

PROSTE PRZYRZĄDY POMIAROWE (część I)

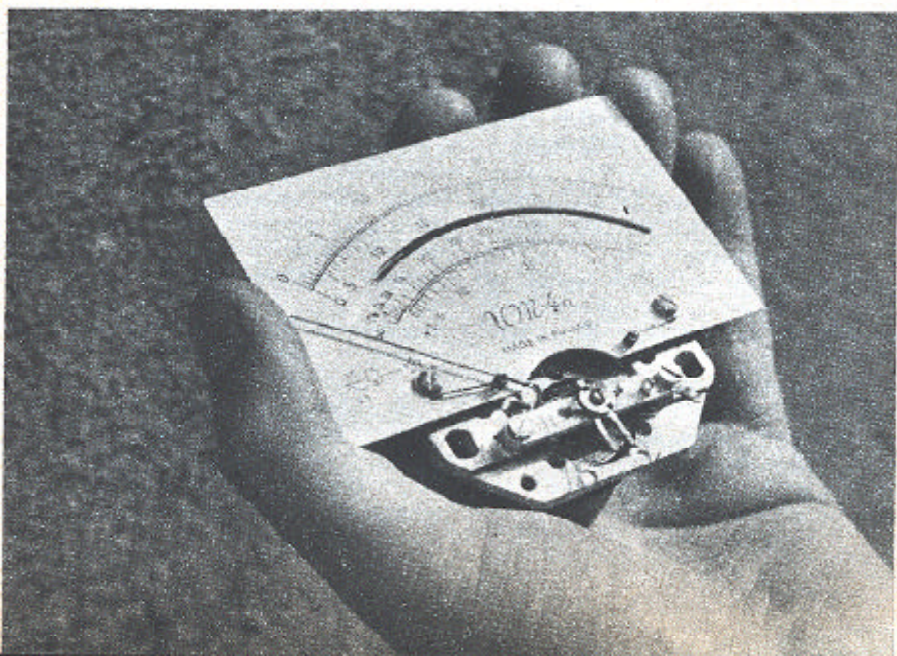
W warsztacie radioamatora oprócz narzędzi i materiałów niezbędny jest wielozakresowy, uniwersalny przyrząd umożliwiający pomiary napięcia, natężenia i oporności.

Najważniejszym elementem wielozakresowego przyrządu pomiarowego jest czuły wskaźnik o małym poborze prądu koniecznego do krańcowego wychylenia wskazówki. Wskaźnik ten z odpowiednio dobranymi równoległymi i szeregowymi opornikami może być użyty jako przyrząd pomiarowy prądu stałego, a po zaopatrzeniu go w prostownik również do pomiarów prądów i napięć zmiennych. Włączenie do układu niskonapięciowej baterii zasilającej (w wydzielony układ oporowy) pozwala używać przyrządu jako omomierza. W ten sposób zmontowany przyrząd może być użyty prawie do wszystkich pomiarów potrzebnych w praktyce radioamatorskiej.

Najpoważniejszą „inwestycją” jest sam system wskaźnikowy o możliwie dużej czułości i dokładności wskazań, co jest ściśle związane z jego ceną. Pozostałe elementy, jak: oporniki, przełącznik, potencjometr, mogą być zakupione lub wykonane częściowo we własnym zakresie, dotyczy to zwłaszcza boeczników. Resztę elementów, jak prostowniki selenowe lub germanowe i kondensatory, niestrudno nabyć.

Można przyjąć, że przy odpowiednim przygotowaniu i zaopatrzeniu w materiały wykonanie przyrządu nie będzie przedstawiało trudności.

Najodpowiedniejszym do naszych celów wskaźnikiem byłby przyrząd o oporności wewnętrznej (R_w) równej 100 omów i poborze prądu dla pełnego wychylenia wskazówki 100 mikroamperów (0,1 miliampera). Taki wskaźnik umożliwia bezpośredni pomiar napięcia stałego do 0,1 V ($0,1 \text{ mA} \times 100 \text{ omów} =$



- 0,1 V) i wykazuje relatywną oporność wewnętrzną równą $\frac{1000 \Omega}{0,1 V} = 10000$

omów/V. Najbardziej pożądanym byłby wskaźnik z prostokątną ramką obudowy, z dość długą wskazówką i odpowiednio podzieloną skalą. Wskaźnik powinien mieć również korekcję zera.

Powiększanie zakresu pomiarowego dla prądu stałego następuje przez dodawanie do oporności (Rw) wskaźnika (dającego możliwość bezpośredniego pomiaru do 0,1 V) poszczególnych oporników szeregowych (Rs) (rys. 1). W ten sposób wskaźnik będzie wykazywał tylko część napięcia (Ux) zgodnie z zależnością:

$$U_m = U_x \cdot \frac{R_w}{R_w + R_s}$$

W celu powiększenia napięciowego zakresu przyrządu (n razy) trzeba znać wielkość opornika szeregowego (Rs). Możemy obliczyć go korzystając ze wzoru:

$$R_s = R_w (n - 1)$$

W praktyce radioamatorskiej najbardziej przydatne będą zakresy: 10, 100, 500 V, dla których wartość oporników szeregowych (Rs) powinna wynosić (przy mierniku o powyższych parametrach):

- 1) Zakres do 10 V: $n = 10 : 0,1 = 100$;
 $n - 1 = 99$ wobec tego $R_s 1 = 1000$ omów $\times 99 = 99$ kiloomów.
- 2) Zakres do 100 V: $n = 100 : 0,1 = 1000$;
 $n - 1 = 999$ więc $R_s 2 = 1000$ omów $\times 999 = 999$ kiloomów
- 3) Zakres do 500 V: $n = 500 \times 0,1 = 5000$;
 $n - 1 = 4999$ to $R_s 3 = 1000 \times 4999 = 4999$ kiloomów.

Z powyższego wyliczenia wynika, że wartość opornika Rs jest sumą wartości poszczególnych oporników Rs 1, Rs 2 i Rs 3 (rys. 2).

Po odjęciu wartości oporników Rs 1 i Rs 2, których oporność wypadkowa wynosi 999 kiloomów, od wartości opornika Rs 3 — otrzymamy, że faktyczna wartość Rs 3 powinna wynosić 4000 kiloomów lub 4 megaomy.

Rs 1	99.000 omów
Rs 2	900.000 „
Rs 3	4.000.000 „

$$R_s 1 + R_s 2 + R_s 3 = 4.999.000 \text{ omów}$$

Przy tak obliczonych opornikach otrzymamy dzielnik napięcia przedstawiony schematycznie na rys. 3. Z rysunku wynika, że suma wszystkich trzech oporników Rs wynosi 4,999 megaoma, co było zgodne z przeprowadzonymi obliczeniami.

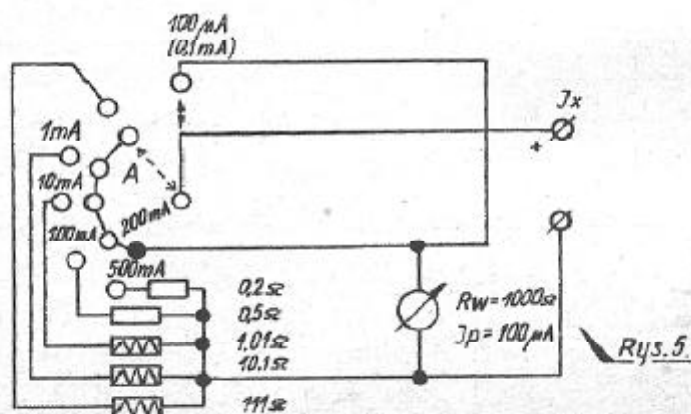
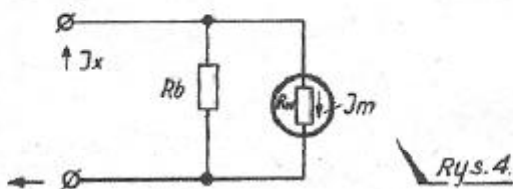
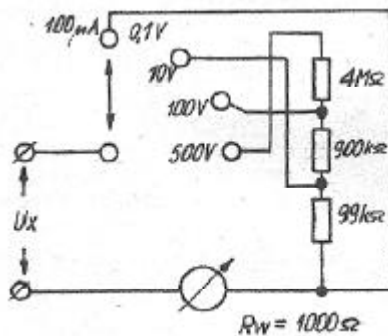
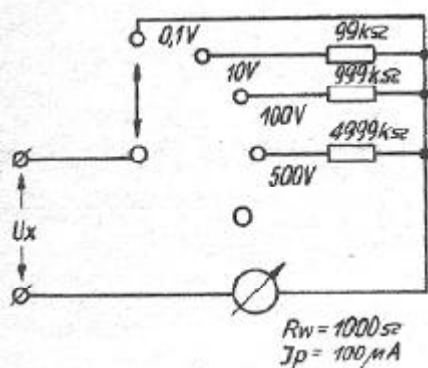
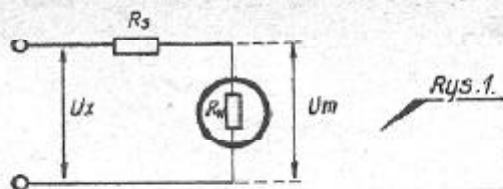
Ze względów praktycznych oporniki możemy przedstawić jako sumy poszczególnych wartości omowych i tak np. opornik Rs 1 może być sumą dwóch oporników 90+9 kiloomów, opornik Rs 3 natomiast jako suma oporników 2+2=4 megaomy.

Oporniki szeregowo można stosować jako pojedyncze, np. opornik 99 kiloomów może być wybrany z większej ilości oporników 100 kiloomów, które wykonywane są z różnym stopniem dokładności. Normalnie oporniki wykonywane są z tolerancją 5 lub 10%. Oczywiście, im większa dokładność, tym lepsze rezultaty. Zasadniczą rolę jednak grać będzie dokładność samego wskaźnika, która powinna być rzędu 1,5%. W nieco odmienny sposób można dobrać oporniki wg jakiegoś napięcia wzorcowego służącego do porównania napięcia zakresu, dla którego są dobrane oporniki szeregowo lub równoległe.

Jeśli do budowy przyrządu będzie użyty inny wskaźnik niż opisany poprzednio, wszystkie obliczenia należy przeprowadzić stosownie do jego oporności wewnętrznej (Rw).

Rozszerzanie zakresu prądowego (prądu stałego)

Rozszerzanie zakresu pomiaru prądu stałego, który dla opisanego wskaźnika wynosi od 0 do 100 mikroamperów (0,1 miliampera), odbywa się przez równoległe dołączanie do miernika oporni-



ków (Rb). Oporniki te bocznikują tym większe wartości mierzonych prądów, im większy zakres prądowy został użyty do pomiaru (rys. 4).

Prąd płynący w obwodzie dzieli się na dwie gałęzie utworzone przez oporniki R_w i R_b, odwrotnie proporcjonalne do ich wartości omowej. Wskaźnik wykazuje prąd płynący tylko w jednej gałęzi (I_m) wskaźnika, jako część sumarycznego prądu I_x, określonego wg następującej zależności:

$$I_m = I_x \frac{R_w + R_b}{R_w}$$

Aby poszerzyć zakres prądu stałego przyrządu n razy, konieczny jest opornik R_b, bocznikujący wskaźnik:

$$R_b = \frac{R_w}{n-1}$$

Najbardziej pożądane w praktyce amatorskiej zakresy prądowe to: 1 mA, 10 mA, 100 mA i 200 mA. Boczniki dla tych zakresów obliczymy, przyjmując za podstawę oporność wewnętrzzną wskaźnika (R_w=1000 omów). Wobec tego, zakres od 0 do 1 miliampera będzie wymagał bocznika:

$$n = 1 : 0,1 = 10; \quad n - 1 = 9$$

Bocznik R_{b1} = 1000 : 9 = 111 omów.

Zakres 10 miliamperów: n = 10 × 0,1 = 100; n - 1 = 99

Bocznik R_{b2} = 1000 : 99 = 10,1 oma

Zakres 100 miliamperów: n = 100 × 0,1 = 1000; n - 1 = 999

Bocznik R_{b3} = 1000 : 99 = 1,01 oma.

Zakres 200 miliamperów:

$$n = 200 \times 0,1 = 2000; \quad n - 1 = 1999$$

Bocznik R_{b4} = 1000 : 1999 = 0,5 oma.

Boczniki powinny być włączane do układu za pomocą wielopolożeniowego przełącznika.

Inna znana metoda, możliwa do zastosowania w warunkach przeciętnie zaawansowanego radioamatora, przedstawiona jest na rys. 5. Metoda ta polega na wybieraniu odpowiedniego bocznika za pomocą włożenia w gniazda podwójnego styku zwierającego. Taki sposób podłączania boczników ma niezaprze-

czalną zaletę, że wybór odpowiedniego zakresu prądowego wymaga chwili zastanowienia i utrudnia uszkodzenie przyrządu.

Takim wtykom nie należy stawiać zbyt wygórowanych wymagań, powinny one jednak być powiązane bezpośrednio z przyrządem, a ich oporność znikomo mała. Ważne jest także, aby wtyk przy wkładaniu w gniazda zwieriał najpierw miernik z bocznikiem, przed dołączeniem obwodu pomiarowego.

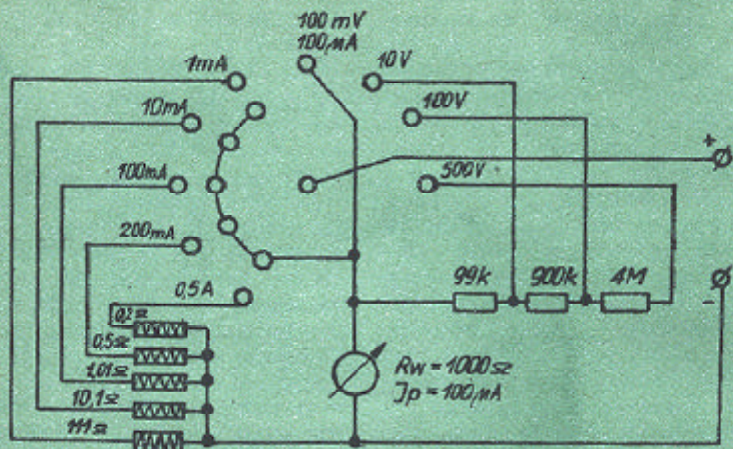
Na schemacie przedstawionym na rys. 6 pokazano układ przyrządu pomiarowego napięciowo-prądowego.

W celu dobrania oporników równoległych można posługiwać się tymi samymi wskazówkami dotyczącymi tolerancji, sposobu łączenia i znajomości przenoszonych prądów co przy opornikach szeregowych. Najbardziej przydatny podczas pracy będzie jakiś inny dokładny przyrząd pomiarowy (miliamperomierz), włączony szeregowo z naszym przyrządem, wskazujący dokładny prąd płynący w obwodzie. Oporniki bocznikujące o większej obciążalności można wykonać z drutu oporowego (np. z konstantanu).

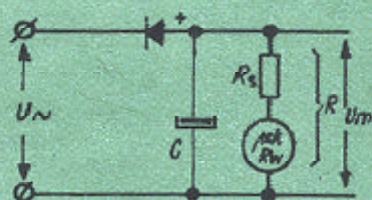
Mierniki prądu zmiennego

Istota pomiaru napięć zmiennych polega na doprowadzaniu do miernika odpowiednio wyprostowanych napięć stałych. W przyrządach uniwersalnych wykonanych fabrycznie spotyka się najczęściej małe prostowniki selenowe w układzie Graetza oraz specjalne skałe przewidziane dla napięć zmiennych.

Takie jednak rozwiązanie wymagają mniej lub więcej skomplikowanych przełączników, które w sytuacji wielu amatorów są prawie niemożliwe do wykonania i w opisywanym przyrządzie nie mogą być brane pod uwagę. W praktyce radiotechnicznej pomiar napięć zmiennych przyrządem uniwersalnym ogranicza się zasadniczo do kontrolowania na-



Rys. 6.



Rys. 7.



pięć otrzymywanych z transformatora, a więc o częstotliwości 50 Hz, oraz źródeł prądu o małej oporności wewnętrznej. Napięcia wyższych częstotliwości pochodzą na ogół ze źródeł napięcia o wysokiej oporności wewnętrznej (stopnia m.c.) i dlatego powinny być mierzone woltomierzami lampowymi.

Wprowadzenie pewnych ograniczeń do schematu pozwala na radykalne uproszczenie konstrukcji przyrządu. W tej sytuacji będzie można założyć wykorzystanie jednej skali zarówno dla napięć zmiennych, jak i stałych. Napięcia zmienne po wyprostowaniu przez prostownik jednokierunkowy powinny odpowiadać wartościom napięć stałych. Ten ostatni postulat można zrealizować przez zastosowanie kondensatorów wygładzających wyprostowane napięcie, które razem z opornikami poszczególnych zakresów tworzą człony R, C (rys. 7). Przez ustalenie odpowiedniej stałej czasu dla tych członów, np. przez dobór odpowiedniej wartości kondensatorów, można osiągnąć pokrycie górnych zakresów w skali napięć zmiennych i zakresami napięć stałych. W dolnych zakresach skali mogą występować pewne odchylenia spowodowane nieliniowym charakterem elementu prostującego, a przede wszystkim prądem zwrotnym danego prostownika. Odchylenia te można ustalić przy porównaniu z jakimś dokładnym napięciem i przyjmować poprawki dla poszczególnych zakresów, przy pomiarach wymagających większej dokładności.

Wadą opisanej metody jest stosunkowo wolne wychylanie się wskazówki przyrządu pomiarowego, spowodowane stosunkowo długim czasem ładowania kondensatora.

Praktyka wykazała, że najbardziej przydatne są dwa zakresy prądu zmiennego, a mianowicie od zera do 20 V i od 0 do 500 V. Podziałka skali powinna umożliwić prawidłowy odczyt, aby dla zakresu od 0 do 20 V (przy podziale skali na 100 działek) wypadło

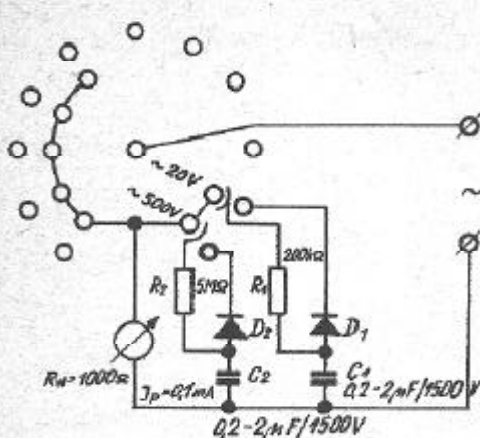
dla 1 V pięć działek, a dla zakresu od 0 do 500 V — 1 działka = 5 V. Pierwszy zakres napięciowy umożliwi np. pomiar napięć żarzenia itp., drługi zaś pomiar napięć sieci oraz napięć anodowych.

Aby uzyskać najlepsze dopasowanie przyrządu do skali napięć stałych, można zastosować dla każdego z zakresów napięć zmiennych oddzielne prostowniki i oddzielne kondensatory. Prostownik dla zakresu do 20 V może być diodą germanową (d_1), a prostownikiem dla zakresu 500 V odpowiedni zestaw płytek selenowych np. 500 V/5mA. Można do tego celu użyć dwóch płaskich prostowników selenowych typu SPS 250/30 i połączyć je szeregowo. Jest rzeczą zrozumiałą, że każdy z zakresów prądu zmiennego musi mieć swój opornik szeregowy (R_s).

Przy mierniku, którego oporność wewnętrzna wynosi 1000 omów, opornik szeregowy dla zakresu 0—20 V ma wartość około 200 kiloohmów, a dla zakresu 0—500 V około 5 megaohmów.

W przeciwieństwie do zakresów prądu stałego, wartość omowa tych oporników nie wpływa na stopień dokładności, a wyrównanie zakresu odbywa się przez ustalenie odpowiedniej stałej czasu RC, co może być osiągnięte przez dobranie odpowiedniej wartości opornika R. Takie wyrównanie powoduje, że np. przy zakresie 0—20 V prądu zmiennego średnia wartość napięcia stałego (U_m) na kondensatorze (C) zostaje ustalona na 20 V (rys. 8). Miarodajna jest tu krzywa rozładowania kondensatora w fazie nieprzewodzenia prądu przez prostownik, która tym stromiej opada, im mniejsza jest oporność (R). Niezależnie od tego należy zwrócić uwagę na wpływ prądu wstecznego płynącego przez prostownik, który jest prawie niezależny od wielkości napięcia i dlatego przy pomiarze małych napięć należy ten fakt uwzględnić.

Przy prostowniku zbliżonym do idealnego i bardzo dużej stałej czasu RC, kondensator (C) naładuje się do wielkości

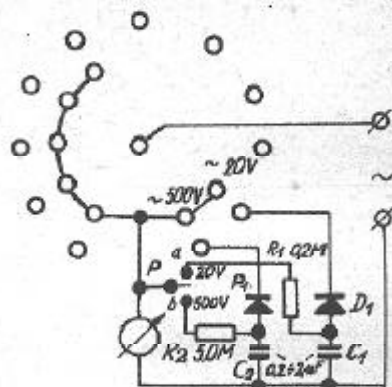


Rys. 9.

1,4 raza większej niż wartość skuteczna napięcia zmiennego (np. przy 20 V napięcia skutecznego kondensator naładowuje się do 28 V). Czas potrzebny do zatrzymania się wskazówki przyrządu określa stała czasu, która jest związana z opornością wewnętrzną źródła prądu zmiennego oraz pojemnością kondensatora.

Pojemność kondensatora C wybieramy doświadczalnie; waha się ona w granicach od 0,2 do 0,5 mikrofarada. Dla niektórych rodzajów prostowników pojemność ta może być znacznie większa i dojść np. do kilku mikrofaradów. Najwygodniej będzie dobrać z grubsza dla danego zakresu wartość kondensatora C, a wartość opornika dobrać najpierw za pomocą potencjometru. Dopiero po ustaleniu na potencjometrze wielkości R, na jego miejsce włączymy na stałe opornik o odpowiedniej wartości.

Jako punkty wyrównawcze można wybrać np. dla wartości napięcia żarzenia równej 12,6 V — 63 podziałki skali (przy zakresie 20 V) i dla napięcia



Rys. 9a

sieci 220 V — 44 podziałki (przy zakresie 500 V). Praktyczne wykonanie przełącznika zakresów, przedstawione na rys. 9 nie odbiega od poprzednio opisanego sposobu wykonania przełącznika za pomocą podwójnego wtyku. Układ przedstawiony na rys. 9 zawiera jeszcze jeden element łączenia, a mianowicie blaszki kontaktowe, które po wciśnięciu wtyku przełączającego zwiernają oporniki R1 i R2 z zaciskiem wejściowym miernika. Blaszki kontaktowe znajdują się pod gniazdkami oznaczonymi 20 V i 500 V. Inne rozwiązanie przełącznika zakresów napięć zmiennych przedstawia rys. 9a. Blaszki kontaktowe zostały zastąpione w tym układzie podwójnym wyłącznikiem W. Przy takim rozwiązaniu każdy opornik szeregowy jest przyłączony do miernika za pomocą wtyku, podczas gdy napięcie wyprostowane jest trwale związane z „zerowym” zaciskiem przyrządu.

(Ciąg dalszy w następnym numerze)

Tomasz Kamiński