienie układu ok. 100 razy, lecz jest ono jeszcze dostatecznie wielkie do naszych celów.

Zakres stosowalności mostka

Fabryczne mostki pomiarowe umożliwiają pomiar oporników od miliomów do megaomów z dokładnością do setnych części procentu. Pomiar za pomocą naszego mostka nie da nam tak doskonałych rezultatów, ale możemy nim mierzyć wiele oporników, kondensatorów i cewek, jest więc i tak urządzeniem bardzo przydatnym. Możliwości pomiaru oporników za pomocą mostka sięgają od ok. 10 megaomów do 0,1 oma, pojemności od ok. 500 pF i indukcyjności od 0,3 mH. Błąd teoretycznie do 0,5%, będzie w rzeczywistości znacznie większy, wskutek trudności znalezienia odpowiednio precyzyjnych oporników i być może niedokładności w cechowaniu mostka.

Układ elektroniczny mostka

Układ elektroniczny mostka został zaprojektowany w taki sposób, by kosztem dokładności uzy-

skać mostek łatwy do zbudowania i obsługi. Pełny schemat mostka przedstawia rys. 4. Poza układem mostkowym i wzmacniaczem w skład urządzenia wchodzi zasilacz i układ wskaźnikowy. Zasilacz ma typową konstrukcję i dostarcza koniecznych do zasilania wzmacniacza operacyjnego napięć +15 V i -15 V. Układ wskaźnikowy składa się z dwóch tranzystorów o bazach zasilanych przez napięcie wyjściowe wzmacniacza. Gdy napięcie to jest dodatnie, pali się jedna z żarówek, gdy ujemne - druga. Jedyne w przypadku zrównoważenia mostka obydwie żarówki pozostają ciemne.

Aby uniknąć kłopotu z doborem wzorcowych pojemności lub indukcyjności, pomiar kondensatorów i cewek odbywa się w niezbyt typowy sposób. Badany element łączymy szeregowo z opornikiem, a napięcie zmienne pobierane z opornika jest prostowane, aby uniknąć porównywania faz. Uwzględnienie przesunięcia fazy napięcia na oporniku i oporności biernej (kondensator lub cewka) wymaga ponownego wyskalowania urządzenia lub uwzględnienia odpowiednich poprawek. Opis skalowania i tabela poprawek są podane w dalszej części artykułu.

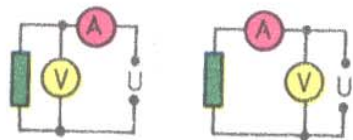
Dodatkowego wyjaśnienia wymaga także wprowadzenie do układu gniazd „zasilania zewnętrznego”. Wprowadzenie tych gniazd spowodowane jest przez to, że częstotliwość sieciowa, wynosząca zaledwie 50 Hz, nie wystarcza do pomiarów bardzo małych pojemności. Przy częstotliwości 50 Hz kondensator o pojemności 1 nF stawia opór ok. 3 megaomów, co stanowi niemal kres możliwości mostka. Zwiększenie częstotliwości zmian napięcia zasilającego mostek umożliwi rozszerzenie zakresu pomiarów. Napięcie o podwyższonej częstotliwości można doprowadzić do mostka właśnie przez gniazda zasilania zewnętrznego.

Gniazda oznaczone literą P umożliwiają porównywanie wartości dwóch elementów. Jest to istotne przy dobieraniu elementów w pary - bezpośrednie porównanie jest szybsze i dokładniejsze niż wybieranie par na podstawie wcześniejszych pomiarów.

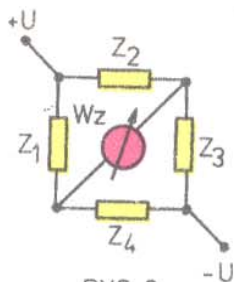
Elementy składowe mostka

Mostek pomiarowy jest urządzeniem dość prostym. Wskutek zastosowania układu scalonego, jego wykonanie nie powinno więc sprawić większych trudności. Nielatwe może jednak być zdobycie poszczególnych elementów niezbędnych do jego wykonania. Szczególnie trudno zdobyć oporniki zainstalowane bezpośrednio w gałęzi mostka - od tego trzeba więc rozpocząć pracę.

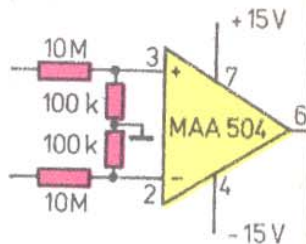
O dokładności mostka decyduje przede wszyst-



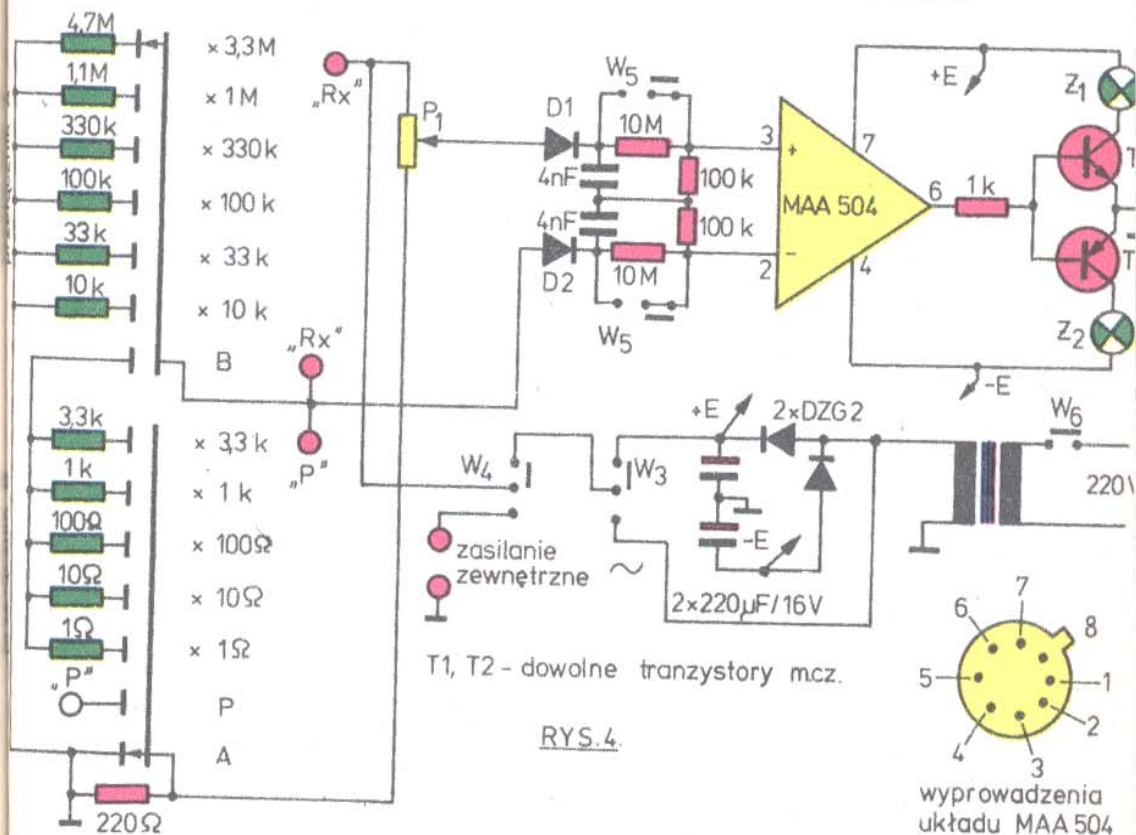
RYS. 1.



RYS. 2.

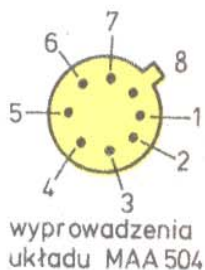


RYS. 3.



RYS. 4.

T1, T2 - dowolne tranzystory mcz.



wyprowadzenia układu MAA 504

RYS. 5.

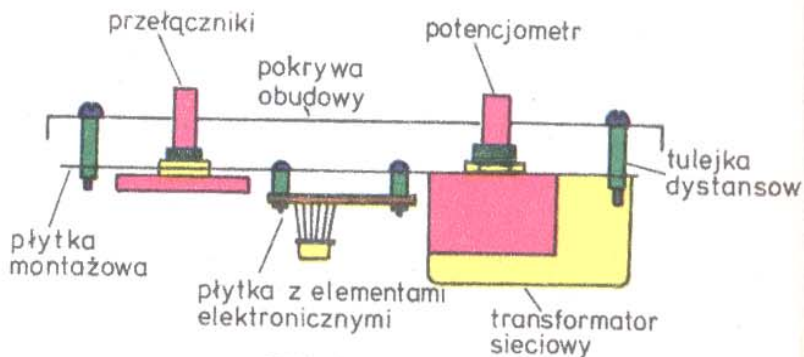
wory skali



dczyt:

$$2 + \frac{7}{10} \cdot (3-2) = 2,7$$

RYS. 7.



RYS. 6.

kim dokładność zastosowanych oporników – ich wartości nie mogą więc odbiegać od podanych na schemacie. Najodpowiedniejsze byłyby tu specjalne oporniki o dokładności 1% lub 0,5% przygotowywane specjalnie do urządzeń pomiarowych, lecz niestety, nie ma ich w sklepach z częściami elektronicznymi. Można je znaleźć w starych, zniszczonych przyrządach pomiarowych. Jeśli nie mamy takich możliwości, należy zakupić oporniki o dokładności 5%. Dokładność można zwiększyć przez połączenie kilku oporników w jeden o odpowiedniej oporności wypadkowej, lecz przy tej metodzie wewnątrz mostka upodobni się, niestety, do małej choinki ozdobionej opornikami.

Wiele uwagi wymaga także wybór potencjometru P₁. Jego zakres nie jest rzeczą najistotniejszą – powinien wynosić od 2 do 500 kiloomów. Potencjometr powinien być bardzo dobrej jakości, nowy. Najlepsze do zastosowania w mostku są duże potencjometry, przygotowane do celów profesjonalnych, można je czasami nabyć w sklepach „Bomisu”. Tylko w ostateczności należy decydować się na zastosowanie zwykłego potencjometru.

Dość istotna dla prawidłowego działania mostka jest zgodność charakterystyk diod D1 i D2. Nie stanowi to jednak większego problemu, gdyż można użyć diod dobranych fabrycznie w pary, przygotowanych do pracy w detektorze FM. Są to diody typu DOG 53 do 63, przy czym typ nie odgrywa większej roli. Ponieważ materiałem, z jakiego wykonane są diody, jest german, spadek napięcia na nich jest niewielki, a co ważniejsze – jest jednakowy (wskutek sparowania). Zakłócenie pomiaru wprowadzane przez diody jest więc niewielkie, daje to możliwość pozostawienia ich w czasie pomiarów przy prądzie stałym.

Pozostałe elementy nie wymagają już tak dokładnego opisu. Przelączniki W₁ i W₂ to siedmiopozycyjne przelączniki typu radiowęzłowego, W₃ – W₆ to przelączniki „Isostat”. Żarówki są typu telefonicznego, przeznaczone dla napięcia pracy 24 V. Transformator sieciowy może być transformatorem dzwonekowym lub transformatorem typu TS 8/3 z zasilacza ZMK-2. Wartości pozostałych elementów są podane na schemacie, a tranzystory są dowolnymi elementami krzemowymi małej mocy. Istotny jest tutaj jedynie typ przewodności, zgodny z oznaczeniami na schemacie.

Oznaczenia wyprowadzeń końcówek układu scalonego przedstawione są na rys. 5.

Wykonanie mostka

Najpierw musimy dobrać odpowiednią obudowę. Elementy składowe mostka nie zajmują zbyt

wiele miejsca, lecz obudowa powinna być duża, by pomieścić odpowiednio dużą i czytelną skalę. Może to być dowolne pudełko z nieprzewodzącego materiału. Do wymiarów pudełka trzeba dostosować płytę montażową, na której zamocujemy podstawowe elementy mostka. Sposób mocowania elementów mostka i obudowy do płyty przedstawia rys. 6. Może się przy tym okazać niezbędne dopasowanie długości osi potencjometru i przelączników. W takim razie wykonamy najpierw szfrowanie odpowiedniej osi dla pokręta, a dopiero potem skracamy oś, unieruchamiając ją w imadle chwyciwszy szczękami za niepotrzebny odcinek. Inne postępowanie może spowodować zgięcie osi lub naruszenie delikatnych połączeń wewnętrznych potencjometru.

Po zamocowaniu głównych elementów wykonamy połączenia elektryczne. Oporniki mostka instalujemy bezpośrednio na końcówkach przelączników, pozostałe elementy na płycie drukowanej. Żarówki, po przylutowaniu przewodów, przymocujemy do spodniej części pokrywy, wycinając w niej odpowiednie okienko.

W górnej ścianie obudowy zainstalujemy cztery gniazda radiowe lub zaciski radiotechniczne służące do dołączania mierzonych elementów.

Z przezroczystego paska pleksi lub polistyrenu zrobimy wskazówkę. Wiertłem o jak najmniejszej średnicy (można zastosować stare wiertło dentystyczne) wywiercimy we wskazówce otwór, a w pobliżu niego nakleimy pod wskazówką pasek papieru milimetrowego. Tak przygotowaną wskazówkę przytwierdzamy na stałe do galki potencjometru.

Po ostatecznym zmontowaniu wszystkich elementów i sprawdzeniu prawidłowości połączeń można zacząć skalowanie mostka.

Skalowanie mostka

Aby dobrze wyskalować mostek trzeba mieć zbiór dokładnych oporników lub lepiej opornicę dekadową. Łączymy ją z gniazdami mostka oznaczonymi R_x.

Na wieczku obudowy przyklejamy prowizorycznie arkusz papieru. Następnie zakładamy galki potencjometru i przelącznika A. Do otworu we wskazówce wkładamy ołówek i rysujemy na papierze łuk, na którym umieścimy symbole i znaki. Oznaczamy jednocześnie obydwie skrajne położenia wskazówki, co umożliwi późniejsze założenie jej dokładnie w ten sam sposób. Przelącznik zakresów łączymy z opornikiem 10 kiloomów, czyli ustawiamy w położeniu $\times 10$ k. Opornicą dekadową ustawiamy kolejno: 60, 50, 40, 30, 20, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4,

3, 2 kiloomy, za każdym razem równoważymy mostek i na łuku oznaczamy położenie wskazówki. Jeśli pomiędzy jakimiś znakami odległość jest zbyt wielka, dokonujemy dodatkowych, pośrednich pomiarów. Szczególnej uwagi wymagają okolice 10 kiloomów, ważne przy dobieraniu elementów w pary.

W oznaczonych miejscach wiercimy małe otwory, otrzymamy w ten sposób bardzo trwałą skalę. Zapisujemy dokładnie kolejność pomiarów i usuwamy papier. Poszczególne otworki opisujemy podając odpowiadającą wartość oporu podzieloną przez 10 kiloomów (czyli na skali znajdują się kolejno $\times 6$, $\times 5$ itd.). **UWAGA!** Odległości pomiędzy poszczególnymi otworkami skali nie powinny przekraczać połowy szerokości wskazówki. Umożliwi to wykorzystanie naklejonego pod wskazówką papieru milimetrowego do zwiększenia dokładności odczytu, zgodnie z przykładem z rys. 7.

Jeśli dysponujemy pojemnością dekadową, możemy wyskalować mostek także dla pojemności i indukcyjności. Sposób postępowania jest wtedy odwrotny niż opisany poprzednio. Ustawiamy

wskazówkę na jednym z otworków skali, a pojemność ustawiamy tak, by zrównoważyć mostek. Zakres $\times 10$ kiloomów odpowiada pojemnościom od 50 do 500 nF. Gdy nie mamy pojemności dekadowej, musimy posłużyć się gotową tabelą cechowania. Tabela taka służy do przeliczania mnożników i jednostek.

Dane zawarte w tabeli 1 można nanieść bezpośrednio na skalę lub posługując się nimi sporządzić wykres umożliwiający przeliczanie wyniku odczytanego w omach na wartość pojemności lub indukcyjności. Dane z tabeli 2 nanosimy przy przełącznikach zakresów.

Sposób wykonywania pomiarów

Ady dokonać pomiaru, łączymy element z zaciskami mostka. Gdy mierzymy kondensator lub cewkę, wciskamy klawisz oznaczony symbolem prądu zmiennego. Przełącznikiem zakresów poszukujemy zakresu, na którym można zrównoważyć mostek przez obracanie gałką potencjometru. Poniżej poszczególne zakresy częściowo się pokrywają, należy wykorzystywać raczej środkową (otaczając 1) część zakresu. Błędy pomiaru są wtedy najmniejsze. Przy pomiarach na zakresie $\times 10$ i $\times 1$ wciskamy przełącznik W_5 , by zwiększyć czułość wzmacniacza. Wynikiem pomiaru jest iloczyn wartości odczytanej ze skali i wartości oznaczonej przy przełączniku zakresów.

Dla małych indukcyjności i pojemności częstotliwość sieci jest niewystarczająca do dokładnego pomiaru. Pomiaru przy zwiększonej częstotliwości można dokonać wciskając przełącznik „zasilanie zewnętrzne” i doprowadzając do specjalnego gniazda napięcie o wyższej częstotliwości. Budowa specjalnego generatora jest jednak nieopłacalna. Korzystniejsze jest połączenie tego gniazda z wyjściem wzmacniacza mocy sterowanego przez gwizd towarzyszący obrazowi kontrolnemu TV. Jego częstotliwość wynosi 1000 Hz i pozwala na dwudziestokrotne rozszerzenie możliwości mostka.

Gdy przełącznik zakresów jest ustawiony w pozycji P możemy za pomocą mostka porównywać wartości dwóch elementów – oporników lub cewek. W tym celu obydwa elementy łączymy z zaciskami mostka, równoważymy go, a wynik odczytujemy bezpośrednio ze skali dla oporników.

UWAGA! Przy korzystaniu z jednego przełącznika zakresów, drugi musi się znajdować w pozycji neutralnej, oznaczonej nazwą pierwszego przełącznika.

Zbigniew Gawryś

Tabela 1. Przeliczanie wartości skali na wartość pojemności i indukcyjności

x (skala)	$\times C$ (pojemność)	$\times L$ (indukcyjność)
6	46	22
5	54	19
4	65	16
3	82	12
2	112	9
1,5	138	7,2
1,2	162	6,2
1,1	172	5,9
1	184	5,5
0,9	196	5,2
0,8	212	4,8
0,7	232	4,4
0,6	255	4,0
0,5	284	3,6
0,4	325	3,1
0,3	383	2,6
0,2	482	2,1

Tabela 2. Mnożniki dla pojemności i indukcyjności (przełącznik zakresów)

$\times R$	$\times C$	$\times L$
3,3 M Ω	3 pF	3,3 kH
1 M Ω	10 pF	1 kH
330 k Ω	30 pF	330 H
100 k Ω	100 pF	100 H
33 k Ω	300 pF	33 H
10 k Ω	1 nF	10 H
3,3 k Ω	3 nF	3,3 H
1 k Ω	10 nF	1 H
100 Ω	100 nF	100 mH
10 Ω	1 μ F	10 mH
1 Ω	10 μ F	1 mH