

BIBLIOTEKA MONTERA I TECHNIKA ELEKTRYCZNEGO
POD REDAKCJĄ PROF. M. POŻARYSKIEGO

Tom V

TADEUSZ KULISZEWSKI
INŻYNIER-ELEKTRYK

ELEKTRYCZNE PRZYRZĄDY POMIAROWE

Krótki opis budowy, działania i zastosowania elektrycznych przyrządów pomiarowych: amperomierzy, woltomierzy, watomierzy, omomierzy, wskaźników częstotliwości, współczynnika mocy, kolejności faz, temperatury oraz układów pomiarowych do mierzenia oporności i napięcia

z 194 rys. i 1 tabl. w tekście.

Dezynfekcja

WYDAWNICTWO KSIĘGARNI J. LISOWSKIEJ

WARSZAWA

Ministerstwo Przemysłu i Handlu Biuro Techniczny Energetyki w Warszawie	Biblioteka Nr P 71
--	-----------------------

PRZEDMOWA.

W niniejszej książce podałem możliwie wyczerpujący opis budowy, działania i zastosowania elektrycznych przyrządów pomiarowych, częściej używanych, z pominięciem liczników.

Staralem się zarówno dział opisowy, jak i podane wzory, ująć w ramy dostępne dla każdego monter - elektryka, dział zaś pomiarowy potraktowałem więcej pogładowo. Jedynie sposoby pomiaru różnych oporności podałem w nieco szerszym zakresie, uważając, że monter - elektryk w swej pracy zawodowej najczęściej będzie się spotykał z tego rodzaju pomiarami.

Zbyt skromna objętość dziełka nie pozwoliła mi na wyczerpanie tematu, tym nie mniej książka niniejsza posłuży nie jednemu elektrykowi za podręcznik, przy pomocy którego uzupełni on swe wiadomości z zakresu elektrotechniki praktycznej, a w polskiej literaturze elektrotechnicznej wypełni ona chociaż częściowo istniejącą lukę.

Na tym miejscu składam serdeczne podziękowanie p. prof. Mieczysławowi Pożaryskiemu za udzielenie cennych wskazówek przy opracowaniu niniejszej książki.

Autor.

WSTĘP.

Przyrząd, przy pomocy którego mierzymy wielkości elektryczne, nazywamy elektrycznym przyrządem pomiarowym. Elektryczne przyrządy pomiarowe zwane są również miernikami elektrycznymi.

Pod określeniem „mierzyć wielkość elektryczną“ będziemy rozumieli ustalenie jej wartości liczbowej, wyrażonej w jednostkach tej wielkości, którą posiada ona w chwili obserwowania przyrządu pomiarowego.

Każdy niemal elektryczny przyrząd pomiarowy posiada wskazówkę ruchomą o rozmaitym kształcie, która w czasie pomiaru odchyła się o pewien kąt od położenia zerowego i pokazuje nam na nieruchomej skali wartość liczbową mierzonej wielkości elektrycznej. Z tego też względu elektryczne przyrządy pomiarowe nazywamy przyrządami wskazówkowymi.

Elektryczne przyrządy wskazówkowe służą zarówno do pomiarów technicznych, względnie laboratoryjnych, jak i do kontroli nad prawidłowym działaniem urządzeń elektrycznych.

Do elektrycznych przyrządów pomiarowych - wskazówkowych zaliczamy również takie przyrządy, które nie tylko wskazują wartość liczbową mierzonej wielkości elektrycznej, lecz również notują (rejestrują) te wartości na specjalnej taśmie papierowej. Taśma ta przesuwa się przy pomocy kółek zębatego mechanizmu zegarowego ze ściśle określoną szybkością, wskazówka zaś, zaopatrzona w specjalny rysik, notuje na taśmie wszystkie wartości liczbowe, jakie posiadała mierzona wielkość elektryczna w ciągu pewnego czasu. Są to tzw. przyrządy rejestrujące lub samopiszzące.

Pewnego rodzaju grupę dodatkową wśród elektrycznych przyrządów pomiarowych stanowią przyrządy pomiarowe lub nawet całe układy pomiarowe o charakterze specjalnym, jak np. omomierze krzyżowe, mostki pomiarowe itp.

Pomiary, dokonywane przy pomocy elektrycznych przyrządów pomiarowych, są mniej lub więcej dokładne i stopień dokładności ich zależy od dokładności wskazań użytego do pomiaru przyrządu. Im dokładniejszy przyrząd użyjemy do pomiaru, tym, oczywiście, będziemy mieli większą pewność, że otrzymany wynik jest więcej zbliżony do rzeczywistej wartości mierzonej wielkości elektrycznej. Stopień dokładności przyrządów pomiarowych dla każdego typu określa wytwórca tych przyrządów i dane te naogół są ściśle, tak, że można im wierzyć. Tyczy się to jedynie przyrządów nowych, nieużywanych. W miarę zużycia każdy przyrząd pomiarowy z czasem traci swój stopień dokładności wskazań i winien być ponownie wzorcowany.

Wzorcowanie przyrządu polega na porównaniu jego wskazań ze wskazaniami przyrządu wzorcowego, czyli poprzednio sprawdzonego, oraz na określeniu błędów jego wskazań.

W Polsce wzorcowaniem elektrycznych przyrządów pomiarowych i ich naprawą zajmują się specjalne firmy, koncesjonowane przez Główny Urząd Miar.

Ponieważ po większej części elektryczne przyrządy pomiarowe - wskazówkowe nie służą do bezpośredniego rachunku pieniężnego Zakładu Elektrycznego z klientem, dlatego też nie podlegają po wzorcowaniu legalizacji, tj. potwierdzeniu ich stopnia dokładności na piśmie.

Jednak zdarzają się wypadki, że legalizacja elektrycznego przyrządu pomiarowego jest konieczna, jak to ma miejsce np. przy wzorcowaniu amperomierza maksymalnego lub też przy sprawdzaniu elektrycznych przyrządów pomiarowych, przy pomocy których legalizować będziemy np. liczniki energii elektrycznej. W takich przypadkach przyrząd pomiarowy powinien posiadać świadectwo legalizacyjne, czyli tzw. świadectwo uwierzytelnienia.

W Polsce wydawaniem świadectw uwierzytelnienia na elektryczne przyrządy pomiarowe zajmuje się laboratorium Głównego Urzędu Miar oraz instytucje do tego upoważnione.

ROZDZIAŁ I.

WIADOMOŚCI OGÓLNE.

1. JEDNOSTKI WIELKOŚCI ELEKTRYCZNYCH.

Jednostką natężenia prądu elektrycznego jest amper.

Natężenie jednego ampera ma prąd stały, który w ciągu jednej sekundy wydziela 0,001118 gramów czystego srebra z roztworu azotanu srebra.

Na tej zasadzie zbudowany jest wzorzec ampera, czyli urządzenie, przy pomocy którego określamy amper wzorcowy. Urządzenie to składa się z naczynia elektrolitycznego, bardzo dokładnej wagi, chronometru (dokładnego zegara) oraz całego szeregu innych urządzeń pomocniczych. Jest to, jak widzimy, aparatura dość skomplikowana, to też określenie wartości ampera wzorcowego nie należy do pomiarów łatwych.

Jednostką napięcia prądu elektrycznego jest wolt.

Jednostką siły elektromotorycznej jest również wolt.

Nie mamy takiego urządzenia, któreby mogło bezpośrednio określić wielkość jednego wolta, czyli wolta wzorcowego. Wartość jednego wolta możemy określić, posługując się wzorcem siły elektromotorycznej, tj. normalnym ogniwnem Westona.

Wartość liczbowa siły elektromotorycznej normalnego ogniwa Westona, gdy żaden prąd przez niego nie płynie,

przy warunkach normalnych, tj. przy temperaturze 20° C. wynosi 1,0183 wolta.

Siła elektromotoryczna normalnego ogniwa Westona jest stała tylko przy stałej temperaturze otoczenia. Ze zmianą temperatury otoczenia zmienia się cokolwiek wartość liczbowa siły elektromotorycznej tego ogniwa. Tabela I podaje wartości siły elektromotorycznej normalnego ogniwa Westona, w zależności od temperatury otoczenia.

TABELA I.

Temperatura otoczenia w stopniach Celsjusza	Wartość siły elektromotorycznej w woltach
14	1,01851
16	1,01845
18	1,01838
20	1,01830
22	1,01822
24	1,01812

Jednostką oporności elektrycznej jest om.

Oporność jeden om ma słup rtęci, którego długość przy jednostajnym przekroju wynosi 106,3 cm, a masa 14,4521 gramów, w temperaturze 0° C. Przekrój takiego słupa rtęci wynosi około 1 mm².

Wzorzec rtęciowy oma składa się z rurki szklanej, z osłony z topniejącym lodem, termometrów oraz innych urządzeń pomocniczych. Z tego widać, że urządzenie takie jest również skomplikowane i dlatego często zamiast niego używa się wzorca zastępczego, nieco mniej dokładnego, a mianowicie wzorca manganinowego.

Wzorzec manganinowy oma sporządzony jest z drutu manganinowego*), który dla lepszego chłodzenia zanurzony jest w nafcie.

Om manganinowy wzorcowany jest przy pomocy oma

*) manganin — stop miedzi z manganem, patrz Rozdz. V, p. 8.

rtęciowego, a ponieważ manganin posiada bardzo mały współczynnik zmiany oporu, w zależności od temperatury otoczenia, oporność jego jest stała.

Powyższe trzy jednostki elektryczne mianowicie:

amper, wolt i om

są jednostkami zasadniczymi i zależność między nimi określa znane prawo Ohm'a:

$$\text{ampery} = \frac{\text{wolty}}{\text{omy}}$$

lub

$$\text{wolty} = \text{ampery} \times \text{omy}.$$

Jeżeli więc przez opór, wartość liczbowa oporności którego wynosi jeden om, przepuścimy prąd elektryczny o natężeniu jednego ampera, to na końcówkach tego oporu otrzymamy napięcie, czyli, jak się to często mówi, spadek napięcia, wynoszący dokładnie jeden wolt.

Jednostką mocy prądu elektrycznego jest w a t. Dla prądu stałego:

$$\text{waty} = \text{wolty} \times \text{ampery}$$

zaś dla prądu zmiennego

$$\text{waty} = \text{wolty} \times \text{ampery} \times \cos \varphi$$

Przez $\cos \varphi$ *) oznaczamy tzw. współczynnik mocy. Jest to pewna wielkość, odpowiadająca kątowi φ przesunięcia fazy pomiędzy napięciem, a prądem. Kąt φ jest zmienny, a zatem wartość współczynnika mocy jest również zmienna i jest zależna od rodzaju obciążenia.

Przy obciążeniu czysto omowym, np. przy żarówkach, wartość $\cos \varphi$ dla prądu zmiennego wynosi jedność, czyli moc prądu wówczas jest taka sama, jak dla prądu stałego.

Przy obciążeniu indukcyjnym, np. przy silnikach, lub przy obciążeniu pojemnościowym, np. przez kondensator, współczynnik mocy jest zawsze mniejszy od jedności i wartość jego wyrażamy w postaci ułamka dziesiętnego, np. 0,9, 0,8, 0,75 itp.

W ogóle przy prądzie zmiennym zawsze w pewnym

*) czytaj — kosinus fi.

stopniu występuje przy obciążeniu współczynnik mocy, który należy zmierzyć i przy obliczeniach uwzględnić.

Do wielkości elektrycznych zaliczamy również indukcyjność, pojemność i częstotliwość.

Jednostką indukcyjności jest henr.

Jednostką pojemności elektrycznej jest farad.

Częstotliwość jest to ilość okresów prądu zmiennego na sekundę, np. $16\frac{2}{3}$ okr/sek, 50 okr/sek itp.

Wielokrotności jednostek elektrycznych oznaczają:

mega — jednostka milion razy większa,

np. megom = 1000000 omów

kilo — jednostka tysiąc razy większa,

np. kilowolt = 1000 woltów.

Części ułamkowe jednostek elektrycznych oznaczają:

mili — jednostka tysiąc razy mniejsza,

np. miliamper = 0,001 ampera

mikro — jednostka milion razy mniejsza,

np. mikroamper = 0,000001 ampera czyli 1×10^{-6} ampera

mikromikro — jednostka trylion razy mniejsza,

np. mikromikrofarad = 1×10^{-12} farada.

W dalszej treści będziemy nazywali wielkości i jednostki elektryczne w skróceniu i oznaczać będziemy literami, ustalonymi przez normy międzynarodowe.

Natężenie prądu elektrycznego będziemy nazywali wprost: prądem i oznaczać będziemy literą I.

Ampery oznaczać będziemy w skróceniu literą A.

Napięcie prądu elektrycznego będziemy nazywali wprost: napięciem i oznaczać będziemy literą U.

Wolty oznaczać będziemy literą V.

Podobnie oznaczać będziemy:

oporność — R

omy — Ω

moc prądu — P

waty — W

siłę elektromotoryczną — E

współczynnik mocy — $\cos \varphi$

indukcyjność — L, henry — H

pojemność — C, farady — F

częstotliwość — f (okresy lub cykle na sek).

megom — M Ω

kilowolt — kV

miliamper — mA

mikroamper — μA

mikromikrofarad — $\mu \mu F$ itp.

2. PRZEZNACZENIE PRZYRZĄDÓW.

Przeznaczeniem elektrycznych przyrządów pomiarowych jest pomiar bezpośredni lub pośredni wielkości elektrycznych.

Odpowiednio do swego przeznaczenia każdy przyrząd elektryczny posiada odrębną nazwę.

Tak więc:

- prąd, czyli ilość amperów, mierzymy amperomierzem, drobne części ampera — miliamperomierzem lub mikroamperomierzem,
- napięcie, czyli ilość woltów, mierzymy woltomierzem, wielokrotność woltów — kilowoltomierzem,
- moc, czyli ilość watów — watomierzem (kilowatomierzem),
- współczynnik mocy — miernikiem $\cos \varphi$,
- częstotliwość — okresomierzem lub, jak często nazywają, częstościomierzem,
- indukcyjność — miernikiem indukcyjności lub mostkiem pomiarowym specjalnym,
- pojemność — miernikiem pojemności lub również specjalnym mostkiem pomiarowym.

Co się tyczy pomiaru oporności, to istnieje kilka typów przyrządów wskazujących opór:

- omomierze woltomierzowe,
- omomierze amperomierzowe,
- omomierze krzyżowe, oraz

kilka typów mostków pomiarowych, z których najważniejsze są:

- mostek pomiarowy Wheatstone'a oraz
- mostek pomiarowy podwójny Thomson'a.

Prócz tego istnieje jeszcze cały szereg przyrządów pomiarowych o charakterze i przeznaczeniu specjalnym, jak np. do pomiaru temperatury (pirometry), do pomiaru zawartości dwutlenku węgla w spalinach (CO_2) oraz całe zespoły pomiarowe do pomiarów laboratoryjnych, jak np. kompensatory itp.

Poza tym przy przyrządach pomiarowych stosowane są wszelkiego rodzaju oporniki, cewki indukcyjne, kondensatory, transformatory miernikowe itp.

3. OZNACZENIA SCHEMATOWE.

Oznaczenia schematowe, czyli symbole graficzne, są to ogólnie przyjęte i umówione znaki kreślarskie, którymi posługujemy się przy oznaczaniu na schematach pewnych szczegółów, np. wyłączników, aparatów, przyrządów itp.

Jest rzeczą niezmiernie ważną, aby tego rodzaju znak oznaczał dla każdego z nas ten sam szczegół schematu, a przy tym w sposób, nie nastroczający żadnych wątpliwości, był zrozumiany jednakowo przez wszystkich elektryków. To też, w celu ujednostajnienia tych oznaczeń, został wydany przez SEP*), z uwzględnieniem postanowień Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej (CEI), zbiór symboli graficznych, dotyczących urządzeń elektrycznych prądu silnego**).

Symboli tych jest bardzo duża ilość i dlatego też podajemy niżej tylko niektóre z nich, odgrywające w schematach pomiarowych najważniejszą rolę.

Symbole te ujęte są w tabelę II.

4. OGÓLNE ZASADY BUDOWY.

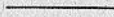






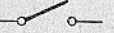
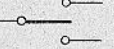
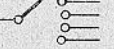
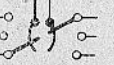
Każdy przyrząd pomiarowy wskazówkowy posiada w swym mechanizmie, tj. w swej budowie, dwa układy, stanowiące dwie oddzielne części, a mianowicie układ ruchomy oraz układ nieruchomy.

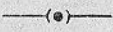







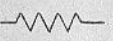
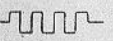

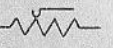
Układ ruchomy jest odpowiednio zawieszony i może się obracać — o pewien kąt — pod wpływem tych czy innych czynników — zależnie od typu i konstrukcji przyrządu.

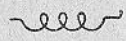
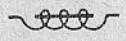


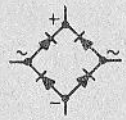



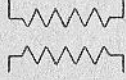



*) Stowarzyszenie Elektryków Polskich.












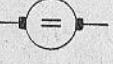
***) P N E — 2/1954.

TABELA II.

L. p.	Symbol graficzny	Znaczenie symbolu
1		Przewód elektryczny
2		Odgałężenie przewodu
3		Krzyżowanie się przewodów bez połączenia ze sobą
4		Krzyżowanie się przewodów z połączeniem metalicznym
5		Zacisk (styk) stały
6		Zacisk (styk) ruchomy
7		Zacisk (styk) przegubowy
8		Wyłącznik prądu
9		Przełącznik prądu
10		Przełącznik wielostykowy
11		Przełącznik do woltomierza

L. p.	Symbol graficzny	Znaczenie symbolu
11		Wylącznik wtyczkowy
12		Żarówka
13		Ogniwo elektryczne lub akumulator
14		Bateria ogniw elektrycznych
15		Silnik prądu stałego
16		Silnik prądu zmiennego
17		Prądnicą prądu stałego
18		Prądnicą prądu zmiennego
19		Opornik (opór), symbol ogólny
20		Opór bezindukcyjny
21		Styk ruchomy (suwak)
22		Opornik ze stykiem ruchomym

L. p.	Symbol graficzny	Znaczenie symbolu
23		Cewka indukcyjna
24		Dławik z rdzeniem żelaznym
25		Kondensator
26		Prostownik stykowy pojedynczy
27		Prostownik stykowy w układzie mostkowym Graetz'a
28		Termoogniwo, termoelement
29		Bocznik do amperomierza
30		Transformator miernikowy prądowy
31		Transformator miernikowy napięciowy
32		Uziemienie, ziemia
33		Elektryczny przyrząd pomiarowy, symbol ogólny
34		Woltomierz

L. p	Symbol graficzny	Znaczenie symbolu
35		Woltomierz elektrostatyczny
36		Amperomierz
37		Watomierz
38		Miernik $\cos \varphi$ (fazomierz)
39		Częstościomierz (okresomierz)
40		Omierz
41		Wskaźnik synchronizmu
42		Wskaźnik kierunku prądu
43		Przyrząd pomiarowy rejestrujący (samopiszący), symbol ogólny
44		Słuchawka telefoniczna
45		Drut oporowy ze stykiem ruchomym
46		Induktor prądu stałego (generator prądu jednokierunkowego)

Do układu ruchomego przymocowana jest i sztywno związana z nim wskazówka, która na nieruchomej skali, na której znajduje się odpowiednia podziałka, pokazuje wartość liczbową mierzonej wielkości elektrycznej.

Układ ruchomy musi być dokładnie zrównoważony, to znaczy, że środek jego ciężkości winien znajdować się ściśle na osi obrotu. Wówczas — jeżeli na układ ruchomy nie działają żadne inne siły — jest on w równowadze przy każdym położeniu przyrządu.

W czasie pomiaru, tj. w chwili działania przyrządu, na układ ruchomy przyrządu działają pewne siły, wywołane przez prąd elektryczny w sposób, zależny od zasady działania przyrządu. Pod wpływem tych sił powstaje tzw. moment obrotowy, który stara się obrócić o pewien kąt układ ruchomy przyrządu dookoła jego osi. Momentowi obrotowemu przeciwstawia się inny moment, zwany momentem zwracającym (albo inaczej — zatrzymującym); moment ten powstaje bądź wskutek oporu umieszczonych na osi sprężynek spiralnych lub taśmy, na której zawieszony jest układ ruchomy, bądź też z innej przyczyny.

Uogólniając wyżej powiedziane, możemy stwierdzić, że: działanie każdego elektrycznego przyrządu pomiarowego wskazówkowego sprowadza się do wytworzenia w nim dwóch momentów obrotowych, przeciwnych sobie.

Oznacza to, że oba te momenty są sobie równe w każdej chwili co do wielkości, zaś co do kierunku — są sobie przeciwne, tj. mają odwrotne znaki.

Poza siłami, wywołującymi oba powyższe momenty, powstają przy obracaniu się układu ruchomego jeszcze pewne siły tarcia np. w łożyskach, na których zawieszony jest układ ruchomy przyrządu. Sił tych jednak nie bierzemy pod uwagę, albowiem w nowoczesnych przyrządach pomiarowych siły te są nieznaczne.

Pod wpływem czynnego momentu obrotowego układ ruchomy przyrządu, jak już zaznaczyliśmy, wychyla się o pewien kąt, wskazówka zaś przyrządu wskazuje na skali pewną liczbę działek, przy czym naciągnięta sprężynka wytwarza moment zwracający. Z chwilą, gdy oba te momenty zrównoważą się, wskazówka układu ruchomego zatrzyma się. Zatrzymanie się wskazówki przyrządu nazywać będziemy chwilowym stanem równowagi.

Aby po wychyleniu się wskazówki ów stan równowagi układu ruchomego nastąpił możliwie jak najprędzej, czyli, aby wskazówka przestała się wahać, wprowadzamy do przyrządu jeszcze pewien moment dodatkowy, którego zadanie polega jedynie na stłumieniu tych wahań. Jest to tzw. moment tłumiący.

Moment tłumiący wytworzony zostaje bądź na drodze mechanicznej przy pomocy np. skrzydełka, tloczka powietrznego itp., bądź na drodze magnetycznej.

Należy podkreślić, że moment tłumiący wytwarzany jest jedynie podczas ruchu obrotowego układu ruchomego i na wskazania przyrządu absolutnie żadnego wpływu nie wywiera. Przez odpowiedni dobór urządzenia tłumiącego wahania wskazówki przyrządu, możemy osiągnąć wychylenie wskazówki tzw. aperiodyczne, czyli całkowicie pozbawione wahań.

Na wskazania większości elektrycznych przyrządów pomiarowych wywierają wpływ w większym lub mniejszym stopniu obce pola magnetyczne, względnie elektryczne, magnetyzm ziemski itp.

Poza tym przy tańszych typach przyrządów pomiarowych pewien wpływ na wskazania przyrządu wywiera również temperatura otoczenia. W dobrych jednakże przyrządach wpływ temperatury otoczenia jest nieznaczny.

ROZDZIAŁ II.

DOKŁADNOŚĆ WSKAZAŃ PRZYRZĄDÓW.

1. BŁĘDY POMIARÓW.

Każdy wynik wszelkich pomiarów nigdy nie jest zgodny z prawdą i posiada mniejszy lub większy błąd.

Będziemy rozróżniali dwa określenia błędów:

a) błąd bezwzględny, czyli różnica pomiędzy wartością rzeczywistą mierzonej wielkości elektrycznej, a wartością zmierzoną, oraz

b) błąd względny, tj. błąd w procentach w odniesieniu do wartości mierzonej wielkości.

Jeżeli np. pewien amperomierz wskazuje 49 amperów, zaś amperomierz wzorcowy, włączony z nim w szereg, pokazuje 50 amperów, to błąd bezwzględny będzie

$$50 - 49 = 1 \text{ amper.}$$

W tym wypadku błąd względny określamy w sposób następujący :

$$\frac{1}{50} \cdot 100\% = 2\%$$

czyli: poprawkę dzielimy przez wartość rzeczywistą i mnożymy przez sto, wówczas wynik otrzymamy w procentach.

Na błąd pomiaru składają się zwykle dwa rodzaje błędów: błędy systematyczne i błędy przypadkowe.

Błędy systematyczne są to błędy przyrządu, powstałe bądź to przez niedokładną skalę przyrządu, bądź też przez

inne czynniki, które stale wpływają na wskazania przyrządu.

Błędy przypadkowe są to błędy, powstałe np. przez niedokładny odczyt.

Błędy systematyczne są błędami niezmiennymi co do znaku, błędy zaś przypadkowe mogą być dodatnie lub ujemne.

Przez wielokrotny pomiar, z którego bierzemy średnią arytmetyczną wyników, możemy zmniejszyć błąd przypadkowy, lecz nigdy go nie pozbedziemy się.

Błędów systematycznych również całkowicie usunąć nie można. Niektóre błędy systematyczne można usunąć całkowicie, jeżeli się znajdzie źródło tych błędów, np. wpływ obcego pola. Inne natomiast błędy, jak np. niedokładność skali, możemy tylko zmniejszyć przez bardzo dokładne przeskalowanie przyrządu i wielokrotne przewzorcowanie.

Najdokładniejszy pomiar otrzymujemy wówczas, gdy przy równomiernej skali otrzymamy jak największe wychylenie wskazówki przyrządu, zaś przy skali nierównomiernej, gdy wskazówka znajdzie się na skali w miejscu najmniejszego zagęszczenia działek, tj. w miejscu, gdzie działki są najrzadsze i to jak najbliżej końca skali. Wtedy otrzymujemy błąd przypadkowy najmniejszy.

2. BŁĘDY PRYZRZĄDÓW.

Na błąd przyrządu składają się wszystkie błędy systematyczne przyrządu oraz najmniejszy z możliwych błąd przypadkowy. Jest to tzw. całkowity błąd przyrządu.

Wielkość sumarycznego błędu systematycznego jest różna dla rozmaitych typów przyrządów pomiarowych. Podobnie wielkość błędu przypadkowego również zmienia się w zależności od stopnia zagęszczenia kresek skali przyrządu.

W nowoczesnych przyrządach wskazówkowych błędy systematyczne są bardzo małe i na wielkość błędu sumarycznego składa się po większej części błąd przypadkowy.

Wytwórnice przyrządów pomiarowych zwykle podają w swych katalogach błędy przyrządów w procentach. Jest to całkowity błąd przyrządu przy najlepszych warunkach odczytu.

Dla przyrządów o skali równomiernej, np. dla przyrządów cewkowych (Deprez d'Arsonval'a) lub watomierzy, wytwórnice podają błąd całkowity w procentach końcowej wartości skali, bowiem przeważa tu błąd przypadkowy, który w każdym miejscu skali ma tę samą wartość (przy najdokładniejszym odczycie).

Dla innych przyrządów wytwórnice podają wielkość błędu w założeniu najlepszych warunków odczytu, tj. w miejscu skali o najwięcej rozszerzonych działkach. Jeżeli np. działki skali rozszerzone są najwięcej w końcu skali, to dla takich przyrządów wielkość błędu w procentach odnosi się również do końcowej wartości skali. W innych miejscach skali, gdzie działki są więcej zgęszczone, wielkość tego błędu oczywiście jest większa.

Dla przyrządów o bardzo nierównomiernej skali, jak to bywa u omomierzy woltomierzowych, wielkość błędu podawana jest zwykle w odniesieniu do wartości wskaźwanej przez przyrząd.

ROZDZIAŁ III.

PODZIAŁ PRZYRZĄDÓW.

1. PODZIAŁ PRZYRZĄDÓW WEDŁUG PRZEZNACZENIA.

Zasadniczy podział elektrycznych przyrządów pomiarowych według ich przeznaczenia podaliśmy poprzednio w rozdziale I, p. 2, przy podawaniu ich nazw. Tu wskażemy na podział w zależności od tego, do jakiego prądu są one przeznaczone. Tak więc odróżniać będziemy:

- a) przyrządy, przeznaczone wyłącznie do pomiaru wielkości prądu stałego,
- b) przyrządy — tylko na prąd zmienny,
- c) przyrządy, przy pomocy których możemy mierzyć wielkości prądu stałego i zmiennego, oraz
- d) przyrządy, przeznaczone do pomiaru wielkości prądu wysokiej częstotliwości.

2. PODZIAŁ PRZYRZĄDÓW WEDŁUG ZASTOSOWANIA.

Wszystkie elektryczne przyrządy pomiarowe możemy podzielić na trzy odrębne grupy, określające rodzaj ich zastosowania, tj. posługiwania się nimi.

Grupy te są następujące:

- a) przyrządy tablicowe,
- b) przyrządy przenośne oraz
- c) przyrządy laboratoryjne.

Do grupy przyrządów tablicowych zaliczamy wszystkie te przyrządy pomiarowe, które są umocowane na stałe

w pewnym określonym miejscu, np. na tablicy rozdzielczej lub na pulpicie. Prócz tego przyrządy te mogą być umieszczone również na postumentach, wykonanych z rury lub też na wysięgnikach. W niektórych urządzeniach lub aparatach, nawet przenośnych, są używane przyrządy pomiarowe tablicowe, wbudowane do danego aparatu.

Przyrządy pomiarowe tablicowe służą nam do kontroli pracy urządzeń elektrycznych i są po większej części włączone na stałe do obwodu elektrycznego, lub też są w miarę potrzeby włączane przełącznikiem. Zwykle przyrządy tablicowe umieszczane są na tablicach lub w innych miejscach w położeniu pionowym, niekiedy jednak bywają one umieszczone w położeniu, nachylnym pod pewnym kątem (zwykle 45°) do poziomu, a nawet zupełnie w położeniu poziomym.

Należy zaznaczyć, że przyrządy tablicowe są wzorcowane zawsze w położeniu pionowym i w położeniu tym winny być używane, i jeżeli zachodzi potrzeba umieszczenia przyrządu nie w położeniu pionowym, a w innym, to przyrząd powinien być przeskalowany w tym położeniu. W ogóle przy kupnie przyrządu pomiarowego tablicowego należy zawsze zaznaczyć, w jakim położeniu będzie on umieszczony.

Do grupy przyrządów przenośnych należą wszelkie przyrządy tzw. kieszonkowe, wszelkie przyrządy skrzynkowe małe i duże, używane do pomiarów kontrolnych, do-
rażnych oraz przyrządy normalne i precyzyjne — do badań i pomiarów laboratoryjnych lub warsztatowych.

Przyrządy przenośne zazwyczaj posiadają układ ruchomy, dokładnie zrównoważony, wobec czego mogą być używane w dowolnym położeniu, o ile na przyrządzie nie jest położenie wyraźnie zaznaczone.

Do ostatniej grupy, tj. do grupy przyrządów laboratoryjnych, zaliczamy przyrządy, zazwyczaj bardzo dokładne i czułe, używane w laboratoriach badawczych. Przyrządy laboratoryjne nie mogą być często przenoszone z miejsca na miejsce i zwykle są ustawiane na stałe w miejscach wolnych od wstrząsów, np. na płytach betonowych, umocowanych do ścian szczytowych domu. Przyrządy laboratoryjne ustawiane są przy pomocy poziomnicy, aby zajęły położenie ściśle określone dla danego typu przyrządu.

Przyrządy laboratoryjne przeważnie nie są używane do bezpośrednich pomiarów wielkości elektrycznych, służą je-

dynie do pomiarów przy pomocy układów mostkowych, przy zastosowaniu oporów normalnych lub precyzyjnych.

Wskazania przyrządów laboratoryjnych opierają się w tych układach zwykle na metodzie zerowej, to znaczy, że w układzie mostkowym lub kompensacyjnym zmieniamy dotąd opory, aż wychylenie przyrządu sprowadzone zostanie do zera*).

3. PODZIAŁ PRZYRZĄDÓW WEDŁUG DOKŁADNOŚCI WSKAZAŃ.

Elektryczne przyrządy pomiarowe dzielimy również na grupy, w stosunku do stopnia dokładności ich wskazań. Tak więc odróżniamy:

- a) przyrządy normalne,
- b) przyrządy kontrolne,
- c) przyrządy techniczne oraz
- d) przyrządy orientacyjne.

Do grupy przyrządów normalnych należą przyrządy pomiarowe o bardzo wielkiej dokładności wskazań, nie mniejszej, niż 0,1% końcowej wartości skali przyrządu**). Są to przyrządy, przy pomocy których wzorcujemy przyrządy mniej ściśle.

Tak dużą dokładność, jaka wymagana jest od przyrządów normalnych, posiadają jedynie przyrządy cewkowe ze stałym magnesem na prąd stały, w specjalnym precyzyjnym wykonaniu, oraz niektóre przyrządy elektrodynamiczne specjalne (np. watomierz astatyczny).

Przyrządy kontrolne są również o budowie precyzyjnej, posiadają jednak dokładność nieco mniejszą, od 0,2% do 0,6% końcowej wartości skali, i służą one do sprawdzania wskazań przyrządów technicznych i orientacyjnych.

Przyrządy techniczne posiadają dokładność, nie przekraczającą 1,5% końcowej wartości skali. Dokładność taka jest w zupełności wystarczająca, albowiem przyrządami technicznymi nie posługujemy się do pomiarów ścisłych; używamy je do doraźnych sprawdzeń i kontroli urządzeń elektrycznych w ruchu. Są to więc przyrządy przeznaczone dla ruchu, w elektrowniach, na warsztatach itp.

Przyrządy orientacyjne, są to przyrządy o bardzo małej

*) Układy podobne poznamy przy pomiarach oporności.

***) O stopniach dokładności wskazań przyrządów, patrz. Roz. II.

dokładności wskazań, jednak nie przekraczającej 3% końcowej wartości skali. Do tej grupy możemy zaliczyć wszelkie tańsze przyrządy kieszonkowe, samochodowe oraz małe tablicowe w gorszym wykonaniu.

Istnieje w klasyfikacji przyrządów, według ich stopnia dokładności, jeszcze grupa dodatkowa, obejmująca wszelkie wskaźniki, tj. takie przyrządy, przy pomocy których nie orientujemy się co do wielkości, względnie wartości liczbowej wielkości elektrycznej, lecz tylko np. co do kierunku prądu lub kierunku wirowania pola faz itp.

Do niedawna wytwornie elektrotechniczne, produkujące przyrządy pomiarowe, klasyfikowały te przyrządy według stopnia dokładności ich wskazań, opierając się na normach niemieckich elektrotechników (VDE). Normy te, poza przyrządami normalnymi, dzieliły wszystkie przyrządy pomiarowe na cztery klasy: E, F, G i H, przy czym dwie pierwsze z nich, a mianowicie E i F oznaczały tzw. przyrządy precyzyjne, pozostałe zaś dwie klasy — G i H — przyrządy przeznaczone dla ruchu.

Tabela III zawiera podział ten z uwzględnieniem stopnia dokładności wskazań w procentach. Należy przy tym nadmienić, że podane w tabelicy stopnie dokładności stanowią również procentową wartość końcowej wartości skali przyrządu, tzn., że np. gdy mamy woltomierz o zakresie skali 100 woltów i o dokładności wskazań, dajmy na to, 1,5% końcowej wartości skali, to dokładność wskazań woltomierza w każdym miejscu skali waha się w granicach $\pm 1,5$ wolta.

TABELICA III.

Rodzaj przyrządu	Przyrządy precyzyjne		Przyrządy przeznaczone dla ruchu	
	1 klasa	2 klasa	1 klasa	2 klasa
Klasa przyrządu	E	F	G	H
Dokładność wskazań w procentach końcowej wartości skali lub w najlepszych warunkach pomiaru	$\pm 0,4\%$	$\pm 0,6\%$	$\pm 1,5\%$	$\pm 3,0\%$
	dla przyrządów cewkowych dokładność ta wynosi			
	$\pm 0,2\%$	$\pm 0,3\%$		

Obecnie międzynarodowe normy określają klasę przyrządu (stopień dokładności) nie literami, lecz bezpośrednio liczbą, oznaczającą procent dokładności, np. „klasa 0,2“, „klasa 1“, „klasa 1,5“ itp.

4. PODZIAŁ PRZYRZĄDÓW WEDŁUG ZASADY BUDOWY.

Czynny moment obrotowy, powodujący wychylenie się wskazówki, prawie we wszystkich elektrycznych przyrządach pomiarowych wskazówkowych, powstaje pod wpływem działania prądu elektrycznego w sposób rozmaity i zależy od rodzaju zasady, na jakiej jest zbudowany dany przyrząd.

Zasada działania i rodzaj budowy, czyli typ przyrządów pomiarowych według zasady budowy, jest najważniejszy i dlatego też, opierając się na tym, rozpatrywać będziemy poszczególne typy przyrządów.

Tak więc będziemy odróżniali przyrządy:

- a) z ruchomym magnesem,
- b) elektromagnetyczne (z ruchomym rdzeniem żelaznym),
- c) z ruchomą cewką (typ Deprez d'Arsonval'a),
- d) elektrodynamiczne,
- e) indukcyjne (zasada Ferraris'a),
- f) cieplne,
- g) elektrostatyczne,
- h) rezonansowe,
- i) różnicowe (krzyżowe),

Prócz tego będziemy odróżniali przyrządy wskazujące, przyrządy rejestrujące oraz przyrządy wskazująco-rejestrujące.

5. OZNACZENIA NA SKALI PRZYRZĄDÓW.

Każdy na ogół przyrząd pomiarowy winien posiadać na swej skali pewne oznaczenia, czyli znaki umówione, które pozwalają nam zorientować się o typie przyrządu, jego stosowalności itp., albowiem przyrząd, użyty nie odpowiednio, może być bądź uszkodzony, bądź też wskazania jego będą mylne.

Znaki te powinny ściśle określać:

1. w jakim położeniu znajdować się winien przyrząd w czasie pomiaru,
2. na jakiej zasadzie przyrząd został zbudowany,
3. jaki jest stopień dokładności wskazań przyrządu, lub jaka jest jego „klasa“,
4. do jakiego prądu przyrząd jest przeznaczony, oraz
5. do jakiego najwyższego napięcia przyrząd może być dołączony bez obawy uszkodzenia jego izolacji.

Należy zaznaczyć, że znaki powyższe winny być umieszczane na skali w takiej kolejności, w jakiej są podane. Zwykle oznaczenia te znajdują się w prawym dolnym rogu skali.

Oznaczenia położenia w jakim przyrząd winien znajdować się w czasie pomiaru podaje Tabela IV.

TABELA IV.

Położenie poziome przyrządu	Położenie pionowe przyrządu	Położenie przyrządu pod kątem 45°
—		∠ 45°

O ile na przyrządzie nie jest oznaczone położenie jego w czasie pomiaru, oczywiście, przyrząd może być używany w każdym położeniu.

Zasada, na jakiej jest zbudowany i działa dany przyrząd pomiarowy, jest bodajże najważniejszą rzeczą dla elektryka, a więc znak, oznaczający tę zasadę, winien być w pierwszym rzędzie i zawsze umieszczany na skali przyrządu. Wprawny i doświadczony monter - elektryk, gdy spojrzy na znak, określający zasadę budowy, z góry już wie gdzie, jak i w jakich okolicznościach dany przyrząd może być użyć. Znaki te, określające (w umówionym skrócie lub symbolu) najczęściej używane w praktyce typy przyrządów, podaje Tabela V.

Na trzecim miejscu na skali przyrządu powinien znajdować się znak, określający, do jakiego prądu przyrząd jest przeznaczony. Jeżeli przyrząd przeznaczony jest do dwóch lub więcej rodzajów prądu — posiada więcej znaków. Znaki te podajemy w Tabeli VI.

TABELA V.



















L. p.	Oznaczenie (znak) na skali przyrządu	Zasada, na jakiej został zbudowany przyrząd
1		elektromagnetyczny (z ruchomym rdzeniem żelaznym)
2		z ruchomą cewką (typ Deprez d'Arsonval'a)
3		elektrodynamiczny (bez żelaza)
4		elektrodynamiczny z żelaznym rdzeniem
5		elektrodynamiczny z osłoną żelazną (bez żelaza)
6		elektrodynamiczny z żelaznym rdzeniem i osłoną żelazną
7		indukcyjny (zasada Ferraris'a)
8		cieplny
9		elektrostatyczny
10		rezonansowy
11		różnicowy (krzyżowy) ze stałym magnesem
12		różnicowy-elektrodynamiczny

TABELA VI.

L. p.	Oznaczenie (znak) na skali przyrządu	Rodzaj prądu
1		prąd stały lub jednokierunkowy
2		prąd zmienny jednofazowy
3		prąd stały i zmienny
4		prąd zmienny dwufazowy
5		prąd trójfazowy z równomiernym obciążeniem faz
6		prąd trójfazowy z nierównomiernym obciążeniem faz

Nad znakiem, określającym rodzaj prądu, znajduje się zwykle litera, oznaczająca klasę przyrządu (według VDE) lub liczba (ostatnio), oznaczająca stopień dokładności przyrządu w procentach.

Najwyższe napięcie, na jakie dany przyrząd może być załączony, oznacza się na skali (w dowolnym lecz widocznym miejscu) przy pomocy małej, trójmilimetrowej

*) Dla oznaczenia prądu stałego na przyrządach został dotychczas jeszcze zachowany znak „=”, jakkolwiek komisje międzynarodowe oraz PNE zalecają stosowanie do oznaczenia prądu stałego znaku „—”; ta niezgodność z zaleceniami komisji tłumaczy się tym, że w przypadku dostosowania się do powyższych uchwał, nie można byłoby odróżnić znaku „—”, oznaczającego prąd stały, od tegoż znaku, określającego poziome położenie przyrządu, przy którym był on wzorcowany (—).

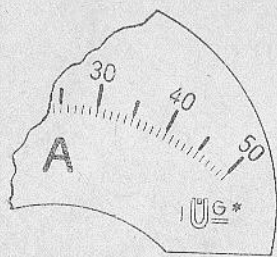
gwiazdeczki sześcioramiennej odpowiedniego koloru, a mianowicie:

gwiazdka czarna oznacza, że przyrządem można się posługiwać w urządzeniu elektrycznym o napięciu, nieprzekraczającym 40 V,
gwiazdka brunatna — na napięciu do 100 V,
gwiazdka czerwona — na napięciu do 650 V oraz
gwiazdka niebieska — na napięciu do 900 V.

Dla zobrazowania całości, tj. jak powyższe oznaczenia wyglądają na skali przyrządu, podajemy na rys. 1 oznaczenia na skali pewnego przyrządu wskazówkowego. Oznaczenia te należy rozumieć, jak następuje:

amperomierz (A) do 50-ciu amperów, używany normalnie w położeniu pionowym, zbudowany na zasadzie

Deprez d'Arsonval'a (z ruchomą cewką), tablicowy (kształt skali), klasy pierwszej przyrządów przeznaczonych dla ruchu, o dokładności wskazań wynoszącej mniej więcej $\pm 1,5\%$ końcowej wartości skali, przeznaczony wyłącznie dla pomiaru prądu stałego, w wykonaniu, dopuszczającym najwyżej do 40 woltów napięcia.



Rys. 1

Widok skali przyrządu pomiarowego.

Po przeliczeniu procentowej dokładności tego przyrządu przekonamy się, że błąd bezwzględny, przy dowolnym odczycie na skali,

$$\text{wyniesie } \pm 0,75 \text{ ampera, ponieważ } 50 \text{ amperów} \times \frac{1,5}{100} = 0,75 \text{ ampera.}$$

Wobec tego, że jedna działka skali ma liczbową wartość równą 1 amperowi, po przeliczeniu przekonamy się, że dokładność tego przyrządu wynosi $\pm 3/4$ działki.

Bywa często, że niektóre wytwórnie elektrycznych przyrządów pomiarowych nie umieszczają żadnych znaków na skali swych przyrządów, tak, że utrudnione jest określenie typu przyrządu. Wówczas należy orientować się według wyglądu zewnętrznego układu ruchomego przyrządu oraz rozmieszczenia działek na skali.

ROZDZIAŁ IV.

ZASTOSOWANIE PRZYRZĄDÓW.

1. OBCHODZENIE SIĘ Z PRZYRZĄDAMI.

Elektryczny przyrząd pomiarowy winien być używany jedynie według warunków ściśle dla niego określonych. Należy więc uważać, aby przyrząd był włączony w obwód właściwego rodzaju prądu, aby znajdował się w położeniu przepisany dla niego, gdyż od tego w dużej mierze zależy stopień dokładności jego wskazań oraz aby nigdy nie był przeciążany. Przeciążenie przyrządu, tzn. użycie go na napięciu lub prąd wyższy od przepisanego, grozi częstokroć mniejszymi lub większymi komplikacjami, aż do spalenia przyrządu włącznie.

Należy uważać również na wysokość używanego napięcia w stosunku do napięcia przepisanego dla izolacji obudowy danego przyrządu, bowiem przy wyższym napięciu może nastąpić przebicie izolacji, a tym samym uszkodzenie przyrządu.

Pracując przy wysokim napięciu, musimy uważać, aby metalowe obudowy przyrządów były starannie uziemione.

Przy pracy z przyrządami pomiarowymi odchodzić się należy nader ostrożnie, mając na uwadze, że każde silniejsze uderzenie lub większy wstrząs może uszkodzić przyrząd częściowo, lub nawet całkowicie.

Specjalną uwagę należy zwrócić na obchodzenie się z przyrządami normalnymi, kontrolnymi i laboratoryjnymi, bowiem przyrządy te są kosztowne i cena ich niekiedy przekracza kilka tysięcy złotych. Takie przyrządy są o budowie przeważnie precyzyjnej i delikatnej, to też wymagają

umiejętnego obchodzenia się z nimi i troskliwej opieki. Nie wszyscy jednak elektrycy stosują się do tego, powodując często mniejsze lub większe uszkodzenia przyrządu, narazie nie dające się poczęści zauważyć.

Zdarza się często, że lekko uszkodzony przyrząd pomiarowy używany jest nadal, a w celu jakoby uzyskania dokładniejszych wskazań, jest silnie opukiwany ze wszystkich stron, lub — co gorsze — mocno potrząsany, a niejednokrotnie nawet uderzany o stół.

Tego rodzaju obchodzenie się z przyrządami pomiarowymi jest w wysokim stopniu karygodne, przyrząd bowiem pomiarowy przez takie postępowanie napewno nie polepszy swych wskazań — ulegnie natomiast z pewnością dalszym uszkodzeniom.

Karygodnym jest również otwieranie przyrządów, jakoby w celu jego naprawy, dotykanie mechanizmu ruchomego, manipulowanie przy nim bez dostatecznej znajomości rzeczy, a także oddawanie ich do naprawy w niepowołane ręce.

Drobne uszkodzenie przyrządu łatwo i niedrogo usunąć może specjalista; mechanik natomiast, nawet bardzo zdolny i biegły w zakresie robót precyzyjnych, lecz nie obeznany dokładnie z zasadą działania przyrządu pomiarowego i jego budową, łatwo doprowadzić może przyrząd do takiego stanu, że ponowna jego naprawa stanie się albo wręcz niemożliwa, albo też koszt jej wzrośnie kilkakrotnie. Dlatego też należy polecać naprawę przyrządów pomiarowych tylko firmom odpowiedzialnym i posiadającym do tego celu upoważnienie, czyli koncesję Głównego Urzędu Miar.

W ogóle każdy przyrząd, po jego wykonaniu w wytwórni, jest zaplombowany, i wytwórnie te dają gwarancję (przeważnie roczną) na sprawne jego działanie, jednak z warunkiem nienaruszenia plomb, o ile przyrząd nie został uszkodzony z winy nieumiejętnego lub niewłaściwego z nim obchodzenia się.

Po naprawie przez firmy koncesjonowane przyrząd winien być również zaplombowany.

Przed włączeniem do obwodu elektrycznego winny być dokładnie sprawdzone połączenia z przyrządem pomiarowym, dla uniknięcia ewentualnych pomyłek, które dla przyrządu czasami są bardzo groźne.

Po użyciu przyrząd przenośny winien zawsze znajdować się w szczelnej szafie, w skórzanym futerale lub w in-

nym miejscu, zabezpieczonym od kurzu. Tyczy się ta uwaga szczególnie do przyrządów o nieszczelnej obudowie, do której łatwo może dostać się kurz.

Przyrządy laboratoryjne po użyciu winny być zakryte i ochronione od kurzu, bez przesuwania tych przyrządów z miejsca, na którym są umieszczone. Możemy tego dokonać przy pomocy specjalnie ku temu przygotowanych pokrywek tekturowych, oklejonych dla estetycznego wyglądu czarnym, matowym papierem.

Co się tyczy przyrządów normalnych oraz kontrolnych, aczkolwiek są one przyrządami typu przenośnego, to nie należy ich często przenosić z miejsca na miejsce, a wynaleźć w obrębie laboratorium dla każdego z nich miejsca stałe, dogodne dla pomiarów i obchodzić się z tymi przyrządami tak, jak z przyrządami laboratoryjnymi.

Im droższy jest przyrząd, tym delikatniejszą posiada budowę, a zatem więcej uwagi należy zwracać na obchodzenie się z nim, aby go nie uszkodzić.

2. SPRAWDZANIE DOBROCI PRYZRĄDU.

Sprawdzanie dobroci przyrządu nowego, jeszcze nie używanego, nie nastęrcza wiele trudności.

Jeżeli przyrząd wykonany jest przez wytwórnię poważną, zasługującą na zaufanie, to taki przyrząd może nie być sprawdzany w ogóle, chyba, że wymagana jest jego legalizacja.

Jeżeli zaś nie mamy zaufania do wytwórcy, lub jeżeli jest podejrzenie, że przyrząd mógł być uszkodzony w czasie transportu, to musimy, chociażby pobieżnie, sprawdzić dobroć tego przyrządu.

Sprawdzenie dobroci przyrządu polega na:

1. oględzinach zewnętrznych,
2. sprawdzeniu równowagi układu ruchomego,
3. ustaleniu, czy nie zacina się wskazówka,
4. badaniu stanu łożysk i czopów,
5. badaniu temperatury oporów dodatkowych, oraz
6. ustaleniu stopnia dokładności wskazań, wymaganego dla danego typu przyrządu.

Poddając przyrząd pomiarowy oględzinom zewnętrznym, sprawdzamy przede wszystkim jego obudowę, czy

odpowiada ona wymaganiom, określonym dla warunków, w jakich przyrząd będzie pracował, to znaczy: wymiary obudowy, wykonanie, szczelność, rodzaj zacisków itp. oraz sprawdzamy, czy plomby nie zostały naruszone. Poza tym oglądamy, jak wykonana została skala przyrządu i czy działki skali naniesione są prawidłowo i czy kreski są jednakowej grubości. Dobroć skali, oczywiście określamy na oko, sprawdzając jedynie, czy kierunki wszystkich kresek skali przecinają się w jednym punkcie i to w środku obrotu układu ruchomego przyrządu.

Prócz tego, jeżeli przyrząd posiada śrubkę, ustawiającą położenie zerowe wskazówki, czyli tzw. zerownik, sprawdzamy działanie tej śrubki. Działanie śrubki zerowej jest prawidłowe wówczas, gdy przy jej pokręcaniu wskazówka przyrządu odchyła się w obie strony od położenia zerowego o kąty prawie jednakowe.

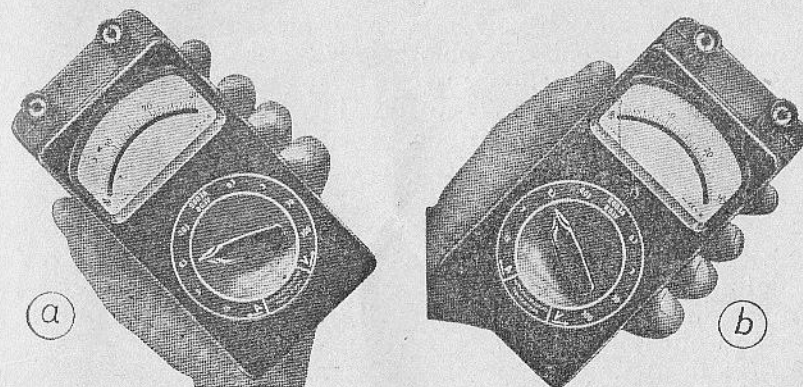
Równowagę układu ruchomego sprawdzamy w sposób następujący:

- a) ustawiamy, czy też umieszczamy przyrząd w ten sposób, aby oś obrotu układu ruchomego była prostopadła do poziomemu, tzn. żeby oś ta była zupełnie pionowa,
- b) w tym położeniu przyrządu ustawiamy (przy pomocy zerownika) wskazówkę na zero, a następnie
- c) umieszczamy przyrząd w ten sposób (trzymamy go w rękach), aby oś obrotu układu ruchomego znajdowała się w położeniu poziomym, sam zaś przyrząd kolejno przyjął położenia a i b pokazane na rys. 2.

Jeżeli w położeniach a i b przyrządu (rys. 2) wskazówka nie odchyli się od położenia zerowego, to znaczy, że układ ruchomy przyrządu jest dokładnie zrównoważony. Jeżeli natomiast, chociażby w jednym z tych położeniach przyrządu, wskazówka odchyli się od położenia zerowego, świadczy to, że układ ruchomy zrównoważony jest niedokładnie, a zatem wskazania jego będą nie ścisłe.

W przyrządach przenośnych i laboratoryjnych układ ruchomy winien być zrównoważony możliwie jak najdokładniej, natomiast w przyrządach tablicowych dopuszczalne są niezbyt duże odchylenia wskazówki od położenia zerowego, w wypadku umieszczenia przyrządu jak na rys. 2. Wielkość tych odchylen jednak nie powinna przekraczać setnej części całej skali przyrządu.

Jest rzeczą zrozumiałą, że powyższy sposób badania równowagi układu ruchomego przyrządu może mieć miejsce wyłącznie wówczas, jeżeli układ ruchomy obraca się na dwóch łożyskach. W wypadku zaś zawieszenia układu ruchomego na jednym łożysku lub na nitce, sposób ten się nie nadaje.



Rys. 2

Położenia a i b przyrządu w czasie sprawdzania równowagi układu ruchomego.

Zacinanie się wskazówki przyrządu możemy ustalić przy jego wzorcowaniu*); podczas oględzin zewnętrznych ustalić możemy jednak, czy wskazówka nie zacina się w pobliżu położenia zerowego. W tym celu ustawiamy przyrząd poziomo i po ustawieniu wskazówki dokładnie na zero, obracamy przyrząd lekko o pewien kąt. Wówczas wskazówka porusza się, i jeżeli powraca do położenia zerowego po kilkakrotnym powtórzeniu tego sposobu, to zacina się wskazówka w pobliżu zera nie ma, w przeciwnym razie zacina się wskazówka ma miejsce — przyrząd do pomiarów się nie nadaje i wymaga reperacji.

W podobny sposób badamy stan łożysk i czopów przyrządu, z tą tylko różnicą, że po ustawieniu dokładnym wskazówki na zero, zamiast obracania przyrządu o pewien kąt,

*) patrz Rozdział XVII.

bardzo lekko pukamy palcem w obudowę przyrządu. Po kilkukrotnym puknięciu wskazówka nie powinna przesunąć się od swego położenia zerowego, a stale w tym położeniu pozostawać. Ten sposób badania łożysk i czopów jest często stosowany w czasie wzorcowania przyrządu; należy tu jednak zaznaczyć, że częste opukiwanie przyrządu nie jest wskazane, ze względu na możliwość uszkodzenia delikatnego mechanizmu.

Jeżeli w sposób powyższy zostanie stwierdzone, że wskazówka zmienia swe położenie w czasie lekkiego opukiwania, przyrząd nie może być używany nadal i winien być odesłany do naprawy. Tego rodzaju wady przyrządu zdarzają się dość często i świadczą o zużyciu się łożysk i czopów lub o wadliwej konstrukcji zawieszenia układu ruchomego, wskutek czego powstają zbyt duże siły tarcia.

Temperaturę oporów dodatkowych, np. przy woltomierzach, badamy bądź termometrem, bądź też wprost przez dotknięcie ręką, po 10-minutowym załączeniu przyrządu do obwodu odpowiedniego prądu, tak, aby wskazówka przyrządu odchyliła się do swego końcowego położenia. Temperatura oporów nie powinna przekraczać 50°C , zaś przy dotknięciu ręką opór nie powinien parzyć. W lepszych i droższych przyrządach dążymy do tego, aby nagrzewanie się oporów było jak najmniejsze, gdyż temperatura oporów wpływa na zmianę ich oporności, a tym samym na wskazania przyrządu*).

Badamy wreszcie stopień dokładności wskazań przyrządu przez wzorcowanie, tj. porównanie jego wskazań ze wskazaniami przyrządu normalnego lub kontrolnego**) przynajmniej w trzech różnych punktach skali.

3. POMIAR NAPIĘCIA I PRĄDU.

a) Pomiar napięcia.

Napięcie źródła prądu, napięcie sieci lub spadki napięcia na odbiornikach i na oporach mierzymy przy pomocy woltomierza.

Woltomierze bywają jedno lub wielozakresowe. Woltomierze jednozakresowe posiadają dwa zaciski, woltomierze zaś wielozakresowe posiadają jeden zacisk wspólny oraz

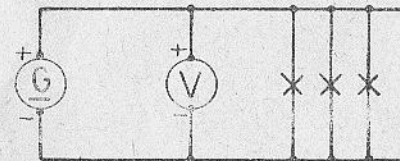
*) patrz Rozdział XIV, p. 7, str. 171.

**) patrz Rozdział XVII.

dodatkowo tyle zacisków, ile zakresów pomiarowych ma przyrząd.

Woltomierze, przeznaczone do pomiaru napięcia prądu stałego, mają oznaczenia na zaciskach plus (+) i minus (-), przy tym przy woltomierzach wielozakresowych zwykle zacisk wspólny bywa oznaczony znakiem plus (+). W woltomierzach, przeznaczonych do pomiaru prądu zmiennego, zwykle jeden zacisk oznaczony jest znakiem zero (0), drugi zaś znakiem \sim ; w woltomierzach wielozakresowych zacisk wspólny oznaczony bywa zawsze znakiem zero (0).

Na rys. 3 pokazany jest sposób włączenia woltomierza do obwodu prądu stałego. Widzimy, że zacisk woltomierza oznaczony znakiem plus (+) winien być dołączony do dodatniego bieguna sieci, tj. do plusa, zacisk minus (-) — do ujemnego. Odwrotne włączenie woltomierza może spowodować jego uszkodzenie.



Rys. 3

Włączenie woltomierza do obwodu prądu stałego.

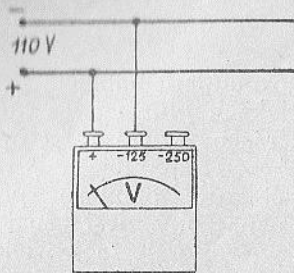
Nie należy nigdy używać woltomierza o mniejszym zakresie wskazań od przypuszczalnego napięcia sieci, lecz o zakresie nieco większym, tj. np. do pomiaru napięcia sieci, wynoszącego 220 V, użyć należy woltomierza o zakresie do 250 V lub więcej, nigdy zaś mniej niż 220 V. Najdokładniejsze wskazania przyrządu będą wówczas, gdy wskazówka przy pomiarze odchyliła się do około $3/4$ długości skali, lub więcej*).

Na rys. 4 pokazany jest sposób włączenia woltomierza dwuzakresowego na napięcie niższe, zaś na rys. 5 — na napięcie wyższe.

Przy pomiarach napięcia prądu zmiennego nie gra roli sposób włączania woltomierza jednozakresowego do obwodu, tj. zaciski woltomierza mogą być załączone dowolnie, zaleca się jednak zacisk 0 łączyć z przewodem uziemionym.

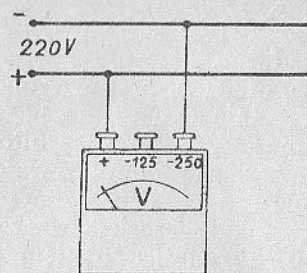
Woltomierze wielozakresowe dla prądu zmiennego należy włączać do obwodu tak, jak pokazują rys. 6 i 7.

*) patrz szczegóły w Rozdz. II.



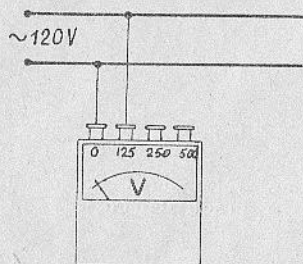
Rys. 4

Włączenie woltomierza dwuzakresowego do napięcia 110 V prądu stałego.



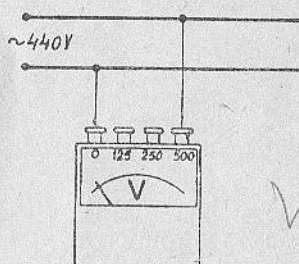
Rys. 5

Włączenie woltomierza dwuzakresowego do napięcia 220 V prądu stałego



Rys. 6

Włączenie woltomierza trójzakresowego do napięcia 120 V prądu zmiennego

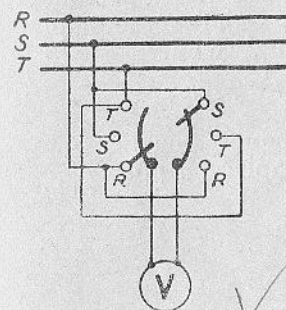


Rys. 7

Włączenie woltomierza trójzakresowego do napięcia 440 V prądu zmiennego

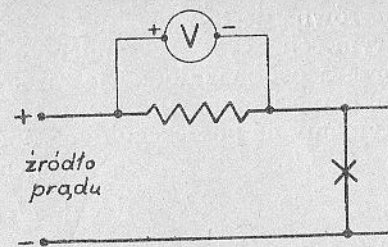
Woltomierze tablicowe włącza się zwykle do obwodu na stałe, umieszczając je na tablicy rozdzielczej. Zdarza się jednak często, że przy pomocy jednego woltomierza tablicowego są mierzone napięcia fazowe lub międzyprzewodowe kolejno we wszystkich trzech fazach prądu trójfazowego. Wówczas woltomierz posiada przełącznik, przy pomocy którego włączamy odpowiednie napięcie. Przełącznik woltomierzowy bywa typu pokrętnego lub też wtyczkowego. Na rys. 8 pokazane jest włączanie woltomierza do obwodów prądu trójfazowego przy pomocy przełącznika dwubiegunowego, trójobwodowego, typu pokrętnego.

Przy pomocy woltomierza możemy również mierzyć spadki napięć na oporach lub odbiornikach. Woltomierz



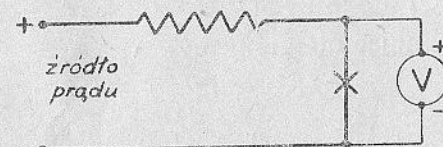
Rys. 8

Włączenie woltomierza do obwodów prądu trójfazowego przy pomocy przełącznika pokrętnego.



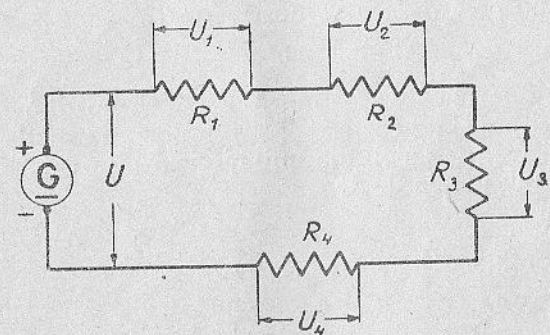
Rys. 9

Pomiar spadku napięcia na oporze.



Rys. 10

Pomiar spadku napięcia na żarówce, włączonej w szereg z oporem.



Rys. 11

Obwód prądu z oporami, połączonymi w szereg.

w takich wypadkach włącza się tak, jak to jest pokazane na rys. 9 lub na rys. 10.

Mając obwód prądu, w który włączono kilka oporów w szereg: R_1 , R_2 , R_3 i R_4 (rys. 11), możemy łatwo przekonać się, że suma spadków napięć na poszczególnych opo-

rach równa jest napięciu na zaciskach generatora G . W tym celu wystarczy zmierzyć spadki napięć na każdym oporze z osobna, dodać je razem i porównać z pomierzonym napięciem na generatorze. Jeżeli w wyniku pomiaru otrzymamy na poszczególnych oporach, dajmy na to, napięcia: U_1 , U_2 , U_3 i U_4 , zaś na generatorze napięcie U , to

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 = U$$

W szczególnym wypadku niech napięcie na generatorze wynosi $U = 120\text{ V}$, zaś spadki napięć na poszczególnych oporach:

$U_1 = 12\text{ V}$, $U_2 = 40\text{ V}$, $U_3 = 48\text{ V}$ oraz $U_4 = 14\text{ V}$; sumując otrzymujemy:

$$12\text{ V} + 40\text{ V} + 48\text{ V} + 14\text{ V} = 114\text{ V}$$

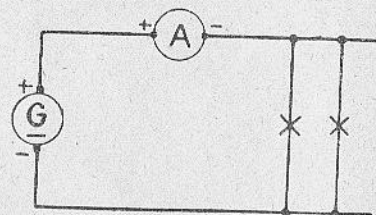
Jeżeli pomiar przeprowadzony został dokładnie i jeżeli suma poszczególnych spadków napięć na oporach jest mniejsza od napięcia generatora, świadczy to, że nie uwzględniliśmy spadków napięć na przewodach, łączących opory z generatorem i między sobą, bowiem przewody również posiadają pewną oporność. W naszym wypadku spadek napięcia na przewodach wynosi:

$$120\text{ V} - 114\text{ V} = 6\text{ V}$$

Należy zaznaczyć, że przy pomiarach spadków napięć na oporach musimy zastosować woltomierz o bardzo dużej oporności wewnętrznej, dla uniknięcia wpływu tej oporności na wynik pomiaru.

b) Pomiar prądu.

Prąd w obwodzie elektrycznym mierzymy przy pomocy amperomierza, włączonego w tym obwodzie — w szereg z odbiornikami prądu (rys. 12).



Rys. 12

Pomiar prądu stałego.

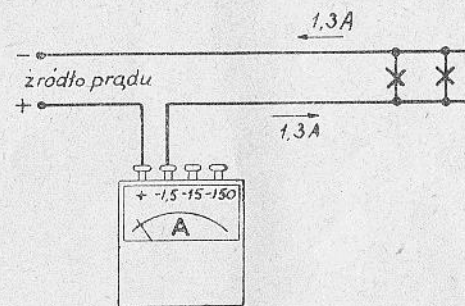
Przy włączaniu amperomierza do obwodu prądu stałego należy przestrzegać podobnych prawideł, jak to miało miejsce przy włączaniu woltomierza, tzn. plus amperomierza do

plusa generatora, minus zaś amperomierza, po przed odbiornik, do minusa generatora. Przy prądzie zmiennym objętne jest, który zacisk amperomierza dołączamy do biegu na prądnicę, byleby amperomierz był włączony w szereg z odbiornikami prądu.

Amperomierze posiadają na swych zaciskach podobne znaki, jak woltomierze, zarówno jednozakresowe, jak i wielozakresowe, przy tym zacisk wspólny przy prądzie stałym oznaczony jest również znakiem plus (+), przy prądzie zmiennym zaś zerem (0).

Amperomierze tablicowe zwykle bywają włączane do obwodu na stałe, bez stosowania jakichkolwiek przełączników, jedynie amperomierze przenośne niekiedy posiadają przełącznik na kilka zakresów wskazań.

W czasie pomiaru do obwodu elektrycznego winien być włączony ten zakres amperomierza, przy którym jest pewność, że prąd w amperomierzu nie przekroczy końcowej wartości skali. Na rys. 13 pokazany jest sposób włą-



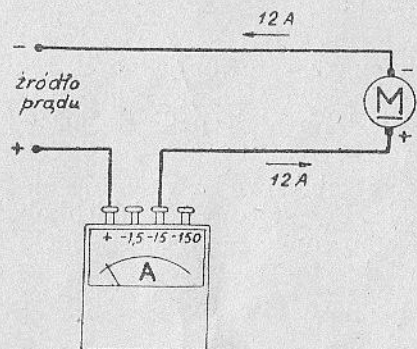
Rys. 13

Włączenie amperomierza trójzakresowego do obwodu, w którym płynie $1,3\text{ A}$.

czenia amperomierza trójzakresowego do obwodu, w którym płynie prąd około $1,3$ ampera (2 żarówki), zaś na rys. 14 — włączenie tegoż amperomierza przy prądzie około 12 amperów (silnik).

Jeśli nie mamy pewności, chociaż w przybliżeniu, jaki prąd płynie w obwodzie, zawsze lepiej jest na początku włączyć wyższy zakres amperomierza, a następnie przejść na zakres niższy, niż to czynić odwrotnie.

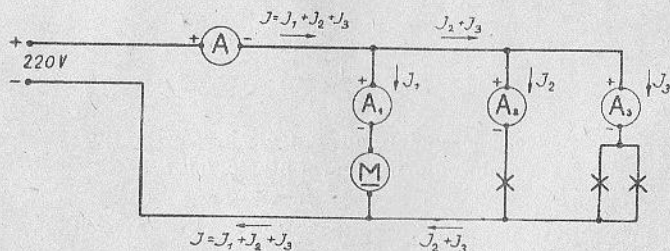
Przy pomocy amperomierzy możemy mierzyć nie tylko prąd całkowity, jaki pobierany jest ze źródła prądu, lecz i prąd w poszczególnych gałęziach, tj. prąd pobiera-



Rys. 14

Włączenie amperomierza trójzakresowego do obwodu, w którym płynie 12 A.

ny przez pojedyncze odbiorniki. Łatwo przekonać się przy tym, że suma prądów, pobierana przez pojedyncze odbiorniki (żarówki, silniki itp.), jest równa całkowitej wartości prądu wypływającego ze źródła. Pomiar taki pokazany jest na rys. 15. Przy powyższym pomiarze posługiwać się



Rys. 15

Pomiar prądu pobieranego przez odbiornik.

możemy bądź jednym amperomierzem, włączonym kolejno w obwody odbiorników, bądź też szeregiem amperomierzy.

Przypuśćmy, że amperomierz A_1 wskazał prąd $I_1 = 4A$, amperomierz A_2 wskazał prąd $I_2 = 1A$, zaś amperomierz A_3 — prąd $I_3 = 2,5 A$, wówczas amperomierz A powinien pokazać sumę tych prądów, a mianowicie:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I, \text{ zaś liczbowo:}$$

$$4A + 1A + 2,5A = 7,5A$$

Do pomiaru należy używać amperomierzy o bardzo małej oporności wewnętrznej, dla uniknięcia wpływu tej oporności na wynik pomiaru.

4. ROZSZERZENIE SKALI PRZYRZĄDÓW.

Przy pomocy przyrządów pomiarowych możemy mierzyć zasadniczo tylko takie wielkości elektryczne, wartość których nie przekracza końcowej wartości skali.

Jeżeli zachodzi potrzeba pomiaru wielkości elektrycznej o wartości, przekraczającej końcową wartość skali, a nie mamy pod ręką przyrządu o większym zakresie wskazań, możemy poszerzyć zakres wskazań danego przyrządu np. dwukrotnie, pięciokrotnie itp.

Do rozszerzenia skali przyrządu stosujemy specjalne urządzenia dodatkowe, w zależności od typu przyrządu i rodzaju prądu. Są to opory dodatkowe, boczniki oraz transformator miernikowe. Można również rozszerzyć zakres skali, dokonywując pewnych przeróbek w samym przyrządzie; będziemy o tym mówili przy opisie konstrukcji tych przyrządów.

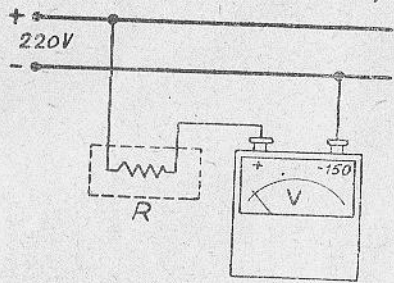
Przy pomocy urządzeń dodatkowych będziemy rozszerzali zakresy wskazań tylko: woltomierzy, amperomierzy oraz watomierzy.

a) Rozszerzenie skali woltomierzy.

Jeżeli mamy, dajmy na to, woltomierz o zakresie wskazań 150 V i chcemy skalę jego rozszerzyć np. dwukrotnie, tj. do 300 V, to stosujemy opór dodatkowy w postaci opornika, dołączonego do jednego z zacisków woltomierza w szereg z nim. Na rys. 16 pokazany jest sposób włączenia takiego opornika.

Opór dodatkowy R możemy w tym wypadku bardzo łatwo obliczyć, postępujemy przy tym w sposób następujący:

Ponieważ woltomierz ma końcową wartość skali 150 V, to w chwili krańcowego wychylenia wskaźówki zmierzy on napięcie równe 150 V, czyli zmierzy spadek napięcia na swoim oporze wewnętrznym. Opór ten, jeżeli jest niewiadomy, należy zmierzyć. Przypuśćmy, że w wyniku pomiaru otrzymaliśmy wartość oporności wewnętrznej woltomierza np. 30 000 Ω , a więc na oporze 30 000 Ω otrzymujemy 150 V spadku napięcia. Rozszerzając skalę woltomierza dwukrotnie, chcemy, aby woltomierz zamiast 150 V pokazał 300 V, należy więc resztę napięcia, tj.



Rys. 16

Włączenie woltomierza z oporem dodatkowym.

300 V — 150 V = 150 V

zdlawić na oporze dodatkowym. Wychodząc z prawa Ohm'a obliczamy, jaki prąd przepływa przez uzwojenie woltomierza, a tym samym przez opór dodatkowy R, ponieważ opór R włączony jest z woltomierzem w szereg; w chwili krańcowego wychylenia wskaźówki prąd ten wyniesie:

$$\frac{150 \text{ V}}{30\,000 \Omega} = 0,005 \text{ A} \text{ czyli } 5 \text{ mA}$$

Zatem 5 mA przepływa również przez nieznaną opór R, powodując spadek napięcia na tym oporze równy 150 V, który należy zdlawić. Z prawa Ohm'a obliczamy wartość tego oporu:

$$\frac{150 \text{ V}}{0,005 \text{ A}} = 30\,000 \Omega$$

Z powyższego dowiadujemy się, że na jednakowych oporach, załączonych w szereg w obwodzie elektrycznym, mamy jednakowe spadki napięcia.

Zwykle opory dodatkowe, pojedyncze lub wielokrotne, wbudowane są w specjalne pudełko z wyprowadzonymi

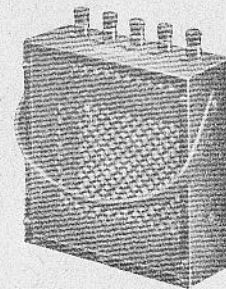
mi zaciskami, na których znajdują się oznaczenia końcowej wartości skali woltomierza, przy tym zwykle jeden zacisk jest wspólny — do połączenia bezpośrednio z zaciskiem woltomierza.

Na rys. 17 widzimy opornik dodatkowy do woltomierza przenośnego na cztery dodatkowe zakresy skali.

Należy zaznaczyć, że oporniki dodatkowe do woltomierzy są budowane tylko dla jednego i tego samego typu woltomierzy i do innych typów przyrządów używane być nie mogą. Do każdego rodzaju woltomierza opory dodatkowe powinny być obliczane oddzielnie.

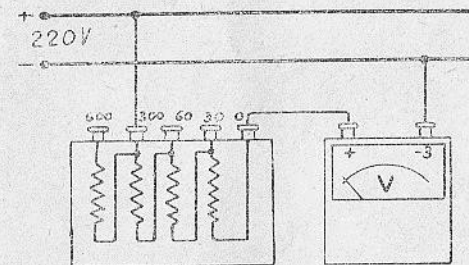
Na rys. 18 pokazany jest sposób pomiaru napięcia sieci 220 V woltomierzem o zakresie skali 3 V, przy zastosowaniu opornika dodatkowego, podanego na rys 17.

Rozszerzenie skali woltomierzy przy pomocy oporów dodatkowych jest stosowane zarówno dla woltomierzy prądu stałego, jak i dla woltomierzy prądu zmiennego lub szybkozmiennego.



Rys. 17

Opornik dodatkowy do woltomierza.

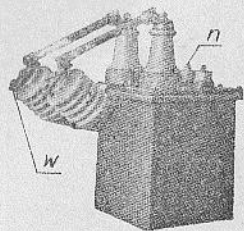


Rys. 18

Pomiar napięcia woltomierzem z opornikiem dodatkowym czterozakresowym.

Przy prądzie zmiennym o normalnej częstotliwości (50 okr./sek) skalę woltomierza rozszerzamy również przy pomocy transformatorów miernikowych napięciowych, zwłaszcza przy wyższych napięciach. Transformatoriki napięciowe posiadają dokładną przekładnię, np. 1 : 5, 1 : 30,

1 : 100 itp. i dlatego mogą być stosowane do różnych typów woltomierzy prądu zmiennego. Rys. 19 podaje widok transformatora napięciowego na wysokie napięcie.



Rys. 19

Transformator miernikowy napięciowy, napięcie pierwotne 3000V, napięcie wtórne 100V.

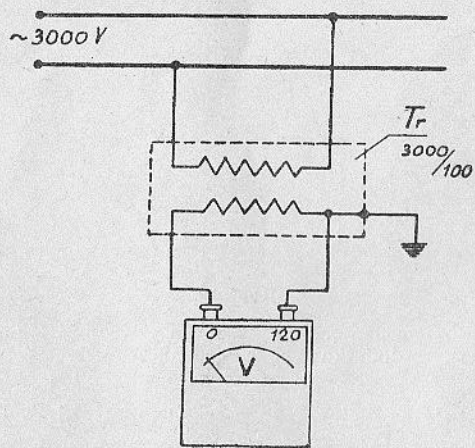
Wysokie napięcie doprowadza się do uzwojenia pierwotnego transformatora przez wysokonapięciowe izolatory przepustowe *w*, wykonane z porcelany (rys. 19), woltomierz zaś dołączamy do zacisków *n* uzwojenia wtórnego — niskonapięciowego.

Transformator napięciowy mają zwykle napięcie wtórne 100 lub 110 V.

Na schemacie (rys. 20) pokazany jest sposób włączenia woltomierza o zakresie skali 120 V do sieci o napięciu 3000 V, przy pomocy transformatora miernikowego napięciowego *Tr*. Jak widzimy z rys. 20, wtórne uzwojenie transformatora należy uziemić.

Jasną jest rzeczą, że posługiwanie się transformatorami miernikowymi przy prądzie stałym jest wykluczone.

Z powyższego wynika, że dla rozszerzenia skali woltomierzy przy prądzie stałym, posługujemy się wyłącznie opo-



Rys. 20

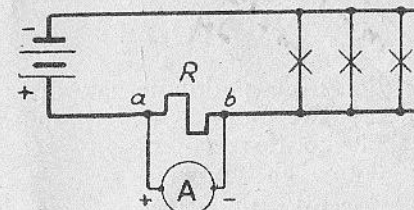
Schemat włączenia woltomierza przez transformator miernikowy.

rami dodatkowymi; przy prądzie zmiennym, przy niższych napięciach — również oporami dodatkowymi, przy napięciach zaś wysokich — transformatorami miernikowymi napięciowymi. Do pomiaru wysokiego napięcia prądu stałego stosujemy specjalne woltomierze elektrostatyczne*), sposoby rozszerzenia skal których podamy we właściwym miejscu.

b) Rozszerzenie skali amperomierzy.

Do rozszerzenia wskazań amperomierza stosujemy tzw. boczniki, tj. opory dodatkowe o małej oporności, przyłączone równoległe do zacisków amperomierza. Boczniki używane są po większej części do rozszerzania skal amperomierzy prądu stałego, do amperomierzy prądu zmiennego natomiast używane one są rzadko.

Na rys. 21 podany jest schemat włączenia amperomierza do obwodu prądu przy pomocy bocznika *R*.



Rys. 21

Włączenie amperomierza z bocznikiem.

Jak widzimy, bocznik jest włączony w obwód prądu, amperomierz natomiast włączony jest do zacisków bocznika i właściwie mierzy tu spadek napięcia na boczniku *R*.

Jeżeli mamy np. amperomierz o końcowej wartości skali 1 A, a chcemy tym amperomierzem mierzyć prąd do 100 A, to powinniśmy rozszerzyć skalę amperomierza 100 razy, stosując bocznik o pewnej oporności *R*. Oporność *R* możemy obliczyć, rozumując w sposób następujący.

Jeżeli w obwodzie (rys. 21) będzie przepływał, dajmy na to, prąd 100 A, to w punkcie *a* prąd ten rozgałęzi się, i jedna jego część popłynie przez bocznik *R*, druga zaś — przez uzwojenie amperomierza. Ponieważ amperomierz przy całkowitym wychyleniu wskazówki pobiera 1 A, to przy całkowitym prądzie w obwodzie równym 100 A, należy tak

*) patrz Rozdział XII.

dobrac oporność bocznika R , aby przez ten bocznik przepływał prąd równy:

$$100 A - 1 A = 99 A$$

Mając wiadomą oporność wewnętrzną amperomierza, np. 2Ω (jeżeli jej nie znamy, musimy zmierzyć), możemy według prawa Ohm'a obliczyć, jaki spadek napięcia panuje na zaciskach amperomierza, gdy płynie przez niego prąd o wartości $1 A$

$$2 \Omega \times 1 A = 2 V$$

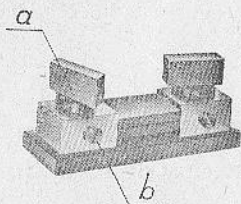
Wobec tego, że na zaciskach a i b mamy spadek napięcia $2 V$, a do tych samych zacisków dołączony jest bocznik, przez który płynie prąd $99 A$, wartość oporności tego bocznika obliczamy również z prawa Ohm'a:

$$R_B = \frac{R_A}{m-1} \quad m = \frac{I}{I_A} \quad \frac{2 V}{99 A} = 0,0202 \Omega$$

$I_B = I - I_A$ $R_B \cdot I_B = R_A \cdot I_A$ $R_B = \frac{R_A \cdot I_A}{I - I_A}$

Boczniki, podobnie jak opory dodatkowe dla woltomierzy, nie mogą być używane do innych amperomierzy, lecz tylko do tych, do których zostały obliczone, tj. do jednakowych typów.

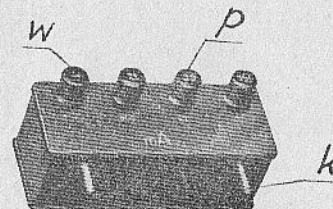
Boczniki pojedyncze (jednozakresowe) budowane są dla większych prądów przeważnie w postaci otwartej; dla mniejszych prądów niekiedy buduje się boczniki wielozakresowe i umieszcza się w specjalnym pudełku z wyprowadzonymi na zewnątrz zaciskami.



Rys. 22
Bocznik otwarty
na 400A.

Na rys. 22 pokazany jest bocznik pojedynczy dla dużych prądów. Do zacisków a dołączamy obwód prądu głównego, zaś do zacisków b — przewody amperomierza. Ponieważ amperomierze zazwyczaj mają bardzo małą oporność wewnętrzną, to też każda dodatkowa oporność przewodów, łączących amperomierz z zaciskami bocznika, gra wielką rolę, wobec tego przy obliczeniach oporność tych przewodów powinna być brana pod uwagę i amperomierz winien być wzorcowany razem z przewodami połączeniowymi.

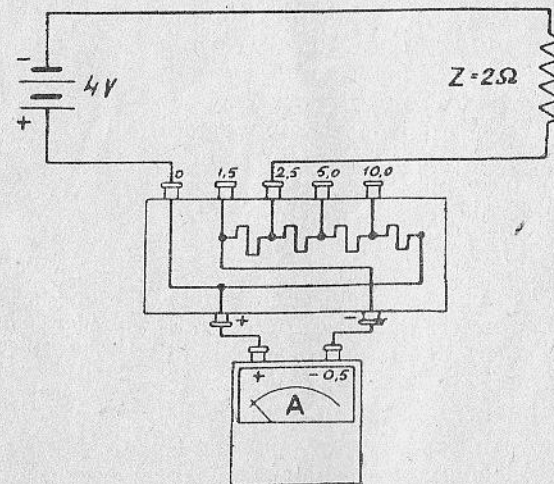
Rys. 23 podaje widok bocznika trójzakresowego — dla bardzo małych prądów. Do kółków k dołączamy miliamperomierz, do zacisku w dołączamy jeden przewód obwodu, zaś do jednego z zacisków p — drugi przewód obwodu — w zależności, jaki chcemy otrzymać zakres miliamperomierza.



Rys. 23
Bocznik trójzakresowy
na 7,5 — 75 — 150 mA

Na rys. 24 podany jest schemat załączenia do obwodu prądu amperomierza z bocznikiem czterozakresowym, przy tym amperomierz ma zakres do $0,5 A$, zaś bocznik — $0, 1,5, 2,5, 5,0$ i $10 A$. W obwodzie tym płynie prąd o wartości około $2 A$, ponieważ przy napięciu akumulatorów $4 V$ załączony jest w obwodzie opór Z o wartości około 2Ω , wobec czego bocznik powinien być włączony na drugi zakres, tj. na $2,5 A$.

Przy prądzie zmiennym o normalnej częstotliwości (50 okr./sek), skale amperomierzy rozszerzamy, zwłaszcza



Rys. 24
Schemat załączenia amperomierza z bocznikiem czterozakresowym.

przy większych prądach oraz wysokim napięciu, przy pomocy transformatorów miernikowych, tzw. prądowych. Transformator prądowy budowane są na rozmaite prądy pierwotne, zwykle zaś prąd wtórny w transformatorze wynosi 5 A.



Rys. 25

Transformator prądowy przenośny, prąd pierwotny 4000 A, prąd wtórny 5 A,

większych prądach zbudowane jest w postaci grubej sztabki s (rys. 25); amperomierz dołączamy do zacisków uzwojenia wtórnego.

Do pomiaru prądu stałego transformator prądowy, podobnie jak napięciowie, nie nadają się.

Posługując się transformatorem prądowym, powinniśmy zawsze pamiętać, że nie wolno załączać go nieobciążonym, tzn. przed tym należy do uzwojenia wtórnego załączyć amperomierz lub zaciski uzwojenia wtórnego zewrzeć ze sobą, w przeciwnym bowiem razie wystąpi na wtórnym uzwojeniu transformatora bardzo wysokie napięcie, które może uszkodzić izolację, zaś rdzeń żelazny transformatora będzie się grzał nadmiernie.

Na rys. 27 podany jest schemat włączenia amperomierza na 5 A, przez transformator prądowy T_r o przekładni 500A/5A, możemy więc przy pomocy tego amperomierza mierzyć prąd do 500A.

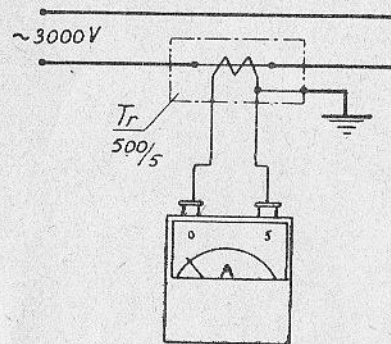
Trzeba zaznaczyć, że przy pomiarach prądu przy obwodach wysokiego napięcia należy dla bezpieczeństwa uzemieć wtórne uzwojenie transformatora prądowego.

Z powyższych rozważań wynika, że dla rozszerzenia skali amperomierzy prądu stałego posługujemy się wyłącz-

nie bocznikami; przy prądzie zmiennym przy niższych napięciach — bocznikami i transformatorami prądowymi, przy napięciu wysokim używamy wyłącznie transformatorów prądowych.

c) Rozszerzenie skali watomierzy.

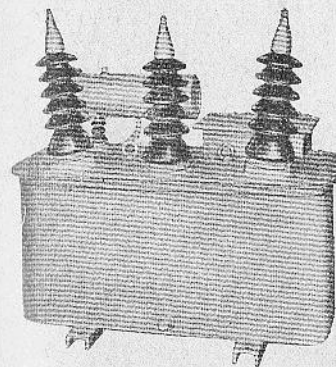
Watomierz jest to przyrząd, który mierzy moc prądu, tj. uwzględnia jednocześnie prąd i napięcie (ampery i wolty), jest więc jak gdyby amperomierzem i woltomierzem w jednym mechanizmie z jedną wskazówką. Zatem watomierz posiada w swym układzie dwa uzwojenia: uzwojenie prądowe i uzwojenie wprowadzone na zewnątrz



Rys. 27

Schemat włączenia amperomierza przez transformator miernikowy.

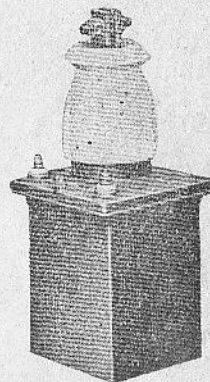
napięciowe oraz ma cztery zaciski: dwa do doprowadzenia prądu i dwa — do doprowadzenia napięcia. Wobec tego rozszerzenie skali watomierza możemy dokonać również przy pomocy oporów dodatkowych i transformatorów napięciowych, włączonych w obwód napięciowy watomierza oraz przy pomocy boczników i transformatorów prądowych, włączonych w obwód prądowy watomierza, przy tym uwzględniamy wszystkie te wskazówki, jakie podaliśmy przy opisie rozszerzania skal woltomierzy i amperomierzy.



Rys. 28

Transformator miernikowy napięciowy trójfazowy, na napięcie pierwotne 10 kV.

Przy prądzie zmiennym trójfazowym używamy bądź transformatorów napięciowych jednofazowych, bądź też w razie potrzeby — miernikowych transformatorów napięciowych trójfazowych.



Rys. 26

Transformator prądowy do wysokiego napięcia 10 kV, prąd pierwotny 500A, wtórny — 5 A.

Widok takiego transformatora podaje rys. 28.
Sposoby włączania watomierzy do obwodów prądu elektrycznego oraz schematy połączeniowe, przy rozszerzaniu skal watomierzy, podamy później*).

*) patrz Rozdział IX, p. 7.

ROZDZIAŁ V:

ZASADNICZE CZĘŚCI SKŁADOWE PRZYRZĄDÓW.

1. OBUDOWA.

Zasadniczą częścią składową każdego przyrządu pomiarowego jest jego zewnętrzna obudowa. Obudową przyrządu nazywać będziemy to pudełko, w którym mieści się cały mechanizm przyrządu. Zatem zewnętrzny wygląd przyrządu określa jego obudowa.

Obudowy przyrządów pomiarowych bywają rozmaitego rodzaju i kształtu. Rozpatrzemy tylko najważniejsze — najczęściej używane.

Z kształtu i rodzaju obudowy przyrządu nie możemy określić, do jakiego celu jest on przeznaczony, tj. do jakiego rodzaju prądu oraz do pomiaru jakich wielkości przyrząd jest zbudowany.

Nie możemy sądzić również, widząc tylko obudowę przyrządu, jaką dokładność posiadają wskazania jego oraz na jakiej zasadzie został zbudowany.

Natomiast zupełnie ściśle określić możemy, czy dany przyrząd przeznaczony jest do wskazywania wartości wielkości elektrycznych, tj. do mierzenia, czy też do ich zapisywania (rejestrowania) lub liczenia.

Z całą pewnością również ustalić możemy według obudowy przyrządu jego zastosowanie, tj. do jakiej grupy przyrządów należy: do tablicowych, do przenośnych czy też do grupy przyrządów laboratoryjnych. To też obudowę przyrządów pomiarowych rozpatrzemy według tych grup.

a) *Obudowa przyrządów tablicowych.*

Obudowy przyrządów tablicowych różnią się między sobą rodzajem i kształtem.

Rodzajów obudowy przyrządów tablicowych jest zasadniczo tylko trzy:

1. do umieszczenia na tablicy lub na pulpicie,
2. do wbudowania w tablicę, oraz
3. do umieszczenia na rurze (postumencie, wysięgniku itp.).

Przyrządy pierwsze mają zaciski doprowadzające prąd albo na zewnątrz (rys. 29), albo też posiadają zaciski w postaci prętów, przechodzących przez tablicę, do połączeń za tablicą (rys. 30).



Rys. 29

Amperomierz tablicowy z zaciskami wyprowadzonymi na zewnątrz.

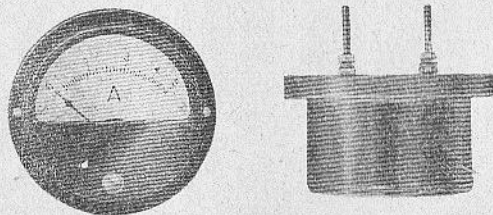
Kształt obudowy przyrządów tych bywa przeważnie okrągły i przyrząd z taką obudową umocowujemy na tablicy przy pomocy śrub, jak to pokazuje rys. 31.

Do grupy przyrządów tego rodzaju należą również niektóre przyrządy samopiszące (rejestrujące), obudowa których pokazana jest na rys. 32, oraz przyrządy kombinowane, podwójne (rys. 33) itp.

Przyrządy tego typu, do umieszczenia na pulpicie lub stole rozdzielczym, mają obudowę, jak na rys. 34.

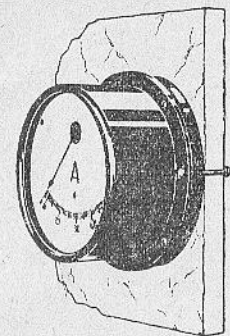
Obudowa przyrządów, przeznaczonych do wbudowania w tablicę lub w stół rozdzielczy, różni się nieco od obudowy przyrządów poprzednich.

Sposób umocowania tych przyrządów pokazuje rys. 35 oraz rys. 36.



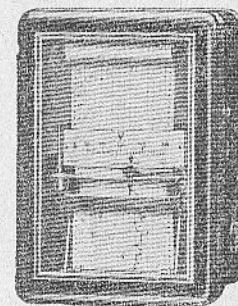
Rys. 30

Amperomierz z zaciskami do połączeń za tablicą.



Rys. 31

Umocowanie przyrządu na tablicy.

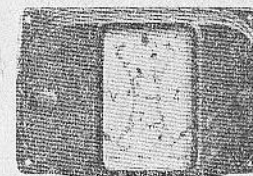


Rys. 32

Woltomierz samopiszący.

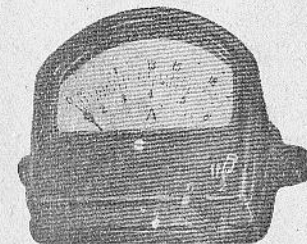
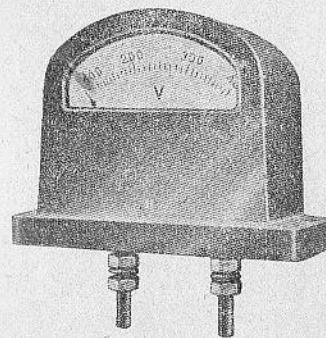
Widzimy więc, że kształt obudowy przyrządów, przeznaczonych do wbudowania w tablicę, bywa rozmaity.

Przyrząd całkowicie znajduje się za tablicą, gdzie również dokonywa się połączeń przewodami, płyta czołowa zaś przyrządu jest widoczna na zewnątrz. Przyrządy, o kształcie obudowy profilowym (prostokątnym), umieszczone są albo pionowo (rys. 37), bądź też w pozycji poziomej (rys. 38) i posiadają skalę wypukłą lub płaską.



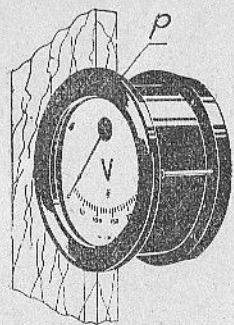
Rys. 33

Woltomierz i amperomierz we wspólnej obudowie.



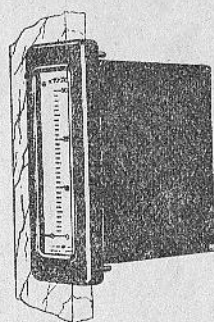
Rys. 34

Przyrządy do umieszczenia na stole lub pulpicie.



Rys. 35

Umocowanie przyrządu w tablicy.



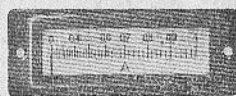
Rys. 36

Umocowanie przyrządu profilowego o skali płaskiej.



Rys. 37

Przyrządy profilowe pionowe o skali wypukłej.



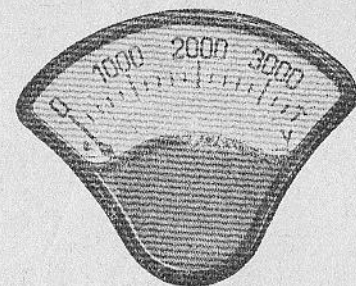
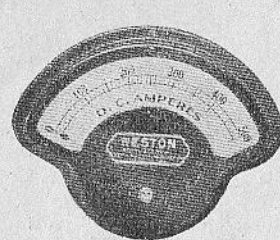
Rys. 38

Przyrządy profilowe poziome.

Niekiedy kształt obudowy przyrządów tablicowych ma postać sektora, tj. wycinka kołowego (rys. 39), najczęściej zaś — postać okrągłą ze skalą odsłoniętą całkowicie lub też zasłoniętą do połowy (rys. 40).

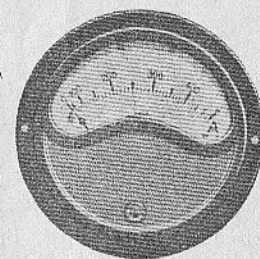
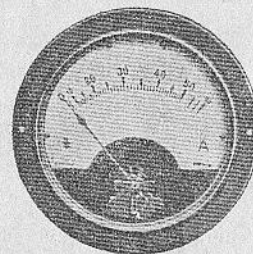
Do tej grupy przyrządów należą również wszelkie przyrządy rejestrujące, obudowa których pokazana jest na rys. 41.

Najwygodniejsze do umieszczania na tablicy są przyrządy o obudowie prostokątnej z tego względu, że zajmują na tablicy mało miejsca i mogą zatem być umieszczane



Rys. 39

Przyrządy o sektorowym kształcie obudowy.



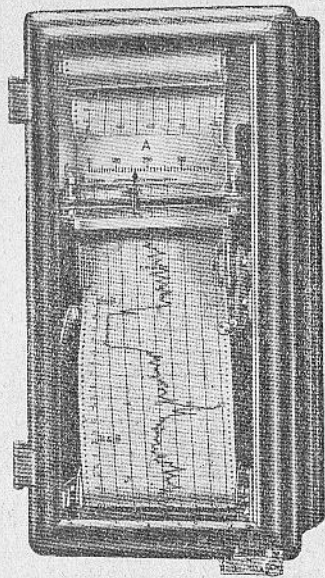
Rys. 40

Obudowa przyrządów do wbudowania w tablicę.

jeden obok drugiego w bardzo bliskiej odległości, co ułatwia ogromnie pracę przy ich obserwowaniu.

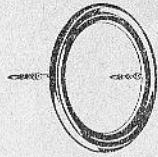
Niektóre wytwórnie budują przyrządy tablicowe, dla umieszczania zewnątrz (na tablicy), które mogą być wbudowane w tablicę, przy zastosowaniu specjalnego pierścienia podtrzymującego. Widok pierścienia takiego pokazuje rys. 42, umocowanie zaś przyrządu w tablicy, przy pomocy pierścienia podtrzymującego, podaje rys. 43.

Przyrządy do umocowania na rurze, na postumencie, czy też na wysięgniku, bywają jednostronne lub dwustronne, tj. posiadają dwie skale po obu stronach przyrządu oraz podwójną wskazówkę. Po większej części przyrządy takie są dość dużych wymiarów, a niekiedy nawet posiadają skale oświetlone przy pomocy żarówki, umieszczonej wewnątrz przyrządu, przy czym skale takich przyrządów są wykonane ze szkła opalowego lub matowego. Niektóre



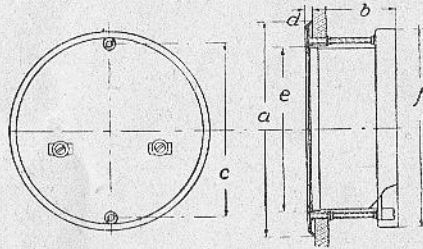
Rys. 41

Amperomierz rejestrujący do wbudowania w tablicę.



Rys. 42

Pierścień podtrzymujący przyrząd w tablicy.



Rys. 43

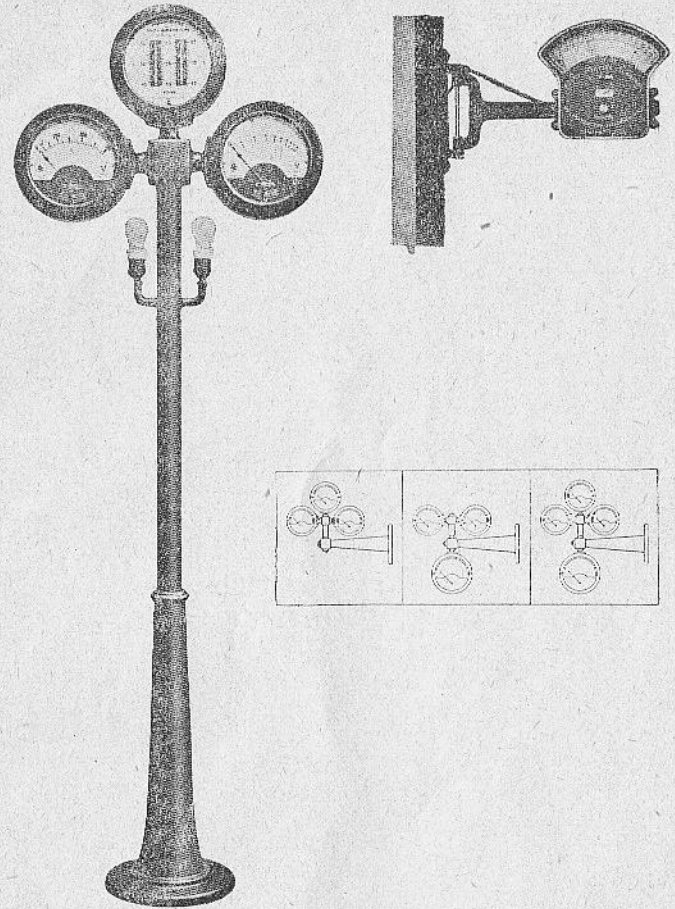
Sposób umocowania przyrządu przy pomocy pierścienia.

typy tego rodzaju przyrządów podane są na rys. 44. Umieszczenie przyrządów w sposób powyższy jest bardzo dogodny dla pracy w większych elektrowniach, zwłaszcza przy synchronizowaniu pracy równoległej generatorów. W tym wypadku cały zespół przyrządów, przeznaczonych do synchronizacji, umieszczony jest na jednym postumencie, czy też wysięgniku.

Do umocowania na wysięgnikach mogą również być stosowane przyrządy, przeznaczone do wbudowania w tablicę, wówczas stosowane są obudowy pomocnicze, jak to pokazują rys. 45.

Wykonanie obudowy przyrządów tablicowych bywa trzech rodzajów:

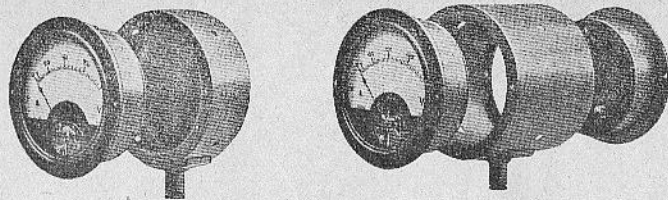
1. wykonanie zwykłe,
2. wykonanie wodoszczelne i kurzoszczelne, tzw. półhermetyczne oraz
3. wykonanie hermetyczne.



Rys. 44

Sposoby umieszczenia przyrządów na postumencie i na wysięgnikach.

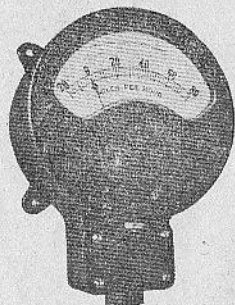
Przyrządy, o obudowie w wykonaniu zwykłym, są stosowane wszędzie tam, gdzie nie zachodzi obawa, że kurz lub para wodna mogą się dostać do wnętrza przyrządu. Ma to miejsce w elektrowniach oraz w lokalach mieszkalnych, jak również we wszelkiego rodzaju aparatach przenośnych lub stałych, nie narażonych na bezpośrednie działanie pary wodnej lub kurzu.



Rys. 45

Obudowy pomocnicze do umocowania przyrządów na rurze.

W lokalach, gdzie kurz lub para wodna mogłyby przeniknąć do wnętrza przyrządu, jak to ma miejsce w dużych, lecz niewłaściwie budowanych elektrowniach lub w halach fabrycznych, należy stosować przyrządy pomiarowe o obudowie wykonanej szczelnie — półhermetycznej.



Rys. 46

Hermetyczna obudowa przyrządu.

W miejscach, gdzie zachodzi obawa dostawania się do wnętrza przyrządu wody, pary żrącej lub gazów wybuchowych, należy stosować przyrządy o obudowie hermetycznej, gazoszczelnej, a w niektórych nawet wypadkach — w hermetycznej obudowie podwójnej. Ma to miejsce np. w halach fabryk chemicznych, na statkach morskich itp. Na rys. 46 podany jest przyrząd o obudowie

hermetycznej.

Uszczelnienie obudowy półhermetycznej wykonane jest zwykle przy pomocy taśmy bawełnianej, filcu lub podkładek gumowych, natomiast uszczelnienie obudowy hermetycznej prawie zawsze wykonywane jest przy pomocy gumy oraz specjalnej masy uszczelniającej.

Co się tyczy materiału, z jakiego wykonywane są obudowy, to po większej części stosowana jest blacha żelazna, mosiężna lub cynkowa.

Obudowy hermetyczne wykonywane są jako odlewy żelwne lub aluminiowe.

Obudowy przyrządów tablicowych zazwyczaj są pomalowane czarnym lakierem.

Do małych przyrządów tablicowych (do 150 mm średnicy) ostatnio zaczęto stosować do wyrobu obudowy ba-

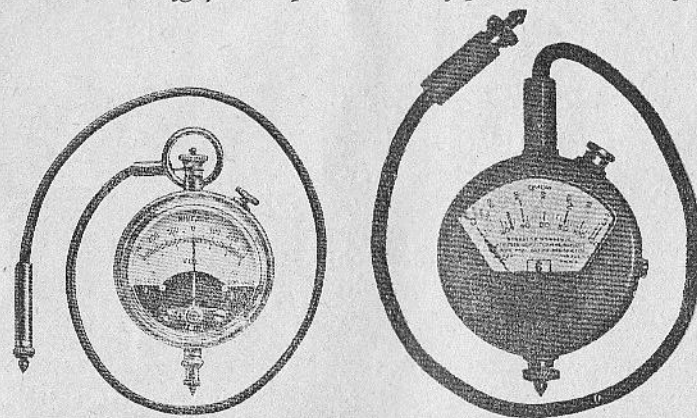
kelit prasowany, który okazał się bardzo dobrym materiałem do tego celu. Również z materiałów izolacyjnych są wykonywane obudowy do przyrządów, przeznaczonych do pomiarów przy wysokim napięciu.

Wymiary obudowy przyrządów tablicowych są tak różne, że nie dają się ująć w pewną tabelę wymiarów znormalizowanych. Każda wytwórnia przytrzymuje się swoich wymiarów i podaje te wymiary w swych katalogach. Możemy tylko tu nadmienić, że wymiary średnicy zewnętrznej przyrządów tablicowych — okrągłych zaczynają się już od 55 mm i dochodzą do 700 mm. Najczęściej spotykane średnice obudowy przyrządów tablicowych wynoszą: 60, 80, 100, 125, 130, 135, 160, 185, 195, 200, 225, 250, 295; 300, 370 mm itd.

b) Obudowa przyrządów przenośnych.

Obudowa przyrządów przenośnych dawniej była wykonywana w postaci skrzynki drewnianej otwartej, albo też zamykanej wieczkiem. Obudowa tego rodzaju spotykana jest dość często jeszcze i teraz, chociaż coraz więcej jednak jest stosowana z prasowanego bakelitu. Obudowy metalowe do przyrządów przenośnych stosuje się rzadko i przeważnie do przyrządów kieszonkowych lub w połączeniu z płytą drewnianą do przyrządów większych.

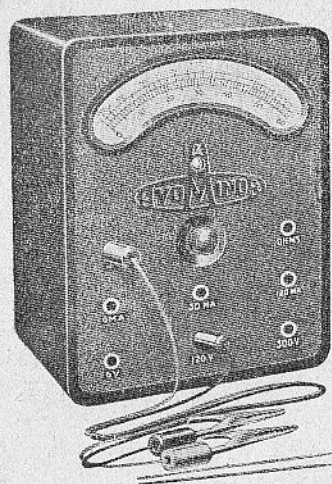
Obudowa przyrządów kieszonkowych zwykle bywa o kształcie okrągłym, w postaci małej puszkki metalowej lub



Rys. 47

Obudowy przyrządów kieszonkowych.

bakelitowej, o średnicy od 55 mm do 75 mm. Na rys. 47 pokazane są typowe obudowy przyrządów kieszonkowych.



Rys. 48

Obudowa przyrządu przenośnego wielozakresowego z gniazdkami do wtyczek, wymiary obudowy 100×75×45 mm

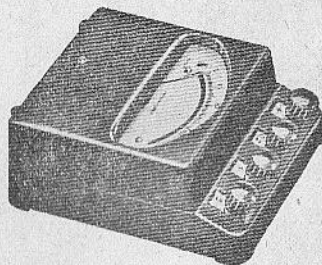
Opisanych wyżej, często też obudowy ich bywają w postaci skrzynki drewnianej—dla przyrządów pojedynczych lub podwójnych (rys. 51).

Obudowy przyrządów normalnych i kontrolnych wyrabiane są z metalu (blacha żelazna lub mosiężna na płycie drewnianej) lub z bakelitu prasowanego, rzadziej natomiast w postaci skrzynek drewnianych. Rys. 52 i 53 podają kształty obudowy dużego przyrządu normalnego oraz obudowy przyrządu kontrolnego. Z rys. 55 widzimy, że przyrządy tego typu są przechowywane w specjalnych pudełkach drewnianych z miękką wyłożonymi bokami wewnątrz.

Małe przenośne przyrządy pomiarowe mają obudowę z prasowanego bakelitu z gniazdkami do wtyczek (rys. 48), albo z zaciskami, wyprowadzonymi na zewnątrz (rys. 49), lub też z przełącznikiem wielozakresowym (rys. 50).

Małe przenośne przyrządy są bardzo wygodne przy pracy, mieszczą się w zwykłej kieszeni, jednak noszenie tych przyrządów w kieszeni nie jest zalecane; do tego celu służą specjalne torby (futerały) skórzane z rączką do noszenia w rękę lub z paskiem na ramię.

Większe przyrządy przenośne, jedno lub wielozakresowe, przeznaczone do pomiarów w ruchu, są podobne do przyrządów małych, opisanych wyżej.



Rys. 49

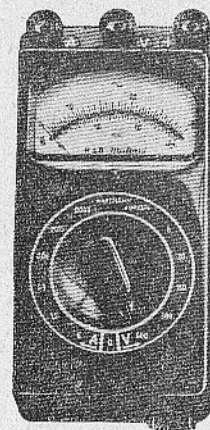
Obudowa przyrządu trójzakresowego z zaciskami wyprowadzonymi na zewnątrz, wymiary obudowy 140×120×60 mm

Niektóre przyrządy rejestrujące mogą być typu przenośnego, wówczas obudowa ich nieco różni się od tego rodzaju przyrządów tablicowych. Obudowa tych przyrządów wykonana jest z blachy żelaznej czarno lakierowanej i jest umieszczona na płycie drewnianej ze wspornikami, do ustawiania w pozycji pionowej. Całość zwykle znajduje się w skrzynce, łatwej do przenoszenia. Rys. 54 podaje sposób wyjmowania przyrządu ze skrzynki oraz sam przyrząd.

c) Obudowa przyrządów laboratoryjnych.

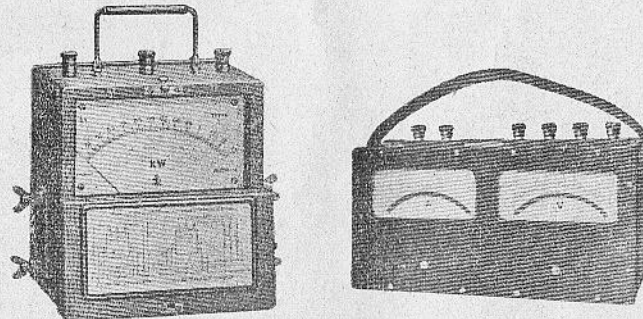
Obudowa przyrządów laboratoryjnych różni się nieco wyglądem oraz wykonaniem od innych przyrządów pomiarowych, ze względu na specjalne warunki pomiarów laboratoryjnych.

Przyrządów laboratoryjnych jest kilka rodzajów, z których najważniejsze są galwanometry lusterkowe, używane przeważnie w układach mostkowych.



Rys. 50

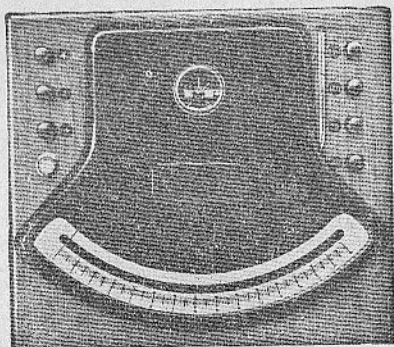
Obudowa przyrządu wielozakresowego z przełącznikiem, wymiary obudowy 180×90×60 mm



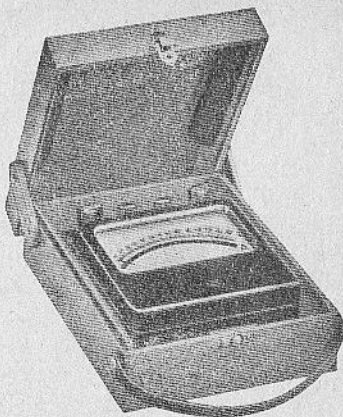
Rys. 51

Drewniane obudowy przyrządów przenośnych.

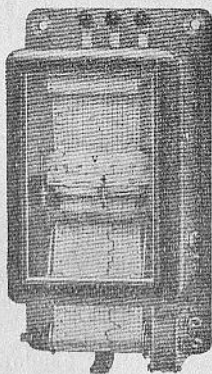
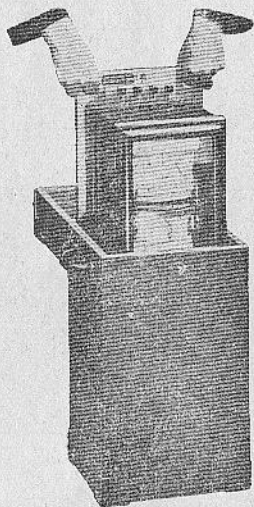
Obudowa galwanometrów laboratoryjnych wykonana jest w sposób specjalny, bądź z metalu, bądź też z bakelitu prasowanego lub drzewa.



Rys. 52
Obudowa przyrządu normalnego.

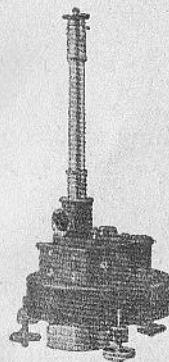


Rys. 53
Obudowa przyrządu kontrolnego w skrzynce ochronnej.

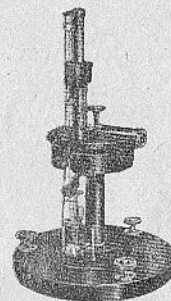


Rys. 54
Obudowa przyrządu przenośnego samopiszącego.

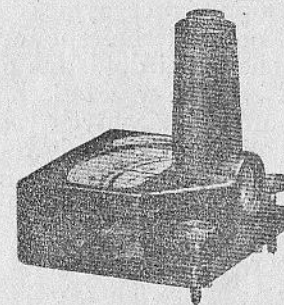
Na rys. 55, 56 i 57 pokazane są niektóre typy galwanometrów lusterkowych, z których sądzić możemy o kształcie ich obudowy. Galwanometry lusterkowe nie posiadają



Rys. 55
Galwanometr lusterkowy typu Deprez d'Arsonval'a.



Rys. 56
Galwanometr lusterkowy wibracyjny.



Rys. 57
Galwanometr wskazówkowo-lusterkowy typu Deprez d'Arsonval'a w obudowie bakelitowej.

wskazówki i zamiast wskazówki ich układ ruchomy posiada małe okrągłe lusterko, które, tak jak wskazówka, odchyła się wraz z cewką pod wpływem prądu. Odchylenia lusterka mogą być zauważone przy pomocy promienia świetlnego, odbitego w lusterku, przy czym promień świetlny znaczy smugę świetlną na przezroczystej skali podłużnej, znajdującej się na pewnej odległości od galwanometru.

Widzimy więc, że przyrządy laboratoryjne składają się nie tylko z właściwego przyrządu wskazówkowego lub lusterkowego, lecz i z pewnych urządzeń, niezbędnych do dokonania odczytu na skali. Są to: lampa z zespołem soczewek i pryzmatów, wysyłająca wąski promień świetlny na lusterko galwanometru oraz podłużna skala.

Obudowa lampy, wysyłającej promienie świetlne, jest zwykle wykonana z metalu (blacha miedziana, czarno oksydowana); podstawka skali jest również metalowa.

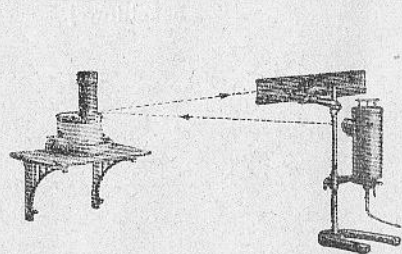
Na rys. 58 pokazany jest galwanometr lusterkowy wraz z całkowitym urządzeniem pomocniczym, przy czym promień świetlny zaznaczono przy pomocy linii przerywanej.

Galwanometry, jak już wyżej zaznaczyliśmy, stosowane są zwykle w układach mostkowych, w których największą rolę odgrywają opory, oraz w układach kompensacyjnych. Oporów mostkowych jest kilka rodzajów. A mianowicie:

- opory normalne najczęściej dokładne, tzw. opory porównawcze,
- opory precyzyjne,
- opory techniczne oraz
- najmniej dokładne opory pojedyncze.

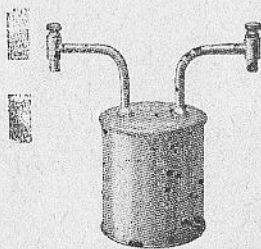
Zwykle w układach laboratoryjnych używamy zarówno oporów normalnych (porównawczych), jak i oporów precyzyjnych. Niekiedy do pomiarów mniej dokładnych używamy oporów technicznych.

Obudowa oporów normalnych zwykle wykonana jest w postaci naczynia metalowego, w którym znajduje się opór, zanurzony w nafcie. Końce tego oporu wyprowadzone są na zewnątrz w postaci grubych haków miedzianych, srebrzonych. W celu połączenia tego oporu z obwodem elektrycznym, jego końce hakowate zanurzamy w specjalne metalowe miseczki, napelnione rtęcią, które są połączone z przewodami.



Rys. 58

Galwanometr lusterkowy z urządzeniem pomocniczym.



Rys. 59

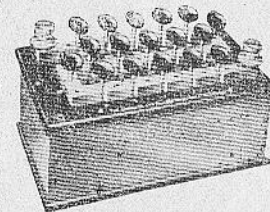
Opór normalny.

Na rys. 59 podany jest widok oporu normalnego. Obudowa oporów precyzyjnych oraz technicznych jest podobna do siebie i zwykle wykonana jest w postaci skrzynki drewnianej z otworami wentylacyjnymi. Skrzynka ta pokryta jest pokrywą lub płytą z materiału dobrze izolującego (ebonit). W skrzynce umieszczone są opory z drutu nawiniętego na cylindrach np. porcelanowych, przy czym ich nawinięcie jest bezindukcyjne,

tzw. bifilarne, tj. jedna połowa tego oporu nawinięta jest np. w prawo, druga połowa zaś (bez przecinania drutu) nawinięta jest w stronę przeciwną. Takie nawinięcie oporu niweczy jego samoindukcję, czyli indukcyjność, tj. czynnik, powiększający oporność pozorną tego oporu przy prądzie zmiennym.

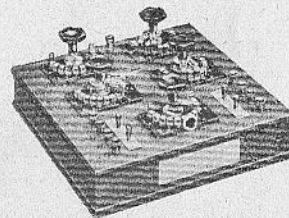
Na pokrywie ebonitowej umieszczone są bądź zaciski, bądź też korbka i styki, do których przymocowane są końce oporów, przy czym zaciski bywają dwóch rodzajów: zwykłe oraz zatyczkowe. Dlatego też odróżniamy: oporniki z zaciskami zwykłymi, oporniki zatyczkowe i oporniki korbkowe.

Na rys. 60, 61 i 62 pokazane są: opornik zatyczkowy oraz oporniki korbkowe, składające się z kilku oporników podwójnych, umieszczonych w jednej obudowie. W rozdziale XIV poznamy szczegóły, dotyczące tych oporników i ich zastosowanie.



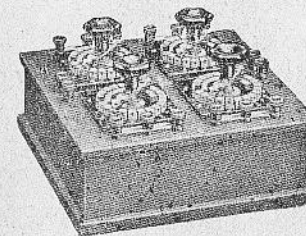
Rys. 60

Opornik precyzyjny zatyczkowy.



Rys. 61

Oporniki precyzyjne korbkowe do kompensatora.



Rys. 62

Oporniki precyzyjne korbkowe do podwójnego mostka Thomson'a.

2. MAGNESY.

Magnesy stałe, stosowane w przyrządach pomiarowych, są wykonywane z najlepszych stali magnetycznych. Do wyrobu magnesów używane są obecnie następujące stałe stopowe:

- stal chromowa,
- stal wolframowa oraz
- stal kobaltowa.

Najlepsza, ale zato najdroższa, jest stal kobaltowa, dlatego też z tej stali wyrabiane są magnesy do wysokowartościowych przyrządów pomiarowych.

Do przyrządów tańszych stosujemy magnesy, wykonane ze stali gorszych, np. chromowej, o zawartości chromu zaledwie 2%, do przyrządów droższych — magnesy ze stali wolframowej, o zawartości wolframu 6%, lub też ze stali kobaltowej, o zawartości kobaltu 12%.

Najlepsza stal kobaltowa ma skład następujący: 55,5% żelaza, 7% wolframu, 2% chromu, 35% kobaltu oraz 5% węgla*).

Od dobrych magnesów stałych wymagamy:

1. dużej siły koercji,
2. dużego magnetyzmu szczątkowego oraz
3. dużej stałości.

Wiemy dobrze, że jeżeli na kawałek stali nawiniemy pewną ilość zwojów izolowanego drutu i przepuścimy przez ten drut stały prąd elektryczny, to w żelazie powstanie strumień magnetyczny o pewnej ilości linii sił. Jeżeli teraz przy tym samym prądzie powiększymy ilość nawiniętych zwojów lub, co jest równoznaczne, przy tej samej ilości zwojów powiększymy prąd magnesujący, to otrzymamy więcej amperozwojów, tj. ilość amperów pomnożoną przez ilość zwojów. Oczywiście, im więcej mamy amperozwojów, tym więcej linii posiadać będzie strumień magnetyczny, przepływający wzdłuż kawałka magnesowanej stali. Każda stal ma swoją granicę nasycenia, to znaczy największą ilość linii sił, jaka może przepłynąć przez jeden cm^2 przekroju magnesowanego kawałka stali. Jeżeli magnesowany kawałek stali przy magnesowaniu osiągnął już granicę nasycenia, to zwiększenie amperozwojów magnesujących jest bezcelowe, ponieważ ilość linii sił w danym przekroju stali się nie zwiększy.

Praktyczną granicę nasycenia magnetycznego dla rozmaitych stopów stali magnetycznej możemy przyjąć od 12000 do 16000 linii sił na cm^2 .

Jeżeli teraz przerwiemy prąd, magnesujący omawiany kawałek stali, to przekonamy się, że pozostanie jeszcze w nim pewna ilość linii sił magnetycznych. Ta pozostała ilość linii sił zwie się magnetyzmem szczątkowym.

*) według danych z książki Keinath K. Die Technik El. Messgeräte.

Dla rozmaitych gatunków stali magnetyzm szczątkowy jest różny i waha się od 7500 do 11500 linii sił na cm^2 .

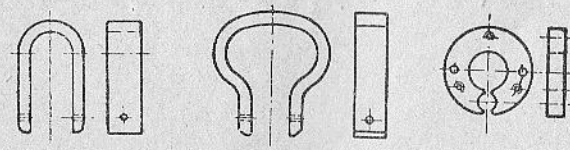
Jeżeli teraz ten kawałek stali (już namagnesowany) owiniemy w tym samym kierunku znowu drutem izolowanym i przepuścimy prąd w odwrotnym kierunku do poprzedniego, to przy pewnej wartości amperozwojów zniweczymy magnetyzm szczątkowy do zera. Ilość linii sił, powstała przy tej ilości amperozwojów, która sprowadza magnetyzm szczątkowy stali do zera, liczona na jeden cm^2 przekroju stali, nazywa się siłą koercji.

Siła koercji waha się od 55 do 250 linii sił na cm^2 przekroju, w zależności od gatunku stali.

Stalością magnesu nazywamy stopień zachowania magnetyzmu szczątkowego w czasie. W najlepszych magnesach kobaltowych stałość jest bardzo duża, tak, że magnes nawet po kilkunastu latach nie traci swych właściwości magnetycznych w takim stopniu, ażeby to dało się wyraźnie zauważyć.

Należy zaznaczyć, że magnetyzm szczątkowy w magnesach zanika dość szybko, przy niewłaściwym obchodzeniu się z tym magnesem. A więc nie wolno magnesowi rzucać na podłogę, ani też stukać w niego np. młotkiem. Magnes, o ile jest nie używany, winien być zwarty zworą żelazną, przy tym zworę tę nie należy zsuwać z magnesu powoli, raczej zrywać gwałtownie i jednocześnie z obu biegunów magnesu, bowiem w przeciwnym razie magnes starzeje się, tj. stopniowo traci swe właściwości magnetyczne.

Kształty magnesów, stosowanych w przyrządach pomiarowych, są rozmaite, zależnie od ich przeznaczenia. Rys. 63 podaje niektóre kształty magnesów, najczęściej używanych do przyrządów cewkowych typu Deprez d'Arsonval'a,

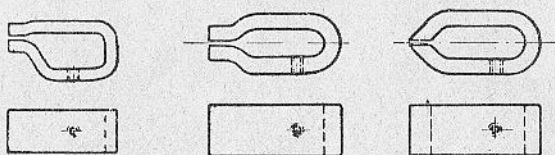


Rys. 63

Kształty magnesów stałych, stosowanych w przyrządach typu Deprez d'Arsonval'a.

zaś rys. 64 — kształty magnesów, używanych do urządzeń tłumiących*).

Magnesy zwykle, w celu ochrony przed ewentualnym rdzewieniem, są pociągnięte czarnym lakierem.



Rys. 64

Kształty magnesów stalowych, stosowanych do urządzeń tłumiących.

3. ZAWIESZENIE UKŁADU RUCHOMEGO.

Istnieje kilka sposobów zawieszenia układu ruchomego w elektrycznych przyrządach pomiarowych, z których najważniejsze są:

1. podparcie układu ruchomego na dwóch łożyskach,
2. zawieszenie układu ruchomego na jednym łożysku oraz
3. zawieszenie układu ruchomego na nitce lub cienkiej taśmie.

Najczęściej stosowany jest sposób pierwszy, tj. sposób podparcia układu ruchomego na dwóch łożyskach.

Zwykle w przyrządach pomiarowych układem ruchomym jest bądź kawałek blaszki metalowej lub pręcik, bądź też ceweczka pojedyncza lub podwójna.

Zawieszenie układu ruchomego pierwszego rodzaju nie nastręcza żadnych trudności, ponieważ do tego rodzaju układu nie potrzeba doprowadzać prądu elektrycznego. W wypadku zaś zastosowania do układu ruchomego cewki, należy zawieszenie tak skonstruować, aby można było doprowadzić do tej cewki prąd elektryczny w czasie jej ruchu, tj. obracania się.

Rozpatrzmy po kolei każdy sposób zawieszania układu ruchomego.

*) patrz p. 4 w niniejszym rozdziale.

1. Podparcie układu ruchomego na dwóch łożyskach.

Zasadniczą cechą tego sposobu zawieszania jest zaopatrzenie układu ruchomego w dwa ostre czopy, które umieszczone są w dwóch łożyskach: górnym i dolnym. Czopy wykonują się ze stali w postaci cienkich pręcików o średnicy od 0,5 do 1,5 mm i zaokrąglone są na końcach, tworząc stożek o kącie wierzchołkowym około 55°.

Ostrze czopów winno być bardzo dokładnie odpolerowane i wykonane w ten sposób, aby wierzchołek stożka nie był zbyt ostry, lecz posiadał krzywiznę o promieniu bardzo małym. Promień krzywizny ostrza czopa zwykle bywa od 0,015 do 0,1 mm. Im łżejszy jest układ ruchomy przyrządu oraz im mniejsze wchodzi w grę siły czynne, obracające układ ruchomy, tym mniejszy winien być promień krzywizny ostrza.

Ostrze czopa opiera się w łożysku, wykonanym zazwyczaj z kamieni szlachetnych, jak diament, rubin, agat itp. Często jednak, ze względu na wysoką cenę tych kamieni oraz trudności w obróbce, stosuje się na łożyska kamienie sztuczne.

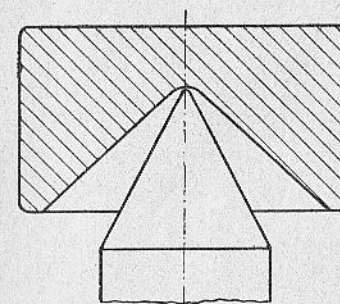
Wgłębienie w łożysku jest wykonane w postaci stożka, o kącie wierzchołkowym około 90° i dochodzącym niekiedy do 120°, przy tym wierzchołek wgłębienia, podobnie jak i ostrze, zakończony jest promieniem, lecz nieco większym od promienia krzywizny ostrza.

Wnętrze łożyska powinno być idealnie odpolerowane — bez pęknięć lub szkar.

Promień krzywizny ostrza czopa oraz promień dna łożyska są widoczne jedynie pod mikroskopem. Na rys. 65 widzimy w dużym powiększeniu (20 razy) umieszczenie ostrza czopa w łożysku górnym.

Ostrze czopa dolnego opiera się w łożysku, ostrze zaś górne zwykle posiada pewien bardzo mały luz, np. 0,02 mm (jak na rys. 65).

Dokręcanie górnego łożyska ściśle do ostrza czopa nie



Rys. 65

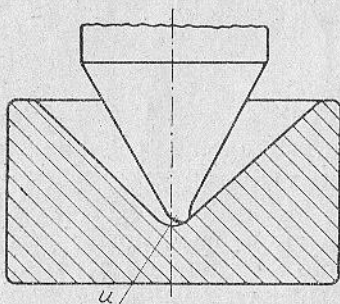
Umieszczenie ostrza czopa w łożysku (promień krzywizny ostrza 0,02 mm, łożyska—0,1 mm) w 20-krotnym powiększeniu.

powinno mieć miejsca, a to ze względu na łatwe uszkodzenie ostrzy czopów lub powierzchni łożysk.

Cała powierzchnia łożyska oraz powierzchnia ostrza winny być zupełnie gładkie, bowiem w czasie obrotu w miejscu zetknięcia powstają siły tarcia, które są tym mniejsze, im mniejsza i gładsza jest powierzchnia styku.

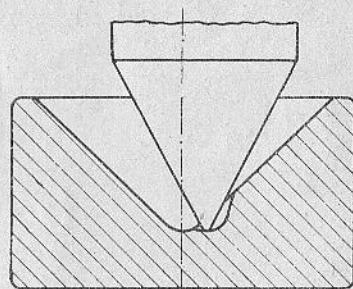
Często zdarzają się uszkodzenia w przyrządzie, polegające na lekkim zacinaniu się wskazówki.

W tym wypadku mogą mieć miejsce zniekształcenia ostrzy czopów, bądź też tzw. „wyrobienie“ łożyska. Na rys. 66 pokazane jest uszkodzone ostrze *u* w łożysku, zaś na rys. 67 — uszkodzone łożysko.



Rys. 66

Uszkodzone ostrze w łożysku.



Rys. 67

Uszkodzone łożysko.

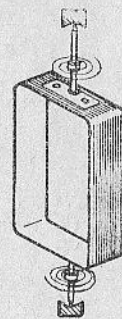
Oba czopy układu ruchomego mogą być umieszczone albo na jednej osi stalowej, przechodzącej przez oś obrotu układu ruchomego (rys. 68), albo też mogą być umocowane do układu ruchomego oddzielnie, jednak w ten sposób, aby ich osie znajdowały się na wspólnej osi obrotu układu (rys. 69). Ten ostatni sposób zwykle ma miejsce w przyrządach cewkowych typu Deprez d'Arsonval'a.

2. Zawieszenie układu ruchomego na jednym łożysku.

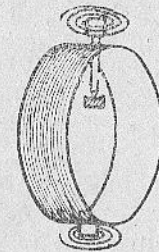
Czasem się zdarza, że układ ruchomy zawieszony jest tylko na jednym łożysku, wówczas jest tylko jeden czop górny, odwrócony ostrzem do dołu (rys. 70). Oczywiście przyrząd pomiarowy, posiadający tego rodzaju zawieszenie układu ruchomego, może być używany tylko w jednym



Rys. 68



Rys. 69



Rys. 70

Zawieszenie układu na wspólnej osi stalowej. Zawieszenie układu na czopach oddzielnych. Zawieszenie układu ruchomego na jednym łożysku.

położeniu, a mianowicie w położeniu poziomym; przyrząd należy ustawić w tym położeniu przy pomocy śrub regulujących i poziomnicy.

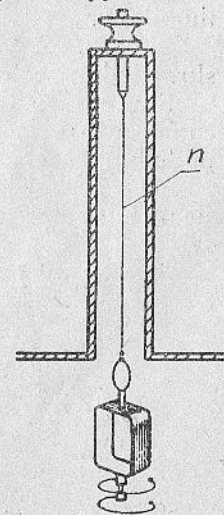
Zawieszenie na jednym łożysku posiadają niektóre przyrządy typu laboratoryjnego. Siły tarcia w takich przyrządach oczywiście są mniejsze.

3. Zawieszenie układu ruchomego na nitce.

W czułych przyrządach laboratoryjnych, w których wymagane jest unikanie sił tarcia, stosuje się zawieszenie układu ruchomego na nitce lub na płaskiej, bardzo cienkiej tasiemce metalowej.

W tego rodzaju przyrządach sił tarcia praktycznie nie ma. Przyrząd winien być ustawiony poziomo bardzo dokładnie, aby w czasie obrotu układ ruchomy nie zaczepiał się wewnątrz przyrządu. Na rys. 71 pokazany jest sposób zawieszenia układu ruchomego na nitce *n*.

Zwykle nitka ta bywa z włókienka kokonowego.



Rys. 71

Zawieszenie układu ruchomego na nitce.

Jeżeli nitka, na której został zawieszony układ ruchomy, służy jednocześnie jako doprowadzenie prądu do cewki układu ruchomego oraz do wytworzenia momentu zwracającego, wówczas wykonana jest ona w postaci cienkiej i płaskiej taśmy metalowej, zwykle fosforo - brązowej i często pozłacanej.

Co się tyczy doprowadzenia prądu do cewki układu ruchomego oraz do urządzeń wytwarzających moment zwracający, to sprawy te rozpatrzemy przy opisie poszczególnych typów przyrządów pomiarowych.

4. Urządzenia tłumiące.

Moment tłumiący wahań wskazówki przyrządu może być wytworzony w czasie ruchu układu ruchomego kilkoma sposobami. Najczęściej stosowane są:

- a) sposób mechaniczny oraz
- b) sposób magnetyczny.

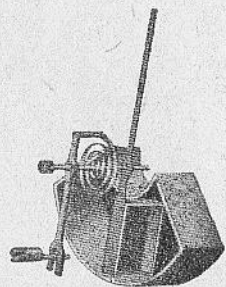
Urządzenia wytwarzające moment tłumiący, nazywamy tłumikami.

Przy sposobie mechanicznym rozróżniamy kilka typów tłumików.

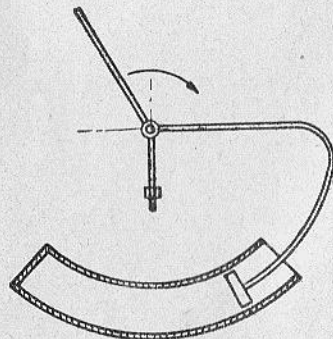
Na rys. 72 pokazane jest urządzenie tłumiące w postaci skrzydełka; jest to tzw. tłumik skrzydełkowy.

Skrzydełko tłumika przymocowane jest do układu ruchomego i umieszczone w zamkniętym ze wszystkich stron pudełku.

W czasie obrotu układu ruchomego, skrzydełko porusza się na pudełku; znajdujące się tam powietrze wywiera nacisk



Rys. 72
Tłumik skrzydełkowy
(pokrywka tłumika zdjęta).

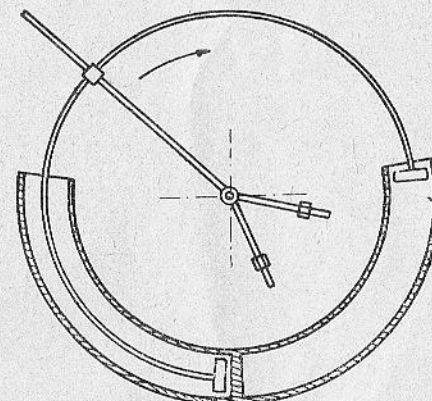


Rys. 73
Tłumik tłokowy powietrzny.

na powierzchnię skrzydełka, powodując w ten sposób tłumienie wahań.

Oczywistą jest rzeczą, że ani brzegi skrzydełka, ani też jego ośka, nie powinny w żadnym miejscu dotykać powierzchni pudełka, winny być natomiast do tej powierzchni zbliżone jak najwięcej, np. 0,5 mm, a to w celu uzyskania większego tłumienia.

Na rys. 73 pokazany jest tłumik tłokowy, powietrzny, działający na tej samej zasadzie, co i tłumik skrzydełkowy. Również i tu tłoczek nie powinien dotykać ścianek cylindra. Rys. 74 podaje podwójny tłoczek powietrzny, stosowany często do urządzeń tłumiących.

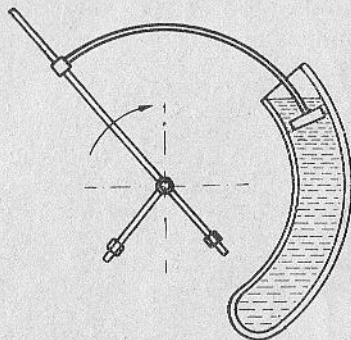


Rys. 74
Tłumik tłokowy powietrzny, podwójny.

Dla jeszcze większego tłumienia wahań wskazówki, zwłaszcza w przyrządach dużych, w których występują większe siły i układ ruchomy ma znaczną bezwładność, stosują się tłumiki olejowe, zamknięte lub otwarte. Przyrządy z tłumikami olejowymi otwartymi powinny być tak ustawione, aby oliwa nie wylewała się z nich. Na rys. 75 pokazany jest jeden z typów tłumików olejowych.

Skrzydełko lub tłoczek tłumików wykonane są z cienkiej blachy aluminiowej z usztywnionymi brzegami, całość zaś jest dokładnie wyważona z układem ruchomym przyrządu.

Tłumienie wahań wskazówki sposobem magnetycznym polega na wytwarzaniu indukowanego prądu w zwar-
tym obwodzie elektrycznym, przy ruchu w polu silnego
magnesu stałego; powoduje to wytworzenie się momentu

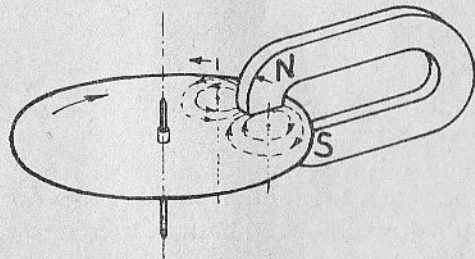


Rys. 75
Tłumik olejowy.

o kierunku przeciwnym do momentu obrotowego (czyn-
nego). Takim urządzeniem
jest np. dodatkowe uzwojenie
zwar-
te, nawinięte na cewce
ruchomej, jak to ma miejsce
w przyrządach ze stałym ma-
gnesem. Urządzenie to po-
znamy przy opisie przyrzą-
dów typu Deprez d'Arson-
val'a.

Można również wytwó-
rzyć moment tłumiący spo-
sobem magnetycznym jesz-
cze inaczej, umieszczając na
osi układu ruchomego tar-
cę aluminiową lub blaszkę w

postaci sektora lub krążka, która przy obrocie układu ru-
chomego, przesuwają się między biegunami silnego magnesu
stałego. W czasie ruchu tarczy od pola magnetycznego
magnesu stałego wytwarzane są w tarczy indukowane prą-
dy wirowe, które powodują powstawanie sił, hamujących
ruch.



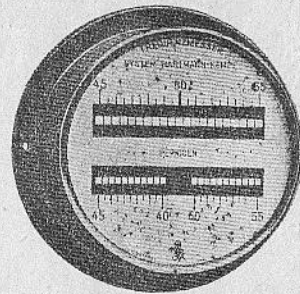
Rys. 76
Tłumik magnetyczny.

5. SKALE.

Skalą przyrządu nazywamy nieruchomą tarczę, na któ-
rej narysowana jest podziałka w postaci kresek, oznaczo-
nych liczbami. Liczby te oznaczają poszczególne wartości
mierzonej wielkości elektrycznej.

Kształt skali określa ruch wskazówki przyrządu.

A więc mamy skale płaskie z kreskami podziałki, umie-
szczonymi na obwodzie koła, np. jak to widzieliśmy na rys.
2. Kształt ten jest najczęściej stosowany. Z chwilą wpro-
wadzenia na rynek przyrządów profilowych, kształt skali
uległ zmianie. W tego rodzaju przyrządach kreski podział-
ki skali są rozmieszczone równoległe do siebie, powierzch-
nia zaś skali bywa bądź wypukła
(rys. 37), bądź też płaska (rys. 36).
Płaską również skalę o podziałce
równoległej posiadają częstościomierze (rys. 77).



Rys. 77
Częstościomierz.

Pewnego rodzaju skalą nazy-
wać możemy wszelkiego rodzaju
taśmy papierowe, które mają za-
stosowanie w przyrządach rejestru-
jących. Taśmy te posiadają po-
działkę, odpowiadającą podziałce
skali nieruchomej, z tą tylko różni-
cą, że kreski na taśmie biegają przez
całą długość taśmy*).

Materiał, z którego wykonane są skale, może być roz-
maity. Po większej części używany jest gładki matowy,
średniej grubości papier, tzw. „alabastrowy“, na którym
kreski podziałki są wrysowane ręcznie lub też podziałka
jest drukowana. Następnym materiałem, odpowiednim do
wyrobu skal, jest metal (zwykle mosiądz), w postaci cien-
kiej blachy, z której skala jest wykrojona. Skale metalowe,
przed wdrukowaniem lub wrysowaniem na nich podziałki,
są niklowane na mat, bądź powlekane są białą emalią.
Wreszcie do wyrobu skal niekiedy stosuje się szkło ma-
towe lub tzw. opalowe (białe).

Technika wrysowywania kresek podziałki na skali
przyrządu jest bardzo ciekawa; każda wytwórnia przyrzą-
dów ma swój własny sposób, utrzymywany w ścisłej nieraz
tajemnicy.

*) patrz Rozdz. XVI.

Co się tyczy rozmieszczenia kresk podziałki, to zależne jest ono od typu przyrządu i omawiane będzie w następnych rozdziałach. Tu nadmienimy, że istnieją skale o podziałce równomierniej, czyli proporcjonalnej, tj. takiej, w której kreski znajdują się między sobą w równych odległościach, oraz — skale nieproporcjonalne, czyli nierównomiernie. Skale nieproporcjonalne mają kreski podziałki, rozmieszczone nierównomiernie; kreski te są więcej zgęszczone na początku lub też na końcu podziałki.

Grubość kresk podziałki odpowiada zwykle grubości ostrza wskazówki. Im kreski te są cieńsze oraz im cieńsze jest ostrze wskazówki, tym odczyt będzie dokładniejszy. Jednak bezcelowe byłoby rysowanie podziałki o bardzo cienkich kreskach dla przyrządu o niewielkiej dokładności wskazań. Takie przyrządy posiadają skale o kreskach grubych, sama zaś podziałka oraz liczby są bardzo wyraźne i widoczne są z oddali; ma to miejsce np. w dużych przyrządach tablicowych.

Niektóre skale posiadają pod podziałką wbudowane podłużne lustro, którego cel poznamy później*).

6. WSKAZÓWKI.

Wskazówka przyrządu jest sztywno związana z układem przyrządu i obraca się wraz z nim.

Zwykle dążymy do tego, aby układ ruchomy był jak najlżejszy, zatem wskazówka, jako część składowa układu ruchomego, winna być również wykonana z materiału możliwie lekkiego, lecz sztywnego. Takim materiałem jest aluminium i duraluminium.

Najczęściej wskazówki wykonane są z cienkiej blaszki aluminiowej, specjalnie wykrojonej i usztywnionej pośrodku wytłoczonym żeberkiem. Kształt tej wskazówki pokazuje rys. 78. Tego rodzaju wskazówki używane są do małych przyrządów kieszonkowych oraz prawie do wszystkich przyrządów tablicowych.

Drugim rodzajem wskazówek są wskazówki, zwane nożowymi. Wskazówki nożowe wykonane są z cienkiej rurki duraluminiowej, na końcu której osadzona jest

*) patrz p. 7 niniejszego rozdziału.

cienka blaszka płaska, w postaci noża (rys. 79). Grubość tych rurek waha się w granicach od 0,2 do 2 mm. Grubość zakończenia nożowego wskazówki wynosi zwykle 0,1 mm, a czasem bywa jeszcze mniejsza i równa zawsze grubości kreski podziałki.

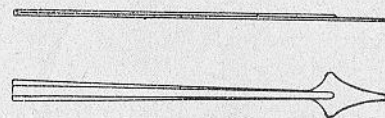
Niekiedy używane są wskazówki tzw. kombinowane. Do dużych przyrządów wskazówki bywają wykonane z rurki duraluminiowej z osadzonym na końcu ostrzem, albo też wskazówki włócznieowo - nożowe. Oba rodzaje tych wskazówek podaje rys. 80 i 81.

Wskazówka przyrządów normalnych powinna być bardzo cienka — dla uzyskania minimalnego błędu w odczycie. W tym celu używa się cienkiego włoska, naciągniętego na kabłączku (rys. 82). Grubość włoska odpowiada grubości kresk podziałki skali. Kabłączek oraz obsada kabłączka wykonane są z rurki duraluminiowej.

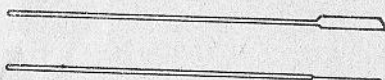
Dla przyrządów bardzo dużych wskazówka winna posiadać specjalnie mocną budowę. Wykonana ona jest wówczas z rurek duraluminiowych, jak pokazuje rys. 83.

W laboratoryjnych przyrządach lusterkowych rolę wskazówki odgrywa odbity w lusterku promień świetlny.

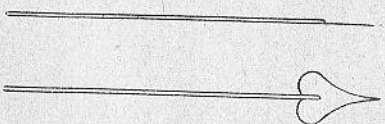
Układ ruchomy w przyrządzie winien być, jak już wyżej zaznaczyliśmy, dokładnie zrównoważony. Umieszcze-



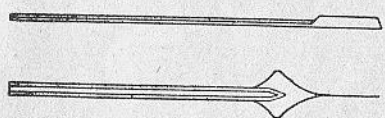
Rys. 78
Wskazówka płaska włócznieowa.



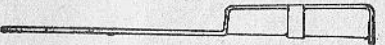
Rys. 79
Wskazówka nożowa.



Rys. 80
Wskazówka kombinowana.

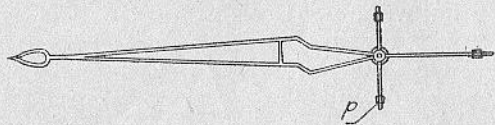


Rys. 81
Wskazówka włócznieowo-nożowa.



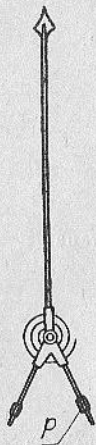
Rys. 82
Wskazówka przyrządów normalnych.

nie wskazówki w układzie ruchomym utrudnia tę równowagę. Aby zrównoważyć ciężar wskazówki, umieszczamy w układzie ruchomym z odwrotnej jej strony tzw. przeciwiwagę p , często dwie (rys. 84) lub trzy (rys. 85).



Rys. 83
Wskazówka o dużych wymiarach.

Przeciwwagi są to ramiona w postaci pręcików aluminiowych lub mosiężnych z nasadzonymi na końcach ciężarkami. Ciężarki te są przesuwane dotąd, aż zostanie osiągnięta równowaga układu.



Rys. 84
Wskazówka i przeciwwagi.

7. ODCZYTY.

Odczytem nazywać będziemy określenie miejsca na podziałce skali, w którym znajduje się wskazówka w chwili odczytywania, wyrażone w wartości liczbowej danej wartości elektrycznej. Jeżeli wskazówka w chwili odczytu znajduje się między kreskami podziałki, to część tej działki interpolujemy, tj. dzielimy działkę na oko. Tak np. na rys. 85 pokazane jest położenie wskazówki w pewnej chwili. Odczyt ten należy przeczytać: 1,23.

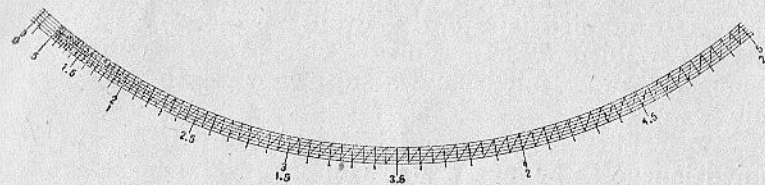
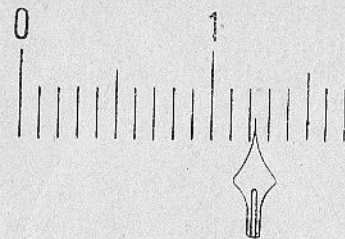
Podobnie określamy i inne odczyty.

Dla łatwiejszego odczytywania części działek skali w większych i dokładniejszych przyrządach, działki te są często przekreślone kreską ukośną, podziałka zaś podzielona jest na 5 części liniami równoległymi (rys. 86).

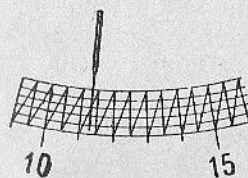
Są to tak zwane skale poprzeczne. Odczyt na takiej skali dokonywa się tak, jak pokazuje rys. 87.

Jeżeli skala posiada lusterko, to odczyt jest najdokładniejszy wówczas, gdy patrzymy na wskazówkę z takiego miejsca, z którego widzimy odbicie lustrzane wskazówki, pokrywające się ze wskazówką.

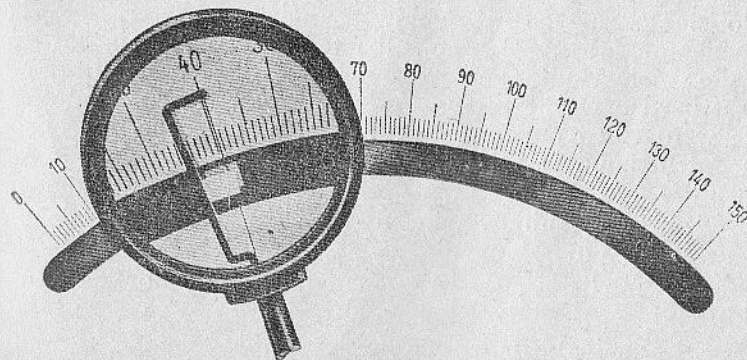
Rys. 85
Odczyt 1,23.



Rys. 86
Skala poprzeczna (nierównomierna).



Rys. 87
Odczyt na skali poprzecznej: 11,3.



Rys. 88
Odczytywanie wskazań przyrządu normalnego przy pomocy lupy (40,4) (skala równomierna z lusterkiem).

W przyrządach tzw. normalnych wskazówka z kabłączkiem zaopatrzona jest w biały kwadracik papierowy, ponieważ włoszek nie jest dobrze widoczny w lusterku. Odczytujemy przy tego rodzaju wskazówce, posługując się lupą i przytrzymując się wyżej podanych wskazówek. (rys. 88).

8. CEWKI, OPORY, BOCZNIKI.

Wszelkiego rodzaju cewki w przyrządach pomiarowych, czy to cewki nieruchome, czy też ruchome, są wykonane z drutu miedzianego, tzw. drutu nawojowego, izolowanego jedwabiem, bawełną lub też emalowanego. Niekiedy zamiast drutów miedzianych stosowane są druty aluminiowe.

W Tablicy VII oporności i wagi drutu nawojowego, miedzianego są podane w założeniu, że wykonano je z miedzi wzorowej wyżarzanej, posiadającej oporność właściwą $0,017241, \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ oraz ciężar właściwy $8,89 \text{ gr/mm}^3$.

Przekrój drutu w cewkach dobieramy w ten sposób, aby materiał nie był zbyt obciążony prądem. Zwykle przyjmujemy obciążenie wynoszące od 3 do 6 amperów na 1 mm^2 przekroju drutu.

Na opory do woltomierzy oraz na boczniki do amperomierzy stosujemy druty nawojowe oporowe z materiału o dużej oporności właściwej.

Najlepszymi materiałami oporowymi w zastosowaniu do elektrycznych przyrządów pomiarowych są stopy: manganin lub konstantan. Oba te stopy posiadają bardzo małe współczynniki zmiany oporności od temperatury, co jest bardzo ważne w tego rodzaju urządzeniach, ponieważ ze wzrostem temperatury drutu zmienia się jego oporność, a zatem zmniejsza się wtedy dokładność wskazań przyrządu*).

Stop manganinowy, zwany w skróceniu manganinem, zawiera około:

84% miedzi (Cu), 12% manganu (Mn) oraz 4% niklu (Ni).

Manganin posiada oporność prawie stałą, praktycznie niezależną od temperatury, i z tego względu ma szerokie

*) patrz Rozdział II.

TABLICA VII.

Druty nawojowe miedziane (gole).

1	2	3	4
Średnica drutu w mm	Oporność 1 metra w omach	Długość drutu o oporności 1 om w metrach	Waga 1000 m w kg
0,02	54,88	0,018	0,0028
0,03	24,39	0,041	0,0063
0,04	13,72	0,073	0,0112
0,05	8,781	0,114	0,0175
0,06	6,098	0,164	0,0252
0,07	4,480	0,223	0,0343
0,08	3,4300	0,292	0,045
0,09	2,7100	0,369	0,057
0,10	2,1952	0,455	0,070
0,11	1,8142	0,552	0,085
0,12	1,5244	0,656	0,101
0,13	1,2991	0,770	0,118
0,14	1,1200	0,893	0,137
0,15	0,9757	1,023	0,158
0,16	0,8575	1,144	0,179
0,17	0,7596	1,317	0,202
0,18	0,6775	1,475	0,227
0,19	0,6081	1,641	0,253
0,20	0,5488	1,822	0,280
0,22	0,4536	2,20	0,339
0,24	0,3811	2,63	0,403
0,25	0,3512	2,85	0,437
0,28	0,2800	3,57	0,549
0,30	0,2439	4,10	0,630
0,32	0,2145	4,67	0,715
0,35	0,1792	5,58	0,857
0,40	0,1372	7,28	1,120
0,45	0,1084	9,22	1,417
0,50	0,08781	11,4	1,750
0,55	0,07230	13,8	2,118
0,60	0,06098	16,4	2,520
0,65	0,05180	19,3	2,953
0,70	0,04480	22,3	3,430
0,75	0,03898	25,7	3,930
0,80	0,03430	29,2	4,480
0,85	0,03040	32,9	5,045
0,90	0,02710	36,9	5,670
0,95	0,02430	41,2	6,32
1,00	0,02195	45,5	7,00
1,10	0,01814	55,2	8,5
1,20	0,01524	65,6	10,1
1,50	0,009757	102,3	15,8
1,80	0,006775	147,5	22,7
2,00	0,005488	182,2	28,0

zastosowanie do budowy oporów normalnych i precyzyjnych. Cena manganinu jest jednak dość wysoka.

Tańszym materiałem jest konstantan.

Stop konstantanowy zawiera około:

54% Cu, 45% Ni oraz 1% Mn

Oporność właściwa manganinu wynosi około $0,43 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$, ciężar zaś właściwy około $8,3 \text{ gr/mm}^3$.

Oporność właściwa konstantanu wynosi około $0,49 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$, ciężar zaś właściwy około $8,85 \text{ gr/mm}^3$.

Konstantan może być używany do wyrobu oporów i boczników dla przyrządów pomiarowych narówni z manganinem.

Oporo i boczniki mogą być obciążone prądem tak, aby temperatura ich nie przekraczała norm dozwolonych.

Zwykle opory i boczniki manganinowe dla przyrządów bardzo dokładnych mają pod prądem temperaturę drutu do 35°C ; dla przyrządów mniej dokładnych temperaturę tę podnieść można do 100°C .

Oporo i boczniki konstantanowe mogą być czynne przy nieco wyższych temperaturach do 200°C , a zatem mogą być więcej obciążane.

Należy zawsze uważać, aby przy podnoszeniu temperatury drutów oporowych nie została uszkodzona ich izolacja, zwłaszcza jedwabna lub bawelniana.

Przy obliczaniu przekroju oporów i boczników przyjmujemy zazwyczaj prąd od $0,3$ do $1,5 \text{ A}$ na 1 mm^2 przekroju drutu.

W tablicy VIII podane są wartości oporności i wagi drutów manganinowych i konstantanowych, przyjmując podane wyżej oporności właściwe i ciężary właściwe dla tych stopów.

Tabela IX zawiera przekroje drutu w zależności od średnicy oraz średnice tych drutów w rozmaitej izolacji.

Należy zaznaczyć, że druty nawojowe oporowe, podobnie jak druty nawojowe miedziane, posiadają izolację w postaci emalii, albo oprzędu jedwabnego lub bawelnianego. Grubość emalii, jako też oprzędu, w obu wypadkach jest jednakowa, to też wartości podane w tablicy IX stosują się zarówno do drutów miedzianych, jak i do oporowych.

TABELA VIII.
Druty nawojowe oporowe (gole).

Średnica drutu w mm	Manganin		Konstantan	
	Oporność 1 metra w omach	Waga 1000 m w kg	Oporność 1 metra w omach	Waga 1000 m w kg
	0,02	1368,0	0,00261	1561,0
0,03	608,0	0,00587	693,0	0,00625
0,04	341,5	0,01043	389,0	0,01116
0,05	219,0	0,0163	250,0	0,0174
0,06	152,0	0,0235	173,0	0,0251
0,07	111,7	0,0319	127,3	0,0341
0,08	85,5	0,0418	97,4	0,0446
0,09	67,5	0,0528	76,56	0,0566
0,10	54,7	0,0652	62,03	0,0695
0,11	45,3	0,0788	51,58	0,0842
0,12	38,1	0,094	43,36	0,100
0,13	32,4	0,111	36,85	0,117
0,14	27,9	0,128	31,82	0,136
0,15	24,3	0,147	27,68	0,156
0,16	21,4	0,167	24,38	0,178
0,17	18,9	0,188	21,59	0,201
0,18	16,9	0,211	19,29	0,225
0,19	15,14	0,236	17,25	0,251
0,20	13,68	0,261	15,61	0,278
0,22	11,31	0,315	12,89	0,337
0,24	9,55	0,375	10,84	0,401
0,25	8,77	0,407	9,98	0,435
0,28	6,98	0,512	7,95	0,547
0,30	6,08	0,587	6,93	0,625
0,32	5,36	0,667	6,09	0,712
0,35	4,47	0,798	5,09	0,852
0,40	3,415	1,043	3,89	1,116
0,45	2,705	1,32	3,08	1,407
0,50	2,190	1,63	2,50	1,74
0,55	1,810	1,98	2,05	2,11
0,60	1,520	2,35	1,73	2,51
0,65	1,295	2,76	1,48	2,94
0,70	1,117	3,19	1,273	3,41
0,75	0,974	3,67	1,110	3,91
0,80	0,855	4,18	0,974	4,46
0,85	0,758	4,72	0,860	5,02
0,90	0,675	5,28	0,766	5,66
0,95	0,607	5,88	0,690	6,28
1,00	0,547	6,52	0,620	6,95
1,10	0,453	7,88	0,516	8,42
1,20	0,381	9,38	0,434	10,00
1,50	0,243	14,7	0,277	15,6
1,80	0,169	21,1	0,193	22,5
2,00	0,137	26,1	0,156	27,8

TABELA IX.
Średnice drutów w izolacji.

1	2	3	4	5	6	7
Średnica drutu gołego w mm	Przekrój gołego w mm ²	Średnica drutu emaliow. w mm	Średnica drutu z izolacją z 1×jedwab w mm	Średnica drutu z izolacją z 2×jedwab w mm	Średnica drutu z izolacją z 1×bawełna w mm	Średnica drutu z izolacją z 2×bawełna w mm
0,02	0,000314	0,030	0,055	0,09	—	—
0,03	0,000707	0,042	0,065	0,10	—	—
0,04	0,001257	0,052	0,075	0,11	—	—
0,05	0,001963	0,064	0,085	0,12	—	—
0,06	0,00283	0,075	0,095	0,13	—	—
0,07	0,00385	0,085	0,105	0,14	—	—
0,08	0,00503	0,095	0,115	0,15	—	—
0,09	0,00636	0,105	0,125	0,16	—	—
0,10	0,00785	0,12	0,135	0,17	0,20	0,26
0,11	0,0095	0,13	0,145	0,18	0,21	0,27
0,12	0,0113	0,14	0,155	0,19	0,22	0,28
0,13	0,0133	0,15	0,165	0,20	0,23	0,29
0,14	0,0154	0,16	0,175	0,21	0,24	0,30
0,15	0,0177	0,17	0,185	0,22	0,25	0,31
0,16	0,0201	0,18	0,195	0,23	0,26	0,32
0,17	0,0227	0,19	0,205	0,24	0,27	0,33
0,18	0,0254	0,20	0,215	0,25	0,28	0,34
0,19	0,0284	0,21	0,225	0,26	0,29	0,35
0,20	0,0314	0,22	0,235	0,27	0,30	0,36
0,22	0,0380	0,25	0,26	0,29	0,32	0,38
0,24	0,0452	0,27	0,28	0,31	0,34	0,40
0,25	0,0491	0,28	0,29	0,32	0,35	0,41
0,28	0,0616	0,31	0,32	0,35	0,38	0,44
0,30	0,0707	0,33	0,34	0,37	0,42	0,50
0,32	0,0804	0,35	0,36	0,39	0,44	0,52
0,35	0,0962	0,38	0,39	0,42	0,47	0,55
0,40	0,126	0,43	0,44	0,47	0,52	0,60
0,45	0,159	0,48	0,49	0,52	0,57	0,67
0,50	0,196	0,54	0,54	0,57	0,62	0,72
0,55	0,238	0,59	0,59	0,63	0,67	0,77
0,60	0,283	0,64	0,64	0,68	0,72	0,82
0,65	0,332	0,69	0,69	0,73	0,77	0,87
0,70	0,385	0,75	0,74	0,78	0,82	0,92
0,75	0,442	0,80	0,79	0,83	0,87	0,97
0,80	0,503	0,85	0,84	0,88	0,92	1,02
0,85	0,567	0,90	0,89	0,93	0,97	1,07
0,90	0,636	0,95	0,94	0,98	1,02	1,12
0,95	0,709	1,00	0,99	1,03	1,07	1,17
1,00	0,785	1,05	1,04	1,08	1,12	1,22
1,10	0,950	1,16	1,14	1,18	1,22	1,32
1,20	1,13	1,26	1,24	1,28	1,32	1,42
1,50	1,77	1,56	1,54	1,58	1,65	1,76
1,80	2,54	1,86	—	—	1,95	2,06
2,00	3,14	2,07	—	—	2,15	2,66

Co się tyczy wyglądu zewnętrznego oraz konstrukcji oporów i boczników, to podawaliśmy te szczegóły w Rozdziale IV, p. 4, niektóre zaś szczegóły dodatkowe, dotyczące się oporów stosowanych do układów mostkowych, rozpatrzemy w Rozdziale XIV.

Przypominamy, że w tablicach VII i VIII podane są wagi drutów gołych. Wagi drutów w izolacji są nieco większe.

9. OGÓLNE WYMAGANIA KONSTRUKCYJNE.

Wybór odpowiedniego typu przyrządu pomiarowego do danego urządzenia elektrycznego lub do ściśle określonych potrzeb nie jest rzeczą łatwą.

Dlatego też podajemy kilka najważniejszych wymagań, jakie stawiamy przy wyborze przyrządu, w odniesieniu do jego konstrukcji, obudowy itp.

1) Przyrządy tablicowe.

Średnica przyrządu tablicowego powinna być tej wielkości, aby podziałka była widoczna zupełnie wyraźnie na odległość 2 do 3 metrów od tablicy. Umożliwia to obserwowanie jednoczesne kilku przyrządów pomiarowych, należących do jednego zespołu urządzenia. Kreski podziałki oraz liczby powinny być wyraźne i niezbyt zgęszczone między sobą. Jeżeli zachodzi potrzeba obserwowania przyrządu z większej odległości, należy średnicę przyrządu odpowiednio zwiększyć. W wypadku słabego oświetlenia skali przyrządu, celowe jest oświetlenie skali od wewnątrz przyrządu.

Obudowa przyrządu winna odpowiadać warunkom, stawianym ze względu na rodzaj pomieszczenia, a mianowicie w pomieszczeniach suchych i wolnych od kurzu mogą być stosowane obudowy w wykonaniu zwykłym, w pomieszczeniach zaś wilgotnych lub mokrych — w obudowie półhermetycznej lub hermetycznej.

Obudowa winna być trwała, szkło dobrze uszczelnione.

Wyprowadzenie zacisków do połączeń z przewodami powinno być starannie izolowane od obudowy.

Konstrukcja wewnętrzna mechanizmu winna być mocna i trwała, nieczuła na większe przeciążenia.

Pobór mocy niepowinien być zbyt duży.
Tłumienie wahań wskazówki powinno być dostateczne, lecz niezbyt wielkie.

2) *Przyrządy przenośne.*

Przyrządy przenośne winny być możliwie lekkie i dogodnie do przenoszenia, to też zaleca się obudowę ich wykonywać z drzewa lub bakelitu, zaopatrując przyrząd w pasek do noszenia lub torbę skórzaną.

Wyprowadzenie zacisków powinno być łatwo dostępne, same zaciski zaś winny być wykonane z kapturkami (nakrętkami) z materiału izolacyjnego.

Zaciski muszą posiadać wyraźne oznaczenia, aby były wykluczone pomyłki przy włączaniu przyrządu.

Pierwszeństwo mają zawsze przyrządy uniwersalne, wielozakresowe, bez oddzielnych oporników lub boczników, co ułatwia ogromnie pomiar i usprawnia pracę.

Przyrządy przenośne powinny posiadać układ ruchomy ściśle zrównoważony, aby dokładność wskazań przyrządu była jednakowa w każdym jego położeniu, przy tym konstrukcja wewnętrzna winna być odporna na mniejsze lub większe wstrząsy, niewykluczone przy przenoszeniu przyrządu.

Dokładne przyrządy przenośne powinny posiadać poziomnicę, w celu właściwego ustawienia przyrządu, oraz zerownik, izolowany od mechanizmu.

Każdy przyrząd musi mieć załączony schemat oraz szczegółowe wskazówki, co do sposobu posługiwania się nim.

3) *Przyrządy laboratoryjne.*

Wymagania stawiane przyrządom laboratoryjnym są specjalne, dlatego też cena tych przyrządów niekiedy jest dość znaczna.

Przyrząd laboratoryjny powinien mieć niezmienny stopień dokładności, winien być nieczuły na zmiany temperatury otoczenia oraz na postronne pola elektryczne i magnetyczne.

Układ ruchomy winien być zaopatrzony w urządzenie, pozwalające na zahamowanie tego układu w czasie przenoszenia przyrządu.

Przyrząd powinien posiadać zerownik lub urządzenie, pozwalające na dokładne ustawienie wskazówki lub promienia świetlnego na zero. Prócz powyższego każdy przy-

rząd laboratoryjny powinien być zaopatrzony w poziomnicę oraz śruby regulujące jego położenie.

Wobec tego, że przyrządy laboratoryjne służą do pomiarów bardzo dokładnych, winny one posiadać świadectwa wzorcowania z datą, podpisem i pieczęcią pracowni, która wzorcowanie wykonała oraz tabelę błędów, tj. poprawek do wskazań przyrządu. Dla łatwiejszego posługiwania się tabelką błędów, niekiedy do przyrządów laboratoryjnych dołączane są specjalne wykresy wzorcowania (patrz Rozdział XVII).

ROZDZIAŁ VI.

PRZYRZĄDY Z RUCHOMYM MAGNESEM.

1. ZASADA DZIAŁANIA GALWANOSKOPU.

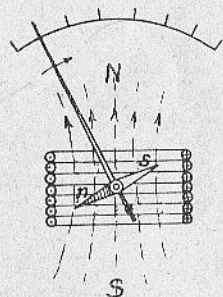
Najprostszym typem, a zarazem najmniej dokładnym, jest przyrząd z ruchomym magnesem i nieruchomą cewką.

Wiemy dobrze, jak wygląda busola. Otóż w busoli znajduje się magnes stały, nieraz w postaci wskazówki, z dwóch stron zastrzonej, która jest w swym środku podparta na ostrzu. W położeniu poziomym wskazówka busoli zawsze ustawia się według kierunku sił magnetyzmu ziemskiego.

Jeżeli teraz do magnesu busoli umocujemy boczną wskazówkę, prostopadłą do niej, otrzymamy układ ruchomy przyrządu. Układ ten, po zrównoważeniu, umieszczamy wewnątrz cewki, sporządzonej z izolowanego drutu miedzianego, jak to pokazuje rys. 89 (na rysunku cewka jest przecięta) i włączamy do tej cewki stały prąd elektryczny.

Przypuśćmy, że kierunek prądu w cewce jest taki, że wytworzy on strumień magnetyczny o biegunowości N i S, jak na rys. 89. Wówczas wskazówka busoli będzie starała się ustawić w ten sposób, aby kierunek jej był zgodny ze strumieniem cewki.

W ten sposób powstaje moment obrotowy i magnes wraz z wskazówką obróci się w pewien kąt.



Rys. 89

Zasada działania galwanoskopu.

Momentem zwracającym będzie tu moment, powstały od sił magnetyzmu ziemskiego; będzie on starał się zwrócić wskazówkę do położenia początkowego.

Po zrównoważeniu się obu tych momentów, wskazówka się zatrzyma i pozwoli na skali odczytać pewną wartość.

Powyższy przyrząd będziemy nazywali galwanoskopem. Nie jest to przyrząd pomiarowy w ścisłym słowa tego znaczeniu i zalicza się raczej do wskaźników obecności prądu.

Galwanoskop jest przyrządem w wysokim stopniu niedokładnym, ponieważ czynny moment obrotowy jest zmienny i zależy nie tylko od pola elektromagnetycznego cewki, lecz i od całego szeregu czynników zewnętrznych. Znajdujące się w pobliżu większe przedmioty żelazne, stałe magnesy, pola elektromagnetyczne powstałe od przewodów z prądem itp. są to czynniki, które zniekształcają pole magnetyzmu ziemskiego, a tym samym mają ogromny wpływ na wskazania galwanoskopu.

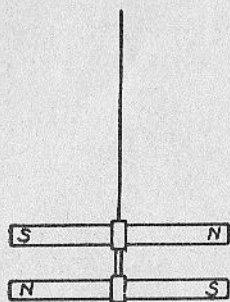
Pomimo swoich wad, galwanoskop jest przyrządem o nadzwyczaj wielkiej czułości. Przy zastosowaniu lusterka zamiast wskazówki, możemy wykrywać nim prądy, wynoszące zaledwie 10^{-10} ampera*). Galwanoskop jednak, z powodu swych wad, prawie nie jest używany i zastępuje go galwanometr astatyczny.

2. GALWANOMETR ASTATYCZNY.

Działanie galwanometru astatycznego oparte jest na zasadzie galwanoskopu, z tą tylko różnicą, że zamiast jednego ruchomego magnesu mamy w galwanometrze astatycznym dwa magnesy—bardzo cienkie i lekkie, sztywno ze sobą połączone przy pomocy pręcika, przy tym bieguny tych magnesów są odwrócone, jak na rys. 90. Każdy z tych magnesów umieszczony jest w oddzielnej cewce, cewki zaś połączone są ze sobą w szereg w ten sposób, że wytwarzają pola magnetyczne przeciwne. Pola te wytwarzają momenty, działające na odpowiednie magnesy, skracając je w jedną i tę samą stronę.

*) $\frac{1}{10000000000}$ ampera tj. $\frac{1}{10000}$ μ A.

Pole magnetyzmu ziemskiego na taki układ magnesu prawie nie działa, nie wytwarza więc tu dodatkowego momentu zwracającego. Oba magnesy są zawieszony na cienkiej jedwabnej lub kwarcowej nitce, wskutek skręcania się której, powstaje moment zwracający.



Rys. 90

Układ magnesów galwanometru astatycznego.

W celu zabezpieczenia galwanometru od wpływu pól obcych, zamyka się go w panczerze z miękkiego żelaza, który zmniejsza te wpływy w znacznym stopniu.

Należy zaznaczyć, że zarówno galwanoskopy, jak i galwanometry astatyczne, mogą być używane wyłącznie przy prądzie stałym.

Czułość galwanometru jest bardzo duża i równa się czułości galwanoskopu, a niekiedy nawet jest jeszcze większa i wynosi $2 \cdot 10^{-11}$ A.

Przy tak dużej czułości waga układu ruchomego jest bardzo mała i wynosi tylko około 35 mgr.

*) patrz Rozdział VIII

ROZDZIAŁ VII. PRZYRZĄDY ELEKTROMAGNETYCZNE.

1. ZASADA DZIAŁANIA.

Przyrządami elektromagnetycznymi nazywać będziemy przyrządy z ruchomym rdzeniem, w postaci kawałka miękkiego żelaza, pozbawionego zupełnie magnetyzmu szczątkowego.

Budowa przyrządów elektromagnetycznych jest bardzo prosta, są one tanie i dlatego mają ogromne zastosowanie.

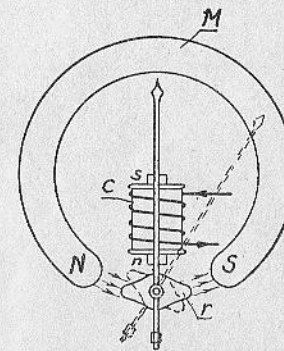
Wszystkie przyrządy elektromagnetyczne możemy podzielić na dwie zasadnicze grupy, a mianowicie: przyrządy z nieruchomym stałym magnesem oraz przyrządy bez stałego magnesu.

a) *Przyrządy elektromagnetyczne ze stałym magnesem.*

Tego rodzaju przyrządy mają ogromne zastosowanie w samochodach oraz jako bardzo tanie przyrządy kieszonkowe.

Zasada działania jest następująca (rys. 91):

Między biegunami N-S stałego magnesu *M* przebiegają linie sił pola magnetycznego. Jeżeli w polu tym umieścimy ruchomy kawałek miękkiego żelaza w postaci wydłużonej blaszki *r*, to blaszka ta zajmie w polu magnetycznym położenie takie, że dłuższy jej bok będzie



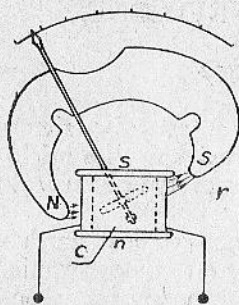
Rys. 91

Zasada działania przyrządu elektromagnetycznego z magnesem stałym.

równoległy do linii sił pola. Jeżeli teraz umieścimy w pobliżu elektromagnes, tj. cewkę *c*, przez którą przepływać będzie prąd elektryczny, to pole elektromagnetyczne tej cewki wraz z polem magnesu stałego stworzą pole wypadkowe. Blaszka żelazna obróci się o pewien kąt i zajmie położenie równoległe do linii sił pola wypadkowego.

Na rysunku położenie to pokazane jest liniami przerywanymi.

Na blaszce umocowana jest wskazówka i przeciwwaga, która równoważy ciężar wskazówki. Kąt odchylenia blaszki możemy odczytać na skali, wartość którego wskaże wskazówka.



Rys 92

Woltomierz elektromagnetyczny ze stałym magnesem.

Zamiast elektromagnesu możemy użyć cewkę bez rdzenia żelaznego, układ ruchomy zaś umieścić wewnątrz cewki (rys. 92), wówczas otrzymamy przyrząd, często spotykany w praktyce.

Cewka, w wypadku zastosowania przyrządu jako amperomierz, posiada małą ilość zwojów grubego drutu, przy woltomierzach natomiast cewka ma dużo zwojów cienkiego drutu, a przy wyższych napięciach — opory dodatkowe łączone z cewką w szereg.

Czynny moment obrotowy wytwarza tu strumień magnetyczny cewki, moment zaś zwracający — strumień magnesu stałego. Z tego wynika, że strumień cewki musi mieć stały kierunek, to znaczy, że przy pomocy wyżej opisanych przyrządów nie możemy mierzyć prąd zmienny, lecz tylko prąd stały.

Jeżeli zamiast prądu stałego zastosowalibyśmy prąd zmienny, to wskazówka przyrządu drgałaby w takt zmian prądu. Na tej zasadzie oparte jest działanie oscylografu, zbudowanego przez Blondel'a.

Należy zaznaczyć, że dokładność przyrządów elektromagnetycznych ze stałym magnesem jest niewielka i wynosi od 5% do 10%, wobec czego nie mogą one służyć do właściwego pomiaru wartości wielkości elektrycznych i używane są tylko tam, gdzie chodzi o wartości orientacyjne.

Skala tych przyrządów jest nierównomierna, więcej zagęszczona na początku i na końcu.

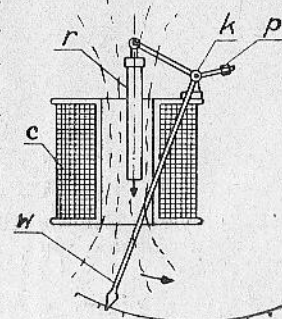
b) Przyrządu elektromagnetyczne bez magnesu stałego.

Zasada działania tych przyrządów elektromagnetycznych polega na wciąganiu rdzenia żelaznego przez zagęszczone linie magnetyczne, lub też na odpychaniu się dwóch blaszek żelaznych, znajdujących się w polu magnetycznym.

Najprostszym przykładem powyższej zasady, zresztą oddawna zarzuconym, jest układ pokazany na rys. 93.

Przez cewkę *c*, sporządzoną z drutu izolowanego (miedzianego), przepuszczamy prąd elektryczny. Cewka wytwarza pole elektromagnetyczne (na rys. linie przerywane), którego linie sił najwięcej zagęszczone są wewnątrz cewki.

Układ ruchomy przyrządu składa się z rdzenia żelaznego *r*, sporządzonego z miękkich żelaznych drucików lub blaszek, wskazówki *w* i przeciwwagi *p*. Układ spoczywa ostrzami na łożyskach poziomych *k*. Z chwilą powstania strumienia w cewce, rdzeń *r* jest wciągany do wnętrza cewki i odchyła wskazówkę *w* o pewien kąt.



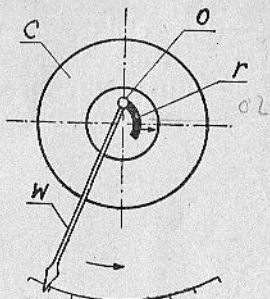
Rys. 93

Przyrząd elektromagnetyczny z wciąganiem rdzeniem.

Czynny moment obrotowy powoduje tu strumień cewki. Im większy jest ten strumień magnetyczny, tym większy jest moment obrotowy. Jednak wzrost momentu obrotowego nie jest tu proporcjonalny do wzrostu strumienia cewki, skala jest nierównomierna, zagęszczona na początku i nieco w końcu skali.

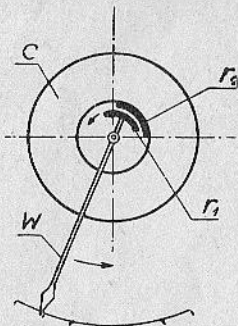
Moment zwracający wytwarza tu siła ciężkości układu ruchomego, który tu nie jest zrównoważony; środek ciężkości układu znajduje się poniżej punktu zawieszenia.

Inny przykład zasady działania przyrządu elektromagnetycznego pokazuje rys. 94. Oś obrotu układu ruchomego jest umieszczona w punkcie *o* — ekscentrycznie do osi cewki. Rdzeń ruchomy *r* ma kształt wskazany na rysunku i znajduje się wewnątrz cewki. Ponieważ strumień w cewce *c* ma największe zagęszczenie w pobliżu wewnętrznych ścianek cewki, rdzeń *r* jest więc przyciągany przez ściankę cewki, wskutek czego cały układ ruchomy obraca się dokoła osi *o*.



Rys. 94

Przyrząd elektromagnetyczny z rdzeniem obracającym.



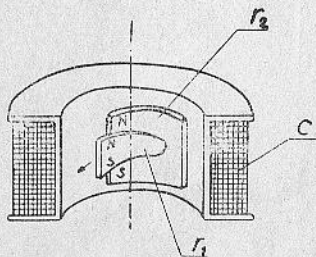
Rys. 95

Przyrząd elektromagnetyczny z odpychającymi się blaszkami.

Jeszcze inny przykład podaje rys. 95.

Widzimy tu dwie blaszki żelazne r_1 i r_2 . Blaszka r_1 jest ruchoma i przymocowana do układu ruchomego przyrządu, blaszka zaś r_2 znajduje się na wewnętrznej ścianie cewki c i jest nieruchoma.

Z chwilą powstania strumienia elektromagnetycznego wewnątrz cewki, obie blaszki, ruchoma i nieruchoma, magnesują się, tworząc dwa jednakowe magnesy. Ponieważ magnesy te posiadają jednorodne bieguny, skierowane w tę samą stronę, tj. leżące obok siebie (rys. 96) — wzajemnie się odpychają.



Rys. 96

Zasada odpychania się blaszek w przyrządzie elektromagnetycznym.

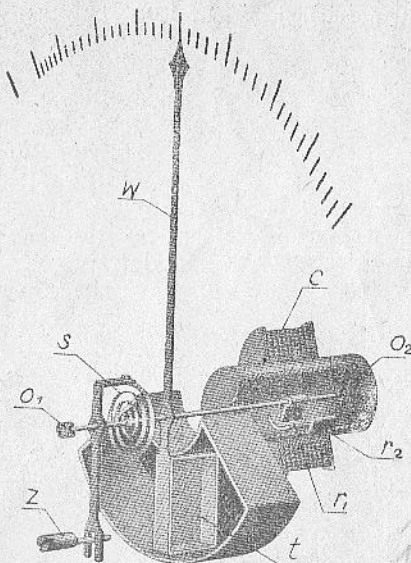
Zasada powyższa jest obecnie często stosowana w przyrządach elektromagnetycznych, budowanych przez niektóre wytwórnie. Na rys. 97 podane jest konstrukcyjne rozwiązanie tej zasady. Widzimy tu nieruchomą cewkę c z umocowaną do wewnętrznej jej ścianki blaszką r_2 . Ruchoma blaszka r_1 umocowana jest do

układu ruchomego, który może obracać się w łożyskach o_1 i o_2 , przy czym układem ruchomym jest tu wskazówka w wraz ze skrzydełkiem tłumika t .

Odpychanie się blaszek r_1 i r_2 powoduje obrót układu

ruchomego — wskazówka w wskaże wówczas pewną wartość na skali.

Moment zwracający wytwarza tu sprężynkę spiralną s , umocowana jednym końcem do osi układu ruchomego, drugim zaś do dźwigni zerownika z . Dźwignia zerownika



Rys. 97

Konstrukcja przyrządu elektromagnetycznego z odpychającymi się blaszkami.

może być nieco odchylna od swego położenia pierwotnego przy pomocy śrubki z mimośrodowym trzpieniem, w celu ustawienia wskazówki przyrządu na zerze skali.

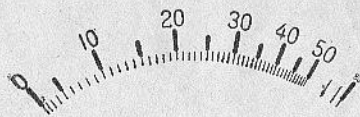
Skala przyrządów elektromagnetycznych, jak już zaznaczyliśmy, jest nierównomierna. Przy odpowiednim doborze kształtu blaszek oraz sposobu ich umieszczenia, możemy tę nieproporcjonalność zmieniać w szerokich granicach. Blaszkę nieruchomą możemy w tym celu również przesuwac przy pomocy specjalnej śrubki (w niektórych przyrządach).

Na rys. 98, 99, 100 i 101 podane są rozmaite układy działek skali przyrządów elektromagnetycznych, przy tym

Wskazówka musi być prop. do kształtu i umieszczenia blaszek!
Wskazówka na zerze skali



Rys. 98
Kształt skali normalnej.



Rys. 99
Kształt skali z poszerzonymi działkami na początku i zgęszczonymi na końcu.



Rys. 100
Kształt skali z działkami poszerzonymi na końcu.



Rys. 101
Kształt skali prawie proporcjonalny.

obrotu. W tym wypadku przeciwwaga wskazówki jest niekiedy zbędna. Oczywiście przyrządy takie (bez sprężynki spiralnej) mogą być używane tylko w położeniu pionowym, ściśle określonym.

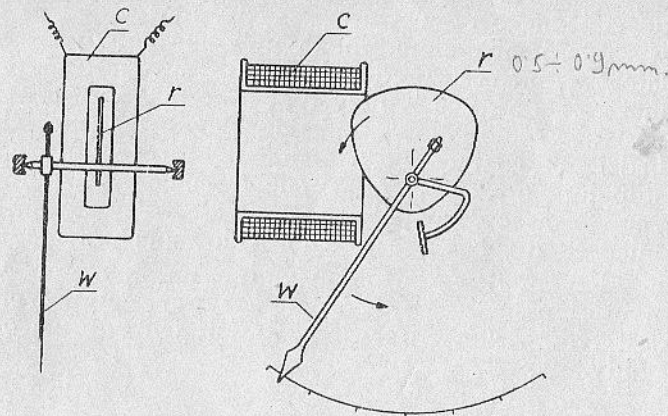
Główną zaletą przyrządów elektromagnetycznych z ruchomym rdzeniem żelaznym, bez magnesu stałego, jest to, że mogą być zastosowane zarówno do pomiarów prądu stałego, jak i zmiennego. Dlatego też kierunek prądu w cewce przyrządu nie gra roli. Jednak przy odwracaniu prądu w cewce, wskutek magnetyzmu szczątkowego,

na rys. 101 widzimy skalę prawie proporcjonalną, stosowaną do przyrządów przenośnych.

Bardzo często stosowane jest również rozwiązanie konstrukcyjne przyrządów elektromagnetycznych, podane na rys. 102. Cewka c jest spłaszczona. Do cewki wciąga się blaszka r o kształcie, podanym na rysunku. Blaszka r , wskazówka w z przeciwwagą oraz tłoczek t tłumika powietrznego są umocowane do osi stalowej i stanowią razem układ ruchomy przyrządu. Układ ruchomy podparty jest na dwóch łożyskach o_1 i o_2 .

Czynny moment obrotowy wytwarza cewka c , wciągając blaszkę r .

Moment zwracający może być tu wytworzony przez sprężynkę spiralną, wówczas układ winien być dokładnie zrównoważony, lub też przez siłę ciężkości — wskutek umieszczenia środka ciężkości układu ruchomego poniżej osi



Rys. 102
Konstrukcja przyrządu z wciągana blaszką.

powstałego przez histerezę rdzenia żelaznego, wskazania przyrządu różnią się nieco od siebie. Różnica we wskazaniach da się zauważyć również przy prądzie wzrastającym, a następnie malejącym. Dobierając odpowiedni układ chemiczny żelaza na rdzenie ruchome, możemy różnicę tę zmniejszyć znacznie, tak, że nie będzie ona przekraczała 1%.

Przy prądzie zmiennym nie ma wpływu histerezy, lecz odgrywają rolę prądy wirowe; wpływ ich zależy od częstotliwości prądu.

Przy zachowaniu pewnych ostrożności, np. przecinając wzdłuż cylinder metalowy, na którym nawinięta jest cewka, odsuwając dalej części metalowe od cewki oraz stosując rdzeń z bardzo cienkiej blaszki, możemy wpływ prądów wirowych zmniejszyć do tego stopnia, że jedna i ta sama skala przyrządu może być stosowana dla prądu stałego i zmiennego. W przeciwnym wypadku przyrząd posiada dwie skale dla obu prądów oddzielnie.

Zwykłe przyrządy elektromagnetyczne budowane są dla prądu o częstotliwości od 15 do 60, a nawet 100 okresów na sek. bez zmiany skali. Dla wyższych częstotliwości przyrządy elektromagnetyczne budowane są do 1000 okr. na sek.

Należy zaznaczyć, że przyrządy elektromagnetyczne mają wskazania dla prądu stałego takie same, jak dla prądu

du zmiennego tylko wówczas, gdy prąd stały jest rzeczywiście prądem stałym, np. z ogniw galwanicznych, akumulatorów itp. Jeżeli prąd stały wytworzony jest np. przy pomocy prostownika, a przy tym jest źle wyprostowany, to posiada on dodatkową składową prądu zmiennego, która będzie oddziaływała na wskazania w bardzo znacznym stopniu. To też przyrządów elektromagnetycznych nie można stosować do pomiaru prądów źle wyprostowanych, tętniących itp. bez specjalnego skalowania przyrządu.

Przy prądzie zmiennym wpływ na wskazania w pewnym stopniu wywiera kształt krzywej prądu; wpływ ten jest tym większy, im więcej kształt ten odbiega od sinusoidy.

Wadą przyrządów elektromagnetycznych jest zdolność reagowania na postronne pola elektromagnetyczne, wywołane prądami biegnącymi w pobliskich przewodach. Dla uniknięcia tych wpływów przyrządy elektromagnetyczne winny być umieszczone jaknajdalej od przewodów z dużymi prądami, a oprócz tego powinny być osłonięte obudową żelazną.

Dokładność wskazań przyrządów elektromagnetycznych zależy od ich konstrukcyjnego wykonania i wynosi zwykle od 3% do 1%, a czasami dochodzi do 0,5% lub 0,3% (w przyrządach przenośnych o specjalnej budowie astatycznej*).

2. AMPEROMIERZE I WOLTOMIERZE.

Na zasadzie elektromagnetycznej są budowane w praktyce po większej części amperomierze i woltomierze na prąd stały i zmienny.

Konstrukcja amperomierzy i woltomierzy jest zupełnie podobna i mechanicznej różnicy nie posiada. Różnią się jedynie oba te przyrządy uzwojeniem cewki. Tak więc amperomierze posiadają cewkę z bardzo nieraz grubego drutu o małej ilości zwojów, czasem nawet o jednym zwoju, podczas gdy woltomierze mają cewkę sporządzoną z cienkiego drutu o bardzo dużej ilości zwojów.

Pobór mocy wynosi:

*) Budowa astatycznych przyrządów elektromagnetycznych podobna jest do budowy astatycznych galwanometrów.

dla amperomierzy od 1 do 3 V A
dla woltomierzy od 4 do 50 V A — wraz z opornikiem dodatkowym.

Na wskazania przyrządu elektromagnetycznego, amperomierza czy też woltomierza, mają wpływ tylko amperozwoje cewki. Im mniej zwojów posiada cewka, tym większy prąd pobiera przy jednym i tym samym wychyleniu wskazówki. Tak np., jeżeli amperomierz posiada jeden zwoj grubego drutu, nawiniętego na cewkę, i — dajmy na to — przeznaczony jest do pomiaru prądu do 500 A, to całkowita ilość amperozwojów potrzebna do wytworzenia strumienia w cewce, przy którym wskazówka przyrządu wychyli się całkowicie, wynosi $1 \times 500 = 500$ amperozwojów. Ten sam przyrząd może być przerobiony np. na zakres 10 A, wówczas należy zmienić uzwojenie cewki, dając zamiast jednego zwoju:

$$500 \text{ amperozwojów} : 10 \text{ A} = 50 \text{ zwojów.}$$

Ta sama zasada stosowana jest i dla woltomierzy.

Jeżeli np. mamy woltomierz na 15 woltów, którego cewka posiada — dajmy na to — 2000 zwojów i chcemy go przewinąć np. na 30 woltów, to należy w pierwszym rzędzie zmierzyć, jaki prąd pobiera cewka, i obliczyć potrzebne amperozwoje. Przypuśćmy, że cewka pobiera 60 mA, wówczas amperozwoje wyniosą:

$$2000 \times 0,06 = 120 \text{ amperozwojów.}$$

Następnie obliczamy oporność cewki:

$$15 \text{ V} : 0,06 \text{ A} = 250 \Omega$$

Aby przy 30 woltach amperozwoje pozostały te same, należałoby zmienić uzwojenia w tym sensie, żeby przy tej samej ilości zwojów otrzymać oporność jego większą w stosunku $\frac{30}{15}$, tj. dwukrotnie od poprzedniej; oporność ta wyniosłaby zatem:

$$250 \times \frac{30}{15} = 500 \Omega$$

prąd w cewce wówczas pozostałby ten sam:

$$30 \text{ V} : 500 \Omega = 0,06 \text{ A,}$$

a zatem pozostałyby i te same amperozwoje*).

*) Przy obliczaniu oporności drutu posługujemy się tablicą VII podaną na str. 83.

Dokonać zwiększenia oporności uzwojenia cewki można, zmniejszając przekrój drutu, tj. zwiększając w ten sposób jego oporność. Jednak przy przewijaniu cewki liczyć się należy z tym, że ta sama długość drutu, lecz o innym przekroju, może dać większą ilość zwojów na cewce, wówczas należy nieco zwojów odwinąć.

W podobny sposób postępujemy, przewijając woltomierz z większego napięcia na mniejsze.

Można również zmieniać nieco wskazania przyrządu, zwiększając lub zmniejszając moment zwracający, zmieniając sprężynkę spiralną na inną, bądź też przesuwając ciężarek w układzie ruchomym; należy jednak zaznaczyć, że przy takim postępowaniu prawie zawsze zachodzi konieczność wymiany skali przyrządu na inną.

3. ROZSZERZENIE SKALI PRZYRZĄDÓW ELEKTROMAGNETYCZNYCH.

W paragrafie poprzednim poznaliśmy, w jaki sposób można przewijać cewki amperomierzy i woltomierzy elektromagnetycznych, zmieniając przez to ich zakres wskazań.

Musimy tu zwrócić jednak uwagę, że podobne przeróbki powierzać można tylko specjalistom, obeznanym z tego rodzaju pracą.

Prócz przewijania amperomierzy możemy zastosować odgałęzienia od cewki, tworząc przez to amperomierz wielozakresowy. Należy przy tym uważać, aby przekrój drutu w cewce odpowiadał wielkości mierzonego prądu, w przeciwnym bowiem razie nastąpić może zbytnie jego rozgrzanie się.

Amperomierze elektromagnetyczne budowane są zwykle dla prądu zmiennego i stałego tylko do 500 A. Dla prądu stałego powyżej tej wartości należy stosować amperomierze cewkowe*). Dla prądu zmiennego ponad 500 A stosujemy transformatorów prądowy, przy tym najdogodniej jest zastosować do tego celu amperomierz na 5 A i transformatorów o odpowiedniej przekładni.

Skalę woltomierzy elektromagnetycznych rozszerzamy dla prądu stałego i zmiennego zazwyczaj przy pomocy oporów dodatkowych, łączonych z woltomierzem w szereg.

*) patrz Rozdział VIII.

Woltomierze bez oporów dodatkowych są budowane na małe napięcia, dla większych napięć (do 300 woltów) opory dodatkowe są wbudowane w obudowę woltomierza. Dla woltomierzy do 650 V, a czasem do 1000 V, opory dodatkowe umieszczone są w oddzielnych skrzynkach.

Dla wyższych napięć (ponad 1000 V) i tylko dla prądu zmiennego stosowane są transformatoriki miernikowe napięciowe. Dla prądu stałego, przy napięciu ponad 1000 V, mogą być stosowane opory dodatkowe, lepiej jednak użyć do tego celu woltomierz cewkowy*).

Przy bardzo wysokich napięciach woltomierze elektromagnetyczne mogą być zastąpione woltomierzami elektrostatycznymi**).

*) patrz Rozdział VIII.

***) patrz Rozdział XII.

ROZDZIAŁ VIII.

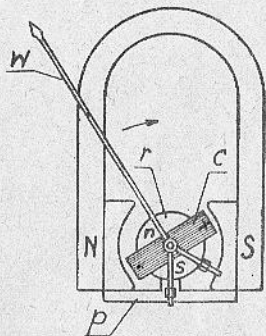
PRZYRZĄDY Z RUCHOMĄ CEWKĄ.

(Deprez d'Arsonval'a)

1. ZASADA DZIAŁANIA.

Przyrządy z ruchomą cewką nazywamy niekiedy magnetoelektrycznymi.

Zasada działania przyrządów z ruchomą cewką polega na obracaniu się lekkiej ruchomej ceweczki w polu silnego magnesu stałego. Zasadę tę wyjaśnia rys. 103.



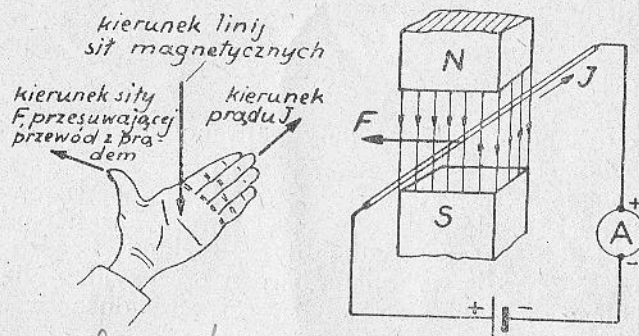
Rys. 103

Zasada działania przyrządu z ruchomą cewką.

Strumień magnetyczny magnesu stałego przebiega od bieguna N do bieguna S przez szczeliny powietrzne, w których znajduje się ceweczka c.

Jeżeli przez ceweczkę c puścimy prąd elektryczny, to wokół ceweczki powstanie pole elektromagnetyczne, i ceweczka stworzy jak gdyby elektromagnes o biegunowości n i s. Bieguny N i n oraz S i s jako jednoimienne będą się odpychały — w ten sposób powstanie moment obracający ceweczkę c.

Powyższe objaśnienie tłumaczy zasadę, że przewody z prądem, znajdujące się w polu magnetycznym prostopadle do linii sił tego pola, podlegają działaniu tego pola, a mianowicie: pole te stara się przesunąć te przewody w kierunku prostopadłym do kierunku prądu w przewodach i prostopadłym do kierunku linii sił magnetycznych magnesu, według reguły lewej ręki. Na rys. 104 pokazana jest ta zasada.



$$M_{obr} = B \cdot I \cdot l \cdot z \cdot \frac{d}{2}$$

Rys. 104

Reguła lewej ręki.

$$M_{obr} \approx B \cdot I$$

$$M = k_1 \cdot I$$

Moment obracający ceweczkę, według praw elektromagnetyzmu, jest proporcjonalny do natężenia pola magnetycznego oraz do wielkości prądu w przewodzie ceweczki. Ponieważ pole magnetyczne w szczelinie magnesu jest praktycznie wszędzie jednakowe, więc moment obrotowy jest proporcjonalny do wielkości prądu, a zatem wielkość prądu jest proporcjonalna do momentu obrotowego.

Moment zwracający wytwarzają tutaj bądź sprężynki spiralne, doprowadzające prąd do cewki, bądź też wstążeczka, na której cewka jest zawieszona.

Przyjmujemy, że przy małych kątach skręcania, wstążeczki lub sprężynki spiralne wytwarzają moment zwracający, proporcjonalny do kąta skręcania.

$$M_{obr} = M_{zwr}$$

$$M_{zwr} = k_2 \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} \cdot I$$

Ponieważ czynnemu momentowi obrotowemu przeciwstawia się moment zwracający, a ten ostatni jest proporcjonalny do kąta skręcenia, zatem — w równowadze — moment obrotowy jest również proporcjonalny do kąta skręcenia. Wynika z tego, że kąt obrotu ceweczki jest proporcjonalny do natężenia prądu, przepływającego przez uzwojenie ceweczki. Skala więc przyrządów z ruchomą cewką jest proporcjonalna.

Z powyższego wynika również, że kierunek prądu w uzwojeniu ceweczki ma zasadnicze znaczenie i decyduje o kierunku ruchu układu ruchomego przyrządu. Z tego też względu przyrządy z ruchomą cewką nie nadają się do bezpośredniego mierzenia wielkości prądu zmiennego, a zastosowane być mogą tylko dla prądu stałego o określonym kierunku.

2. GALWANOMETR.

Na powyższej zasadzie zbudowany jest ogólnie znany przyrząd laboratoryjny, zwany galwanometrem z ruchomą cewką.

Galwanometry takie przeznaczone są do pomiarów bardzo słabych prądów, rzędu tysięcznych części mikroampera i dlatego też posiadają układ ruchomy bardzo lekki, zaś całość mają wykonaną bardzo precyzyjnie. Niekiedy czułość galwanometrów cewkowych dochodzi do $5 \cdot 10^{-11}$ A.

Budowa galwanometru winna odpowiadać warunkom, stawianym przyrządom laboratoryjnym*) oraz warunkom pracy.

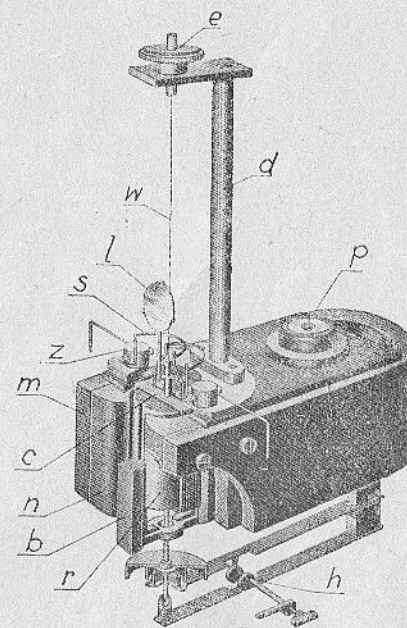
Tak więc odróżniamy galwanometry do pomiaru bardzo słabych prądów oraz galwanometry do pomiaru bardzo małych spadków napięć. Pierwsze z nich mają dużą oporność wewnętrzną — od kilkudziesięciu do kilku tysięcy omów; cewki ich posiadają bardzo dużo zwojów cienkiego drutu. Drugie, tj. galwanometry do pomiaru spadku napięcia, mają oporność wewnętrzną, nieprzekraczającą kilku omów i cewka ich posiada mało zwojów. Niektóre galwanometry posiadają dwa uzwojenia na cewce i zaopatrzone wówczas są w trzy zaciski, doprowadzające prąd.

Ze względu na to, że od galwanometrów wymagamy

*) patrz Rozdział V.

znacznej czułości, zwykle układ ruchomy zawieszony jest na nitce i zamiast wskazówki posiada lusterko.

Na rys. 105 pokazane jest rozwiązanie konstrukcyjne galwanometru lusterkowego. Widzimy tu silny magnes stalowy *m* i jego nabiegunniki *n*. Wewnątrz umieszczony



Rys. 105

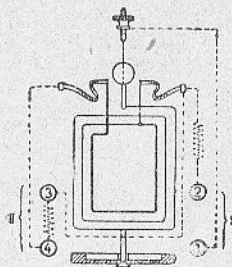
Mechanizm galwanometru lusterkowego firmy H & B.

jest rdzeń żelazny *r* w oprawce *b*. Układ ruchomy, składający się z cewki *c* i lusterka *l*, jest zawieszony na nitce *w*, która jest umocowana do śrubki *e*, regulującej położenie układu ruchomego. Śrubka *e* osadzona jest na pręcie *d*. Poziome położenie galwanometru ustalamy, obsewując libelę, czyli poziomnicę *p*. Do unieruchomienia układu ruchomego w czasie przenoszenia galwanometru służy hamulec *h*. Prąd do układu ruchomego jest doprowadzany od zacisków *z* przy pomocy nadzwyczaj cienkich niteczek (włóków) *s*, sporządzonych z miękkiego, małooporowego metalu, np. czystego srebra lub złota. Takie włoski praktycznie nie mają sprężystości i nie wpływają na ruch ukła-

du ruchomego. Średnica tych włosków jest bardzo mała i wynosi od 0,015 do 0,001 mm.

Nitka w , na której zawieszony jest układ ruchomy, wykonana jest z bardzo cienkiej taśmy płaskiej, fosforo-brązowej, sprężystości której przy skręcaniu wytwarza moment zwracający. Moment zwracający jest tym mniejszy, im dłuższa i cieńsza jest nitka w . Najczulsze galwanometry, których czułość wynosi np. $8 \cdot 10^{-10} \text{ A}$ na 1 mm skali, odległej od lusterka o 1 m, posiadają nitkę tę o długości około 30 cm.

Jeżeli galwanometr ma dwa uzwojenia na cewce, to trzecie doprowadzenie prądu stanowi owa nitka, na której zawieszony jest układ ruchomy (rys. 106). Prócz tego niektóre galwanometry mają wbudowane dodatkowe opory, łączone z cewką galwanometru w szereg, oraz boczniki — do zmiany czułości przyrządu. Niekiedy boczniki są umieszczane w oddzielnych skrzynkach.



Rys. 106

Schemat cewki galwanometru o dwóch uzwojeniach.

Konstrukcja niektórych galwanometrów jest tego rodzaju, że pozwala na bardzo łatwe wyjmowanie całego mechanizmu ruchomego wraz z rurką, w której układ ten jest zawieszony.

Mniej czułe galwanometry mają zamiast lusterka wskazówkę nożową, przy pomocy której odczytujemy wartość mierzoną na normalnej skali, wbudowanej do przyrządu.

Tego rodzaju galwanometry posiadają układ ruchomy również zawieszony na nitce, lecz nieco krótszej; czułość takich galwanometrów nie przekracza $1 \cdot 10^{-8} \text{ A}$ na jedną działkę skali. Galwanometry jeszcze mniej czułe mają układ ruchomy ze wskazówką, podparty w jednym lub w dwóch łożyskach; czułość ich wynosi od 4 do $1 \mu\text{A}$ na jedną działkę skali. W tych przyrządach moment zwracający wytwarzają sprężynki spiralne, doprowadzające prąd do cewki.

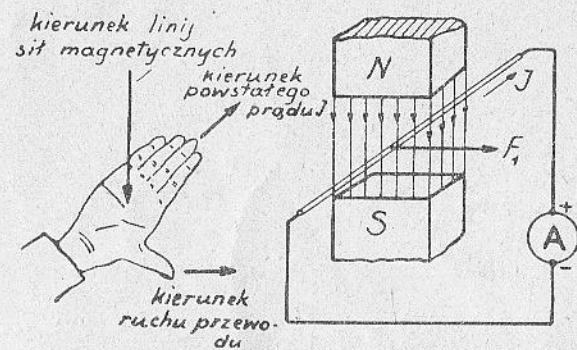
Moment tłumiący wahania układu ruchomego w przyrządach cewkowych wytworzony jest przez indukcję magnetyczną.

Poprzednio*) podawaliśmy ogólną zasadę powstawa-

*) patrz Rozdział V, p. 4.

nia tłumienia układu ruchomego sposobem magnetycznym. Zasadę tę można wyjaśnić w sposób następujący.

Jeżeli w polu magnetycznym umieścimy przewód prostopadle do linii sił pola i zaczniemy go poruszać w kierunku prostopadłym do linii sił tego pola, to w przewodzie, o ile on jest zwarty, przez indukcję, powstanie prąd elektryczny według reguły prawej ręki (rys. 107). Oddziaływa-



Rys. 107

Reguła prawej ręki.

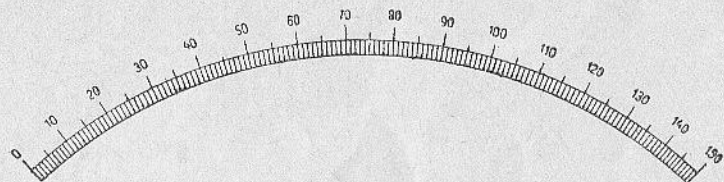
nie pola magnetycznego na ten prąd daje siłę przeciwdziałającą posuwaniu się przewodu, tj. hamującą ten ruch. Siła ta stworzy dodatkowy moment, tłumiący ruch ceweczki przyrządu tylko wówczas, gdy uzwojenie tej cewki będzie zwarte bezpośrednio lub przy pomocy bocznika.

Jeżeli ceweczka galwanometru jest nowinięta na lekkiej rameczce aluminiowej, to rameczka ta stanowi jeden zwarty zwoj, w którym, w myśl powyższej zasady, w czasie ruchu ceweczki, powstanie prąd elektryczny, powodujący moment tłumiący. Tłumienie to możemy powiększyć, nawijając na ramkę ceweczki specjalne dodatkowe uzwojenie zwarte.

Dla wytworzenia momentu tłumiącego w galwanometrach, w których cewka nie posiada ramki metalowej, a sporządzona jest tylko z sklejonych ze sobą zwojów uzwojenia, stosuje się wspomniane wyżej dodatkowe uzwojenie zwarte lub też bocznik, który wraz z uzwojeniem głównym stworzy obwód dla prądów, wywołujących tłumienie.

Należy tu zaznaczyć jeszcze raz, że moment tłumiący, w myśl podanych zasad, jest wytwarzany tylko w czasie ruchu układu ruchomego i na wskazania przyrządu wpływu nie wywiera.

Przy opisie zasady działania przyrządów cewkowych*) podaliśmy, że skala ich jest proporcjonalna, to znaczy, że odległości pomiędzy kreskami skali są równe. Warunek ten zachowany jest tylko wówczas, jeżeli skala ma kształt półkolisty (rys. 108), bowiem wtedy działki skali okre-



Rys. 108

Skala przyrządu cewkowego (galwanometr wskazówkowy na 150 μ A).

ślają kąt wychylenia wskazówki, czyli odchylenia układu ruchomego.

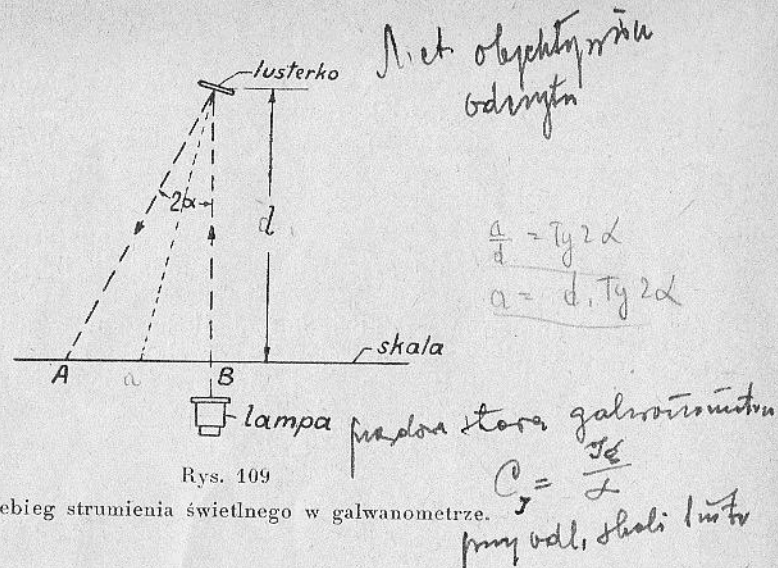
Przy galwanometrach lusterkowych zazwyczaj skala ich jest w postaci płaskiej podziałki milimetrowej ze szkła matowego.

Ponieważ kąt wychylenia lusterka galwanometru jest proporcjonalny do prądu, przepływającego przez cewkę, to na skali tego rodzaju, zwłaszcza przy większych wychyleniach lusterka, podziałka milimetrowa nie będzie proporcjonalna do kąta wychylenia lusterka; pokazuje to dokładnie rys. 109.

Należy więc wprowadzać pewną poprawkę, którą należy odjąć od odczytu, dokonanego na skali milimetrowej**). Poprawka przy małych kątach wychylenia może nie być brana pod uwagę.

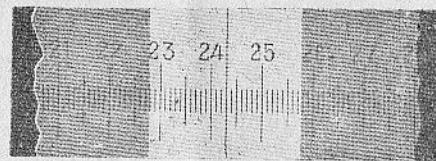
*) patrz str. 106.

***) Właściwy kąt α , o jaki obróci się lusterko, obliczamy ze wzoru $\tan 2\alpha = \frac{AB}{l}$, gdzie AB jest to odczyt na skali w milimetrach (rys. 109), zaś l — odległość skali od lusterka w mm.



Rys. 109

Przebieg strumienia świetlnego w galwanometrze.



Rys. 110

Cząstka skali galwanometru lusterkowego (odczyt 24,3).

Na rys. 110 podajemy cząstkę skali galwanometru z uwidocznionym cieniem nitki, umieszczonej w okienku przyrządu oświetlającego (lampy). Przy pomocy tego cienia odczytujemy wartość mierzoną.

3. AMPEROMIERZE I WOLTOMIERZE.

Amperomierze i woltomierze cewkowe są zbudowane na tej samej zasadzie, jak i wyżej opisany galwanometr, z tą tylko różnicą, że czułość ich jest o wiele mniejsza, budowa mocniejsza oraz, że układ ruchomy zawsze podparty jest na dwóch łożyskach.

Czułość woltomierzy nie przekracza zwykle jednego miliampera na cały zakres skali; w amperomierzach czułość ta jest jeszcze mniejsza.

Przyrządy tablicowe tego rodzaju są budowane w ten sposób, że spadek napięcia na amperomierzu wynosi 60 m V do 150 m V, prąd zaś pobierany przez woltomierze — od 2 m A do 15 m A — przy całkowitym wychyleniu się wskazówki.

Pomiędzy amperomierzem i woltomierzem cewkowym zasadniczo nie ma różnicy w konstrukcji. Różnica polega jedynie w rodzaju uzwojenia cewki ruchomej. I tak cewka amperomierza posiada małą ilość zwojów grubszego drutu, cewka zaś woltomierza — wiele zwojów cienkiego drutu. Dlatego też opór wewnętrzny amperomierza jest zwykle mały w porównaniu z oporem wewnętrznym woltomierza, o tej samej konstrukcji.

Jest to zrozumiałe ze względu na to, że przy pomocy amperomierzy mierzymy właśnie spadek napięcia na boczniku, przy pomocy zaś woltomierza mierzymy prąd, jaki przepływa przez znany opór.

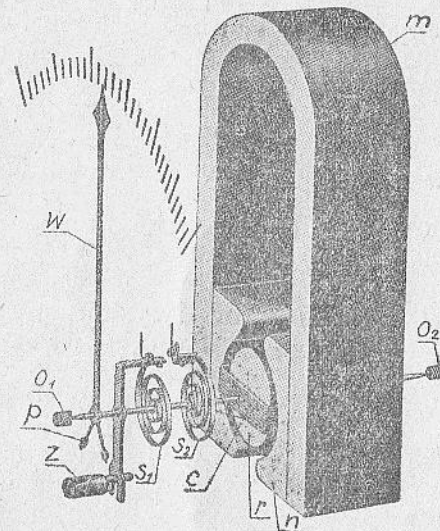
Ponieważ amperomierz włączony jest do obwodu w szereg z odbiornikami prądu, zależy nam na tym, aby spadek napięcia na amperomierzu był jak najmniejszy, a więc oporność jego winna być możliwie mała. Woltomierze natomiast włączamy bezpośrednio do zacisków źródła prądu; pożądane jest więc, aby moc pobrana przez woltomierz była jak najmniejsza, a zatem opór jego winien być duży.

Co się tyczy przyrządów cewkowych typu przenośnego, jak np. normalnych, kontrolnych lub technicznych (tzw. typu warsztatowego lub montażowego), to przeważnie stosowane są tzw. przyrządy uniwersalne, tj. takie, których cewka ruchoma ma uzwojenie tego rodzaju, że mogą być one stosowane zarówno jako amperomierze z bocznikami, jak też jako woltomierze z oporami szeregowymi. Przyrządy takie noszą popularną nazwę miliwoltomperomierzy. Zwykle przyrządy te są budowane w kilku odmianach, np.

na	2 m A	i	30 m V
„	1 m A	i	60 m V
„	2 m A	i	100 m V
„	30 m A	i	60 m V
„	15 m A	i	30 m V
„	20 m A	i	60 m V itp.

Jedno z konstrukcyjnych rozwiązań przyrządu cewkowego podaje rys. 111.

Widzimy tu silny magnes stalowy m wraz z nabiegownikami n . W środku pomiędzy nabiegownikami umieszczony jest cylinder żelazny r (rdzeń), podobnie jak to miało miejsce w galwanometrze cewkowym. Rdzeń obejmuje cewka c , nawinięta na lekkiej aluminiowej ramce.



Rys. 111

Konstrukcja przyrządu cewkowego.

Układ ruchomy składa się z powyższej cewki c , ze wskazówki w oraz przeciwwagi p , umieszczonych na wspólnej osi stalowej, przy tym układ ruchomy może swobodnie się obracać, opierając się w łożyskach o_1 i o_2 .

Prąd do uzwojenia cewki doprowadzany jest za pomocą dwóch sprężyn spiralnych s_1 i s_2 , z których jedna może być umieszczona również z przeciwnej strony cewki.

Czynny moment obrotowy wywołuje tu prąd, przepływający w cewce, zaś moment zwracający powodują obie sprężynki spiralne s_1 i s_2 — wskutek swojej sprężystości.

Moment tłumiący powoduje tu prąd, powstający w ramce metalowej cewki, wskutek indukcji w czasie ruchu cewki.

Do ustawiania wskazówki na zerze skali służy śrubka z zerownika.

Sprężynki spiralne s_1 i s_2 są umieszczone w ten sposób, że z chwilą gdy jedna z nich jest skręcana, drugą rozkręca się i odwrotnie, a to w tym celu, aby zniweczyć pewną nieproporcjonalność, powstającą między siłą skręcania w stosunku do kąta skręcania sprężynki.

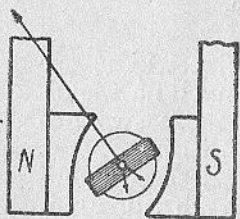
Sprężynki spiralne wykonane są zazwyczaj z wysokowartościowego fosforo - brązu, o bardzo małym współczynnikiem zmiany stopnia sprężystości z temperaturą; w mniejszych przyrządach, więcej czułych, sprężynki wykonane są ze specjalnej sprężystej miedzi i często bywają połączane.

Skala w przyrządach cewkowych jest proporcjonalna w założeniu, że natężenie pola magnetycznego w każdym miejscu szczeliny powietrznej, w której znajduje się cewka, jest to samo.

Niektóre przyrządy posiadają tzw. zworę magnetyczną. Jest to płytką żelazną, zwierającą bieguny magnesu, i umocowana w ten sposób, że położenie jej może być łatwo regulowane. Zwora magnetyczna służy do łatwego dobierania odpowiedniej wartości wychyleń wskazówki przyrządu w czasie jego wzorcowania i regulacji, bowiem przesuwając zworę zmniejszamy lub zwiększamy natężenie pola magnetycznego w szczelinie powietrznej.

Zwora magnetyczna służy również do stopniowego powiększania natężenia pola magnetycznego w szczelinie—w miarę starzenia się magnesu. Oczywiście w nowym przyrządzie zwora magnetyczna winna być możliwie jak najwięcej nasunięta na bieguny magnesu.

W pewnych szczególnych wypadkach nie jest pożądana proporcjonalność skali i zachodzi potrzeba np. zagęszczenia jej kresek bądź na początku, bądź też w końcu skali. W tym wypadku nabiegunki magnesu posiadają specjalny kształt, wobec którego natężenie pola magnetycznego w szczelinie, w każdym jej miejscu, nie jest to samo i jest tym większe, im węższa jest szczelina (rys. 112).



Rys. 112

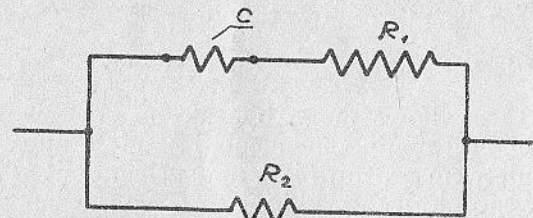
Kształt nabiegunków magnesu przyrządu cewkowego z zagęszczeniami kreskami na początku skali.

Zakresy przyrządów, na jakie budowane bywają amperomierze cewkowe, są w zasadzie nieograniczone, gdyż zakres amperomierza możemy dowolnie powiększać, stosując odpowiedni bocznik.

Co się tyczy woltomierzy cewkowych, to zakresy ich nie przekraczają zwykle 3000 V.

Musimy tu podkreślić jeszcze raz, że ponieważ amperomierze, a zwłaszcza miliwoltomierze, stosowane z bocznikami jako amperomierze, posiadają małą oporność wewnętrzną—powinny być wzorcowane wraz z przewodami, łączącymi miliwoltomierz z bocznikiem.

Prócz tego niekiedy, w droższych miliwoltomierzach, zastosowany jest układ, zapewniający niezmienną oporność wewnętrzną przyrządu przy niewielkich wahanach temperatury. Układ ten polega na wprowadzeniu do przyrządu dwóch dodatkowych oporów R_1 i R_2 (rys. 113), po-



Rys. 113

Układ miliwoltomierza, usuwający wpływ temperatury.

cewki nie mają temperatury

łączonych z uzwojeniem cewki c , jak na rysunku. Opory te wykonane są z drutu manganinowego, którego oporność w granicach zwykłych zmian temperatury otoczenia uważać można za stałą. Przy dobraniu odpowiednich wartości oporów R_1 i R_2 , zmiana bardzo małej oporności cewki c nie wpływa na zmianę oporności całego układu. W ten sposób osiągamy niezależność wskazań takiego miliwoltomierza z bocznikiem od niewielkich zmian temperatury.

Amperomierze i woltomierze cewkowe, tak jak i galvanometry cewkowe, nie mogą być używane do pomiarów wielkości prądu zmiennego i dlatego, przy rozszerzaniu ich zakresu skali, stosowane mogą być wyłącznie boczniki i oporniki szeregowe, natomiast transformator miernikowe stosowane być nie mogą.

Przyrządy z ruchomą cewką i z nieruchomym magne-

sem w zasadzie nie są wrażliwe na działanie ziemskiego pola magnetycznego. W pewnym stopniu na wskazania tych przyrządów mają wpływ duże przedmioty żelazne, znajdujące się bardzo blisko przyrządu oraz bardzo bliskie sąsiedztwo przewodów z dużymi prądami, a w szczególności z prądami stałymi. Aby zniweczyć ten, co prawda, niewielki wpływ, należy uważać, aby odległość przyrządu od tych przedmiotów wynosiła co najmniej 20 cm.

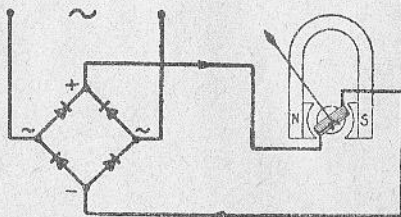
Dokładność przyrządów cewkowych jest bardzo duża (dla normalnych przyrządów wynosi 0,1% końcowej wartości skali); są to najdokładniejsze przyrządy na prąd stały, jakie posiada współczesna elektrotechnika.

Wadą tych przyrządów jest ich mała przeciążalność, ponieważ przy większych prądach delikatny ich układ ruchomy oraz cienkie sprężynki mogą łatwo się stopić; dlatego też nieraz należy zabezpieczać ich obwód przy pomocy specjalnych bezpieczników topikowych.

4. PRYZRZĄDY Z PROSTOWNIKAMI.

Przyrządy cewkowe mogą być stosowane również do pomiaru wielkości prądu zmiennego, lecz nie bezpośrednio, a za pośrednictwem prostownika, np. suchego miedziowego lub selenowego, który zwykle bywa wbudowany wewnątrz przyrządu.

Prostowniki tego rodzaju są sporządzane na bardzo małe natężenie prądu (1 — 2 mA) i stosowane do przyrządów cewkowych przeważnie w układzie mostkowym Graetz'a*) (rys. 114).



Rys. 114

Układ przyrządu cewkowego z prostownikiem w układzie mostkowym Graetz'a.

*) czytaj: „Greca“.

Przyrządy cewkowe przy zastosowaniu prostownika dla prądu zmiennego są sporządzane obecnie np. na 1 wolt i 1 miliamper. Im mniejszy jest prąd, tj. im większa czułość posiadają, tym mniejszą dokładność mają wskazania takiego przyrządu.

Normalnie przyrządy cewkowe z prostownikiem stosują się do pomiaru wielkości prądu zmiennego o częstotliwości do 100 okr./sek, wówczas dokładność wskazań wynosi około $\pm 0,5\%$. W miarę wzrostu częstotliwości prądu dokładność ta maleje i wynosi np.

dla	500 okr./sek	około	$\pm 1,5\%$
„	2000	„	$\pm 3\%$

Jasną jest rzeczą, że tego rodzaju przyrządy do pomiaru wielkości prądu stałego się nie nadają, gdyż wskazania ich są mylne.

Przy rozszerzaniu skali przyrządów z prostownikiem mogą być używane zarówno boczniki i oporniki, jak i transformatoriki pomiarowe. Przy mniejszych prądach skala jest niezupełnie proporcjonalna i posiada kreski więcej zagęszczone na początku skali.

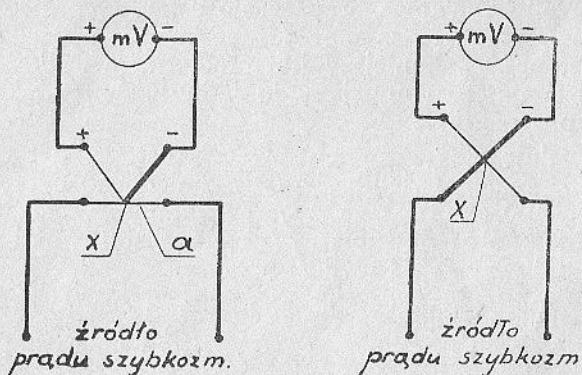
5. PRYZRZĄDY Z TERMOOGNIWEM.

Do pomiaru prądów szybkozmiennych używane są przyrządy cewkowe w połączeniu z termoogniwem.

Termoogniwo jest to tzw. termopara, sporządzona z drutów dwóch różnych metali, spojonych ze sobą. Jeżeli miejsce spojenia zaczniemy podgrzewać, to na końcach drutów zjawi się niewielka siła elektromotoryczna, tzw. siła termoelektryczna. Jeżeli do tych końców dołączymy miliwoltomierz lub miliamperomierz cewkowy, to zauważymy, że przepływa przez niego prąd stały.

To zjawisko zostało wyzyskane do pomiaru prądu szybkozmiennego. Prąd szybkozmienny, przypluwając przez cienki drucik a, rozgrzewa go, od drucika zaś tego rozgrzewa się miejsce spojenia x termoogniwa (rys. 115a). Jest to tzw. termoogniwo z grzaniem pośrednim.

Termoogniwo z grzaniem bezpośrednim zbudowane jest z dwóch drucików różnych metali, spojonych ze sobą w środku w postaci krzyża (rys. 115b). Miejsce spojenia x rozgrzewa się wskutek przepływu prądu szybkozmiennego.



a. Termoogniwo z grzaniem pośrednim.

b. Termoogniwo z grzaniem bezpośrednim.

Rys. 115

Termoogniwa.

go w jednej gałęzi krzyża, w drugiej zaś powstaje siła termoelektryczna.

Metale, stosowane do budowy termopary, posiadają własności termoelektryczne parami. Najczęściej stosowaną parą jest żelazo - konstantan lub konstantan - manganin. Im silniej podgrzewać będziemy miejsce spojenia termopary, tym większą otrzymamy siłę termoelektryczną. Na ogół siła ta jest mała i dla różnych par metali wynosi około 60 do 100 μV na 1°C . Im drucik grzejny będzie cieńszy, tym mniejszy prąd go rozgrzeje. Dlatego też dla mniejszych prądów termogniwo jest zawarte w małej banieczce szklanej z wypompowanym powietrzem i sporządzone z nadzwyczaj cienkich drucików (około 0,02 mm średnicy).

Przy pomiarach z termoogniwem należy bardzo uważać, aby nie przepalić delikatnych drucików.

Za pomocą przyrządu cewkowego z termoparą możemy zmierzyć wielkości zarówno prądu szybkozmiennego, zmiennego o normalnej częstotliwości 50 okr/sek, jak i prądu stałego.

Zwykle amperomierze z termoogniwem są budowane dla prądów szybkozmiennych do 3 000 000 okr/sek., woltomierze zaś do 100 000 okr/sek. Im większa jest częstotliwość prądu mierzonego, tym mniejsza jest dokładność wskazań, bowiem przy bardzo wysokiej częstotliwości wy-

stępuje tzw. zjawisko naskórkowości (oporność drutu różnie), oraz ogromny wpływ mają pojemności i indukcyjności wewnątrz przyrządu. Im natężenie prądu jest większe, tym większy wpływ ma częstotliwość prądu na wychylenie przyrządu.

Zwykle amperomierze budowane są od 15 mA do 500 A, woltomierze — od 0,5 V do 150 V.

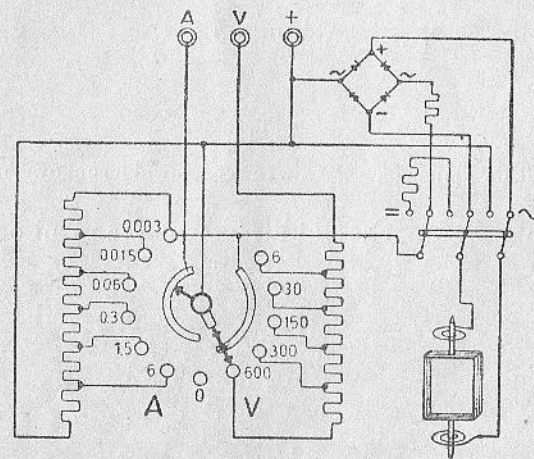
Dla mniejszych prądów termogniwo bywa zazwyczaj wbudowane wewnątrz przyrządu, dla większych — sporządza się w postaci oddzielnego bocznika.

Skala tych przyrządów nie jest proporcjonalna i na początku skali kreski są bardzo zgęszczone, rozrzedzając się w miarę posuwania się do końca skali.

Dokładność wskazań przyrządów z termoogniwem nie jest duża i wynosi od 0,5% do 5% końcowej wartości skali.

6. PRYZRZĄDY WIELOZAKRESOWE.

Bardzo wygodne są przyrządy uniwersalne, wielozakresowe, które mogą być zastosowane do pomiaru prądu stałego i zmiennego. W tym celu posiadają one wbudowany wewnątrz prostownik suchy, włączany w miarę potrze-



Rys. 116

Schemat przyrządu cewkowego, wielozakresowego na prąd stały i zmienny.

by przełącznikiem. Najwięcej spotykane przyrządy tego rodzaju posiadają niekiedy kilkanaście lub nawet kilkadziesiąt różnych zakresów wskazań, zarówno dla pomiaru prądu, napięcia, jak i oporności. Wszystkie boczniki i opory są włączane ogólnym przełącznikiem albo przy pomocy oddzielnych gniazdek, które są wbudowane wewnątrz przyrządu. Często zakresy prądowe wynoszą od 1 mA do 12A, zaś napięciowe — od kilku miliwoltów do 1200 V, przy tym przyrząd posiada niekiedy dodatkowo kilka zakresów do pomiaru oporności.

Na rys. 116 podajemy schemat takiego przyrządu wielozakresowego, na prąd stały i zmienny.

7. PRYZRZĄDY DWUKIERUNKOWE.

Często się zdarza, że w pewnym obwodzie elektrycznym przepływa prąd stały, raz w jedną stronę, a następnie po pewnym czasie w drugą. Ma to miejsce np. przy ładowaniu i wyładowaniu akumulatorów. Wówczas zachodzi konieczność stosowania amperomierza dwukierunkowego.

Amperomierzem dwukierunkowym będziemy nazywali przyrząd cewkowy, który posiada zero pośrodku skali.



Rys. 117

Skala amperomierza cewkowego, dwukierunkowego.

Poza tym amperomierz taki niczym się nie różni od podobnych amperomierzy jednokierunkowych. Rys. 117 podaje przykład skali amperomierza dwukierunkowego.

Gdy przez cewkę nie przepływa żaden prąd, wskazówka takiego przyrządu znajduje się w położeniu zerowym — po środku skali.

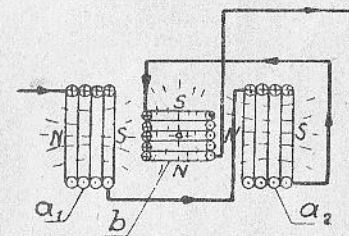
ROZDZIAŁ IX.

PRYZRZĄDY ELEKTRODYNAMICZNE.

1. ZASADA DZIAŁANIA.

Główna zasada, na której działają przyrządy elektrodynamiczne, polega na wzajemnym działaniu na siebie dwóch cewek z prądem. Jedna z tych cewek jest nieruchoma i często bywa podwójna, druga zaś może obracać się wewnątrz cewki nieruchomej. Zasadę tę wskazuje rys. 118.

Jeżeli obie cewki połączymy ze sobą w szereg i przepuścimy przez nie prąd elektryczny, to w obu połówkach a_1 i a_2 cewki nieruchomej oraz w cewce ruchomej b powstanie strumień elektromagnetyczny. Strumień magnetyczny cewki nieruchomej będzie starał się obrócić cewkę ruchomą w ten sposób, aby jej strumień obrał kierunek zgodny z kierunkiem strumienia cewki nieruchomej.



Rys. 118

Zasada przyrządu elektrodynamicznego.

Jeżeli naznaczymy biegunowość tych cewek N i S i zauważymy przy tym, że jednoimienne bieguny będą się odpychały, różnoimienne zaś będą się przyciągały, to zobaczymy, że czynny moment obrotowy będzie tu proporcjonalny do obu strumieni cewek ruchomej i nieruchomej, a zatem będzie on proporcjonalny do iloczynu prądów, przepływających przez obie cewki. W wypadku, gdy obie cewki połączone są ze sobą w szereg, oba te prądy będą

jednakie, a zatem moment obrotowy będzie proporcjonalny do kwadratu prądu.

Moment zwracający wytwarzany tu jest przy pomocy sprężyn spiralnych lub taśmy metalowej, kąta skręcania których jest proporcjonalny do momentu skręcania.

Wobec powyższego skala w tego rodzaju przyrządach jest nierównomierna i działki jej stopniowo rozszerzają się w stosunku kwadratowym.

Przy odpowiednim dobraniu położenia i kształtu cewek, możemy osiągnąć równomierność skali na środkowej jej części.

Jeżeli zmienimy kierunek prądu w obu cewkach, to biegunowość cewek zmieni się, zaś kierunek obrotu cewki ruchomej się nie zmieni, wobec czego przy pomocy przyrządów elektrodynamicznych możemy mierzyć wielkości zarówno prądu stałego, jak i zmiennego.

Jeżeli zmienimy kierunek prądu tylko w jednej cewce, czy to ruchomej, czy też nieruchomej, to zmieni się biegunowość jednej cewki i kierunek obrotu cewki ruchomej ulegnie zmianie na przeciwny.

2. ELEKTRODYNAMOMETR.

Na powyższej zasadzie został zbudowany przyrząd, zwany elektrodynamometrem.

Budowa elektrodynamometru zasadniczo mało różni się od lustkowego galwanometru cewkowego. Różnica polega jedynie na tym, że w elektrodynamometrze zamiast stałego magnesu zastosowana została nieruchoma cewka, oraz bywa również stosowany ochronny pancerz żelazny, ponieważ na działanie przyrządów elektrodynamicznych mają wpływ magnetyzm ziemski i obce pola elektromagnetyczne.

W układzie elektrodynamometru występują bardzo małe siły, dlatego też układ ruchomy wraz z lusterkiem jest bardzo lekki.

Elektrodynamometr wzorcujemy prądem stałym, a stosujemy do pomiaru słabych prądów zmiennych.

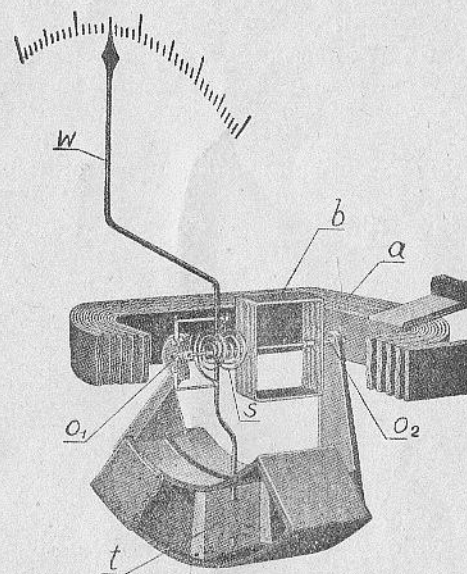
Czułość elektrodynamometru wynosi zwykle od 60 do 8 μA na 1 mm skali, odległej o 1 metr od lusterka, a niekiedy dochodzi nawet do $2 \cdot 10^{-9}$ A.

Moment tłumiący wahania lusterka wytwarza się tu przy pomocy tłumika powietrznego, jak to miało miejsce np. w przyrządach elektromagnetycznych.

3. AMPEROMIERZ ELEKTRODYNAMICZNY.

Amperomierz elektrodynamiczny sporządza się na zasadzie elektrodynamometru. (rys. 119).

Cewkę nieruchomą *a* zwija się z grubego, miedzianego drutu izolowanego, cewkę zaś *b* z cienkiego aluminiowego lub miedzianego drutu, również izolowanego. Cewka *b* jest ruchoma i w celu utrzymania w niej małego prądu, jest włączona do cewki *a* równolegle.



Rys. 119

Mechanizm amperomierza elektrodynamicznego.

Układ ruchomy stanowią: cewka ruchoma *b*, wskazówka *w* oraz skrzydełko tłumika *t*, umocowane na wspólnej osi stalowej. Oś opiera się w dwóch łożyskach *o1* i *o2*.

Prąd do cewki doprowadza się za pośrednictwem dwóch sprężyn spiralnych *s*, które służą zarazem do wytwarzania momentu zwracającego. W razie potrzeby może być przewidziany również zerownik.

Aperomierze zwykle budowane są dla prądów od 0,03 A do 5,0 A, powyżej tej wartości zakres amperomierza zwiększamy dla prądu stałego przy pomocy boczników,

dla prądu zaś zmiennego — przy pomocy transformatorów prądowych.

Pobór mocy dla amperomierzy tablicowych wynosi przy zakresie 5 A około 4,5 VA.

Bardzo często cewka nieruchoma amperomierza jest zbudowana w postaci dwóch połówek, które mogą być włączone ze sobą bądź szeregowo, bądź też równolegle, co zmienia zakres skali.

Dokładność kontrolnych przyrządów elektrodynamicznych wynosi 0,2% końcowej wartości skali, tablicowych zaś waha się w granicach 0,5% do 1,5%.

Ze względu na to, że na wskazania przyrządów elektrodynamicznych mają wpływ pola postronne, wskazane jest w niektórych wypadkach stosować przyrządy ochronione pancierzem żelaznym, bądź też należy pomiar przy prądzie stałym powtórzyć, zmieniając bieguny prądu; przy prądzie zaś zmiennym należy pomiar powtórzyć, obracając przyrząd o 90° , 180° lub 270° .

Zasadniczo wskazania amperomierzy elektrodynamicznych są w szerokich granicach niezależne od częstotliwości prądu i mogą być używane bez zmiany skali do 1000 okr./sek. Przy wyższych częstotliwościach jednakże należy wskazania ich sprawdzać np. przy pomocy amperomierzy cieplnych.

4. WOLTOMIERZ ELEKTRODYNAMICZNY.

Jeżeli w układzie amperomierza elektrodynamicznego zastosujemy obie cewki ruchomą i nieruchomą, sporządzone z wielu zwojów cienkiego izolowanego drutu, otrzymamy wówczas woltomierz elektrodynamiczny. Zwykle cewki woltomierza są łączone szeregowo.

Taki woltomierz zasadniczo mierzy prąd przepływający przez uzwojenie jego cewek, jednak przy stałej oporności wewnętrznej na skali przyrządu możemy napisać takie liczby, że przyrząd pokazywać będzie napięcie w woltach.

Przy wyższych napięciach skalę woltomierzy rozszerzamy przy pomocy oporników, łączonych z uzwojeniem przyrządu w szereg. Oporniki te powinny być zwijane bezindukcyjnie, tj. bifilarnie, gdyż woltomierz elektrodynamiczny przeznaczony jest do pomiaru napięcia prądu stałego i zmiennego, i przy wyższych częstotliwościach zachodziłaby potrzeba zastosowania dwóch oddzielnych skal.

Zwykle cewki woltomierza mają bardzo małą indukcyjność, która w granicach częstotliwości od 10 do 100 okr./sek. wpływu większego na wskazanie nie wywiera.

Woltomierze tego rodzaju są budowane od 15 do 3000 woltów i pobierają około 60 mA prądu.

Przy posługiwaniu się woltomierzami elektrodynamicznymi należy uwzględnić wszystkie uwagi, podane przy opisie elektrodynamometru oraz amperomierza elektrodynamicznego. Skale są również nieproporcjonalne.

5. WATOMIERZ ELEKTRODYNAMICZNY.

Ze wszystkich przyrządów elektrodynamicznych najczęściej używany jest watomierz — do pomiaru mocy prądu.

Budowa wewnętrzna watomierza podobna jest do budowy amperomierza; różnica polega na innym łączeniu cewek.

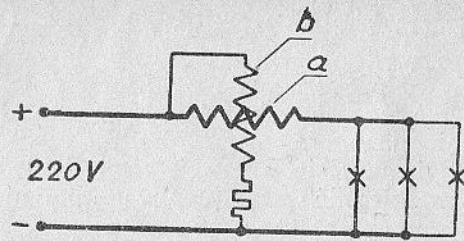
Watomierz ma wyprowadzone na zewnątrz wszystkie cztery końce obu cewek ruchomej *b* i nieruchomej *a*, przy tym cewka nieruchoma jest cewką prądową, cewka zaś ruchoma — napięciową.

Moment obrotowy, jak już wyżej zaznaczyliśmy, jest proporcjonalny do iloczynu prądów, przepływających w obu cewkach. Jeżeli więc przez cewkę prądową przepływać będzie prąd, pobierany przez odbiorniki, zaś przez cewkę ruchomą, przy stałej jej oporności — prąd, przy pomocy którego mierzymy napięcie, to w wyniku otrzymamy moment obrotowy, proporcjonalny do mocy prądu. Skala watomierza elektrodynamicznego jest równomierna.

Przy pomocy tego samego watomierza elektrodynamicznego możemy mierzyć moc zarówno prądu stałego, jak i zmiennego. Zwykle watomierze są skalowane prądem stałym, a następnie mogą być stosowane do prądu zmiennego.

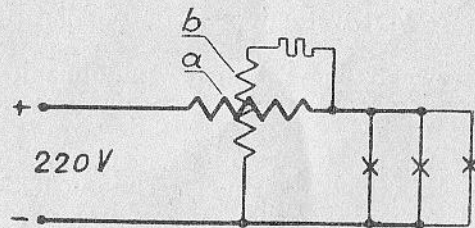
Na rys. 120 pokazany jest sposób włączenia cewek *a* i *b* watomierza do obwodu. Sposób włączenia, podany na rys. 121, nie jest właściwy, bowiem oprócz mocy, pobieranej przez odbiorniki, watomierz mierzy moc, pobraną przez cewkę napięciową samego przyrządu. Jeżeli włączymy watomierz, jak podano na rys. 121 — bez odbiorników, to wskazówka jego nie będzie stała na zerze skali, lecz pokaże pewne wychylenie.

Przy włączaniu watomierza do obwodu prądu należy uważać, czy wskazówka watomierza odchyła się prawidłowo.



Rys. 120

Właściwe włączenie watomierza.



Rys. 121

Niewłaściwe włączenie watomierza.

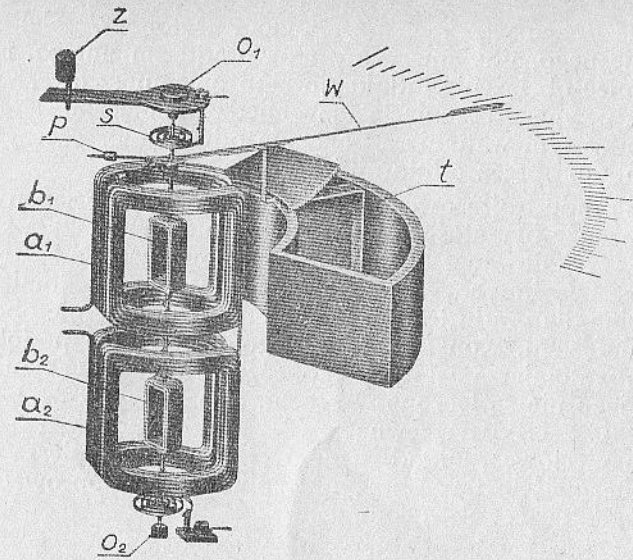
wo, w przeciwnym razie należy przełączyć odwrotnie zaciski jednej z cewek watomierza.

Watomierze zasadniczo budowane są na prąd 5 A i na napięcie 75, 110, 130 lub 150 woltów. Rozszerzanie skali dokonywamy przy prądzie stałym przy pomocy boczników i oporników, przy prądzie zmiennym dla małych mocy tak, jak przy prądzie stałym, zaś przy prądzie zmiennym dla dużych mocy lub wysokiego napięcia — wyłącznie przy pomocy transformatorów miernikowych*).

Moc pobierana przez cewkę prądową wynosi zwykle od 1,2 do 3,5 VA, cewka napięciowa zaś pobiera prąd od 30 do 60 mA.

Watomierze elektrodynamiczne budowane są zwykle jako tablicowe lub przenośne. Ich dokładność wskazań wynosi od 0,3% do 1,5% końcowej wartości skali. Dla dokładniejszych pomiarów stosowane są układy astatyczne

*) Schematy włączania podane są w p. 7 niniejszego rozdziału.



Rys. 122

Konstrukcja elektrodynamicznego watomierza astatycznego.

(rys. 122); dokładność ich wskazań wynosi od 0,2% do 0,1% końcowej wartości skali.

Układ astatyczny ma dwa zespoły sprzęgnięte ze sobą w ten sposób, że obie podwójne cewki nieruchome a_1 i a_2 umieszczone są jedna nad drugą i posiadają przeciwne sobie kierunki uzwojeń, przy tym połączone są ze sobą w szereg. Cewki ruchome tych zespołów b_1 i b_2 są umieszczone na wspólnej osi i mają uzwojenia również przeciwne sobie, przy tym połączone są ze sobą również w szereg. W chwili, gdy przepływa prąd przez wszystkie cewki, powstają dwa momenty obrotowe, skierowane w tę samą stronę. Układ ruchomy składa się więc z dwóch cewek ruchomych b_1 i b_2 , wskazówki w wraz z przeciwagami p oraz skrzydełka tłumika powietrznego t i obraca się na dwóch łożyskach o_1 i o_2 . Prócz tego watomierz posiada zerownik z . Prąd do układu ruchomego doprowadzony jest za pośrednictwem sprężyn spiralnych s , które również wytwarzają moment zwracający.

Tego rodzaju podwójny układ nie odchyła się pod wpływem pól obcych.

Należy zaznaczyć, że przy pomocy watomierza elektrodynamicznego, gdy mierzymy moc prądu zmiennego, możemy mieć obciążenie indukcyjne lub pojemnościowe, wtedy jest pewne przesunięcie fazy między napięciem, a prądem, przy tym watomierz pokazuje odrazu moc rzeczywiście pobraną przez odbiorniki.

Dla prądu trójfazowego, przy równomiernie obciążonych fazach, może być stosowany jeden watomierz ze skalą specjalnie wyskalowaną, której wartości powiększone są trzykrotnie. Dla innych wypadków budowane są watomierze podwójne dla prądu trójfazowego z nierównomiernie obciążonymi fazami. Konstrukcja takiego watomierza podobna jest do watomierza astatycznego, różnica polega na tym, że cewki jego nie są łączone w szereg, a mają wyprowadzone wszystkie zaciski na zewnątrz (4 zaciski prądowe i 3 zaciski napięciowe). Układ ruchomy takiego watomierza posiada oczywiście trzy sprężynki spiralne dla doprowadzenia prądu do cewek ruchomych.

Niekiedy zamiast takiego układu stosowany jest watomierz z dwoma oddzielnymi mechanizmami, sprzężonymi ze sobą przy pomocy przekładni z nitki, w postaci taśmy metalowej. Obrotowe momenty obu tych mechanizmów przez to sumują się.

Dla prądu trójfazowego z przewodem zerowym, przy nierównomiernie obciążonych fazach, budują się watomierze trójzespolowe, z trzema oddzielnymi mechanizmami, sprzężonymi ze sobą przekładnią.

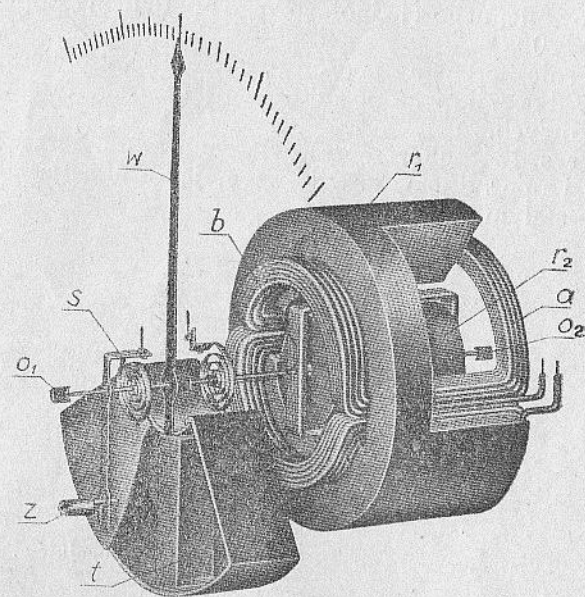
6. PRZYRZĄDY ELEKTRODYNAMICZNE Z RDZENIEM ŻELAZNYM.

Budowa przyrządów elektrodynamicznych z rdzeniem żelaznym opiera się na tej samej zasadzie, jak przyrządów bez rdzenia i przypomina poniekąd przyrządy cewkowe, z tą tylko różnicą, że zamiast magnesu stałego został tu użyty rdzeń z cienkich blaszek żelaznych, z nawiniętym uzwojeniem prądowym, oraz, że cylinder środkowy sporządzony jest również z cienkich blaszek żelaznych. Na rys. 123 podana jest konstrukcja tego rodzaju przyrządu.

Widzimy tu żelazny rdzeń z cienkich blaszek r_1 , w żłobkach którego ułożone są obie połówki nieruchomej cewki prądowej a oraz rdzeń środkowy r_2 , również sporządzony z cienkich blaszek żelaznych. Cewka b układu ruchomego

obejmuje rdzeń r_2 i obraca się w powstałej między rdzeniami r_1 i r_2 szczelinie. Reszta oznaczeń — tak jak na rysunkach poprzednich.

Wskutek większego strumienia magnetycznego, jaki otrzymujemy w rdzeniach żelaznych, w przyrządach tych



Rys. 123

Konstrukcja przyrządu elektrodynamicznego z rdzeniem żelaznym.

można stosować cewki o mniejszej ilości zwojów. Mimo to przyrządy z rdzeniem żelaznym mają zwykle większy moment obrotowy, wskutek czego przyrząd jest mniej wrażliwy na obce pola, budowa jego jest mocniejsza, tarcie w łożyskach jest łatwo przezwyciężone, a ponieważ cewki posiadają mniejszą oporność — straty mocy w przyrządzie są mniejsze.

Wadą tych przyrządów jest nieprzydatność ich do pomiaru mocy prądu wyższych częstotliwości oraz mniejsza dokładność wskazań (zwykle około 1%).

Przyrządy z rdzeniem żelaznym budowane są zazwyczaj na normalną częstotliwość 50 okr./sek, jednak mogą

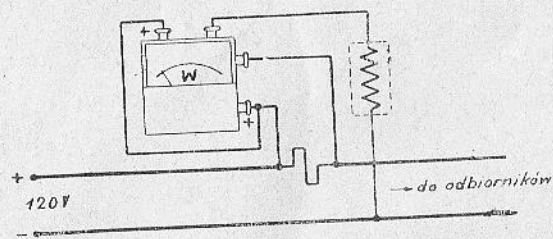
być używane—bez zmniejszonej dokładności wskazań—dla prądów od 10 do 100 okr/sek.

7. WŁĄCZANIE WATOMIERZY.

Włączanie watomierza przy pomiarze mocy prądu stałego lub zmiennego (jednofazowego) podaliśmy poprzednio na rys. 120.

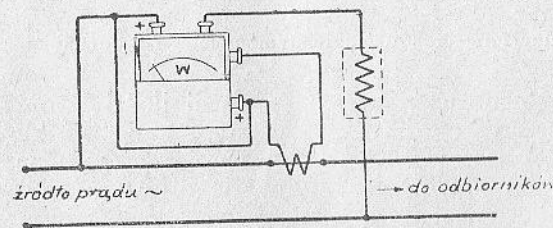
Obecnie podajemy sposoby włączania watomierza przy pomocy boczników, oporników oraz transformatorów miernikowych.

Na rys. 124 pokazane jest włączenie watomierza z bocznikiem i opornikiem dodatkowym, jakie stosuje się przy prądzie stałym.



Rys. 124

Włączenie watomierza z bocznikiem i opornikiem.



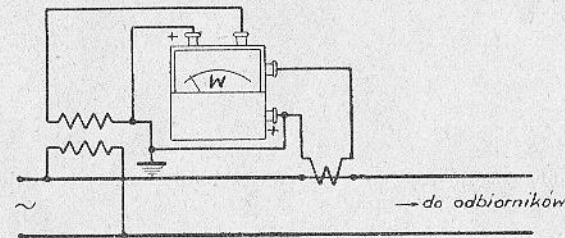
Rys. 125

Włączenie watomierza z transformatorem prądowym i opornikiem dodatkowym.

Rys. 125 podaje włączenie watomierza przy pomocy transformatora prądowego i opornika dodatkowego, zaś na rys. 126 widzimy watomierz, włączony przy pomocy

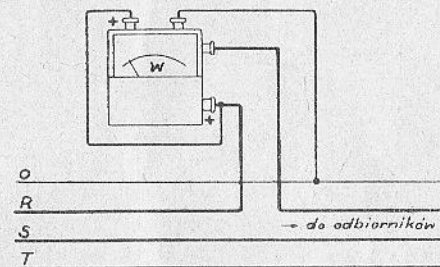
dwóch transformatorów miernikowych: prądowego i napięciowego.

Oba te sposoby mają zastosowanie przy pomiarze mocy prądu zmiennego, przy rozszerzaniu skali watomierza.



Rys. 126

Włączenie watomierza przy pomocy transformatorów miernikowych.



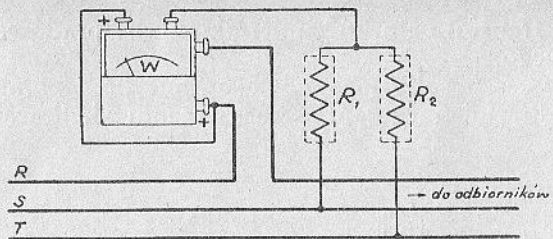
Rys. 127

Pomiar mocy prądu trójfazowego jednym watomierzem dla sieci z przewodem zerowym.

Przy pomiarze mocy prądu trójfazowego przy równomiernie obciążonych fazach, włączamy watomierz do sieci z przewodem zerowym, jak podaje rys. 127, bez przewodu zerowego zaś, jak na rys. 128.

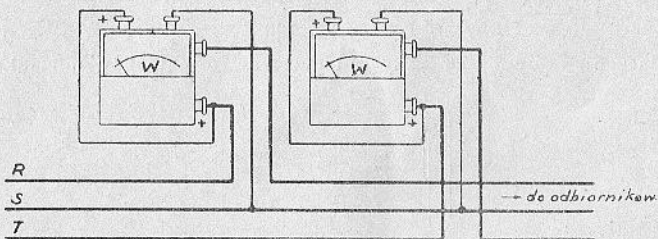
W układzie z rys. 128 oporności R_1 i R_2 są równe oporności wewnętrznej obwodu napięciowego watomierza.

Jeżeli poszczególne fazy układu trójfazowego są obciążone nierównomiernie, to do pomiaru mocy należy stosować albo dwa watomierze włączone, jak pokazuje rys. 129, lub też jeden watomierz podwójny (rys. 130). W pierwszym wypadku moc ogólną stanowi suma mocy, wskazanych przez oba watomierze.



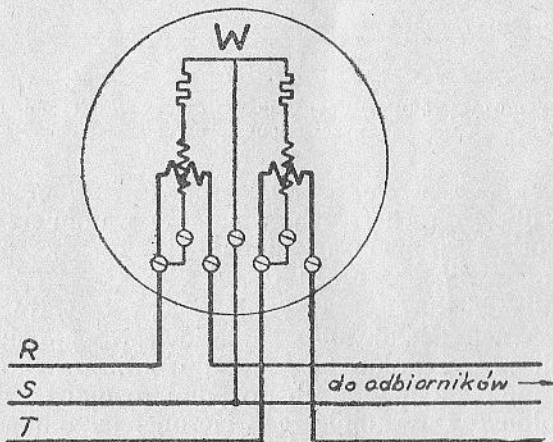
Rys. 128

Pomiar mocy prądu trójfazowego jednym watomierzem (z niedostępnym punktem zerowym).



Rys. 129

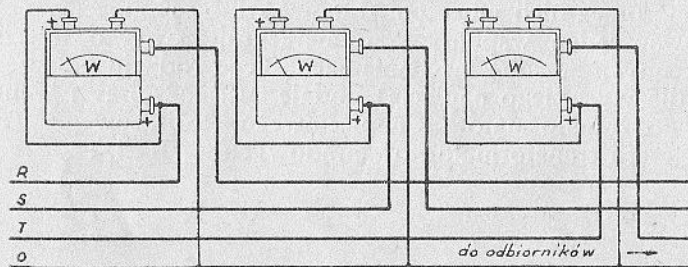
Pomiar mocy prądu trójfazowego dwoma watomierzami.



Rys. 130

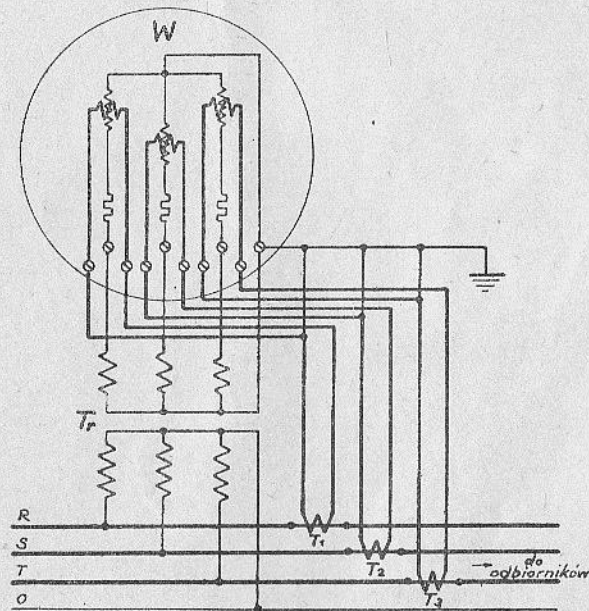
Pomiar mocy prądu trójfazowego watomierzem podwójnym.

Oba te wypadki są używane wówczas, gdy punkt zerowy jest niedostępny.



Rys. 131

Pomiar mocy prądu trójfazowego trzema watomierzami.



Rys. 132

Pomiar mocy prądu trójfazowego wysokiego napięcia watomierzem potrójnym.

Jeżeli mamy zmierzyć moc prądu trójfazowego sieci z przewodem zerowym, to możemy do tego celu użyć trzech watomierzy jednofazowych (rys. 131) i poszczególne wskaźwane przez nich moce podsumować, lub też możemy zastosować jeden wspólny watomierz trójfazowy, o trzech sprzężonych ze sobą mechanizmach. Tego rodzaju połączenie (dla wysokiego napięcia) podaje rys. 132, przy użyciu jednego transformatora napięciowego, trójfazowego T_r oraz trzech transformatorów prądowych T_1 , T_2 i T_3 .

ROZDZIAŁ X.

PRZYRZĄDY INDUKCYJNE.

1. ZASADA DZIAŁANIA.

Zasada, na jakiej oparte jest działanie przyrządów indukcyjnych, polega na powstawaniu w ich układzie ruchomym indukowanych prądów wirowych.

Prądy wirowe powstają bądź w tarczy aluminiowej, bądź też w bębnie aluminiowym układu ruchomego — pod wpływem zmiennego pola elektromagnesów, wskutek czego następuje oddziaływanie tych pól na pola, powstałe od prądów wirowych. W rezultacie otrzymujemy moment obrotowy, proporcjonalny do prądów wirowych oraz do strumienia elektromagnetycznego, wywołującego te prądy, a zatem moment ten jest proporcjonalny do kwadratu prądu.

Skala tych przyrządów jest kwadratowa.

Rozróżniamy przyrządy indukcyjne dwóch rodzajów:

przyrządy tarczowe oraz

przyrządy bębnekowe, czyli tzw. przyrządy indukcyjne według pomysłu Ferraris'a.

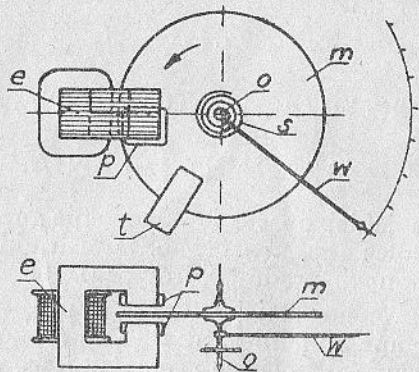
Pierwsze z nich zwą się jeszcze przyrządami z polem wędrującym, przyrządy zaś Ferraris'a — przyrządami z polem wirującym.

Moment zwracający wytwarza tutaj sprężynka spiralna, moment tłumiący zaś — skrzydełko tłumika powietrznego, albo też tłumik magnetyczny, w postaci stałego magnesu, oddziałującego na tarczę lub bęben aluminiowy układu ruchomego.

2. AMPEROMIERZ INDUKCYJNY.

Znany dwa rodzaje amperomierzy indukcyjnych: tarczowe i bębnekowe.

a) *Amperomierz tarczowy* (rys. 133) składa się z lekkiej tarczy aluminiowej m , osadzonej na osi o , która wraz ze wskazówką w tworzy układ ruchomy przyrządu, oraz elektromagnesu e z nawiniętym uzwojeniem, przez który przepływa prąd mierzony. Bieguny elektromagnesu znajdu-



Rys. 133

Amperomierz indukcyjny tarczowy.

ją się po obu stronach tarczy aluminiowej i posiadają na swych połówkach pierścienie miedziane p . Prócz tego przyrząd posiada stały magnes t , tłumiący wahanie wskazówki. Moment zwracający wytwarza sprężynka spiralna s .

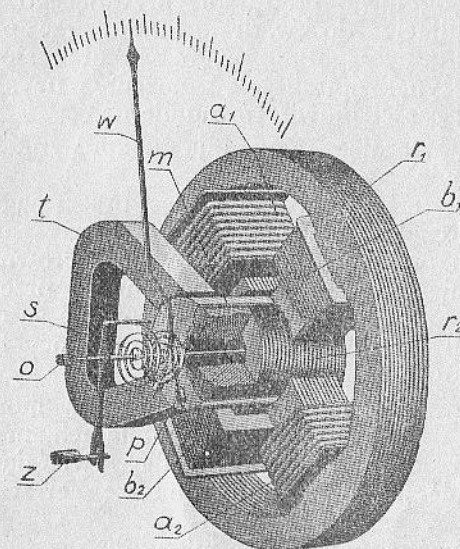
Z chwilą przepływu prądu zmiennego w uzwojenie elektromagnesu e powstanie strumień magnetyczny zmienny, który indukuje prądy w zwartym pieścieniu p oraz prądy wirowe w tarczy aluminiowej m . Od działania obu tych prądów powstają strumienie dodatkowe, które powodują obrót tarczy w kierunku strzałki.

Tego rodzaju amperomierze budowane są rzadko i są zastępowane przez amperomierze bębnekowe.

b) Konstrukcję wewnętrzną amperomierza bębnekowego podaje rys. 134.

Widzimy tu elektromagnes, w postaci pieścienia r_1 , z czterema występami.

Elektromagnes sporządzony jest z cienkich blaszek żelaznych. Na czterech jego występach nawinięte są dwie cewki a_1 i a_2 oraz b_1 i b_2 , których połówki znajdują się na przeciw siebie i są połączone ze sobą w szereg. W środku umieszczony jest rdzeń r_2 z blaszek żelaznych. Układ ruchomy składa się z lekkiego bębna aluminiowego m , który



Rys. 134

Amperomierz indukcyjny typu Ferraris'a.

może obracać się w szczelinie, powstałej między biegunami elektromagnesu e i rdzeniem r_2 , oraz ze wskazówki w wraz z przeciwwagą p . Układ ruchomy obraca się w łożyskach z .

Obie cewki elektromagnesu są połączone ze sobą równolegle. Cewka a_1-a_2 , sporządzona jest z małej ilości zwojów grubego, izolowanego drutu miedzianego, cewka zaś b_1-b_2 — z dużej ilości zwojów cienkiego drutu. Prąd główny płynie przez cewkę a_1-a_2 i rozgałęzia się na cewkę b_1-b_2 . Ponieważ indukcyjności obu cewek są różne, następuje pewne przesunięcie fazy między strumieniami magnetycznymi tych cewek, wskutek czego otrzymujemy pole wirujące. Na prądy wirowe w bębnie od strumienia

cewki a_1 — a_2 działa strumień cewki b_1 — b_2 , zaś na prądy wirowe od strumienia cewki b_1 — b_2 działa strumień cewki a_1 — a_2 i to w ten sposób, że jedne z nich przyciągają się, inne — odpychają się.

Pod działaniem tych sił występuje moment obrotowy, proporcjonalny do strumieni obu cewek, a zatem proporcjonalny do ogólnego prądu, przepływającego przez obie cewki, w rezultacie—do kwadratu prądu. Przez odpowiedni dobór kształtu nabiegunków, bębna oraz stopnia sprężystości sprężynek spiralnych, możemy uzyskać skalę w środkowej części prawie równomierną.

Moment zwracający wwołują tu sprężynki spiralne s (jedna lub dwie).

Moment tłumiący wytwarzany jest przez magnes stały t , skutkiem oddziaływania na bęben m (prądy wirowe).

Poza tym przyrząd posiada również zerownik.

Amperomierze Ferraris'a budowane są przeważnie jako przyrządy tablicowe. Zwykle stosowane są one na 5 A i zakres skali rozszerzany bywa przy pomocy transformatorów prądowych.

Ich budowa jest mocna, mają one duży moment obrotowy, mogą więc być o dużych wymiarach, przy tym są siednie przyrządy na nie wpływu nie wywierają.

Moc pobierana przez amperomierze Ferraris'a wynosi około 2,5 VA.

Dokładność przyrządów indukcyjnych jest nieco mniejsza od przyrządów elektrodynamicznych z rdzeniem żelaznym.

Kardynalną wadą tego rodzaju przyrządów jest zależność ich wskazań od częstotliwości prądu, ponieważ natężenie prądów wirowych z częstotliwością się zmienia oraz, wskutek zmian częstotliwości, zmienia się indukcyjność cewek.

3. WOLTOMIERZ INDUKCYJNY.

Woltomierze indukcyjne w konstrukcji swej niczym się nie różnią od tego rodzaju amperomierzy, jedynie cewki ich posiadają więcej zwojów cieńszego drutu; mają one te same własności, co amperomierze. Mogą więc być używane wyłącznie do prądu zmiennego i do określonej częstotliwości.

Zwykle częstotliwość, na jaką budowane są przyrządy

indukcyjne, wynosi od 25 do 100 okr/sek. Częstotliwość, przy której przyrząd indukcyjny wzorcuje się, jest oznaczona na skali.

W lepszym wykonaniu, przyrządy indukcyjne mogą być stosowane bez zmiany skali dla częstotliwości, różniącej się w granicach $\pm 5\%$ od częstotliwości, na jaką zostały zbudowane.

Moc pobieraną przez woltomierze indukcyjne wynosi około 6 VA przy napięciu 110 V.

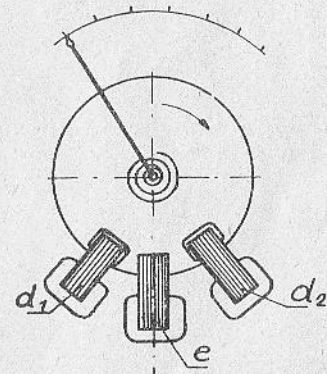
4. WATOMIERZ INDUKCYJNY.

Budowa wewnętrzna watomierzy indukcyjnych jest podobna do budowy amperomierzy indukcyjnych, z tą tylko różnicą, że w przyrządach tarczowych mamy trzy elektromagnesy zamiast jednego, zaś w przyrządach bębnowych zmieniony jest nieco sposób łączenia cewek.

I tu również mamy dwa typy watomierzy:

watomierze tarczowe z polem wędrującym oraz watomierze bębnowe z polem wirującym.

a) Watomierze tarczowe mają po obu stronach elektromagnesu e (rys. 135) dodatkowe elektromagnesy d_1 i d_2 . Cewka elektromagnesu e jest cewką prądową i ma uzwojenie z grubego, izolowanego drutu miedzianego. Cewki elektromagnesów d_1 i d_2 są cewkami napięciowymi z cienkiego drutu o dużej ilości zwojów i są połączone ze sobą w szereg w ten sposób, że wytwarzają strumienie, o kierunkach przeciwnych sobie. Na bieguny elektromagnesów d_1 i d_2 , tak jak to miało miejsce w amperomierzu, nałożone są zwarte miedziane pierścienie.



Rys. 135

Watomierz indukcyjny tarczowy.

Elektromagnes e wywołuje prądy wirowe w tarczy aluminiowej m , na które działają dodatkowe strumienie, powstałe od prądów indukcyjnych w zwartych pierścieniach, wskutek czego powstaje moment obrotowy.

Moment obrotowy jest proporcjonalny do prądu w cewce prądowej oraz do prądu w cewce napięciowej, czyli do napięcia na tej cewce, a zatem do mocy prądu mierzonego.

Skala watomierzy indukcyjnych jest przeto równomierna.

Prąd w cewkach napięciowych jest przesunięty wstecz względem napięcia o około 90° ; aby osiągnąć pole wędrujące, trzeba, aby pole od tych cewek było cofnięte w fazie dokładnie o kąt 90° od napięcia. Uskuteczniamy to przy pomocy wspomnianych pierścieni zwartych.

b) *Watomierze bębnekowe* typu Ferraris'a w budowie swej mało się różnią od amperomierzy tego rodzaju. Różnica polega tylko na tym, że cewka z grubego drutu włączona jest na prąd pobierany, cewka zaś z cienkiego drutu — na napięcie.

Moment obrotowy powstaje tu, jak w amperomierzu, od pola wirującego, i jest proporcjonalny do mocy mierzonego prądu.

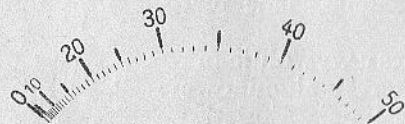
W watomierzach dążymy do tego, aby przesunięcie fazy między prądami w obu cewkach wynosiło dokładnie 90° . Dokonać tego można przez dodanie do obwodu napięciowego specjalnej cewki, tj. oporu indukcyjnego, połączonego z cewką napięciową w szereg, oraz bocznika bezindukcyjnego, połączonego z cewką napięciową równolegle.

Poza tym watomierze typu Ferraris'a mają te same właściwości, co amperomierze.

Mogą być one używane tylko dla prądu zmiennego i dla określonej częstotliwości.

Cewka prądowa watomierzy przeznaczona jest zwykle na 5 A i pobiera mocy około 1,5 V A, cewka napięciowa bywa na 110, 220, 380 lub 500 woltów, przy tym pobiera przy 110 V około 5 V A.

Watomierze Ferraris'a są budowane zwykle jako tablicowe o dużych wymiarach i bywają jednofazowe lub trójfazowe: podwójne lub potrójne.



Rys. 136

Skala amperomierza indukcyjnego.

Skale watomierzy rozszerzamy przy pomocy transformatorów miernikowych, podobnie jak to ma miejsce przy watomierzach elektrodynamicznych.



Rys. 137

Skala watomierza indukcyjnego.

Na rys. 136 podajemy skalę amperomierza indukcyjnego, zaś na rys. 137 — skalę watomierza.

ROZDZIAŁ XI. PRZYRZĄDY CIEPLNE.

1. ZASADA DZIAŁANIA.

Zasada działania przyrządów cieplnych polega na wykorzystaniu zjawiska rozszerzania się metali pod wpływem ciepła.

Jeżeli umocujemy drucik metalowy d pomiędzy zaciskami a i b w ten sposób, aby był on lekko napięty, i przepuścimy przez niego odpowiedni prąd elektryczny, to zauważymy, że długość jego powiększy się wskutek rozgrzewania się, przy tym wydłużenie to będzie tym większe, im wyższą temperaturę osiągnie drucik pod wpływem przepływającego prądu.

Tę własność metali wykorzystano przy budowie przyrządów cieplnych.

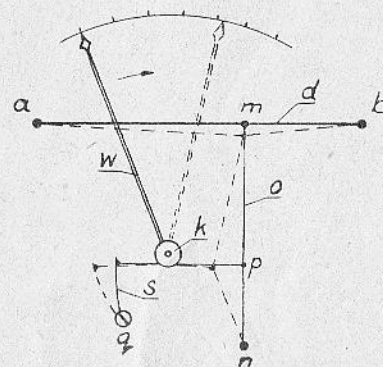
Na rys. 138 pokazana jest zasada działania jednego z przyrządów cieplnych.

Widzimy tu drucik grzejny d , do którego w punkcie m przymocowany jest inny drucik o , zaczepiony na stałe w zacisku n . Do drucika o w punkcie p umocowana jest nić kokonowa, której drugi koniec przerzucony jest przez blok k , jeden raz owinięty dokoła niego i umocowany do sprężynki płaskiej s . Sprężynka s jest zamocowana w zacisku g i jest lekko napięta.

Do bloku k przymocowana jest wskazówka w , która wraz z blokiem obraca się.

Z chwilą gdy przez drucik grzejny d przepływa prąd, drucik się rozgrzewa i zwiększa swą długość.

Ponieważ sprężynka s napina nić kokonową, ta znów napina drucik o , to z chwilą rozgrzewania się drucika d cały układ przesunie się, jak podano na rysunku liniami przerywanymi, i wskazówka obróci się o pewien kąt.



Rys. 138

Zasada działania przyrządu cieplnego.

Moment tłumiący zwykle w przyrządach cieplnych jest wytworzony przy pomocy magnesu stałego, między biegunami którego przesuwana jest lekka tarcza aluminiowa, osadzona na osi wskazówki.

Skala przyrządów cieplnych jest nierównomierna.

Dla przybliżonego wyznaczenia zależności wychylenia wskazówki przyrządu od wielkości mierzonego prądu, zakładamy, że przyrost długości drutu grzejnego jest proporcjonalny do jego temperatury, a ponieważ temperatura jest zależna od ilości ciepła, zaś przyrost ciepła proporcjonalny jest do kwadratu prądu, więc przyrost długości drutu grzejnego jest proporcjonalny do kwadratu prądu.

Przy małych wydłużeniach drutu grzejnego, kąt wychylenia wskazówki jest proporcjonalny do przyrostu długości drutu.

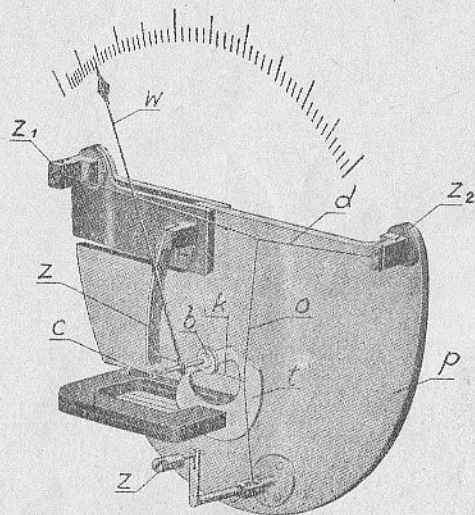
Z tego wynika, że skala jest kwadratowa.

Przy odpowiednim doborze kształtu bloku k (rys. 138), np. przy mimośrodkowym osadzeniu osi obrotu, możemy uzyskać skalę więcej równomierną w środkowej jej części.

Q=0,860.T.Rt.

2. AMPEROMIERZ CIEPLNY.

Na rys. 139 podajemy budowę amperomierza cieplnego. Widzimy tu płytę podstawy *p* i umocowane na niej wszystkie części. Prąd przepływa przez drucik grzejny *d*. Do drucika grzejnego umocowany jest drucik odciągowy *o*, zamocowany drugim końcem do izolowanego zerownika *z*. Do drucika odciągowego *o* przymocowana jest nić kokonowa *k*, która, po owinięciu na bloku *b*, umocowana



Rys. 139
Amperomierz cieplny.

jest drugim końcem do sprężynki *s*. Układ ruchomy stanowi tu wskazówka *w* wraz z blokiem *b* i skrzydełkiem tłumika magnetycznego *t*, osadzonymi na wspólnej osi, która może obracać się w łożyskach *c*.

Prąd doprowadzamy do zacisków *z*₁ i *z*₂; zacisk *z*₁ jest od płyty *p* izolowany.

Drucik grzejny w amperomierzach ma zazwyczaj średnicę od 0,1 do 0,2 mm. Sporządzony jest on ze stopu platyny z irydem, czasem — ze stopu platyny ze srebrem, a niekiedy nawet ze stali niklowej.

Układ ruchomy w przyrządach cieplnych, ze względu na dodatkowe niesymetryczne obciążenia, nie może być do-

kładnie zrównoważony, dlatego też przyrządy cieplne mogą być używane tylko w tym położeniu, w jakim zostały wzorcowane.

Cechą dodatnią amperomierzy cieplnych jest ich niezależność wskazań od częstotliwości prądu, w szerokich granicach.

Amperomierze cieplne stosowane są zarówno do pomiaru prądu stałego, jak i zmiennego — przy jednej i tej samej skali.

Amperomierze cieplne budowane są zwykle do 5 amperów dla częstotliwości do 200 okr/sek. Im cieńszy jest drucik grzejny, tym większą częstotliwość może posiadać mierzony prąd; wartość jej dochodzi niekiedy do 10⁶ okr/sek.

Dla amperomierzy tablicowych moc pobierana wynosi przy 5 A około 1,5 VA.

3. WOLTOMIERZ CIEPLNY.

Budowa woltomierzy cieplnych niczym się nie różni od tego rodzaju amperomierzy, jedynie drucik grzejny w nich bywa nieco cieńszy (około 0,05 mm). Poza tym woltomierze cieplne posiadają wszystkie te własności, co amperomierze cieplne.

Zwykle woltomierze budowane są na zakresy od 3 woltów wzwyż.

Przy włączaniu woltomierzy cieplnych należy uważać, aby napięcie mierzone nie przekraczało końcowej wartości skali woltomierza, ponieważ delikatny drucik grzejny może ulec przepaleniu. To też wskazane jest zabezpieczać woltomierze cieplne specjalnymi bezpiecznikami.

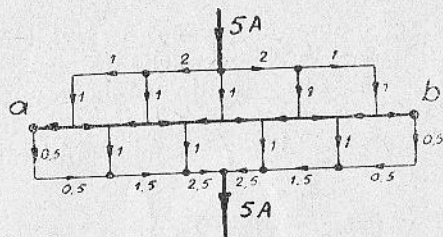
4. ROZSZERZENIE SKALI PRZYRZĄDÓW CIEPLNYCH.

Skale amperomierzy rozszerzamy zwykle przy pomocy boczników lub, w wypadku prądu zmiennego — również przy pomocy transformatorów prądowych.

Niekiedy rozszerzenie skali amperomierzy dokonywa się przy pomocy pewnych przeróbek wewnątrz przyrządu.

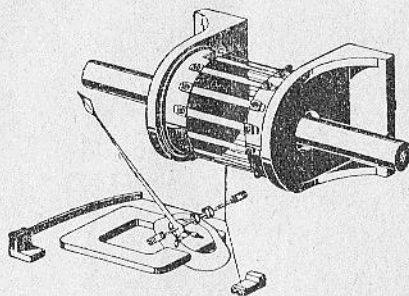
Jeżeli przekrój drutu grzejnego wypadła zbyt wielki, stosujemy podział cieńszego drucika na części przy pomocy dolutowania cienkich, giętkich blaszek, tzw. mostków (rys. 140). Wówczas prąd mierzony np. 5 A rozgałęzia się, i przez drucik grzejny przepływa tylko 0,5 A.

Przy jeszcze większych prądach i wyższych częstotliwościach stosuje się układ, podany na rys. 141. Tutaj dwa krążki połączone są ze sobą szeregiem cienkich blaszek grzejnych. Prąd mierzony przepływa przez wszystkie blaszki, które się wydłużają, wykorzystane jest jednak wydłużanie się tylko jednej blaszki, do której dołączamy cały układ ruchomy przyrządu.



Rys. 140

Wielokrotne doprowadzenie prądu do drucika grzejnego.



Rys. 141

Układ równoległy drucików lub blaszek grzejnych.

Rozszerzenie skali woltomierzy dokonywamy przy pomocy oporników szeregowych, tak dla prądu zmiennego, jak i dla prądu stałego. Dla prądu zmiennego stosowane są do tego celu również transformatoruki napięciowe.

Należy zaznaczyć, że oporniki szeregowy do rozszerzenia skal woltomierzy powinny być nawijane bezindukcyj-

nie (bifilarnie), ażeby dla prądu zmiennego i stałego oporność ich była taka sama.

Ponieważ jednak przy stosowaniu boczników i oporników w przyrządach cieplnych mogą mieć miejsca pewne drobne zmiany ich oporności, należy, zwłaszcza dla przyrządów więcej dokładnych, przyrząd ponownie przewzorcować, a czasem zachodzi nawet potrzeba wymiany skali.

Wadą przyrządów cieplnych jest powolne odchylenie się i powolne wracanie wskazówki do zera, co niekiedy trwa kilka sekund.

ROZDZIAŁ XII.

PRZYRZĄDY ELEKTROSTATYCZNE.

1. ZASADA DZIAŁANIA.

Zasada budowy i działania przyrządów elektrostatycznych polega na wzajemnym przyciąganiu się dwóch płytek naładowanego kondensatora.

Jak z tego wynika, nie możemy przy pomocy przyrządów elektrostatycznych mierzyć natężenia prądu, ani też mocy prądu. Wobec tego przyrządy elektrostatyczne nadają się tylko jako woltomierze.

Siła przyciągania się dwóch płytek kondensatora jest proporcjonalna: do kwadratu napięcia, do powierzchni płytek oraz odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między płytkami. To też skala woltomierzy jest kwadratowa. Przy odpowiedniej budowie przyrządu i specjalnym kształcie płytek, możemy uzyskać skalę w większej części prawie równomierną.

Przyrządy elektrostatyczne nadają się do pomiaru napięcia prądu stałego, zmiennego oraz napięcia o wysokiej częstotliwości.

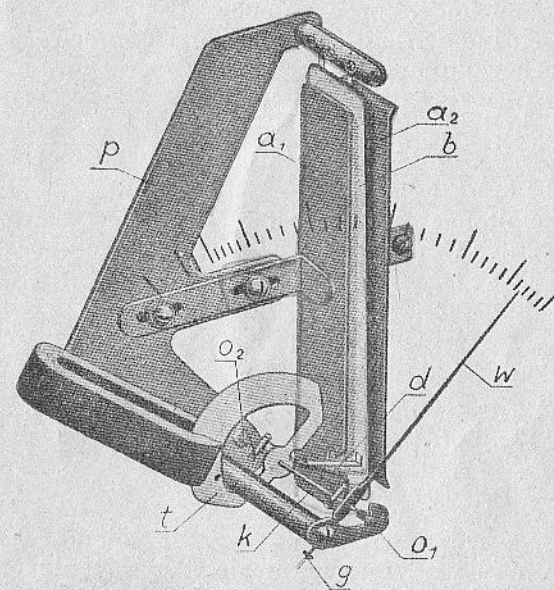
Najczęściej jest stosowany woltomierz elektrostatyczny pokazany na rys. 142.

Jest to woltomierz specjalnie przeznaczony do pomiaru wysokiego napięcia, od 2 kV do 15 kV.

Zasada działania jego jest następująca. Woltomierz posiada dwie nieruchome, odizolowane od siebie płytki równoległe a_1 i a_2 , umieszczone pionowo. Między płytkami a_1 i a_2 zawieszona jest na dwóch cienkich fosforo-brązowych taśmach trzecia płytka ruchoma b . Płytki ruchoma b po

przez korpus p połączona jest metalicznie z płytką nieruchomą a_1 . Z drugiej strony, od dołu, płytka ruchoma b połączona jest przy pomocy dźwigienki d i nitki kokonowej k z układem ruchomym.

Układ ruchomy obraca się na osi w łożyskach o_1 i o_2 i składa się z wyżej wymienionej płytki b , ze wskazówki w wraz z przeciwwagą g oraz skrzydełka (tarczki) tłumika magnetycznego t .



Rys. 142

Woltomierz elektrostatyczny do wysokich napięć.

Przewody wysokiego napięcia zostają dołączone do obu płytek nieruchomych a_1 i a_2 . Z chwilą powstania ładunków elektrycznych różnoimiennych na płytkach nieruchomych, na płycie ruchomej powstanie ładunek taki, jak na płycie a_1 . Ponieważ jednoimiennie ładunki się odpychają, a różnoimiennie się przyciągają, płytka b zostanie odpechnięta od płytki a_1 i będzie przyciągana do płytki a_2 , wskutek czego cały układ ruchomy wraz ze wskazówką obróci się o pewien kąt.

Moment zwracający powoduje tu ciężar własny płytki ruchomej *b*, dlatego też woltomierz tego rodzaju winien być zawsze ustawiany w pozycji pionowej.

Moment tłumiący wytwarza tu magnes stały, działając na tarczkę tłumika *t*.

Regulacja woltomierza może być dokonana przez większe lub mniejsze rozsuniecie lub zsuniecie płytek nieruchomych *a*, i *a*₂.

Skalę takiego woltomierza możemy rozszerzyć tylko dla prądu zmiennego przy pomocy specjalnych wysokonapięciowych kondensatorów, włączanych symetrycznie po obu stronach woltomierza—w szereg z tym woltomierzem. Przy pomocy tego rodzaju kondensatorów możemy skalę rozszerzyć do 120 kV.

Pojemność woltomierza elektrostatycznego wynosi około 20 cm²) i zwykle nie przekracza 40 cm.

Zaletą woltomierzy elektrostatycznych jest bardzo mały prąd, pobierany przy prądzie zmiennym (około 1 μA); przy prądzie stałym woltomierz elektrostatyczny w ogóle prądu nie pobiera.

Na wskazanie woltomierza elektrostatycznego obce pola magnetyczne wpływu nie mają, jedynie ma wpływ pole elektryczne.

Trzeba przeto uważać, aby przy wycieraniu szybki przyrządu nie gromadziły się na niej ładunki, które mogą przesunąć wskazówkę o parę działek. Aby usunąć ładunek z szybki, wystarczy na nią chuchnąć.

Obudowa woltomierza winna być uziemiona.

Dokładność woltomierzy nie jest duża i nie przekracza 1% bez dodatkowych kondensatorów i około 2% z tymi kondensatorami.

2. WOLTOMIERZ WIELOBLASZKOWY.

Dla niższych napięć, od 150 V do 1500 V, mają zastosowanie woltomierze elektrostatyczne wieloblaszkowe (rys. 143).

Widzimy tu cały szereg blaszek ruchomych *b*, umieszczonych na wspólnej osi, zawieszonej na nitce *n*. Do osi tej przymocowana jest również wskazówka *w* oraz skrzy-

*) 1 cm pojemności = $\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ farada.

delka tłumika powietrznego *t*. Jest to układ ruchomy przyrządu.

Układ nieruchomy składa się z dwóch szeregów płytek nieruchomych *a*.

Napięcie doprowadzamy z jednej strony poprzez sprężynkę spiralną *s* do płytek układu ruchomego *b*, z drugiej strony zaś do płytek nieruchomych. Z chwilą powstania ładunków różnoimennych na płytkach nieruchomych i ruchomych, te ostatnie są wciągane pomiędzy płytki nieruchome, obracając przez to układ ruchomy o pewien kąt.

Moment zwracający wytwarza tu bądź sprężynka spiralna *s*, bądź też skręcająca się nitka *n*.

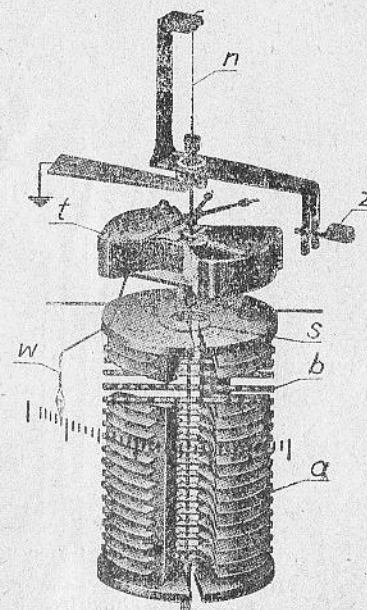
Moment tłumiący powoduje podwójny tłumik powietrzny *t*.

Woltomierz tego rodzaju należy ustawiać w pozycji pionowej. Wskazówka może być ustawiona dokładnie na zero przy pomocy izolowanego zerownika *z*.

Pojemność woltomierza wieloblaszkowego wynosi od 70 do 90 cm.

Zaletą woltomierza wieloblaszkowego jest możliwość rozszerzenia jego skali przy pomocy kondensatorów wysokonapięciowych, do miliona woltów. Kondensatory te są łączone w szereg z woltomierzem po obu stronach przyrządu. Stosuje się niekiedy jeszcze dodatkowy kondensator, bocznikujący woltomierz.

Należy zaznaczyć, że woltomierze z dodatkowymi kondensatorami zwykle wskazują dokładnie tylko przy częstotliwości, przy której były wzorcowane. Dla innych częstotliwości należy woltomierz przecechować dodatkowo.



Rys. 143

Woltomierz elektrostatyczny wieloblaszkowy.

ROZDZIAŁ XIII.

PRZYRZĄDY REZONANSOWE.

1. ZASADA DZIAŁANIA.

Zasada działania przyrządów rezonansowych oparta jest na rezonansie pomiędzy drganiami własnymi płaskich, cienkich sprężynek stalowych, a zmienną siłą, powstającą od magnetycznego działania prądu zmiennego.

Na tej zasadzie oparte jest działanie częstotlicmiernia sprężynkowego.

2. CZĘSTOŚCIOMIERZ SPRĘŻYNKOWY.

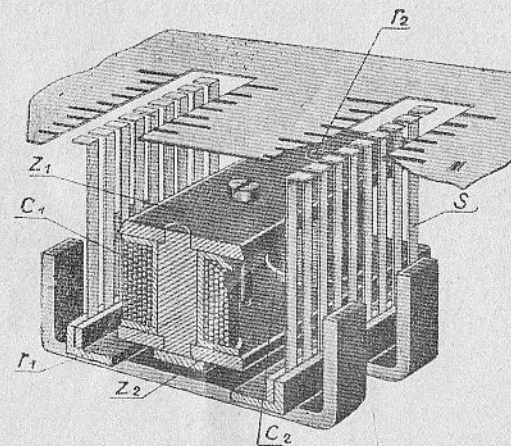
Na rys. 144 podana jest konstrukcja częstotlicmiernia sprężynkowego, dwurzędowego. Widzimy tu dwie cewki c_1 i c_2 , nawinięte cienkim, izolowanym drutem miedzianym na dwóch rdzeniach z miękkiego żelaza r_1 i r_2 . Oba te rdzenie są zwarte zworami z miękkiego żelaza z_1 i z_2 .

Cewki c_1 i c_2 są tak nawinięte, że wytwarzają strumienie zgodne, to znaczy, że obie zwory z_1 i z_2 tworzą dwa bieguny elektromagnesu, przy tym cewki te połączone są ze sobą w szereg. Strumień magnetyczny zamyka się po obu stronach cewek przez dwa szeregi cienkich stalowych sprężynek s , umocowanych z jednego końca.

Z chwilą powstania zmiennego strumienia magnetycznego od prądu zmiennego w cewkach, powstają siły zmienne, przyciągające oba szeregi sprężynek do zwor z_1 i z_2 . Sprężynki te zaczynają drgać w takt zmian prądu zmiennego.

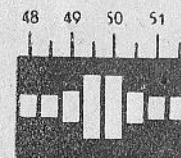
Wszystkie sprężynki posiadają kolejno różną grubość, przez co posiadają różne okresy drgań własnych. Ta

sprężynka, która posiada częstotliwość drgań własnych, najbardziej zbliżoną do częstotliwości prądu, będzie drgała najwięcej; zobaczymy to w otworze skali przyrządu i będziemy mogli odczytać tę wartość na skali.

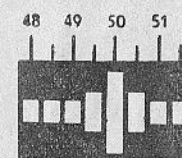


Rys. 144

Częstotlicmiernia sprężynkowego.



Odczyt 49,75



Odczyt 50,0

Rys. 145

Odczyty na skali częstotlicmiernia.

Na rys. 145 podano odczytywanie drgających sprężynek^{*)}.

Częstotlicmiernie włączamy do obwodu prądu tak, jak woltomierze, stosując przy wyższych napięciach opory szeregowo lub transformatorci napięciowe.

^{*)} Na rys. 77 podawaliśmy widok częstotlicmiernia dwuszeregowego.

Zwykle na każdym przyrządzie jest napisane, do jakiego napięcia jest on przeznaczony. Do wyższego napięcia włączać go zatem nie należy, w obawie uszkodzenia lub przepalenia cewek lub oporów.

Częstościomierze bywają budowane o skali pojedynczej lub podwójnej, o rozmaitej ilości sprężynek. Im większą ilość tych sprężynek posiada przyrząd na jeden okres, tym odczyt może być dokładniejszy.

Niekiedy budowane są dwa oddzielne częstościomierze w jednej obudowie, które służą do synchronizowania maszyn przy równoległej ich pracy.

Częstościomierze zazwyczaj mają zakres 25—50 okr/sek, 50—100 okr/sek, 20—60 okr/sek lub 45—50—55 okr/sek itd.

Moc pobierana przez częstościomierze tablicowe wynosi około 3 V A.

ROZDZIAŁ XIV.

PRZYRZĄDY DO MIERZENIA OPORNOŚCI.

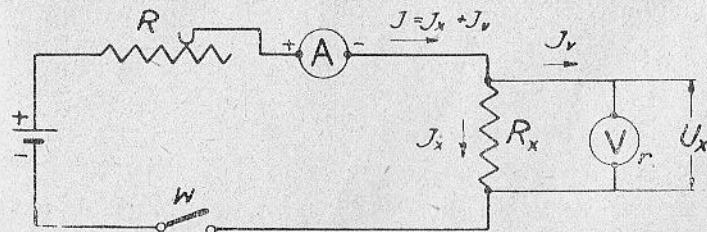
1. MIERZENIE OPORNOŚCI AMPEROMIERZEM I WOLTOMIERZEM.

Aby wyznaczyć oporność pewnego oporu, musimy określić, jakie napięcie jest na zaciskach tego oporu, czyli, jaki jest spadek napięcia na tym oporze, gdy przepływa przez niego prąd elektryczny o określonej wartości.

Tego rodzaju pomiar możemy przeprowadzić, posługując się amperomierzem i woltomierzem.

Na rys. 146 podajemy schemat włączenia przyrządów do pomiaru oporności według wyżej podanego sposobu. Układ ten stosowany jest zwykle do pomiaru oporności małych, rzędu jednego oma.

W obwód włączony jest akumulator, w szereg z opornikiem regulującym R , amperomierzem oraz oporem o nie-



Rys. 146

Pomiar oporności amperomierzem i woltomierzem.

wiadomej oporności R_x . Do zacisków oporu R_x dołączony jest równolegle woltomierz.

W tym układzie wielkość oporności amperomierza nie gra roli, natomiast oporność wewnętrzną woltomierza r powinniśmy wziąć pod uwagę.

Przy pomiarze postępujemy w sposób następujący: po zamknięciu wyłącznika w ustalamy prąd, regulując opornik R . Przypuścimy, że amperomierz wskazał I amperów, woltomierz zaś — U_x woltów. Jeżeli nie brać pod uwagę oporności woltomierza (o ile jest duża w stosunku do oporności mierzonej R_x) wówczas według prawa Ohm'a:

$$R_x = \frac{U_x}{I}$$

Jeżeli uwzględnić prąd w woltomierzu:

$$I_v = \frac{U_x}{r},$$

to musimy mieć na względzie, że amperomierz pokazuje prąd sumaryczny, tj. prąd I_x , przepływający przez opór R_x oraz prąd I_v przepływający przez woltomierz, to znaczy

$$I = I_x + I_v \quad \text{czyli} \quad I_x = I - I_v$$

przeto wzór na oporność, z uwzględnieniem prądu woltomierza, będzie:

$$R_x = \frac{U_x}{I - I_v} = \frac{U_x}{I_x}$$

W powyższym rozważaniu nie braliśmy pod uwagę oporności przewodów woltomierza. Aby pomiar zyskał na dokładności, przewody te powinny mieć małą oporność i muszą być dołączone dokładnie na końcach oporu mierzonego. Oporność reszty przewodów nie wpływa na wynik pomiaru.

2. OMOMIERZ WOLTOMIERZOWY.

Przy pomiarach oporności średnich, np. rzędu 10000 omów, w układzie, podanym na rys. 146, zbędny jest opornik regulujący R . Opór mierzony może być załączony bezpośrednio do zacisków baterii, np. akumulatorów.

Jeżeli do tego rodzaju pomiaru użyjemy baterii akumulatorów, np. o napięciu $U = 10$ woltów, to wg. prawa Ohm'a przez opór $R_x = 10000$ omów popłynie prąd

$$I = \frac{U}{R_x} = \frac{10}{10000} = 0,001 \text{ A} = 1 \text{ mA}.$$

Z tego wynika, że zamiast amperomierza powinniśmy użyć tu miliamperomierz o zakresie wskazań 1 mA.

Przy pomiarze innej oporności, np. większej lub mniejszej od 10000 Ω , aby uzyskać zawsze największe wychylenie wskazówki, należy oczywiście stosować miliamperomierze o rozmaitych zakresach wskazań i każdorazowo obliczać mierzoną oporność.

Wynik pomiaru będzie tym dokładniejszy, im większe będzie wychylenie wskazówki miliamperomierza. Poza tym musimy znać dokładnie, jakie napięcie posiada zastosowane źródło prądu.

Dogodniej jest użyć do tego rodzaju pomiaru jeden miliamperomierz ze skalą, wyskalowaną bezpośrednio w omach — przy danym napięciu. Taki miliamperomierz przy pomiarach dużych oporności, np. rzędu miliona omów, zastępujemy mikroamperomierzem, zaś do pomiaru jeszcze większych oporności — galwanometrem lusterkowym, przy tym, im wyższe zastosujemy napięcie źródła prądu, tym większe oporności możemy mierzyć.

Niedogodnością tego układu jest możliwość łatwego uszkodzenia przyrządu, bowiem największe wychylenie przyrządu tego układu odpowiada pewnej przepisanej oporności mierzonej, i o ile przy pomocy tego układu zmierzmy oporność mniejszą od przepisanej, otrzymamy wychylenie zbyt duże, które może uszkodzić czuły przyrząd. Może również zdarzyć się, że zostaną niechcący zwarte zaciski, do których dołączamy mierzony opór, wówczas oczywiście przyrząd może być spalony.

Dlatego też tego rodzaju pomiar może odbywać się tylko w laboratorium i winien być wykonywany przez fachowca, przy tym powinny być stosowane pewnego rodzaju zabezpieczenia, w postaci boczników czułego przyrządu lub oporników dodatkowych łączonych w szereg.

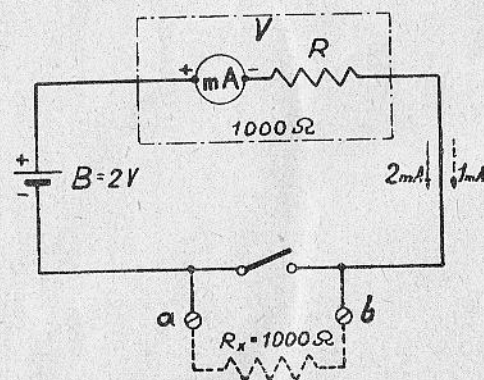
W praktyce warsztatowej dla mniej dokładnych pomiarów oporności, a jednocześnie do pomiarów szybkich, stosowany jest tego rodzaju układ, zbudowany w ten sposób,

że oporność, przy której—przy danym napięciu źródła prądu—następuje całkowite wychylenie wskazówki miliamperomierza, znajduje się wewnątrz miliamperomierza w postaci oporu szeregowego. Skala takiego omomierza wykalowana jest bezpośrednio w omach.

Wiemy dobrze, że miliamperomierz wraz z oporem szeregowym nazywa się woltomierzem, zatem układ ten nazywać będziemy omomierzem woltomierzowym.

Na rys 147 podajemy schemat omomierza woltomierzowego.

Omomierz woltomierzowy zwykle składa się z cewkowego woltomierza V (miliamperomierza mA z oporem szeregowym R) oraz źródła prądu w postaci baterii B o napię-



Rys. 147

Schemat omomierza woltomierzowego.

ciu tak dobranym, że przy zwarciu zacisków a i b wskazówka woltomierza odchyła się do końcowego położenia skali.

Dla łatwiejszego uzyskania dokładnego ustawienia się wskazówki w końcowym położeniu skali, omomierz posiada zworę magnetyczną, przy pomocy której zmniejszamy lub zwiększamy strumień w szczelinie magnesu stałego.

Przypuśćmy, że oporność oporu R (rys. 147) jest równa 1000 omów, napięcie zaś baterii B —równe 2 wolty (jedno ogniwo akumulatorowe). Aby po zwarciu zacisków a i b

otrzymać całkowite wychylenie wskazówki (zero skali omomierza), miliamperomierz powinien posiadać zakres:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2}{1000} = 0,002 \text{ A} = 2 \text{ mA}$$

W obliczeniu powyższym nie wzięliśmy pod uwagę oporności miliamperomierza, przypuszczając, że jest ona mała w porównaniu z oporem R ; nie uwzględniliśmy również oporności drutów połączeniowych.

Jeżeli oporność wewnętrzna miliamperomierza jest znaczna (kilkanaście lub kilkadziesiąt omów), to, aby otrzymać wartość oporności oporu szeregowego, należy od wartości oporności wewnętrznej woltomierza odjąć wartość oporności zastosowanego do tego celu miliamperomierza.

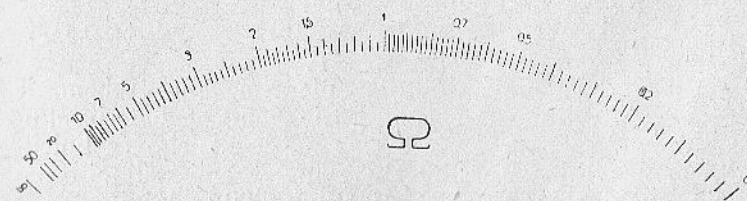
Tak więc, gdy oporność miliamperomierza wynosi np. 10 omów, to, aby otrzymać oporność wewnętrzną omomierza woltomierzowego, równą 1000 omów, należy zastosować opór szeregowy o oporności:

$$1000 - 10 = 990 \text{ omów}$$

Jeżeli do zacisków a i b dołączymy dodatkową oporność R_x , równą np. 1000 omów, to wskazówka omomierza zatrzyma się w połowie skali, ponieważ całkowita oporność obwodu wyniesie wówczas 2000 omów, co przy napięciu 2 woltów da 1 mA , czyli połowę skali miliamperomierza, (przy założeniu, że skala jest równomierna). Zatem 1 mA odpowiadać będzie na skali 1000 omom.

Dołączając do zacisków a i b rozmaite opory, większe lub mniejsze od 1000 omów, każdorazowo otrzymamy na skali ich wartości liczbowe.

Na rys. 148 podajemy skalę powyższego omomierza.



Rys. 148

Skala omomierza woltomierzowego.

Jeżeli nie posiadamy omomierza woltomierzowego ze skalą, podaną bezpośrednio w omach, to do pomiaru według układu z rys. 147 możemy użyć zwykły woltomierz, o zakresie wskazań takim, aby przy danym napięciu baterii — po zwarciu zacisków a i b — można było otrzymać wychylenie jego wskazówki, nie przekraczające końcowej wartości skali.

Wartość mierzonego oporu R_x możemy określić według zasady następującej: jeżeli po zwarciu zacisków a i b otrzymamy wychylenie wskazówki woltomierza np. U_1 , zaś po włączeniu do zacisków a i b mierzonego oporu R_x otrzymamy wychylenie np. U_2 , to znając oporność wewnętrzną woltomierza R , możemy oporność nieznaną R_x obliczyć ze wzoru:

$$R_x = R \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

Skalę takiego woltomierza możemy przeskalować, posługując się wzorem:

$$U_2 = \frac{RU_1}{R + R_x}$$

Pomiar oporności przy pomocy omomierza woltomierzowego jest najdokładniejszy w wypadku, gdy wartość oporu mierzonego R_x równa jest oporności wewnętrznej woltomierza; wówczas wskazówka woltomierza znajdzie się pośrodku skali. Im więcej różni się opór R_x , co do wielkości, od oporności wewnętrznej woltomierza, tym pomiar jest mniej dokładny.

3. INDUKTOR.

Induktorem często nazywamy miernik izolacji, czyli omomierz do pomiaru dużych oporności (rzędu 100000 omów i więcej).

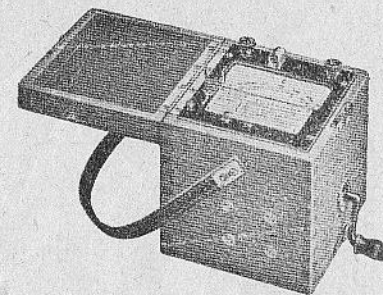
Zasada działania induktora opiera się na schemacie omomierza woltomierzowego, gdzie zamiast baterii akumulatorów użyty został induktor prądu stałego (z kolektorkiem), czyli mała prądniczka z magnesami stałymi o napięciu zwykle 220, 250, 500, 1000 lub 2000 woltów.

Na rys. 149 pokazany jest widok zewnętrzny miernika izolacji z induktorem korbkowym.

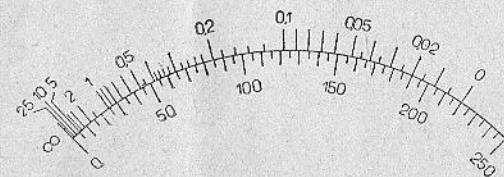
Zwykle woltomierz, użyty do miernika izolacji, posiada dużą oporność wewnętrzną; jest to typ woltomierza cewkowego (miliamperomierz z oporem szeregowym). Niekiedy tego rodzaju przyrząd posiada skalę dodatkową, podaną w woltach, oraz dodatkowy trzeci zacisk, umożliwiający użycie miernika izolacji jako woltomierza prądu stałego. Skalę takiego przyrządu podaje rys. 150.

Dodatkowo miernik izolacji może posiadać dwa lub więcej zakresów wskazań zarówno omomierza, jak i woltomierza.

Na rys. 151 podany jest

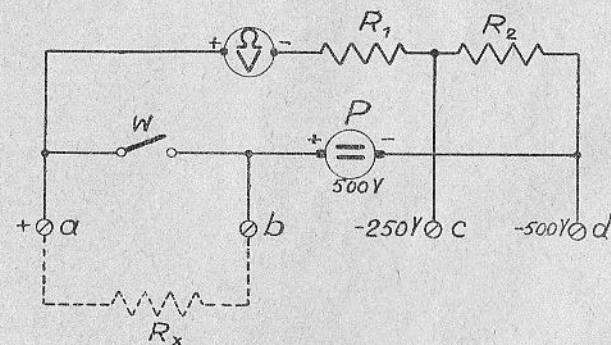


Rys. 149
Miernik izolacji (induktor).



Rys. 150

Skala miernika izolacji do 25 MΩ ze skalą woltomierzową do 250 V.



Rys. 151

Schemat miernika izolacji z dwoma zakresami woltomierzowymi.

schemat miernika izolacji z dwoma zakresami pomiaru napięcia: 250 i 500 V.

Do zacisków a i b dołączamy mierzony opór, zaś do zacisków a i c względnie a i d — mierzone napięcie. Dla sprawdzenia zera skali omomierza, zwieramy zaciski a i b przy pomocy przycisku w , i kręcąc korbką induktora P , obserwujemy wskazówkę.

Przy odpowiedniej szybkości obrotu korbki induktora, uzyskamy położenie zerowe wskazówki; szybkość tę musimy również zachować przy pomiarze oporności. Ustalanie szybkości korbki jest dość kłopotliwe — jest to główna wada tego rodzaju przyrządów.

Niektóre mierniki izolacji posiadają w induktorze regulator obrotów oraz sam induktor — na napięcie nieco mniejsze od końcowej wartości skali (rys. 150). Napięcie to często regulowane jest zworą magnetyczną, zwierającą magnesy induktora.

Niekiedy przycisk w włączony jest przez niewielki opór, wówczas na skali omomierzowej mamy umieszczoną czerwoną kreskę, wskazującą, gdzie ma znaleźć się wskazówka przyrządu, w chwili kręcenia korbką induktora i przy naciśnięciu przycisku w .

Mierników izolacji jest bardzo dużo typów i rodzajów; wszystkie one jednak są w zasadzie podobne do siebie.

4. OMOMIERZ AMPEROMIERZOWY.

Zasada omomierza amperomierzowego opiera się na pomiarze spadku napięcia na nieznanym oporze, przez który przepływa znany prąd.

Schemat omomierza amperomierzowego podaje rys. 152.

Zwykle do tego rodzaju omomierza używa się, jako źródło prądu, jedno ogniwo akumulatorowe (2 V).

Schemat omomierza składa się z miliwoltomierza o małej oporności wewnętrznej, ze znanego oporu R (np. 50 omów) oraz stałego oporu r (np. 10 omów).

Opór R włączany jest przyciskiem p_1 , przy pomocy zaś przycisku p_2 włączamy obwód prądu.

Znany opór R jest włączony jako bocznic do miliwoltomierza; również w ten sam sposób włączany jest opór nieznanany R_x .

Wiemy z poprzedniego, że miliwoltomierz wraz z bocznicą tworzą amperomierz, dlatego też tego rodzaju przy-

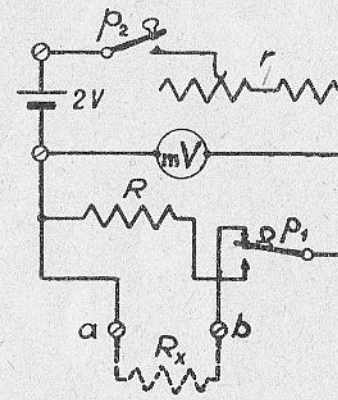
rząd zwany jest omomierzem amperomierzowym.

W układzie omomierza znany opór R posiada wiadomą wartość. Wartość ta określa zakres skali omomierza.

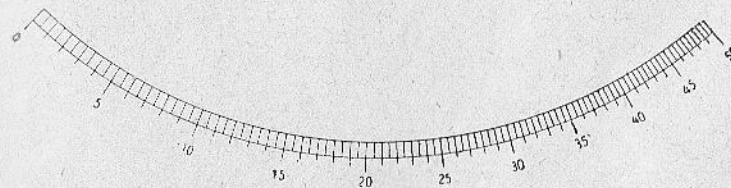
Jeżeli naciśniemy jednocześnie przyciski p_1 i p_2 , to bocznicujemy miliwoltomierz oporem R . Oporność oporu r jest tak dobrana, że w tym położeniu wskazówka miliwoltomierza odchyli się do krańcowego położenia skali. Opór r jest przy tym częściowo regulowany, celem łatwiejszego ustawienia wskazówki przyrządu dokładnie w krańcowym położeniu skali. Jeżeli teraz zamiast bocznic, o znanej oporności R , będziemy włączali nieznanne opory R_x , o oporności mniejszej od R , aż do zera włącznie, to wskazówka miliwoltomierza będzie miała odchylenie coraz mniejsze, aż do zera skali — przy zwarciu zacisków a i b . Przy pomiarze oporów R_x należy naciskać tylko przycisk p_2 .

Jasną jest rzeczą, że mierzony opór R_x nie może być większy od oporności R , w przeciwnym bowiem razie, wskazówka miliwoltomierza odchyliłaby się poza krańcową wartość skali, a przy bardzo znacznym oporze R_x przyrząd mógłby ulec uszkodzeniu.

Dlatego też nie wolno naciskać przycisku p_2 , jeżeli nie



Rys. 152
Schemat omomierza amperomierzowego.



Rys. 153
Skala omomierza amperomierzowego o zakresie do 50 omów,

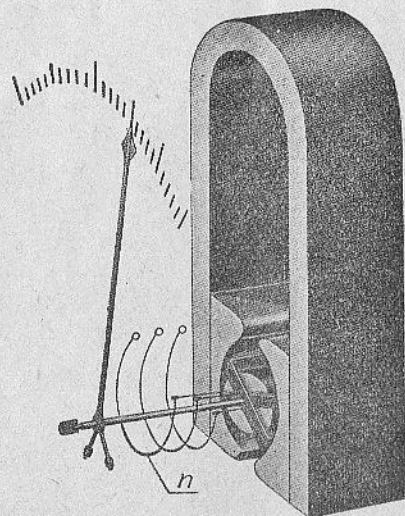
jest załączony do zacisków *a* i *b* opór, o oporności mniejszej od bocznika *R*. Jest to główna wada tego rodzaju omomierzy.

Skala omomierzy amperomierzowych jest oznaczona bezpośrednio w omach (rys. 153), tak, że obliczanie oporności mierzonej jest zbędne. Niekiedy omomierze posiadają kilka zakresów wskazań, włączanych przełącznikiem.

5. OMOMIERZ KRZYŻOWY.

Omomierz krzyżowy stanowi przyrząd, zbudowany podobnie jak przyrządy cewkowe (Deprez d'Arsonval'a), z tą tylko różnicą, że zamiast jednej cewki ruchomej posiada on dwie cewki, umieszczone na krzyż oraz, że brak w tym przyrządzie sprężyn spiralnych, wytwarzających moment zwracający.

Na rys. 154 podana jest konstrukcja przyrządu krzyżowego. Jak widzimy, zamiast sprężyn spiralnych, przyrząd ma bardzo miękkie niteczki metalowe *n*, podobnie jak to ma miejsce w niektórych galwanometrach lusterko-



Rys. 154

Konstrukcja przyrządu krzyżowego.

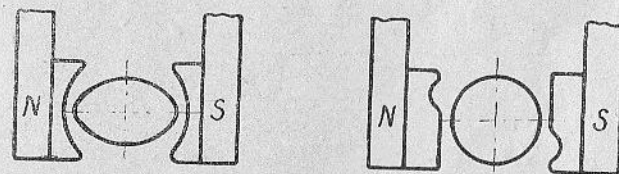
wych. Za pośrednictwem tych niteczek doprowadzamy prąd do obu cewek ruchomych przyrządu.

Ponieważ przyrząd w stanie spoczynku nie ma momentu zwracającego, wskazówka jego może zająć dowolne położenie na skali; układ ruchomy przy tym winien być dokładnie zrównoważony. Poza tym inne szczegóły budowy, jak magnesy, sposób zawieszenia, wskazówki itp. są podobne jak w przyrządach cewkowych.

Przyrządy krzyżowe działają na tak zwanej zasadzie różnicowej. Przez dwie ruchome cewki przyrządu *a* i *b* (rys. 155) przepływają prądy przeciwnego kierunku, powstają więc dwa przeciwne momenty obrotowe. W obwodzie cewki *a* znajduje się wiadomy opór *R*, zaś w obwodzie cewki *b* — nieznan i mierzony opór *R_x*. Po naciśnięciu przycisku *p*, prąd rozgałęzia się na obwody obu cewek.

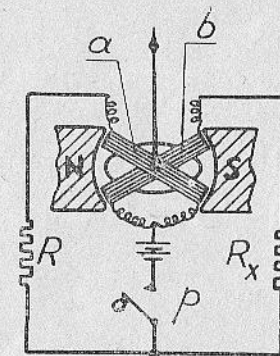
Jeżeli pole w szczelinie powietrznej magnesu byłoby równomierne, to w razie nierówności prądów, przyrząd zawsze dawałby największe wychylenie wskazówki, niezależnie od wielkości różnicy obu momentów obrotowych — w kierunku działania momentu większego; przy prądach równych położenie równowagi mogłoby mieć miejsce w każdym punkcie skali.

Aby uzyskać odchylenie się wskazówki przyrządu, zależne od działania różnicy obu powyższych momentów, nabiegunki magnesu lub rdzeń środkowy posiadają taki kształt, że pole w szczelinie nie jest równomierne i największe natężenie posiada w środku nabiegunków.



Rys. 156

Kształty nabiegunków i rdzeni w przyrządach różnicowych.



Rys. 155

Schemat przyrządu różnicowego.

Na rys. 156 pokazane są najczęściej używane kształty nabiegowników oraz rdzeni w przyrządach różnicowych.

Przyrządy różnicowe stosowane są najczęściej, jako omomierze.

Z rozważań powyższych wynika, że wielkość napięcia baterii, stosowanej do pomiaru, nie gra tu zasadniczej roli. Wielkość tego napięcia jest uwarunkowana tylko wielkością sił, potrzebnych do utrzymania w równowadze układu ruchomego. Nie można zatem stosować napięcia zbyt małego, gdyż wówczas momenty obrotowe byłyby za małe, aby utrzymać układ cewek we właściwym położeniu równowagi. Stosowanie napięcia zbyt dużego mogłoby nadmiernym prądem uszkodzić uzwojenie ruchomych cewek oraz delikatne doprowadzenia.

Wracając do schematu podanego na rys. 155, musimy stwierdzić, że przy równych wartościach oporów R i R_x wskazówka przyrządu zajmie położenie środkowe skali; będzie to punkt najwięcej dokładnego pomiaru. Zmniejszając opór R_x , uzyskamy ustawienie się wskazówki więcej w lewo, powiększając zaś ten opór — wskazówka odchyli się więcej w prawo.

Z samej budowy przyrządu różnicowego wynika, że bezcelowe jest sporządzanie skali zaczynającej się od zera, dlatego też skala omomierza różnicowego zaczyna się zwykle od pewnej wartości (rys. 157), np. 1 om, 10 omów, 1000 omów itp.



Rys. 157

Skala omomierza różnicowego.

Tego rodzaju przyrządy mają zwykle zakresy:

od	0,001	do	1	oma
„	0,01	„	10	omów
„	0,1	„	100	„
„	1	„	1000	„
„	100	„	100000	„
„	10000	„	10000000	„

Im większy opór jest mierzony, tym wyższe napięcie winna posiadać bateria. Tak np. dla oporów do 100 omów wystarczy napięcie 2 V, zaś dla oporów np. do 10000000 Ω należy użyć baterii o napięciu około 500 V.

Opory do 10 omów łączone są z cewkami równolegle, jak to miało miejsce przy omomierzach amperomierzowych, opory większe zwykle łączy się szeregowo, tak ja w układzie omomierza woltomierzowego.

Różnicowe omomierze przeważnie posiadają kilka zakresów pomiarów. Dla mniejszych oporów R_x cewka b (rys. 155) dodatkowo zwierana jest bocznikami, dla większych zaś zmienia się opór R i odpowiednio można podwyższać napięcie.

6. INDUKTOR KRZYŻOWY.

Dogodnie jest w układzie omomierza różnicowego (krzyżowego) zamiast baterii użyć — jako źródło prądu — induktor prądu stałego, tj. małą prądniczkę ze stalowymi magnesami i kolektorkiem. Napięcie induktora zwykle wynosi 110 lub 220 V, a niekiedy, dla pomiaru bardzo wielkich oporów, np. kilkuset megomów, wynosi do 2000 V. Tego rodzaju przyrząd nazywamy popularnie induktorem krzyżowym.

Obecnie induktory krzyżowe stale wypierają z użycia induktory zwykłe, ze względu na główną swą zaletę, tj. niezależność wskazań przyrządu od szybkości obrotów korbki induktora.

Induktory krzyżowe budowane są zarówno jako mierniki izolacji, tj. do pomiaru dużych oporności, jak i jako mierniki uziemień, tj. do pomiaru oporności małych (do 300 omów).

Na rys. 158 podajemy schemat miernika izolacji z zakresem do 100 M Ω , na którym widoczne są obie cewki ruchome a i b , induktor prądu stałego G na 500 V, opór R oraz wyrównawczy opór r .

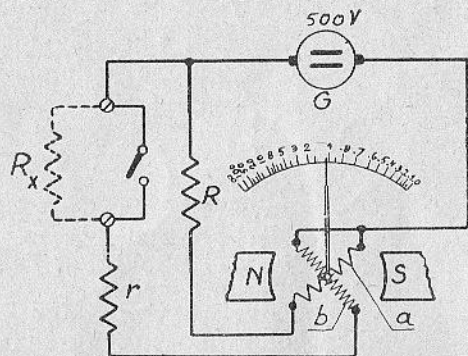
Zwierając zaciski induktora i kręcąc korbką, uzyskujemy zerowe położenie wskazówki przyrządu. Po załączeniu do tych zacisków mierzonego oporu R_x , przyrząd pokaże wartość mierzonej oporności.

Do pomiaru oporności uziemień induktor krzyżowy posiada nieco odmienny układ. Ponieważ oporność uziemień należy mierzyć prądem zmiennym, a to ze względu na mo-

gące tam występować zjawiska chemiczne, induktor posiada dodatkowe dwa kolektorki, przy pomocy których prąd stały zamieniany jest na zmienny i odwrotnie.

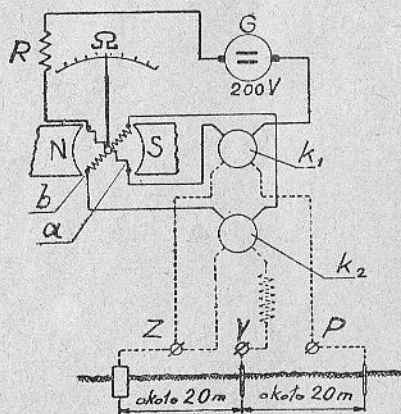
Schemat takiego miernika uziemień widzimy na rys. 159.

Do pomiaru należy użyć dwóch uziemień dodatkowych i dołączyć je do zacisków *V* i *P* przyrządu. Uziemienie mierzone dołączamy do zacisku *Z*. Odległość między uziemieniami winna wynosić około 20 m, przy tym uziemienia te powinny być umieszczone w jednej linii prostej.



Rys. 158

Schemat miernika izolacji typu krzyżowego.



Rys. 159

Schemat miernika uziemień typu krzyżowego.

Pomiar dokonywany jest w sposób następujący. Kręcąc korbką induktora *G* otrzymujemy prąd stały w obwodzie: zacisk *minus* (−) induktora, kolektor *k*₁, uzwojenie *a* omomierza, opór wiadomy *R* i zacisk *plus* (+) induktora. Prąd stały w kolektorze *k*₁ przetwarza się na prąd zmienny, którym zasilane są uziemienia *Z* i *P*. Odgałęzienie prądu zmiennego otrzymujemy na zaciskach *Z* i *V*, który przetworzony w kolektorze *k*₂ na prąd stały, zasila cewkę *b* omomierza. Odczyt wartości oporności uziemienia *Z* otrzymujemy od razu na skali przyrządu.

Jeżeli powyższy przyrząd użyjemy, jako omomierz do pomiaru oporności małych (do 300 Ω), to należy zaciski *V* i *P* zewrzeć ze sobą i mierzony opór dołączyć do zacisku *Z* oraz do jednego ze zwartych zacisków *V* lub *P*.

Oporność uziemienia (dobrego) wynosi zwykle 1 do 2 omów i nie więcej, jak 5 omów.

Ostatnio wchodzi w użycie bardzo pomysłowo skonstruowane mierniki izolacji z przyrządem różnicowym bez induktora.

Jako źródło napięcia zastosowany jest tu układ, składający się z kilku baterijek kieszonkowych po 4,5 V każda, połączonych ze sobą równolegle (dla zwiększenia pojemności baterii) oraz przetwornicy wahadłowej, tj. brzęczyka, wytwarzającego prąd zmienny, o napięciu około 600 woltów, przy tym przetwornica zasilana jest tymi baterijkami.

Prąd zmienny z przetwornicy wyprostowany jest przy pomocy suchego prostownika miedzowego lub selenowego i zasila układ przyrządu różnicowego.

Zakres miernika izolacji wynosi do 20 MΩ. Pomiar jest bardzo wygodny, gdyż po załączeniu przewodów do oporności mierzonej wystarczy tylko nacisnąć odpowiedni guzik w przyrządzie.

7. MOSTEK WHEATSTONE'A.

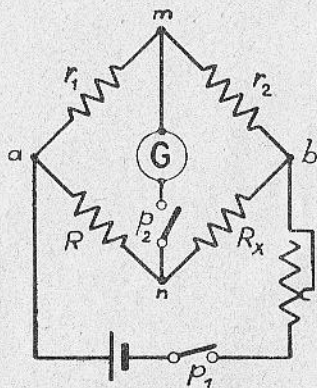
Wyżej rozpatrywaliśmy mniej dokładne sposoby pomiaru oporności.

Najdokładniejszymi sposobami pomiarów oporności są pomiary mostkowe, przy zastosowaniu oporów normalnych i bardzo czułych galwanometrów lusterkowych.

Im dokładniejsze opory porównawcze użyjemy do pomiaru oraz im czulszy będzie galwanometr, tym dokładniejszy otrzymamy wynik pomiaru.

Do pomiaru oporności małych (rzędu 0,5 oma) oraz do pomiaru oporności średnich (do 1 MΩ) stosujemy układ mostka Wheatstone'a^{*)}, podany na rys. 160.

Mostek Wheatstone'a jest to układ pomiarowy, oparty na metodzie zerowej. W skład układu wchodzi cztery opory r_1 , r_2 , R_x i R , połączone ze sobą w zamknięty szereg. Do jednej przekątnej $a-b$ włączamy przy pomocy wyłącznika p_1 źródło prądu w postaci ogniwa lub akumulatora,



Rys. 160

Schemat mostka Wheatstone'a.

do drugiej zaś przekątnej $m-n$ włączamy galwanometr G z wyłącznikiem p_2 .

Oporności oporów r_1 , r_2 i R są znane i można je odpowiednio dobierać, opór za R_x jest nieznanym oporem mierzonym.

Metoda zerowa polega na tym, żeby tak dobrać oporności oporów r_1 , r_2 i R , aby pomiędzy punktami m i n nie było żadnego napięcia. Wówczas przez galwanometr nie popłynie żaden prąd i wskazówka jego się nie wychyli. Wtedy możemy wartość oporności oporu R_x obliczyć ze wzoru:

$$R_x = R \frac{r_2}{r_1}$$

Najdokładniejszy wynik otrzymamy wtedy, gdy oporność r_2 równa jest (co do wielkości) oporności r_1 , tj. gdy $R_x = R$.

W każdym razie należy dążyć do tego, aby opory R_x i R były do siebie zbliżone — co do wielkości ich oporności.

Przy pomiarze należy zawsze najpierw włączyć wyłącznik p_1 , potem p_2 , nie zaś odwrotnie.

Do układu mostka Wheatstone'a, dla pomiarów więcej dokładnych, używa się zwykle zamiast oporu R — opór normalny (rys. 59), o wiadomej oporności, jak najwięcej zbliżonej do oporu mierzonego R_x . Jako opory r_1 i r_2 ,

^{*)} Czytaj: Uittstona.

stosowane są zwykle opory zatyczkowe lub korbkowe, precyzyjne (rys. 60 i 62).

Przy pomiarze mostkiem należy zawsze pomiar prowadzić dwukrotnie, raz dobierając opory regulacyjne r_1 i r_2 — przy sprowadzaniu galwanometru niemal do zera z jednej strony, drugi raz — przy sprowadzaniu galwanometru do zera z drugiej strony, i brać wartości średnie tych oporów.

Dla jeszcze większej dokładności pomiaru, pomiar należy powtórzyć, zmieniając kierunek prądu z baterii i obliczyć wartość średnią, a to w tym celu, aby zniweczyć wpływ sił termoelektrycznych, powstających wskutek zetknięcia się ze sobą różnych metali. Tak np. dla miedzi i manganinu siła termoelektryczna wynosi od 3 do 8 μV na 1° C. Przy większych różnicach temperatur siła ta jest większa i ma wpływ na wynik pomiaru.

Należy również uważać na zmianę oporności wskutek zmian temperatury otoczenia, odnosząc wszystkie wartości do temperatury otoczenia.

Zwykle wszystkie opory cechowane są przy 20° C.

Zmianę oporności wskutek zmian temperatury należy obliczyć ze wzoru:

$$R_a = R_{20^{\circ}} [1 + \alpha (t_2 - 20^{\circ})]$$

gdzie:

R_a jest to oporność w danych warunkach, zaś

$R_{20^{\circ}}$ — oporność przy 20° C, tj. oporność napisana na oporniku (znamionowa)

t_2 — temperatura otoczenia oraz

α — współczynnik cieplny.

Prócz tego należy zwrócić ogromną uwagę na oporność przewodów połączeniowych, zwłaszcza przewodów łączących między sobą opory r_1 , r_2 , R i R_x . Połączenia te powinny być jak najkrótsze, posiadające przewody stosunkowo grube.

Przy pomiarach niezbyt dokładnych w zupełności wystarczy stosowanie wszystkich oporów nawet typu technicznego.

Jakie opory należy zastosować do mostka, decyduje zawsze żądany stopień dokładności pomiarów. Dla orientacji podajemy, że opory normalne posiadają znikomo małe odchylenia od swej wartości znamionowej, zaś

opory precyzyjne — mają dokładność 0,02%
 „ techniczne — „ „ 0,2%
 „ pojedyncze — „ „ 0,5%

Oporów nie należy zbyt mocno przeciążać prądem.

Tabela X podaje największe wartości prądu, jakim można obciążyć opory precyzyjne i techniczne.

Tabela X.

Oporność w omach	Prąd w amperach	
	dla oporów precyzyjnych	dla oporów technicznych
0,0001	100 — 120	120 — 1000
0,001	30 — 35	35 — 300
0,01	10 — 15	15 — 100
0,1	0,8 — 1,5	1,5 — 10
1	0,35 — 0,8	0,8 — 3
10	0,15 — 0,25	0,25 — 1
100	0,04 — 0,08	0,08 — 0,3
1000	0,015 — 0,03	0,03 — 0,1
10000	0,003 — 0,005	0,005 — 0,03
100000	0,001 — 0,002	0,002 — 0,01

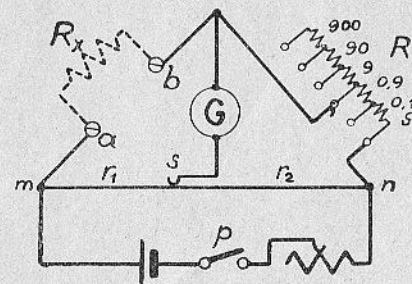
Na każdym oporniku powinno być napisane, do jakiego największego prądu jest on przeznaczony.

Do mostka Wheatstone'a używane są, przy pomiarach bardzo dokładnych, galwanometry lusterkowe; przy pomiarach mniej dokładnych — galwanometry wskazówkowe lub nawet mikroamperomierze o dużej oporności wewnętrznej.

Zwykle przy pomiarach technicznych i warsztatowych, gdzie nie jest wymagana wielka dokładność, układ mostka jest nieco odmienny. Mianowicie opory r_1 i r_2 sporządzone są w postaci jednego wspólnego drutu oporowego, po których ślizga się styk ruchomy, czyli ślizgacz. Na rys. 161 pokazany jest tego rodzaju układ.

Opór R jest tu często wymienny lub też zmieniany przełącznikiem i może być odpowiednio dobierany. Opór mierzony włącza się do zacisków a i b . Suma wartości oporów r_1 i r_2 jest stała (drut oporowy $m-n$), i poszczególne ich wartości są zależne od położenia ślizgacza s na drucie $m-n$.

Pomiar odbywa się w sposób następujący:
 Dobieramy oporność oporu R tego samego rzędu, co oporność mierzona R_x i, po założeniu przycisku p , obserwujemy galwanometr. Jeżeli wychylenie galwanometru



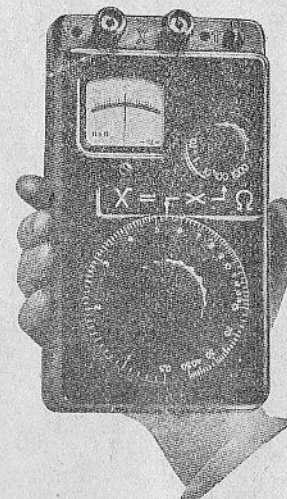
Rys. 161

Mostek Wheatstone'a z drutem oporowym.

jest zbyt duże, to przesuwamy styk s w tę stronę, przy której wychylenie galwanometru maleje, aż wskazówka galwanometru ustawi się dokładnie w położeniu zerowym.

Zwykle obok drutu oporowego $m-n$ umieszczona jest podziałka, określająca bezpośrednio wzajemny stosunek wartości oporów r_1 i r_2 . Wystarczy więc pomnożyć wartość oporu R przez liczbę, określoną na podziałce wskazówką ślizgacza s , aby otrzymać wartość oporu R_x .

Niekiedy drut oporowy $m-n$ nawinięty jest w postaci jednego zwoju na cylinder z masy izolacyjnej, cały zaś układ zawarty jest w małym pudełku przenośnym (rys. 162), przy tym wartości oporów R są tak dobrane, że między ich wartościami zachodzi stosunek dziesiętny, np. 1 om : 10 omów : 100 omów itp. Tego rodzaju urządzenie pozwala na bezpośrednie odczytywanie omów na podziałce drutu ślizgowego, przy łatwym mnożeniu

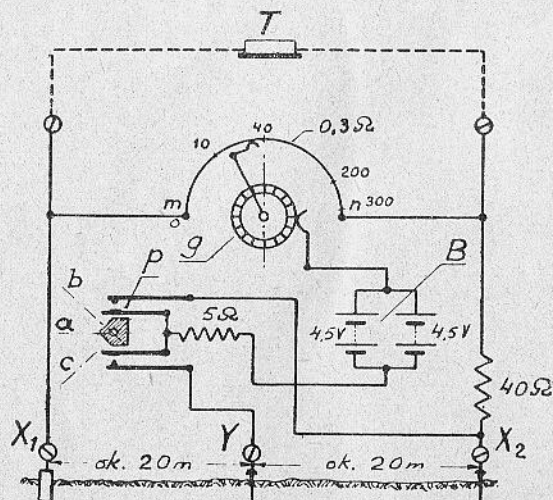


Rys. 162

Przenośny mostek Wheatstone'a.

przez 0,1 1, 10, 100 lub 1000, w zależności od położenia w jakim znajduje się przełącznik, włączający odpowiedni opór R .

Do pomiaru oporności uziemień stosuje się do układu mostka Wheatstone'a (zamiast baterii) źródło prądu zmiennego o częstotliwości słyszalnej, wówczas zamiast galwanometru używamy słuchawki telefonicznej. Miejsce właściwego położenia ślizgacza na drucie oporowym ustalamy z chwilą otrzymania możliwie zupełnej ciszy w słuchawce. Następnie pomiar powtarzamy, przesuwając ślizgacz po drucie oporowym z drugiej strony, aż do uzyskania zupełnej ciszy w słuchawce. Otrzymamy w ten sposób dwie wartości położenia ślizgacza na drucie oporowym, jedną z niedomiarem, drugą zaś z nadmiarem i bierzemy jako wynik wartość średnią.



Rys. 163

Schemat mostka Wheatstone'a do pomiaru oporności uziemień.

Na rys. 163 podajemy jeden z układów mostka Wheatstone'a do pomiaru oporności uziemień.

Jako źródło prądu zmiennego została użyta tu bateria z przerywaczem g , którego kółko zębate obracamy ręcznie przy pomocy korbki. Przy obrocie kółka przerywacza g otrzymujemy miarowe impulsy prądu z baterijek kie-

szonkowych B , słyszalne w słuchawce T . Przełącznikiem p , posiadającym trzy położenia, wyłączamy prąd (położenie a — wszystkie styki rozwarte), włączamy układ do pomiaru oporności uziemień (położenie b — dolne styki zwarte, górne zwarte) lub też włączamy układ dla pomiaru małych oporności (położenie c — górne styki zwarte). Wartości oporów podane są na schemacie (rys. 163).

Przy pomiarze oporności uziemień (przełącznik p w położeniu b) należy uziemienie mierzone dołączyć do zacisku X_1 , do zacisków zaś Y i X_2 dołączyć należy dwa uziemienia dodatkowe, umieszczone w odległości 20 m od uziemienia mierzonego oraz między sobą — w prostej linii. Wpływ oporności uziemień dodatkowych jest tu nieznaczny, w założeniu, że uziemienie X_2 jest bardzo dobre, np. rura wodociągowa. Wartość oporności uziemienia Y nie gra tu roli.

Pomiar przy pomocy tego układu jest bardzo łatwy, wynik bowiem pomiaru odczytujemy od razu na podziałce drutu oporowego $m-n$, bezpośrednio w omach.

Ponieważ w jednej gałęzi mostka znajduje się znany opór, równy 40 omom, to w wypadku gdy w drugiej gałęzi oporność uziemienia mierzonego wyniesie również 40 omów, ślizgacz znajdzie się w środkowym położeniu drutu oporowego, wynik zaś pomiaru wówczas będzie najdokładniejszy.

Jeżeli nie posiadamy dobrego uziemienia, wówczas pomiar przeprowadzamy dwukrotnie, raz przy połączeniu c przełącznika (odczyt na przyrządzie np. r omów) i drugi raz w położeniu b przełącznika (odczyt na przyrządzie np. r_1 omów), wówczas wynik ostateczny będzie:

$$R_x = r_1 \frac{r + R}{r_1 + R}$$

gdzie R_x oznacza wartość oporności mierzonego uziemienia X_1 w omach, zaś R jest to wartość oporności gałęzi mostka, znajdującej się wewnątrz przyrządu (w naszym przypadku $R = 40$ omów).

Dodatkowy opór 5 omów włączony jest szeregowo z baterią w tym celu, aby przy bardzo małej oporności mierzonego uziemienia nie płynął z baterii zbyt duży prąd.

Zwykle oporność dobrego uziemienia wynosi około 2 omów.

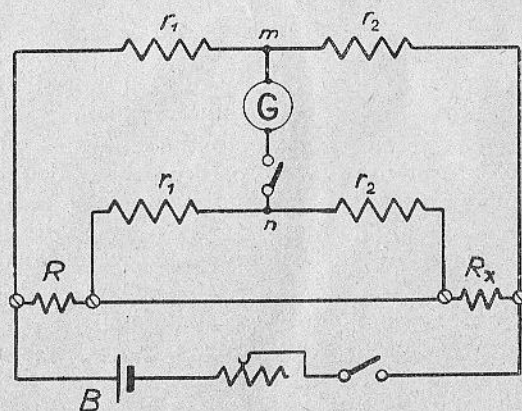
8. MOSTEK PODWÓJNY THOMSON'A.

Dla dokładnego pomiaru oporności małych, rzędu 0,1 lub nawet 0,000001 oma, stosujemy układ mostka podwójnego Thomson'a*).

Na rys. 164 podany jest schemat tego mostka.

Układ mostka podwójnego Thomson'a polega na porównaniu spadków napięć na znanym oporze R oraz na mierzonym i nieznanym oporze R_x za pomocą dodatkowych czterech oporów znanych r_1 i r_2 , włączonych jak na schemacie.

Opory R i R_x , są połączone ze sobą w szereg. Przez oba te opory przepuszczamy prąd z baterii B , regulując jego natężenie przy pomocy dodatkowego opornika.



Rys. 164

Schemat mostka podwójnego Thomson'a.

Opory r_1 i r_2 dobieramy tak, aby w punktach m i n nie było napięcia, tj. aby przez galwanometr nie płynął żaden prąd. Posługiwanie się mostkiem podwójnym Thomson'a jest również oparte na sposobie zerowym.

Jeżeli w powyższym układzie dobierzemy wartości oporów r_1 i r_2 tak, aby wskazówka galwanometru znalazła się dokładnie w położeniu zerowym, to wówczas przez opór R oraz przez opór R_x przepływa prąd o tej samej

*) czytaj: Tomsona.

wartości. Wielkość mierzonego oporu R_x możemy obliczyć ze wzoru:

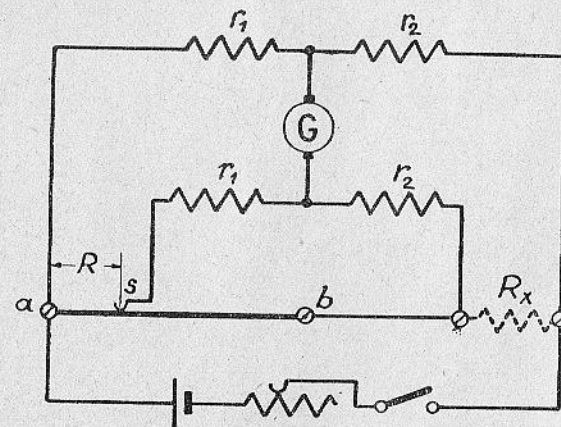
$$R_x = R \frac{r_2}{r_1}$$

Należy zaznaczyć, że wartość oporów r_1 i r_2 powinna wynosić kilkadziesiąt lub kilkaset omów, aby oporność drutów, łączących te opory z oporami R i R_x oraz między sobą, nie miała wpływu na wynik pomiaru.

Galwanometr, użyty do układu mostka podwójnego Thomson'a, powinien posiadać małą oporność wewnętrzną, ponieważ mierzy on spadki napięcia na oporach małych. W układach mniej dokładnych galwanometr może być zastąpiony czułym mikrowoltomierzem, a czasem nawet miliwoltomierzem.

Opór R jest znanym oporem normalnym i zwykle ma wartość: 0,1, 0,01, 0,001 lub 0,0001 oma.

Dla pomiarów mniej dokładnych, np. warsztatowych, zamiast oporu normalnego używany jest prosty drut oporowy $a-b$ o znanej oporności, po którym ślizga się styk ruchomy s czyli ślizgacz, jak to miało miejsce przy podobnym mostku Wheatstone'a. Wówczas układ ma postać, jak na rys. 165. Opory r_1 i r_2 są dobierane kołkami lub przełącznikiem tak, aby wzajemny stosunek ich war-



Rys. 165

Schemat mostka podwójnego Thomson'a z drutem oporowym.

tości wynosił liczbę dziesiętną, np. 0,1, 1, 10 itp. Wówczas drut oporowy ma podziałkę równomierną i na tej podziałce odczytujemy wartość oporu mierzonego bezpośrednio w omach, mnożąc łatwo wskazania ślizgacza przez liczbę 0,1, 1, 10 itp.

Niekiedy cały układ mostka zawarty jest w odpowiednim pudełku i kształtem przypomina nieco opisany wyżej mostek Wheatstone'a (rys. 162).

Dość często zdarza się, że układ mostka podwójnego Thomson'a może być bardzo szybko przystosowany do pomiaru oporności sposobem mostka Wheatstone'a — przy pomocy łatwego przełączenia obwodów. Jest to tzw. mostek uniwersalny. Jego galwanometr posiada na cewce ruchomej dwa uzwojenia, jedno niskoomowe dla mostku Thomson'a, drugie zaś wysokoomowe — dla mostku Wheatstone'a.

Dokładność pomiarów metodą mostka podwójnego Thomson'a jest bardzo duża i zależy od dokładności stosowanych oporów.

Aby osiągnąć jeszcze większą dokładność, należy pomiar powtórzyć, zmieniając bieguny baterii i biorąc jako wynik ostateczny średnią arytmetyczną z obu pomiarów. Należy przy tym przeliczyć opory i sprowadzić ich wartości do warunków normalnych, tj. do temperatury 20° C, według wzoru podanego na str. 171.

ROZDZIAŁ XV.

PRZYRZĄDY SPECJALNE.

1. SZCZYPY DIETZA*)

Szczypami Dietza nazywamy mały miernikowy transformator prądowy, którego rdzeń żelazny może być rozwierany przy pomocy ruchomych szczęk.

W takim transformatorze mamy tylko uzwojenie wtórne, które łączymy ze specjalnie dostosowanym amperomierzem. Uzwojenie pierwotne stanowi tu przewód lub kabel z prądem, który jest obejmowany przez rozwarty rdzeń transformatora.

Na rys. 166 podany jest amperomierz wraz ze szczypami Dietza.

Przed pomiarem, tj. przed założeniem szczęk szczypów na przewód z prądem, należy włączyć amperomierz.

Jasną jest rzeczą, że przy pomocy szczypów Dietza możemy mierzyć tylko natężenia prądu zmiennego i do pomiaru prądu stałego stosowane one być nie mogą.

Amperomierz użyty do szczypów Dietza może być dowolnego typu, byleby był na prąd zmienny i ze skalą wzorcowaną wraz z transformatorem szczypów.

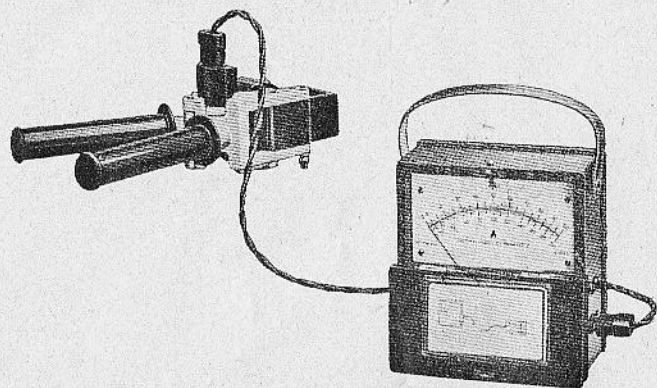
Zwykle skala tego typu amperomierzy posiada dwa zakresy, np. 50 A — 100 A lub 100 A — 200 A.

Przy pomiarach prądu wysokiego napięcia należy rdzeń szczypów uziemić specjalnym przewodem.

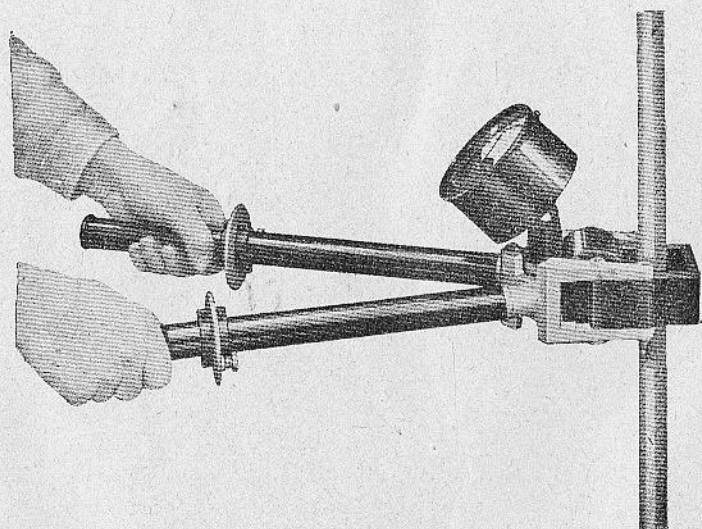
*) czytaj „Dica“.

Dokładność pomiaru przy pomocy szczypów Dietza bywa zwykle około 2%; jednak jest to sposób bardzo dogodny, np. przy pomiarach natężenia prądu w kablach.

Bardzo często stosowany jest sposób rejestrowania wielkości prądu, przepływającego przez kabel w ciągu np.



Rys. 166
Szczypy Dietza.



Rys. 167
Pomiar przy pomocy szczypów Dietza.

doby. Wówczas szczypy Dietza są niezastąpione. W tym wypadku zamiast amperomierza wskazówkowego należy użyć amperomierz rejestrujący *).

Na rysunku 167 podajemy sposób zakładania szczypów Dietza z amperomierzem, umieszczonym wprost na szczypach.

2. PIROMETRY.

Pirometrem nazywać będziemy urządzenie do pomiaru temperatury — przy zastosowaniu elektrycznego przyrządu pomiarowego.

Rozróżniamy dwa rodzaje pirometrów:

pirometry oporowe i

pirometry termoelektryczne.

Zasada działania pirometru polega na zjawisku zmiany oporności drutu oporowego przy podwyższaniu jego temperatury, bądź też na zjawisku termoelektryczności. Pierwsze z tych zjawisk stosuje się do pirometrów oporowych, drugie zaś do pirometrów termoelektrycznych.

a) Pirometr oporowy.

Pirometr oporowy składa się z przyrządu różnicowego (omomierza krzyżowego) oraz z oporu, umieszczonego w ośrodku, w którym chcemy zmierzyć temperaturę. Opór ten nazywamy termometrem oporowym.

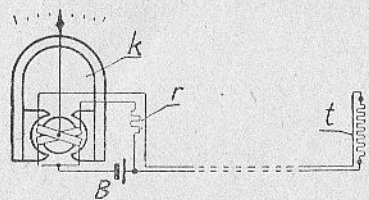
Zwykle termometr oporowy sporządzony jest w postaci rurki metalowej, w której znajduje się izolowany od tej rurki opór z drutu platynowego, bądź też z drutu niklowego. Z rurki wyprowadzony jest przewód dwużyłowy, który łączy termometr oporowy z omomierzem krzyżowym.

Jeżeli termometr oporowy umieścimy w ośrodku, w którym mamy określać temperaturę, to oporność wewnętrzna termometru ustali się odpowiednio do tej temperatury. Zmiany temperatury pokazuje omomierz krzyżowy, specjalnie wyskalowany — bezpośrednio w stopniach C.

Na rys. 168 pokazany jest najprostszy układ pirometru oporowego. Składa się on z termometru oporowego t , omomierza krzyżowego k , oporu wyrównawczego r i baterii B (zwykle ogniwo 1,5 V).

*) patrz Rozdz. XVI.

Skala przyrządu może być wyskalowana od zera do najwyższej wartości temperatury (500°C do 1000°C), wówczas opór wyrównawczy r winien być tak dobrany, aby przy temperaturze 0°C termometru, wskazówka przyrządu znajdowała się dokładnie na zerze skali.



Rys. 168

Układ pirometru oporowego.

Zwykle zakres skali pirometru oporowego z termometrem z drutu niklowego wynosi od -100°C do $+150^{\circ}\text{C}$. Drut platynowy jest więcej wytrzymały na wyższe temperatury i dlatego pirometry z termometrami platynowymi mają zazwyczaj zakres od -150°C do $+600^{\circ}\text{C}$ i wyżej. Dla jeszcze wyższych temperatur stosowane są pirometry termoelektryczne.

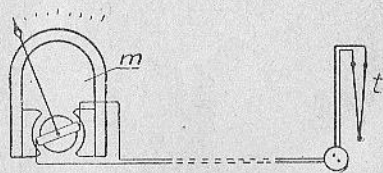
b) Pirometr termoelektryczny.

Pirometr termoelektryczny składa się z czułego miliwoltomierza cewkowego oraz ogniwa termoelektrycznego, zwanego niekiedy termoelementem, który odgrywa tu rolę termometru.

Na rys. 169 podany jest układ pirometru termoelektrycznego. Miliwoltomierz m połączony jest przewodem dwużyłowym z ogniwem termoelektrycznym t . Ogniwo to umieszczone jest w szczelnej rurce metalowej i jest od niej izolowane.

Dla niższych temperatur (do 1000°C) ogniwo termoelektryczne sporządzone jest z metali, używanych do termopar dla pomiaru prądów szybkozmiennych^{*)}, np. żelazo - konstantan itp.

^{*)} patrz Rozdz. VIII, p. 5.



Rys. 169

Układ pirometru termoelektrycznego.

Dla wyższych temperatur (do 1600°C) termooigniwo wykonane jest z metali trudnotopliwych, jak platyna w połączeniu z niektórymi stopami, zawierającymi platynę oraz inne metale trudnotopliwe, bądź też ze stopów specjalnych.

Zwykle zakres miliwoltomierza wynosi kilkanaście lub kilkadziesiąt miliwoltów, o oporności wewnętrznej po kilka omów na jeden miliwolt.

Niekiedy, przy dokładniejszych pomiarach laboratoryjnych, stosowane są do tego celu bardzo czułe miliwoltomierze laboratoryjne, posiadające zakres kilku miliwoltów.

Pirometry termoelektryczne są bardzo często używane przy piecach hartowniczych. Wówczas termooigniwo umieszcza się w komorze pieca, gdzie panuje temperatura, którą chcemy zmierzyć. Podgrzewanie termooigniwa powoduje powstawanie napięcia termoelektrycznego na zaciskach termooigniwa. Napięcie to daje prąd, wychylający wskazówkę miliwoltomierza.

Dla ułatwienia odczytu, skale miliwoltomierzy do pirometrów termoelektrycznych są podane bezpośrednio w stopniach C.

Jasną jest rzeczą, że do wyskalowanego w ten sposób miliwoltomierza może być zastosowane tylko wspólnie z nim wzorcowane termooigniwo.

3. WSKAŹNIK KOLEJNOŚCI FAZ.

Zasada budowy tego rodzaju przyrządu opiera się na polu wirującym, które oddziałuje na lekką ruchomą tarczę metalową, wprawiając ją w ruch wirowy w tym samym kierunku, w którym samo wiruje.

Przyrząd posiada zwykle trzy układy cewek, nawiniętych na rdzeniach żelaznych.

Rdzenie te rozmieszczone są symetrycznie i prostopadłe do tarczy i znajdują się w wierzchołkach równobocznego trójkąta. Lekka tarcza metalowa może się swobodnie obracać na ostrzach.

Cewki przyrządu połączone są ze sobą w gwiazdę; końce ich, przez odpowiednie opory szeregowo, łączymy z poszczególnymi przewodami R , S i T sieci trójfazowej.

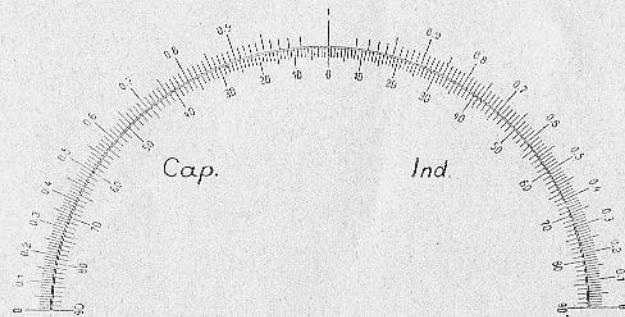
Właściwy kierunek obrotu tarczy — przy prawidłowej kolejności faz — pokazuje strzałka narysowana na tarczy. Je-

zeli kolejność faz jest właściwa — tarcza obraca się w jedną stronę, jeżeli zaś kolejność faz jest niewłaściwa — tarcza obraca się w stronę przeciwną.

4. WSKAŹNIK WSPÓŁCZYNNIKA MOCY ($\cos \varphi$).

Wskaźnik współczynnika mocy jest to przyrząd używany do pomiaru kąta przesunięcia fazy pomiędzy napięciem i prądem (przy prądzie zmiennym) — w wypadku obciążenia indukcyjnego lub pojemnościowego.

Skala takiego przyrządu jest wycechowana zwykle w stopniach kąta przesunięcia fazy (φ) oraz w wartościach $\cos \varphi$ (rys. 170). Skala pośrodku posiada zero stopni, czyli $\cos \varphi = 1$; na prawo znajdują się wartości odpowiadające obciążeniu indukcyjnemu (*Ind.*), w lewo zaś — dla obciążenia pojemnościowego (*Cap.*).



Rys. 170

Skala wskaźnika współczynnika mocy.

Działanie wskaźnika $\cos \varphi$ polega na zasadzie wzajemnego elektrodynamicznego oddziaływania na siebie trzech cewek, znajdujących się wewnątrz przyrządu.

Na rys. 171 pokazane jest wzajemne rozmieszczenie cewek w przyrządzie (w przekroju), przy tym kierunek prądu wchodzącego w cewki pokazany jest krzyżykiem, wychodzącego zaś z cewek — kropką.

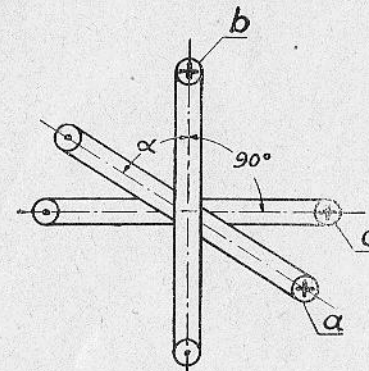
Cewka *b* jest prostopadła do cewki *c*, cewka zaś *a* tworzy z cewką *b* kąt α . Przez cewkę *a* przepływa prąd roboczy, przez cewki *b* i *c* — prąd odgałęziony od napięcia mię-

dzyprzewodowego w ten sposób, że między prądami w cewkach *b* i *c* istnieje przesunięcie fazy o 90° .

Na cewkę *a* działają cewki *b* i *c* i odwrotnie, na cewki *b* i *c* działa cewka *a*.

W przyrządzie tym wytwarzane są wobec tego dwa momenty obrotowe, działające na cewki.

Jako układ ruchomy możemy wziąć albo cewkę *a*, wówczas cewki *b* i *c* są nieruchome i postopadłe do siebie, albo też cewki *b* i *c*, połączone ze sobą w postaci krzyża, wtedy cewka *a* jest nieruchoma.



Rys. 171

Rozmieszczenie cewek we wskaźniku $\cos \varphi$.

Cewka *a* jest zawsze cewką prądową, cewki *b* i *c* — cewkami napięciowymi. Przesunięcie fazy prądów w cewkach *b* i *c* o 90° osiąga się przy pomocy załączenia szeregowo do jednej z nich dużego oporu indukcyjnego *L*, w postaci dławika z rdzeniem żelaznym. Szeregowo do drugiej cewki napięciowej natomiast załączony jest duży opór bezindukcyjny *R*.

Jeżeli cewka *a* jest cewką ruchomą, wówczas prąd roboczy do niej doprowadzany jest przy pomocy bardzo cienkich i giętkich metalowych pasków, nie posiadających sprężystości, przy tym prąd roboczy jest zmniejszony wielokrotnie, wskutek zastosowania transformatora o wielkiej przekładni.

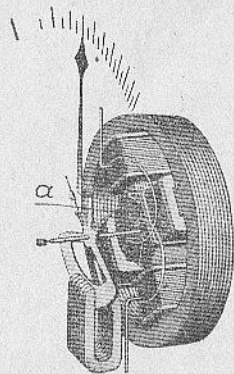
W układzie przyrządu momentu zwracającego nie ma, podobnie jak w przyrządach krzyżowych.

Działają tu tylko wspomniane dwa momenty obrotowe przeciwne sobie. Stan równowagi będzie wówczas, gdy oba te momenty będą sobie równe co do wielkości.

Jeden z tych momentów jest proporcjonalny do prądu w cewce *a* i do prądu w cewce *b* oraz do *cosinusa* kąta przesunięcia fazy między tymi prądami, tj. do $\cos \varphi$. Prócz tego moment ten proporcjonalny jest również do *sinusa* kąta między tymi cewkami, tj. do $\sin \alpha$.

Drugi moment proporcjonalny jest do prądu w cewce *a* i do prądu w cewce *c* oraz do *sinusa* kąta przesunięcia

fazy między tymi prądami, tj. do $\sin \varphi$, ponieważ prądy w cewkach c i b są przesunięte względem siebie o 90° . Prócz tego moment ten proporcjonalny jest również do sinususa kąta między cewkami a i c , tj. do $\sin (90 - \alpha)$ lub inaczej do $\cos \alpha$.



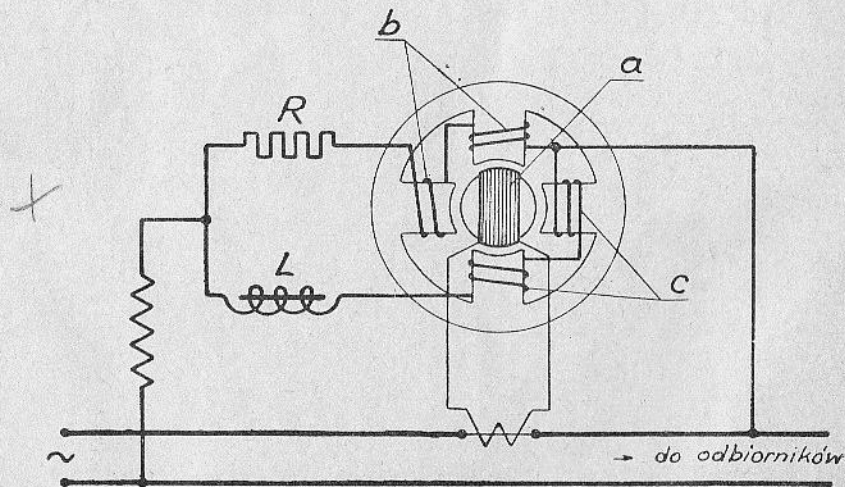
Rys. 172

Budowa wewnętrzna wskaźnika $\cos \varphi$ z ruchomą cewką prądową.

urządach różnicowych.

Z powyższych rozważań wynika, że kąt α w przyrządzie zmienia się tylko pod wpływem zmian kąta φ i jest do niego proporcjonalny, ponieważ stosunek pomiędzy prądami w cewkach b i c jest stały. Wobec tego kąt odchylenia układu ruchomego w przyrządzie jest miarą kąta φ , lub $\cos \varphi$.

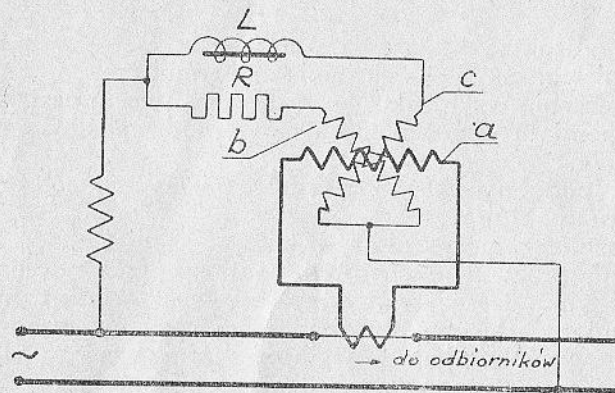
Na rys. 172 podany jest ustrój wewnętrzny wskaźnika $\cos \varphi$ z ruchomą cewką a , zaś na rys. 173 — jego schemat. Prócz tego na rys. 174 podany jest schemat wskaźnika $\cos \varphi$, w wypadku cewki prądowej nieruchomej. Cewki napięciowe wówczas tworzą cewkę krzyżową, podobnie jak to ma miejsce w przy-



Rys. 173

Schemat wskaźnika $\cos \varphi$ z ruchomą cewką prądową.

Ze względu na wymagane niekiedy dość znaczne momenty obrotowe w przyrządzie, stosuje się często układ z rdzeniem żelaznym, jak na rys. 172.



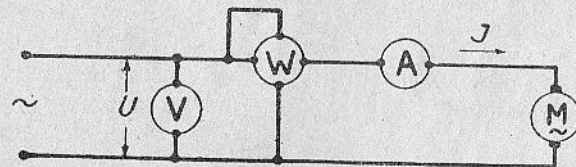
Rys. 174

Schemat wskaźnika $\cos \varphi$ z ruchomą cewką krzyżową.

Wskaźnik $\cos \varphi$ może pracować bez większych poprawek w jego wskazaniach przy napięciu większym lub mniejszym od przepisanego — w granicach $\pm 10\%$. Prócz tego zmiana częstotliwości w granicach kilku procent nie wpływa prawie na wskazania przyrządu.

5. POMIAR WSPÓLCZYNNIKA MOCY.

Pomiar współczynnika mocy, tj. $\cos \varphi$, możemy przeprowadzić bądź sposobem pośrednim, stosując do pomiaru amperomierz, woltomierz i watomierz (rys. 175), bądź też bezpośrednio przy pomocy wskaźnika $\cos \varphi$.



Rys. 175

Pomiar $\cos \varphi$ metodą rachunkową.

W pierwszym wypadku otrzymamy:

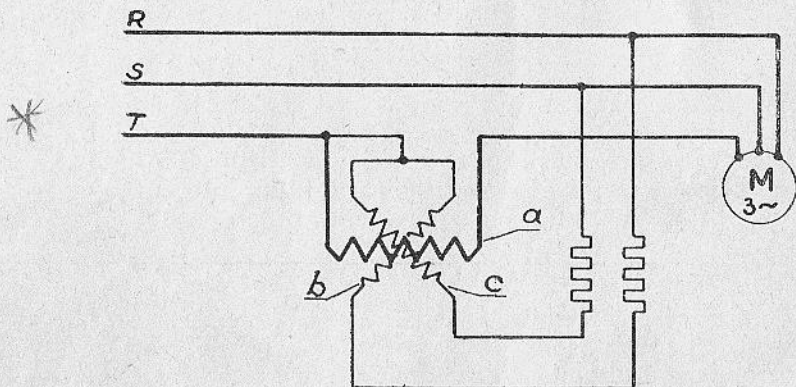
$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I}$$

gdzie P oznacza wskazania watomierza, U — wskazania woltomierza, zaś I — wskazania amperomierza.

Włączenie wskaźnika $\cos \varphi$ do sieci, w celu bezpośredniego pomiaru współczynnika mocy, podawaliśmy na rys. 173 i 174.

W podobny sposób możemy mierzyć współczynnik mocy prądu trójfazowego.

Sposobem pośrednim dzielimy również moc rzeczywistą przez moc pozorną, pobraną przez odbiorniki, bezpośrednio zaś włączamy wskaźnik $\cos \varphi$ wprost do sieci. Pomiar $\cos \varphi$ prądu trójfazowego możemy przeprowadzić przy pomocy jednego tylko wskaźnika $\cos \varphi$, włączając jego cewkę prądową w jeden przewód sieci, zaś końce



Rys. 176

Włączenie wskaźnika $\cos \varphi$ do sieci prądu trójfazowego.

obu cewek napięciowych — do dwóch innych przewodów (rys. 176). W tym ostatnim wypadku, dławik zastępujemy takim samym oporem bezindukcyjnym, jak przy cewce b .

ROZDZIAŁ XVI.

PRZYRZĄDY REJESTRUJĄCE.

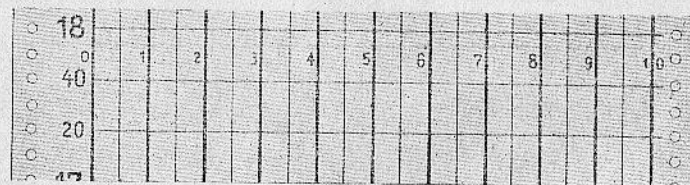
1. ZASADA BUDOWY.

Przyrządem rejestrującym będziemy nazywali elektryczny przyrząd pomiarowy, który posiada urządzenie, pozwalające na ciągłe zapisywanie wartości mierzonych wielkości elektrycznych.

Przyrząd rejestrujący składa się z właściwego elektrycznego przyrządu pomiarowego, z ruchomej skali w postaci taśmy papierowej, z urządzenia do przesuwania tej taśmy oraz z urządzenia piszącego.

W przyrządach rejestrujących mogą być zasadniczo zastosowane wszelkie typy i rodzaje elektrycznych przyrządów pomiarowych, byleby ich moment obrotowy był dostatecznie wielki, ponieważ w tego rodzaju przyrządach układ ruchomy oprócz wskazówki posiada urządzenie piszące, które porusza się wraz z układem ruchomym.

Skala przyrządu rejestrującego wykonana jest w posta-



Rys. 177

Taśma przyrządu rejestrującego.

ci długiej taśmy papierowej, posiadającej podłużne kreski, odpowiadające podziałce normalnej skali (rys. 177). Prócz tego taśma posiada kreski poprzeczne proste lub łukowe (zależnie od rodzaju przyrządu), określające pewien okres czasu (np. 20 minut), w ciągu których taśma przesuwa się.

Taśma po obu stronach jest dziurkowana (perfarowana) dla umożliwienia jej przesuwania przy pomocy kółek zębatych; zęby tych kółek wchodzi w otworki taśmy.

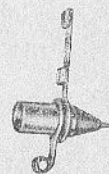
Najprostrzym urządzeniem do przesuwania taśmy jest mechanizm zegarowy, nakręcany co pewien czas. Mechanizm ten napędza wspomniane kółka zębate i przesuwa taśmę ze stałą, ściśle określoną, szybkością.

Szybkość przesuwania taśmy jest rozmaita i waha się najczęściej od 0,5 do 10 mm na minutę.

Niekiedy zamiast mechanizmu zegarowego stosowane są małe silniczki synchroniczne lub też specjalne urządzenia elektryczne, uruchomiane okresowo przy pomocy impulsów, wysyłanych z urządzenia centralnego, z tak zwanego zegara — matki. Tego rodzaju urządzenia są bardzo wygodne, pozwalają bowiem w łatwy i dogodny sposób uruchomić większą ilość mechanizmów napędowych całego szeregu przyrządów rejestrujących, bez kłopotliwego nakręcania.

Urządzenia piszące bywają kilku rodzajów.

Najprotszym urządzeniem piszącym jest mały lejek, zaopatrzony w ciekłą rurkę (rys. 178). Lijek ten umocowany jest na wskazówce przyrządu pomiarowego i napełniony specjalnym wolnoschnącym atramentem lub tuszem.



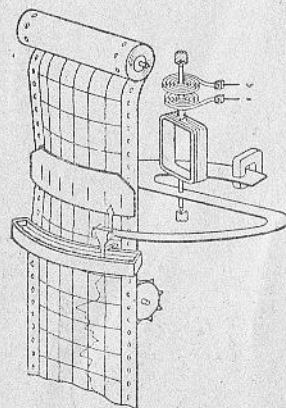
Rys. 178

Urządzenie piszące w postaci lejka nasazanego na wskazówkę.

Pomiar przy pomocy przyrządu rejestrującego polega na włączeniu przyrządu na stałe do sieci. Wówczas wskazówka jego wraz z urządzeniem piszącym odchyli się o pewien kąt. Jeżeli wartość mierzonych wielkości elektrycznej jest stała, to rysik urządzenia piszącego kreślić będzie na przesuwającej się taśmie linię prostą, równoległą do kresek podłużnych taśmy. Jeżeli wartość mierzonych wielkości elektrycznej jest zmienna, wówczas wskazówka przyrządu wraz z urządzeniem piszącym zmienia swoje położenie, rysik zaś kreślić będzie linię nierówną, rejestrując wszelkie zmiany wartości na taśmie.

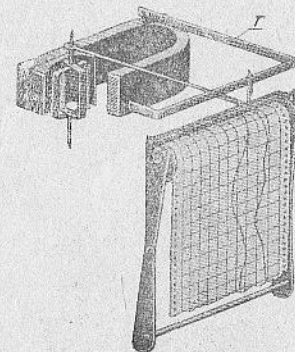
Inne urządzenie piszące polega na zastosowaniu małe-

go syfonika, który jednym końcem zanurzony jest w podłużnym kalamarzu z tuszem (rys. 179), drugim zaś opiera się o taśmę. Tusz znanym zjawiskiem syfonu ścieka na rysik, i przy zmianie położenia rysik kreśli linię na taśmie. Syfonik wraz z rysikiem jest przymocowany do wskazówki przyrządu pomiarowego.



Rys. 179

Urządzenie piszące w postaci syfonika.



Rys. 180

Urządzenie do zapisywania systemem punktowym.

Wyżej opisane urządzenia piszące stosowane są do tzw. zapisywania ciągłego, tj. w postaci linii ciągłej.

Inny sposób polega na zapisywaniu nie linią ciągłą, lecz punktami; jest to tzw. sposób punktowy.

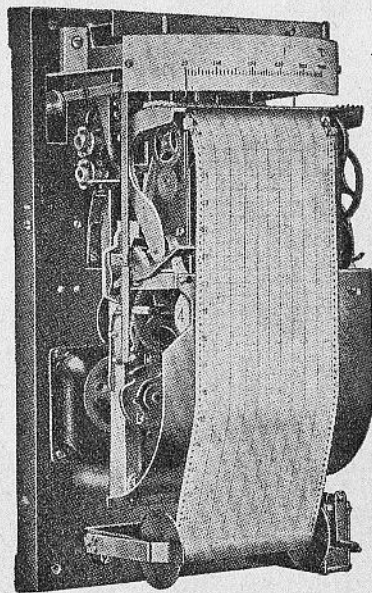
Urządzenie do zapisywania sposobem punktowym (rys. 180) składa się z ramki *r*, która w okresach kilkunastosekundowych opada na wskazówkę przyrządu pomiarowego. Ponieważ pod taśmą na górnym walcu umieszczona jest kalka (jak do pisania na maszynie), odwrócona farbującą stroną do taśmy — przy każdym opadnięciu ramki koniec wskazówki naciska na taśmę, odbijając z odwrotnej strony taśmy punkt. Taśma jest nieco przezroczysta i odbity przez kalkę punkt jest widoczny od przodu taśmy.

Sposób zapisywania punktowego nie wymaga stosowania przyrządu pomiarowego o dużym momencie obrotowym, gdyż na jego wskazówce nie ma dodatkowego ob-

ciężenia w postaci urządzeń piszących. Z tego względu przyrządy rejestrujące tego rodzaju są więcej czułe od przyrządów z zapisywaniem ciągłym. Jego wskazówka jest dostatecznie lekka, lecz jest nieco grubsza od wskazówki w przyrządach zwykłych, a zatem tylko cokolwiek cięższa.

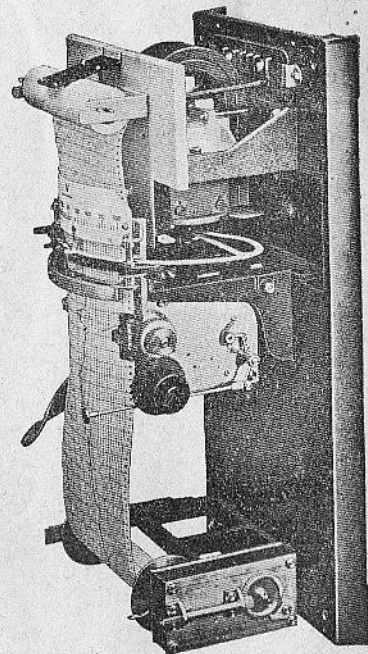
Główną zaletą systemu zapisywania punktowego, której nie posiada system zapisywania ciągłego, jest możliwość jednoczesnego zapisywania na jednej i tej samej taśmie kilku mierzonych wartości. Są to tzw. przyrządy rejestrujące wielokrotne.

Przyrządy tego rodzaju w konstrukcji mechanizmu napędowego posiadają automatyczny przełącznik, który co kilka sekund przełącza obwody, włączając przyrząd kolejno do każdego obwodu, przy tym wskazówka przy każ-



Rys. 181

Konstrukcja wewnętrzna przyrządu rejestrującego z zapisywaniem punktowym wielokrotnym (po zdjęciu pokrywy przyrządu).



Rys. 182

Konstrukcja wewnętrzna przyrządu rejestrującego z zapisywaniem ciągłym (po zdjęciu pokrywy przyrządu).

dym przełączeniu ustawia się odpowiednio do wartości mierzonej wielkości elektrycznej i przy pomocy ramki odbija na taśmie punkt, dla każdego obwodu oddzielnie.

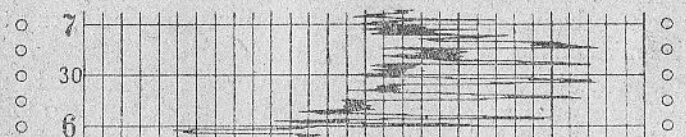
W ten sposób otrzymujemy na taśmie nie jedną lecz kilka linii punktowych, czasem różnokolorowych. Takie przyrządy są bardzo drogie i posiadają budowę nieraz bardzo skomplikowaną.

W ogóle budowa wnętrza przyrządów rejestrujących opiera się na mechanice precyzyjnej i jest więcej lub mniej skomplikowana. Przyrządy te posiadają cały szereg urządzeń pomocniczych, jak urządzenia do naciągania taśmy, do przełączania obwodów, do zmiany barwy punktu itp.

Na rys. 181 i 182 pokazana jest konstrukcja wewnętrzna niektórych przyrządów rejestrujących.

Z rysunków powyższych widzimy, że przyrząd rejestrujący oprócz taśmy, na której zapisywane są wartości jednostek mierzonych, posiada również skalę zwykłą. Odpowiedni dobór przyrządu rejestrującego do danych warunków pracy jest nieraz bardzo ważny. Poza typem przyrządu pomiarowego należy ustalić, jaka w przybliżeniu powinna być szybkość przesuwu taśmy, aby wszystkie zmiany wartości mierzonej wielkości były łatwe do odczytania.

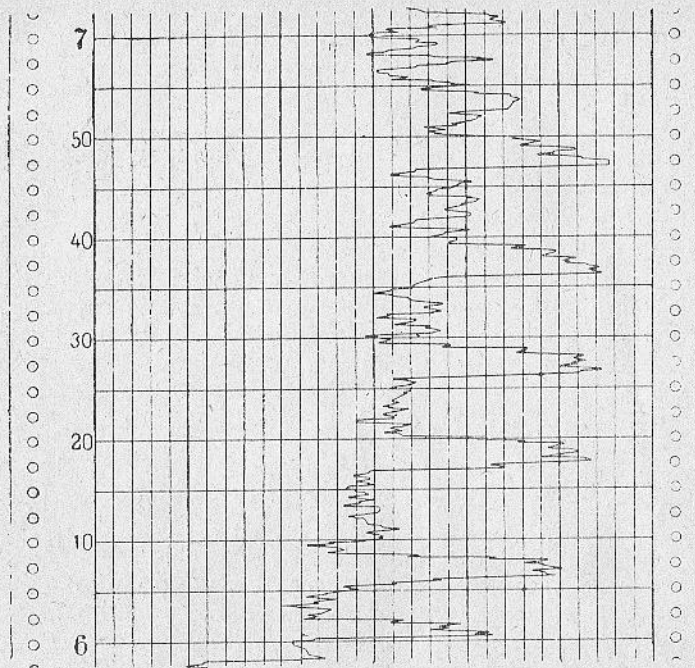
Jeżeli zastosujemy przyrząd, w którym taśma przesuwa się zbyt wolno, to przy bardzo częstych zmianach wielkości mierzonej, możemy otrzymać wykres zamazany, jak na rys. 183. Niekiedy nie jest to pożądane i lepiej jest zastosować szybszy bieg taśmy.



Rys. 183

Wykres przy użyciu taśmy przesuwanej się zbyt wolno.

Na rys. 184 podajemy ten sam wykres, lecz na taśmie posiadającej sześciokrotnie zwiększoną szybkość.



Rys. 184

Wykres z rys. 183 przy użyciu taśmy o sześciokrotnie większej szybkości.

2. ZASTOSOWANIE.

Zastosowanie przyrządów rejestrujących jest bardzo szerokie, zwłaszcza w elektrowniach, gdzie wymagana jest różnego rodzaju statystyka, czy to zmiany napięcia, czy też obciążenia poszczególnych faz.

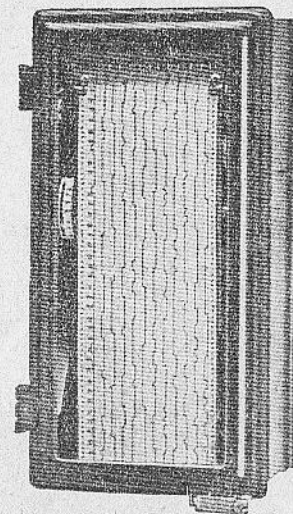
Najwięcej stosowane są amperomierze i woltomierze rejestrujące z przyrządem pomiarowym typu cewkowego (Deprez d'Arsonval'a) — tylko dla prądu stałego lub z przyrządem elektromagnetycznym, indukcyjnym bądź elektrodynamicznym — dla prądu zmiennego. Amperomierze i woltomierze rejestrujące z przyrządem cieplnym stosowane są rzadziej.

Również bardzo często używane są watomierze rejestrujące z przyrządem elektrodynamicznym, przy tym, ze względu na większy moment obrotowy, mają tu zastoso-

wanie przyrządy elektrodynamiczne z rdzeniem żelaznym.

W większych elektrowniach niekiedy używane są rejestrujące wskaźniki $\cos \varphi$ oraz rejestrujące częstościomierze.

Bardzo często, zwłaszcza w większych zakładach przemysłowych, gdzie zwykle pracuje większa ilość różnego rodzaju maszyn, stosowane są specjalne przyrządy rejestrujące czas pracy poszczególnych maszyn oraz czas ich postoju. Tego rodzaju przyrządy zbudowane są na zasadzie elektromagnetycznej i posiadają czasami nawet kilkanaście oddzielnych zespołów z rysikami, które kreślą jednocześnie na jednej i tej samej taśmie szereg linii zębatych, posiadających zęby o kształcie prostokątnym. Długość prostokątu w pewnej skali określa czas pracy maszyny, długość zaś przerwy pomiędzy zębami krzywej określa czas postoju.



Rys. 185

Zegar rejestrujący pracę maszyn.

Na rys. 185 pokazany jest taki przyrząd, rejestrujący czas pracy 12-tu maszyn jednocześnie. Jest to tzw. elektromagnetyczny zegar rejestrujący.

ROZDZIAŁ XVII.

WZORCOWANIE PRYZRZADÓW.

1. POJĘCIA OGÓLNE.

Wzorcowaniem nazywamy porównanie wskazań przyrządu badanego ze wskazaniami przyrządu, o znanej dokładności wskazań, tzw. przyrządu wzorcowego, błędy wskazań którego zostały uprzednio określone dla każdego punktu skali.

Przyrząd badany wzorcujemy zwykle, celem określenia błędów jego wskazań, tzw. błędów bezwzględnych, czyli poprawek, które należy dodać lub odjąć od wskazań przyrządu badanego, aby otrzymać rzeczywistą wartość mierzonej wielkości.

Poprawki zwykle wyrażane są w podziałkach skali.

Każdy przyrząd wzorcowy również powinien posiadać tabelę poprawek do swoich wskazań, które należy uwzględnić przy wzorcowaniu bardziej dokładnym.

Przy wzorcowaniu mniej dokładnym można poprawek przyrządu wzorcowego nie uwzględniać w tym wypadku, gdy dokładność przyrządu wzorcowego jest większa przynajmniej o jeden stopień od dokładności przyrządu badanego.

W ten sposób wzorcujemy przyrządy orientacyjne, przez porównanie ich wskazań ze wskazaniami przyrządu technicznego, techniczne — z kontrolnym, zaś kontrolne — z normalnym.

Co się tyczy wzorcowania przyrządów normalnych, to dozwolone jest ich wzorcowanie, przez porównanie ich wskazań ze wskazaniami innego przyrządu normalnego —

przy uwzględnieniu poprawek tego przyrządu, jednak ten sposób nie jest zalecany.

Dokładny sposób wzorcowania przyrządów normalnych jest nieco odmienny, i dla każdego rodzaju przyrządu jest inny. Są to przeważnie sposoby laboratoryjne, częstokroć bardzo złożone i dokładne, jak np. przy pomocy oporów normalnych, mostków kompensacyjnych itp.

Błędem bezwzględnym, czyli poprawką, nazywamy różnicę między wskazaniem przyrządu badanego, a wskazaniem przyrządu wzorcowego.

Jeżeli poprawkę otrzymamy ze znakiem *plus*, to znaczy, że przyrząd badany pokazuje za dużo, należy więc od wskazania przyrządu badanego poprawkę tę odjąć; jeżeli zaś poprawkę otrzymamy ze znakiem *minus*, to, aby otrzymać rzeczywistą wartość, należy poprawkę tę dodać do wskazań przyrządu badanego, gdyż przyrząd pokazuje za mało.

Jeżeli np. przyrząd badany wskazuje 50 działek skali, zaś przyrząd wzorcowy 51 działkę, to błąd bezwzględny wynosi:

$$50 - 51 = - 1 \text{ działkę.}$$

Ponieważ wartość rzeczywistą mierzonej jednostki określa przyrząd wzorcowy, to znaczy 51 działka, wobec tego przyrząd badany pokazuje za mało i poprawkę należy dodać.

Przebieg wzorcowania jest następujący.

Przy pomocy oporników ustalamy wartość wielkości elektrycznej na przyrządzie badanym, np. co 10 działek i notujemy wskazania przyrządu wzorcowego.

Wszystkie dane wzorcowania umieszczamy w specjalnym wykazie, podanym—tytułem przykładu—w tabl. XI.

Tabela XI.

Wykaz wzorcowania przyrządu.

Wskazania przyrządu badanego w działkach skali	Wskazania przyrządu wzorcowego w działkach skali	Błąd wskazań (poprawka) w działkach skali
0	0	0
10	11,2	- 1,2
20	20,0	0
30	29,2	+ 0,8
40	40,5	- 0,5
50	48,5	+ 1,5

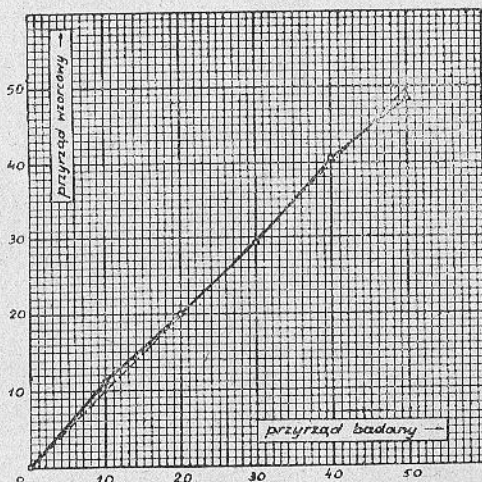
Zwykle, celem dokładniejszego wzorcowania, powtarzamy odczyt kilkakrotnie, zmieniając kierunek wzorcowania, to znaczy z początku wzorcujemy od zera do wartości końcowej skali, a następnie od wartości końcowej do zera, wstawiając do wykazu wartości średnie.

Dla łatwiejszego posługiwania się tabelą błędów oraz dla określenia wartości rzeczywistej w każdym punkcie skali, sporządza się niekiedy, dla przyrządów o większej dokładności, specjalny wykres.

Wykres taki sporządza się na dużym arkuszu papieru milimetrowego. Im większy jest wykres, tym dokładniej można na nim odczytywać.

Wartość wskazań przyrządu badanego umieszczamy na osi poziomej, wartości zaś rzeczywiste, tj. wskazywane przez przyrząd wzorcowy — na osi pionowej.

Na rys. 186 podany jest wykres danych z tabeli XI.



Rys. 186

Wykres wzorcowania przyrządu.

W idealnym wypadku, tj. gdy wskazania przyrządu badanego są zgodne ze wskazaniami przyrządu wzorcowego, otrzymamy na wykresie zamiast linii łamanej — prostą, nachyloną pod kątem 45° (na rys. 186 linia przerywana).

W rzeczywistości kształt krzywej (łamanej) wykresu nie powinien posiadać zbyt ostrych załamań i przebieg jej powinien być zbliżony do prostej.

Jeżeli w wyniku wzorcowania okaże się, że błędy wskazań przyrządu badanego nie są zbyt duże i mieszczą się w granicach wyznaczonej dokładności dla danego typu przyrządu, to taki przyrząd cechujemy, przez umieszczenie na nim znaku cechowania, stwierdzającego jego stopień dokładności.

Dla przyrządów bardzo dokładnych oprócz wykazu błędów i wykresu sporządza się akt, stwierdzający wyniki wzorcowania, tzw. świadectwo uwierzytelnienia. Czynność tę nazywamy legalizacją przyrządu.

Aby przyrząd pomiarowy po przewzorcowaniu, cechowaniu lub zalegalizowaniu nie został rozregulowany przez osoby niepowołane, zwykle pokrywa przyrządu zostaje zaplombowana w ten sposób, że dostanie się do wnętrza przyrządu bez zerwania plomby jest niemożliwe.

Jeżeli przy wzorcowaniu okaże się, że błędy wskazań przyrządu badanego są zbyt duże i nie mieszczą się w granicach błędów dozwolonych dla danego typu, wówczas albo cechujemy przyrząd niższym stopniem dokładności, albo też wymieniamy skalę przyrządu na nową, już poprawioną.

Określanie i wyznaczanie na skali miejsca na nowe działki nazywamy skalowaniem przyrządu.

Przy skalowaniu przyrządu postępujemy tak, jak przy wzorcowaniu, z tą tylko różnicą, że zamiast ustalania wartości wielkości elektrycznej na przyrządzie badanym, ustalamy tę wartość na przyrządzie wzorcowym, odczytując odpowiednio wartości na starej skali przyrządu badanego. Dane te służą do sporządzenia nowej skali na podstawie starej.

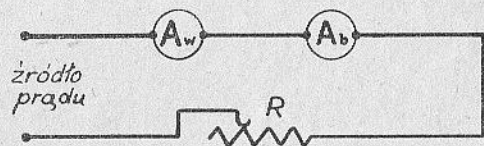
Do określenia działek pośrednich dla nowej skali, celowe jest sporządzenie podobnego wykazu, jak na rys. 186, przy tym, im gęściej na skali wyznaczymy nowe działki, tym łatwiej i dokładniej wykreślimy nową skalę.

Wykreślanie działek na skali nazywają często również cechowaniem; jednak jest to określenie niewłaściwe.

Sporządzoną w powyższy sposób nową skalę należy umieścić na miejsce starej, i przyrząd ponownie przewzorcować.

2. WZORCOWANIE AMPEROMIERZY.

Amperomierze bez oddzielnych boczników wzorcuje się zwykle według schematu, podanego na rys. 187. Amperomierz wzorcowy A_w jest połączony w szereg z amperomierzem badanym A_b . Jeżeli są to amperomierze na prąd stały, jako źródło prądu stosujemy akumulatory. W wypadku amperomierzy na prąd zmienny, wzorcujemy



Rys. 187

Wzorcowanie amperomierza przez porównanie.

je prądem zmiennym przy pomocy amperomierzy elektrodynamicznych, czy też cieplnych, skala których została wyznaczona prądem stałym.

Przy skalowaniu amperomierzy można jednocześnie skalować kilka amperomierzy, włączając je do obwodu prądu w szereg z amperomierzem wzorcowym.

Przy wzorcowaniu lub skalowaniu amperomierzy należy opornik regulujący R tak dobrać, aby była umożliwiona regulacja prądu od najmniejszej wartości, aż do końcowej wartości skali.

Przy wzorcowaniu amperomierzy normalnych (na prąd stały) posługujemy się schematem, podanym na rys. 188. Amperomierz badany włącza się w szereg ze znanym oporem normalnym R_n . Przy pomocy opornika regulującego R ustalamy prąd tak, aby wskazówka przyrządu badanego A_b znalazła się na określonej liczbie działek i mierzymy na naciskach a i b oporu normalnego R_n napięcie U_n metodą kompensacyjną*). Wówczas prąd rzeczywisty I_n , przepływający przez amperomierz, będzie równy:

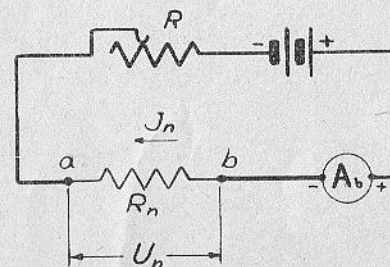
$$I_n = \frac{U_n}{R_n}$$

*) patrz dalej, str. 207.

Prąd rzeczywisty porównujemy z wartością wskazaną przez amperomierz badany i określamy błąd wskazań.

Powtarzając czynność tę w każdym miejscu skali przyrządu badanego, sporządzamy wykaz błędów oraz, w razie potrzeby, wykres wzorcowania.

Amperomierze, które posiadają boczniki oddzielne, łatwiej jest wzorcować bez tych boczników, zwłaszcza gdy boczniki te są na bardzo duże prądy (przy prądzie sta-



Rys. 188

Wzorcowanie amperomierza przy pomocy oporu normalnego.

łym). Ponieważ w tym wypadku zastosowany jest miliwoltomierz, który mierzy spadek napięcia na boczniku, — należy wzorcować go jako miliwoltomierz*). Przedtem jednak musimy ustalić, jaki spadek napięcia odpowiada całkowitemu wychyleniu wskazówki przyrządu, czyli końcowej wartości skali, określonej w amperach.

Zwykle wartość spadku napięcia przy znamionowym**) prądzie bocznika oznaczona jest na boczniku, — zdarza się jednak, że zamiast tego, oznaczona jest tylko oporność omowa bocznika.

W tym wypadku wartość spadku napięcia musimy obliczyć, postępujemy przy tym w sposób następujący.

Określamy przez wzorcowanie, jaki prąd pobiera miliwoltomierz przy krańcowym wychyleniu wskazówki. Oczywiście jest rzeczą, że wzorcowanie przeprowadzamy uważając miliwoltomierz chwilowo za miliamperomierz. Przypuśćmy, że wartość tego prądu będzie i amperów.

*) Patrz dalej, str. 203.

**) największy prąd przepisowy (dozwolony).

Jeżeli bocznik posiada prąd znamionowy np. I amperów, to spadek napięcia ΔU na boczniku, przy zamkniętym równolegle do niego miliwoltomierzu i przy danej oporności bocznika np. R omów, wyniesie:

$$\Delta U = R (I - i) \text{ woltów lub}$$

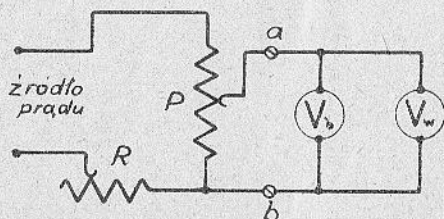
$$\Delta U = R (I - i) 1000 \text{ miliwoltów.}$$

Jasną jest rzeczą, że powyższy miliwoltomierz winien być wzorcowany łącznie z przewodami, którymi jest połączony z zaciskami bocznika. W wypadku zamiany tych przewodów na inne, miliwoltomierz winien być przewzorcowany ponownie.

3. WZORCOWANIE WOLTOMIERZY.

Woltomierze wzorcujemy, podobnie jak amperomierze, dwoma sposobami, tj. przez zwykłe porównanie ich wskazań ze wskazaniami woltomierza wzorcowego lub też przy pomocy układu kompensacyjnego.

Przy wzorcowaniu zwykłym posługujemy się schematem, podanym na rys. 189. Oba woltomierze: badany V_b , oraz wzorcowy V_w połączone są ze sobą równolegle i dołączone są do zacisków a i b , na których wartość napię-



Rys. 189

Wzorcowanie woltomierza przez porównanie.

cia możemy dowolnie zmieniać posługując się opornikiem P^*) i oporem R , przy tym wartości opornika P i oporu R winny być odpowiednio dobrane.

Według podanego schematu (rys. 189) wzorcujemy woltomierze zarówno prądu stałego, jak i dla prądu zmiennego.

*) Opornik P , włączony, jak na rys. 189, zwiemy często „potencjometrem”.

nego. Tylko w wypadku, jeżeli woltomierz posiada na skali oddzielne podziałki dla prądu stałego i zmiennego, wzorcujemy każdą podziałkę oddzielnie, przy tym podziałkę dla prądu zmiennego wzorcujemy przy pomocy prądu zmiennego. Również przy pomocy prądu zmiennego wzorcujemy woltomierze, przeznaczone wyłącznie dla prądu zmiennego (np. indukcyjne), stosując elektrodynamiczny woltomierz wzorcowy, którego skala wyznaczona była prądem stałym.

Przy wzorcowaniu woltomierzy normalnych posługujemy się albo sprawdzonym normalnym woltomierzem wzorcowym, uwzględniając jego poprawki, albo też specjalnymi układami kompensacyjnymi metodą laboratoryjną*).

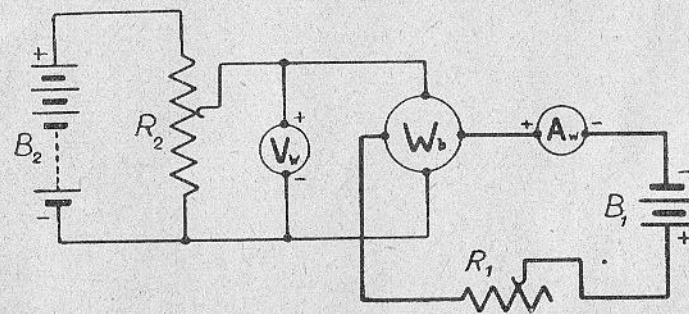
Miliwoltomierze wzorcujemy tymi samymi sposobami, jak woltomierze, używając stosunkowo niższego napięcia źródła prądu.

4. WZORCOWANIE WATOMIERZY.

Watomierze elektrodynamiczne wzorcujemy zwykle prądem stałym, posługując się przy tym wzorcowym amperomierzem A_w oraz wzorcowym woltomierzem V_w .

Schemat połączeń dla tego rodzaju wzorcowania podaje rys. 190.

Przez cewkę nieruchomą (prądową) watomierza przepuszczamy prąd z baterii B_1 , regulując opornikiem R_1 . Amperomierz wzorcowy A_w jest włączony szeregowo do



Rys. 190

Wzorcowanie watomierza przy pomocy amperomierza i woltomierza.

*) Patrz dalej str. 208.

uzwojenia prądowego watomierza, a zatem przepływa przez niego ten sam prąd.

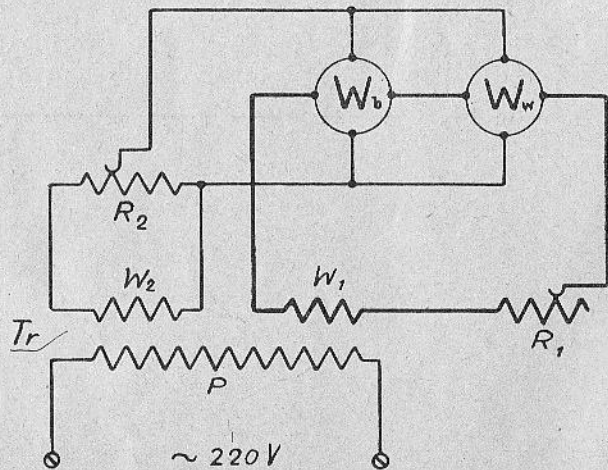
Cewkę ruchomą (napięciową) watomierza zasilamy baterią oddzielną B_2 o takim napięciu, na jakie jest zbudowany watomierz, włączając równolegle do tej cewki woltomierz wzorcowy. Dla łatwiejszego ustalenia napięcia posługujemy się potencjometrem R_2 .

Iloczyn wskazań amperomierza i woltomierza da nam liczbę watów, która powinna odpowiadać odchyleniu wskazówki watomierza.

Przy wzorcowaniu w zasadzie ustalamy napięcie na stałe, a zmieniamy tylko prąd. Jednak możemy przeprowadzić wzorcowanie i przy napięciu większym lub mniejszym, w granicach $\pm 10\%$ — każdorazowo notując jego wartość.

W celu usunięcia wpływu obcych pól, a zwłaszcza pola ziemskiego, na wyniki wzorcowania, należy wzorcowanie powtórzyć, zmieniając bieguny obu baterij B_1 i B_2 i do wykazu brać wartości średnie.

Watomierze indukcyjne wzorcujemy prądem zmiennym, przez porównanie ich wskazań z watomierzem elektrodynamicznym wzorcowym, stosując zwykle dwa różne źródła prądu.



Rys. 191

Wzorcowanie watomierza przez porównanie.

Jasną jest rzeczą, że w tym wypadku łączymy cewki prądowe obu watomierzy ze sobą w szereg, zaś cewki napięciowe — równolegle, jak to podaje rys. 191.

Przy łączeniu cewek watomierzy należy uważać na właściwe połączenie zacisków. W wypadku błędnego połączenia watomierz wskazuje w przeciwną stronę. Aby tego uniknąć, należy między sobą zamienić końcówki dowolnej cewki watomierza.

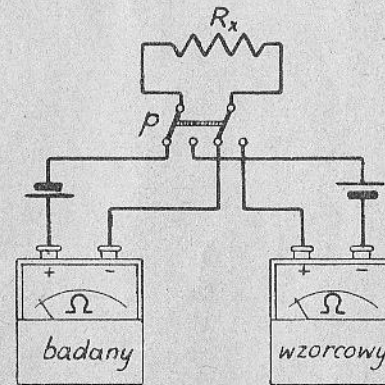
Na rysunku 191 W_b oznacza watomierz badany, zaś W_w — watomierz wzorcowy, poza tym oporniki R_1 i R_2 — jak w układzie poprzednim.

Jako źródło prądu użyty został tu transformator T_r , o dwóch uzwojeniach wtórnych: jedno niskonapięciowe W_1 dla uzyskania dużego prądu przy małej mocy, oraz drugie W_2 o napięciu, przepisany dla danego typu watomierzy.

Tego rodzaju układem można się posługiwać również przy wzorcowaniu watomierzy elektrodynamicznych, jednak sposób ten jest mniej dokładny od podanego na rys. 190.

5. WZORCOWANIE OMOMIERZY.

Omomierze wzorcujemy zwykle przy pomocy porównania ich wskazań ze wskazaniami omomierza wzorcowego. Rys. 192 podaje tego rodzaju układ.



Rys. 192

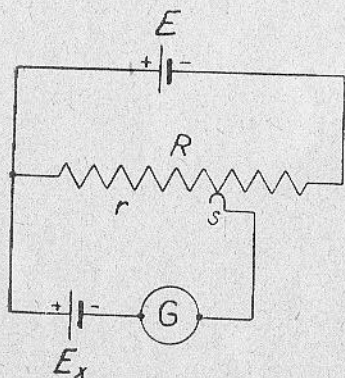
Wzorcowanie omomierza przez porównanie.

Oba omiomy powinny być włączane do mierzonego oporu R_x (ustalonego każdorazowo) naprzemian przy pomocy przełącznika p .

Inny sposób wzorcowania omiomy polega na włączaniu do zacisków omiomy rozmaitych oporów o różnej oporności znanej, ustalonej poprzednio przez pomiar dokładną metodą mostkową. Jest to sposób dokładniejszy od poprzedniego.

6. KOMPENSATOR.

Kompensatorem zwimy układ laboratoryjny, składający się z szeregu bardzo dokładnych oporów, ogniwa normalnego Westona, bardzo czulego galwanometru lusterkowego, oporów normalnych oraz źródła prądu (zwykle ogniwo akumulatorowe o napięciu 2 V).



Rys. 193

Zasada układu kompensacyjnego.

Kompensator służy do bardzo dokładnych pomiarów siły elektromotorycznej lub spadku napięcia, przez porównanie z siłą elektromotoryczną normalnego ogniwa Westona. Zasada układu kompensacyjnego podana jest na rys. 193. Źródło prądu o napięciu E włączone jest do oporu R , wartość oporności którego jest tak dobrana, że przez opór ten przepływa bardzo mały prąd (zwykle 0,1 mA). Źródło mierzonej siły elektromotorycznej lub napięcia E_x połączone jest w szereg z galwanometrem i dołączone do części r oporu R , przy tym wartość oporności r może być zmieniana przy pomocy styku ślizgowego s .

Oba źródła sił elektromotorycznych są połączone naprzeciw sobie. Przesuwamy styk ślizgowy s , zmieniając wartość oporności r dotąd, aż uzyskamy równowagę układu, wówczas, gdy galwanometr nie odchyła się.

Warunek równowagi układu możemy wyrazić w sposób następujący: napięcie, czyli spadek napięcia na oporze r , powstały od siły elektromotorycznej E , winien zrówno-

ważyć się, czyli skompensować się, z napięciem mierzonym E_x . Wówczas wartość napięcia mierzonego E_x wyrazi się wzorem:

$$E_x = \frac{E}{R} r$$

gdzie $\frac{E}{R}$ jest to prąd i , który płynie z opornika R , a zatem

$$E_x = i r$$

W powyższym układzie wartości oporów R i r są nam dokładnie znane, nie jest natomiast dokładnie znana wartość napięcia E źródła prądu.

Wartość napięcia E , a zatem prąd i , przepływający przez wiadomy oprór R , możemy wyznaczyć dokładnie również sposobem kompensacyjnym, stosując do tego powyższy układ. W tym celu należy w układzie zamiast mierzonej siły elektromotorycznej E_x włączyć źródło prądu o znanej dokładnie wartości siły elektromotorycznej E_n . Takim źródłem jest normalne ogniwo Westona*).

Po włączeniu ogniwa Westona, przesuwamy ponownie styk s , zmieniając przez to wartość oporu r , dotąd, aż uzyskamy znowu równowagę układu; otrzymamy przy tym nową wartość oporu r_1 .

Stosując ten sam wzór wypadnie:

$$E_n = \frac{E}{R} r_1 = i r_1$$

Z powyższego wzoru określamy prąd:

$$i = \frac{E_n}{r_1}$$

i podstawiając do wzoru na E_x , otrzymanego poprzednio, będziemy mieli:

$$E_x = E_n \frac{r}{r_1}$$

widzimy więc, że, znając dokładnie wartość siły elektromotorycznej normalnego ogniwa Westona, oraz dokładne war-

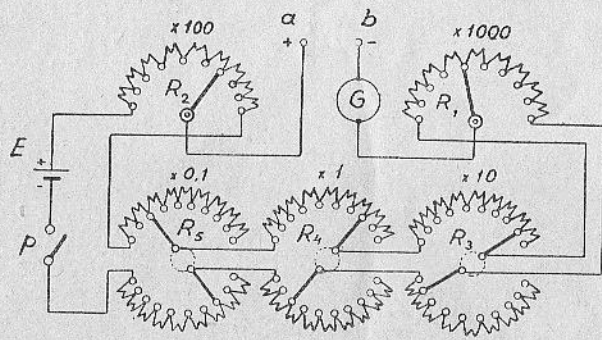
*) Patrz str. 8.

tości oporów r i r_1 , możemy określić wartość mierzonej siły elektromotorycznej lub spadku napięcia.

Jasną jest rzeczą, że przy pomocy układu podanego na rys. 193 możemy porównywać i mierzyć spadki napięcia mniejsze od siły elektromotorycznej ogniwa akumulatorowego, tj. od 2 woltów. Przy pomiarze napięć większych stosujemy zwykle dzielnik napięć (potencjometr dodatkowy), aby powyższy warunek był zachowany.

Najczęściej stosowany jest układ kompensatora Feussnera, podany na rys. 194.

Widzimy tu układ składający się z pięciu oporników korbkowych: R_1 , R_2 , R_3 , R_4 i R_5 , z których R_1 i R_2 są to



Rys. 194

Układ kompensatora Feussnera.

oporniki jednokorbkowe, zaś R_3 , R_4 i R_5 — oporniki o korbkach podwójnych, przy tym obie korbki każdego z tych oporników przesuwają się jednocześnie.

Przesuwając korbki powyższych oporników, zmieniamy wielkość oporu, zawartego pomiędzy zaciskami a i b , nie zmieniając wartości oporu całkowitego dołączonego do źródła prądu o napięciu E .

Do zacisków a i b dołączamy napięcie mierzone E_x oraz normalne ogniwo Westona (naprzemian).

Należy zaznaczyć, że ogniwo Westona jest włączane tylko w chwili pomiaru, gdyż nie może być z niego czerpany prąd.

Przy pomocy powyższego układu kompensacyjnego możemy bardzo dokładnie zmierzyć również prąd, przepływający w pewnym obwodzie. W tym wypadku do zacisków

a i b kompensatora dołączamy znany opór normalny, który znajduje się w obwodzie z mierzonym prądem, i mierzymy spadek napięcia na tym oporze*).

Układ kompensacyjny stosuje się również do wzorcowania amperomierzy i woltomierzy normalnych, zwłaszcza miliwoltomierzy.

Przy wzorcowaniu amperomierzy, amperomierz włącza się w szereg ze znanym oporem normalnym i źródłem prądu stałego, kompensatorem zaś mierzymy spadek napięcia na tym oporze. Przy wzorcowaniu woltomierzy, woltomierz włączamy równolegle do zacisków mierzonego kompensatorem napięcia.

Pomiar napięcia przy pomocy kompensatora jest bardzo dokładny, — przy zastosowaniu oporów precyzyjnych błąd pomiaru zawarty jest w granicach $\pm 10\mu V$.

K o n i e c .

*) Patrz str. 200.

SPIS RZECZY

	Str.
Przedmowa	3
Wstęp	5

ROZDZIAŁ I.

WIADOMOŚCI OGÓLNE.

1. Jednostki wielkości elektrycznych	7
2. Przeznaczenie przyrządów	11
3. Oznaczenie i symbole schematowe	12
4. Ogólna zasada budowy	12

ROZDZIAŁ II.

DOKŁADNOŚĆ WSKAZAŃ PRZYRZĄDÓW.

1. Błędy pomiarów	19
2. Błędy przyrządów	20

ROZDZIAŁ III.

PODZIAŁ PRZYRZĄDÓW.

1. Podział przyrządów według przeznaczenia	22
2. Podział przyrządów według zastosowania	22
3. Podział przyrządów według dokładności wskazań	24
4. Podział przyrządów według zasady budowy	26
5. Oznaczenia na skali przyrządu	26

ROZDZIAŁ IV.

ZASTOSOWANIE PRZYRZĄDÓW.

1. Obchodzenie się z przyrządami	31
2. Sprawdzanie dobroci przyrządu	33

	Str.
3. Pomiar napięcia i prądu	56
4. Rozszerzenie skali przyrządów	43

ROZDZIAŁ V.

ZASADNICZE CZĘŚCI SKŁADOWE PRZYRZĄDU.

1. Obudowa	55
2. Magnesy	67
3. Zawieszenie układu ruchomego	70
4. Urządzenia tłumiące	74
5. Skale	77
6. Wskazówki	78
7. Odczyty na skali przyrządów	80
8. Cewki, opory, boczniki	82
9. Ogólne wymagania konstrukcyjne	87

ROZDZIAŁ VI.

PRZYRZĄDY Z RUCHOMYM MAGNESEM.

1. Zasada działania galwanoskopu	90
2. Galwanometr astatyczny	91

ROZDZIAŁ VII.

PRZYRZĄDY ELEKTROMAGNETYCZNE

1. Zasada działania	95
2. Amperomierze i woltomierze	100
3. Rozszerzenie skali przyrządów elektromagnetycznych	102

ROZDZIAŁ VIII.

PRZYRZĄDY Z RUCHOMĄ CEWKĄ (Deprez d'Arsonval'a).

1. Zasada działania	104
2. Galwanometr	106
3. Amperomierze i woltomierze	111
4. Przyrządy z prostownikiem	116
5. Przyrządy z termoogniwem	117
6. Przyrządy wielozakresowe	119
7. Przyrządy dwukierunkowe	120

ROZDZIAŁ IX.

PRZYRZĄDY ELEKTRODYNAMICZNE.

1. Zasada działania	121
2. Elektrodynamometr	122

	Str.
3. Amperomierz elektrodynamiczny	123
4. Woltomierz elektrodynamiczny	124
5. Watomierz elektrodynamiczny	125
6. Przyrządy elektrodynamiczne z rdzeniem żelaznym	128
7. Włączanie watomierzy	130

ROZDZIAŁ X.

PRZYRZĄDY INDUKCYJNE.

1. Zasada działania	135
2. Amperomierz indukcyjny	136
3. Woltomierz indukcyjny	138
4. Watomierz indukcyjny	139

ROZDZIAŁ XI.

PRZYRZĄDY CIEPLNE.

1. Zasada działania	142
2. Amperomierz cieplny	144
3. Woltomierz cieplny	145
4. Rozszerzenie skali przyrządów cieplnych	145

ROZDZIAŁ XII.

PRZYRZĄDY ELEKTROSTATYCZNE.

1. Zasada działania	148
2. Woltomierz wieloblaszkowy	150

ROZDZIAŁ XIII.

PRZYRZĄDY REZONANSOWE.

1. Zasada działania	152
2. Częstościomierz sprężynkowy	152

ROZDZIAŁ XIV.

PRZYRZĄDY DO MIERZENIA OPORNOSCI.

1. Mierzenie oporności amperomierzem i woltomierzem	155
2. Omomierz woltomierzowy	156
3. Induktor	160
4. Omomierz amperomierzowy	162
5. Omomierz krzyżowy	164
6. Induktor krzyżowy	167
7. Mostek Wheatstone'a	169
8. Mostek podwójny Thomson'a	175

ROZDZIAŁ XV.
PRYZRĄDY SPECJALNE.

	Str.
1. Szczypty Dietza	179
2. Pirometry	181
3. Wskaźnik kolejności faz	183
4. Wskaźnik współczynnika masy ($\cos \varphi$)	184
5. Pomiar współczynnika mocy	187

ROZDZIAŁ XVI.
PRYZRĄDY REJESTRUJĄCE.

1. Zasada budowy	189
2. Zastosowanie	194

ROZDZIAŁ XVII.
WZORCOWANIE PRYZRĄDÓW.

1. Pojęcie ogólne	196
2. Wzorcowanie amperomierzy	200
3. Wzorcowanie woltomierzy	202
4. Wzorcowanie watomierzy	203
5. Wzorcowanie omomierzy	205
6. Kompensator	206

„Elektryk” podręcznik kieszonkowy elektrotechniki prądów silnych pod redakcją prof. M. Pożaryskiego, opr. płócienna	12.—
Gimbut B. Uszkodzenia i niedokładności w maszynach elektrycznych prądu stałego i zmiennego	2.—
Hensel G. O uzwojeniach maszyn elektrycznych prądu stałego	4.—
— O uzwojeniach maszyn elektrycznych prądu zmiennego	4.—
Jaros P. Montaż kabli silnoprądowych.	5.—
Kopczyński W. Silniki asynchroniczne.	3.—
Machcewicz-Hubert. Zasady radiotelegrafii i radiotelefonii	3.—
Monkiewicz T. Ustawianie i obsługa maszyn elektrycznych.	3.50
Pożaryski M. Krótki zarys elektrotechniki, cz. I zasadnicza	2.50
— Krótki zarys elektrotechniki, cz. II/III	4.—
— Montaż elektryk, opr. karton	6.—
— „ „ „ „ „ „ płótno	7.50
— Przystępna elektrotechnika prądów silnych	9.—
— i Hensel. Krótki zarys sygnalizacji, telegrafii i telefonii	1.—
Rabanowski J., Bibitto A. Lampy i oprawy	4.—

ORAZ WSZELKIE INNE KSIĄŻKI TECHNICZNE
poleca

KSIĘGARNIA J. LISOWSKIEJ

Warszawa, Jerozolimska Nr 15.

Tel. 9-97-09. P.K.O. 4587.

Katalogi gratis.

BIURO ELEKTROTECHNICZNE
MICHAŁ ZUCKER JAN STRASZEWICZ
Warszawa, ul. Marszałkowska 119—Tel.: 274-84, 609-98 i 641-40

POLECA ZNANE ZE SWEJ DOKŁADNOŚCI

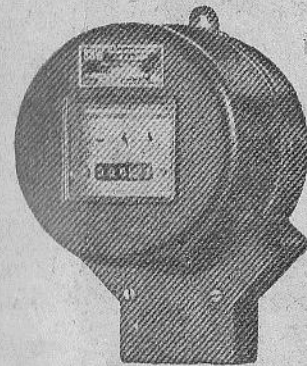
**ELEKTRYCZNE
PRZYRZĄDY
POMIAROWE**

oraz

**PRZYRZĄDY DO KONTROLI
GOSPODARKI CIEPLNEJ**

WYROBU FABRYKI

HARTMANN & BRAUN



LICZNIKI

energii elektrycznej na
prąd stały i zmienny

sprzedaż
naprawa

URZĘDOWA LEGALIZACJA

JULIAN SZWEDE

ZAKŁAD ELEKTROMIERNICZY
Warszawa, ul. Kopernika 14.

ELEKTRYCZNE
PRZYRZĄDY POMIAROWE

WYTWÓRNI SZWAJCARSKICH

LANDIS & GYR, S.A.

Zug

TRÜB, TÄUBER & Co, S.A.

Zürich

Liczniki jednofazowe
Liczniki trójfazowe
Liczniki na prąd stały
Liczniki wielotaryfowe
Liczniki specjalne
Automaty zegarowe
Aparaty elektryczne do
automatycznego sterowa-
nia urządzeń wszelkich
typów
Transformatory miernikowe
Stacje cechownicze

Mierniki elektrotechniczne
wskazujące i rejestrujące
Przyrządy pomiarowe mon-
tażowe
Przyrządy laboratoryjne
Przyrządy precyzyjne
Urządzenia do pomiarów
na odległość
Sejsmografy
Oscylografy
Urządzenia do badań nau-
kowych

WYŁĄCZNE PRZEDSTAWICIELSTWO NA POLSKĘ

BIURO TECHNICZNE

CEGIELSKI & IWANICKI, INŻYNIEROWIE

WARSZAWA, MARSZAŁKOWSKA 35, tel. 906-41