



WSKAZÓWKI
DO ĆWICZEŃ W LABORATORJUM
ELEKTROTECHNIKI OGÓLNEJ
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

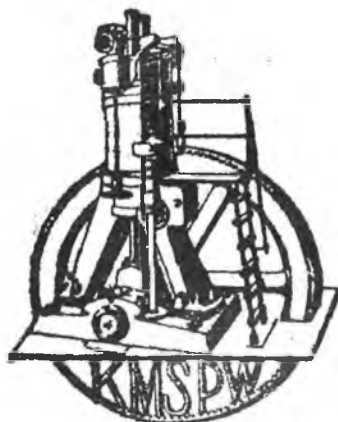
UŁOŻYŁ
inż.-el. JÓZEF PAWLIKOWSKI
ST. ASYSTENT PRZY KATEDRZE ELEKTROTECHNIKI OGÓLNEJ
POD REDAKCJĄ
prof. M. POŻARYSKIEGO



KOŁO MECHANIKÓW S. P. W.
1927

WSKAZÓWKI
DO ĆWICZEŃ W LABORATORJUM
ELEKTROTECHNIKI OGÓLNEJ
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

UŁOŻYŁ
inż.-el. JÓZEF PAWLIKOWSKI
ST. ASYSTENT PRZY KATEDRZE ELEKTROTECHNIKI OGÓLNEJ
POD REDAKCJĄ
prof. M. POŻARYSKIEGO



KOŁO MECHANIKÓW S. P. W.
1927

BIBLIOTEKA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ
Wersja 1.0 (2000-01-01)

C.7888



nr 536

BG03P/339-29

L i t e r a t u r a :

1. M. Pożaryski. Podstawy naukowe elektrotechniki
łącznie z zasadami pomiarów.
2. K. Drewnowski. Przyrządy i pomiary elektryczne.
3. A. Linker. Elektrotechnische Messkunde.
4. E. Orlich. Anleitungen zum arbeiten im Elek-
trotechnischen Laboratorium.
5. H.S. Hallo i
H.W. Land. Elektrotechnische und Magnetische
Messungen u. Messaparate.
6. Jaeger. Elektrotechnische Messtechnik.
7. E. Gerard. Mesures electriques.

PRZEPISY DLA PRACUJĄCYCH W LABORATORJUM ELEKTRO- TECHNIKI OGÓLNEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ.

1. Każdy z pracujących, przystępując do danego zadania winien być w zupełności do niego przygotowany. Brak teoretycznych danych, dotyczących zadania może posłużyć przyczyną do niedopuszczenia pracującego do ćwiczeń w laboratorium. Po za tem każdy z pracujących winien wiedzieć w jakie dni pracuje w laboratorium, do jakiej należy grupy oraz jakie zadanie ma do wykonania. Dane te są zawczasu ogłoszone na tablicy należącej do Laboratorium.
2. Prace w laboratorium rozpoczynają się od wykonania schematu połączeń, który następnie powinien być przedstawiony do zatwierdzenia Kierownikowi Laboratorium.
3. Na mocy wykonanego schematu pracujący kompletuje sobie przyrządy miernicze, dobiera odpowiedniej grubości i długości przewodniki i przystępuje do połączeń.

Uwaga: Wszystkie przyrządy miernicze pracujący otrzymuje od laboranta. Branie samodzielne przyrządów z szaf jest wzbronione.

4. Przed połączeniem obwodu zadania do sieci lub włączenia ogniw, konieczne jest sprawdzenie połączeń przez Kierownika Laboratorjum.

Uwaga: Wszystkie szkody materialne, mogące wyniknąć z powodu nieprzestrzegania tego punktu padają całkowicie na pracujących, niezależnie od tego dwukrotne włączenie obwodu na sieć bez poprzedniego sprawdzenia może pociągnąć za sobą wykluczenie winnych z Laboratorjum.

5. W razie ewentualnych uszkodzeń przyrządów przy zadaniu, pracujący winni natychmiast, bez robienia prób samodzielnej naprawy, zawiadomić o wypadku Laboranta lub Kierownika Laboratorjum.
6. O ile obwód jest pod napięciem, zabrania się wszystkim pracującym w danej grupie opuszczać zadanie. Grupa winna pilnować nagrzania się przyrządów /oporników, rozruszników/, łożysk maszynowych i t.p.
7. Zabrania się podchodzić i dotykać do obwodów cudzych zadań oraz odrywać od pracy rozmowami pracujących przy danym zadaniu.
8. Dane otrzymane z pomiarów, oraz przypuszczalny bieg krzywych winny być przedstawione Kierownikowi Laboratorjum natychmiast po ukończeniu danych po-

miarów. Na arkuszu, na którym zebrane są te dane winno być oznaczone: nazwa zadania, data ćwiczenia oraz podpisy wszystkich obecnych przy ćwiczeniu osób.

9. W razie dodatniej oceny danych i podcyfrowania ich przez Kierownika Laboratorium, pracujący rozłączają obwód zadania z siecią przez wykręcenie korków bezpieczeństwa, a następnie dokonywują rozebrania połączeń. Wszystkie przyrządy miernicze winny być oddane laborantowi, klucze, śrubokręty i t.p. złożone do szafek z zaciskami; druty zaś powieszono w miejscu na to przeznaczonym.
10. Każdy z ćwiczących winien złożyć przed przystąpieniem do następnego zadania sprawozdanie z zadania poprzedniego, następnie zaś dowiedzieć się u Kierownika Laboratorium czy sprawozdanie to nie jest do zwrotu dla dokonania w nim poprawek. Odpowiednio poprawione zadanie winno być złożone z następującym sprawozdaniem. Zaleganie w składaniu sprawozdań może być przyczyną wykreślenia pracującego z laboratorium. Do sprawozdań z danego zadania grupa winna dołączyć bruljon z danymi z pomiarów, podcyfrowany przez Kierownika Laboratorium.

11. Sprawozdanie winno być wykonane na specjalnym blankiecie wydawnictwa Koła Mechaników, z wykresami na papierze milimetrowym, przyklejonym do arkusza. Wymiary wykresów winny być 12 x 12 cm². W sprawozdaniu winny być podane schematy połączeń, tabliczki odczytów z wyjaśnieniem oznaczeń, wykresów, obliczenia, w końcu zaś uwagi dotyczące obliczeń i charakteru krzywych.
12. Zaliczenie prac laboratoryjnych odbywa się na podstawie colloquium u Kierownika Laboratorium w końcu semestru, kiedy były wykonane ćwiczenia.

SYMOBOLE GRAFICZNE URZĄDZEŃ PRĄDU
SILNEGO.

/Zatw. przez P.K.E. w publ.20/.

Przewodnik



Wyłącznik jednobiegunowy



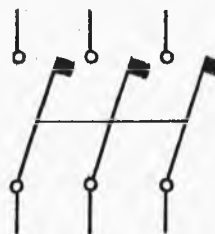
" - dwubiegunowy



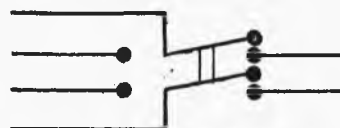
" trójbiegunowy



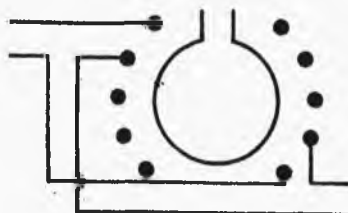
Wyłącznik samoczynny trójbieguno-
wy /z nożami sprzężenymi/



Przełącznik



Przełącznik woltomierzowy



Akumulator lub element galwaniczny



Bateria akumulatorów



Drut mierniczy



Opornik o stałym oporze



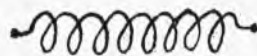
Oporniki o zmiennym oporze:



Opornik bezindukcyjny



Dławik bez żelaza



Dławik z żelazem



Kondensator



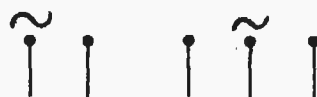
Odgąłęzienie i skrzyżowanie



Zaciski prądu stałego



Zaciski prądu zmiennego



Bezpiecznik korkowy



Bezpiecznik paskowy



Amperomierz,

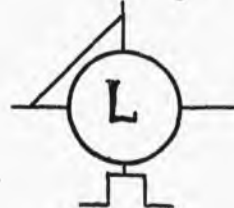
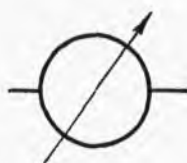
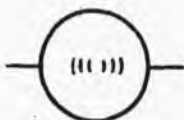
Woltomierz.

Watomierz.



Częstościomierz. Galwanometr.

Licznik.



Lampa łukowa



uziemiaenie

" żarowa



W S T Ę P .

SCHEMATY POŁĄCZEŃ.

Przed rozpoczęciem każdego zadania z dziedziny elektrotechniki praktycznej, należy sporządzić plan położenia źródła prądu, projektowanych linii, wyłączników, przyrządów mierniczych, maszyn i t.d. czyli ułożyć t.zw. schemat połączeń.

Schemat połączeń winien być możliwie prosty i ogólnie zrozumiały, z powyższych względów przy wykonywaniu go należy posługiwać się ogólnie przyjętymi symbolami graficznymi dla urządzeń elektrycznych i pamiętać o tem, żeby był on przejrzysty i łatwy do sprawdzenia, trzeba pamiętać by przewodniki przedstawiać linjami prostymi i łamać je tylko pod prostymi kątami, możliwie unikając krzyżowania, o symetrii w rozmieszczaniu poszczególnych przyrządów, o zachowaniu odpowiednich proporcji o wymiarach i t.d.

Symbole graficzne dla urządzeń elektrycznych podane są na Tabl. I, II i III.

Po wykonaniu połączeń, schemat należy uzupełnić NN. i znakami fabrycznymi przyrządów mierniczych, w razie zaś obecności przy zadaniu maszyn elektrycz

nych podać w całości treść ich tabliczek fabrycznych. Uzupełnienia powyższe umożliwiają późniejsze powtórzenie zadania w tych samych warunkach, ponowne sprawdzenie danych lub też przecechowanie pewnych wątpliwości co do jakości przyrządów mierniczych.

ZRÓDŁO PRĄDU.

W razie potrzeby prądów słabych /dziesiątych, setnych ampera/, pracujący w laboratorium używają poszczególne ogniwa wtórne /akumulatory systemu Edinon/ a dające napięcie około 1,5 V. w razie zapotrzebowania prądów silnych /do 40 Amperów/ bierzemy prąd z zacisków umieszczonych na specjalnych szafkach, znajdujących się w laboratorium.

Za pomocą przełączników, umieszczonych na tablicach rozdzielczych, do zacisków szafek można doprowadzić następujące rodzaje prądu.

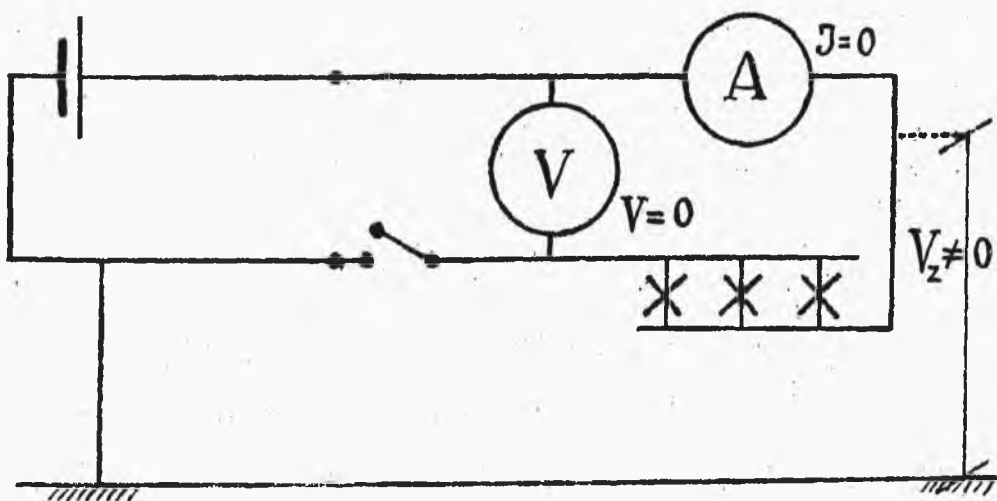
Do zacisków oznaczonych lit.A, prąd stały o napięciu 220 V; do zacisków lit.B. prąd stały o napięciu 110 V, do zacisków zaś 1, 2 i 3 umieszczonych na przeciwnej stronie szafki z zaciskami A i B prąd zmienny trójfazowy o napięciu międzyprzewodowem 220 i 120 V.

WYŁĄCZNIKI.

Wobec tego, iż poza zaciskami w szafkach umieszczone są już bezpieczniki, pracujący w Laboratorium zaczynają swe połączenia od wyłączników.

Tylko w wypadkach użycia jako źródła prądu ogniów, dostatecznie jest posługiwać się wyłącznikiem jednobiegunowym, gdyż przerywając obwód prądu przerywamy całkowicie jego działanie. -

W razie użycia zacisków na szafkach konieczne jest stosowanie wyłączników dwubiegunowych, gdyż wyłącznik jednobiegunowy pozostawia obwód zadania pod napięciem, jeśli przewody lub jeden z biegunów generatora są wypadkowo uziemnione. /rys.1/. -



rys.1.

PRZEJRZYSTOŚĆ UKŁADU I USTAWIENIE PRZYRZĄDÓW MIERNICZYCH.

Wykonywując dany układ połączeń należy ciągle pamiętać, aby możliwie był on przejrzysty i łatwy do każdorazowego sprawdzenia, gdyż w ten sposób można tylko uniknąć pomyłek, które czasem mogą pociągnąć za sobą zniszczenie przyrządów oraz poranienie pracujących ludzi.

W tym celu należy starać się unikać niepotrzebnego krzyżowania drutów, oraz wyodrębniać poszczególne obwody np. obwód główny prowadzić drutem grubszym, do obwodu bocznikowego użyć drutów cienkich. Włączanie jednego obwodu do drugiego winno być możliwie symetryczne, by z łatwością można było zawsze stwierdzić drogę przepływu prądu i poszczególnych rozgałęzień.

Wszystkie przyrządy miernicze winny być możliwie zwrócone w jedną stronę, przy czem najlepszym punktem obserwacyjnym winno być miejsce głównego wyłącznika. Włączający prąd winien mieć przed sobą działanie przyrządów mierniczych, aby - patrząc na ich wskazania - mógł szybkim wyłączeniem w razie możliwych złych połączeń, ocalić cały układ, lub poszczególne aparaty. To samo stosuje

się i do zapobiegania wypadkom w czasie biegu samego zadania. Dostęp do wszystkich wyłączników winien być łatwy.

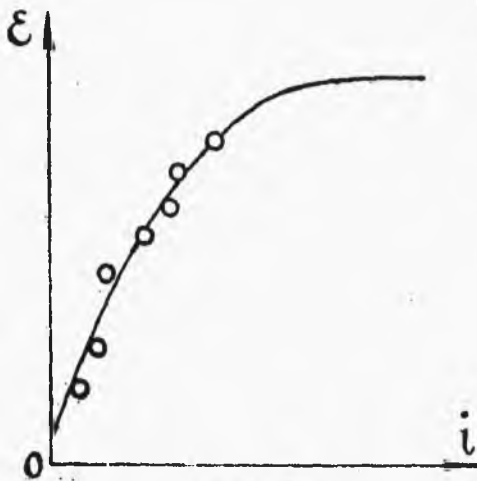
SPRAWDZENIE POŁĄCZEŃ.

Przed przystąpieniem do włączenia prądu koniecznym jest sprawdzenie dokonanych połączeń. Porównujemy połączenia te z wykonanym uprzednio schematem, następnie jednak nie zadawaliśmy się tem i - idąc wzdłuż obwodu - badamy wszystkie rozgałęzienia i uprzytomniając sobie oporności poszczególnych rozgałęzień /wielkości te naturalnie trzeba brać przypuszczalnie, nie przyjmując np. zupełnie pod uwagę oporu poszczególnych odcinków miedzianych przewodników, oporów amperometry i t.p./, zdajemy sobie sprawę z wartości prądów dla poszczególnych gałęzi. Następnie sprawdzamy, czy przyrządy miernicze prądy owe mogą wytrzymać, czy woltomierze odpowiadają napięciu sieci i t.p. Dopiero takie sprawdzenie daje możliwość rozpoczęcia zadania.

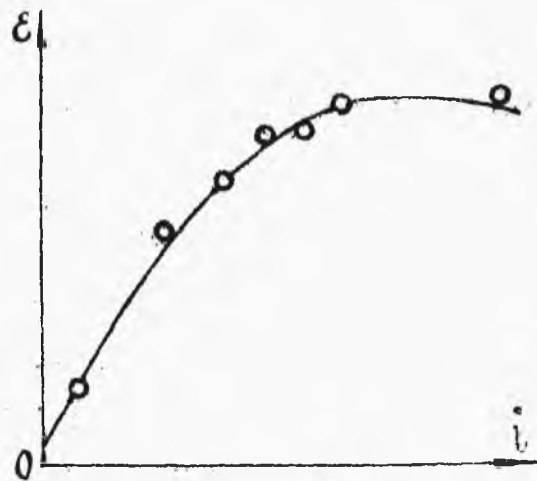
WYNIKI POMIARÓW.

Rezultaty liczbowe każdego zadania muszą być notowane w specjalnych tablicach i odzwierciedlane

w wykresach. W zależności od charakteru tych ostatnich konieczna jest większa lub mniejsza liczba pomiarów. O ile przebieg zjawisk danego zadania jest taki, iż wykres układa się w linię prostą /np. zależność siły elektromotorycznej prądnicy bezcznikowej od szybkości obrotów/ wystarczy para pomiarów sprawdzających, czy charakter krzywej w ten, czy w innym miejscu nie ztraca się; w razie wykresu bardziej skomplikowanego ilość pomiarów należy zwiększyć, przy czem ważnem jest ustalić kształt krzywej w miejscach jej wygięć. Rys. 2 i 3 wskazują, iż wielka ilość pomiarów chyba czasami celu i nie



rys. 2.



rys. 3.

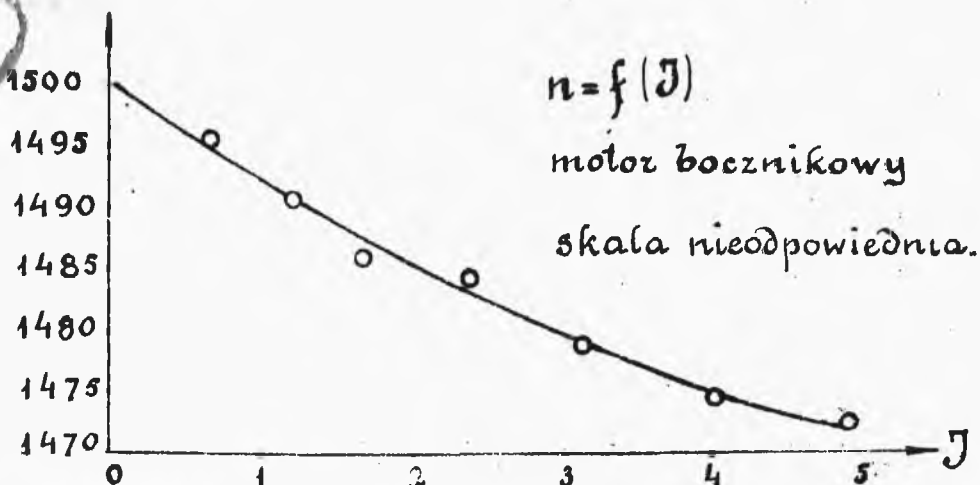
wyjaśnia nam charakteru zjawiska, podczas gdy niewielka ilość pomiarów, umiejętnie zastosowanych, w zupełności odpowiada celowi pracy.

Zwykle wystarcza około 8 - 10 umiejętnie dobranych punktów, by wyjaśnić sobie całkowicie charakter zjawiska.

Trzeba pamiętać, iż wyniki pomiarów dają poszczególne punkty, krzywa zaś winna wykazać charakter przebiegu zjawiska, nie należy więc jej przeprowadzać przez poszczególne punkta, lecz wypośredkować; odchylenie punktów od krzywej będą wykazywały dokładność wykonania pomiarów

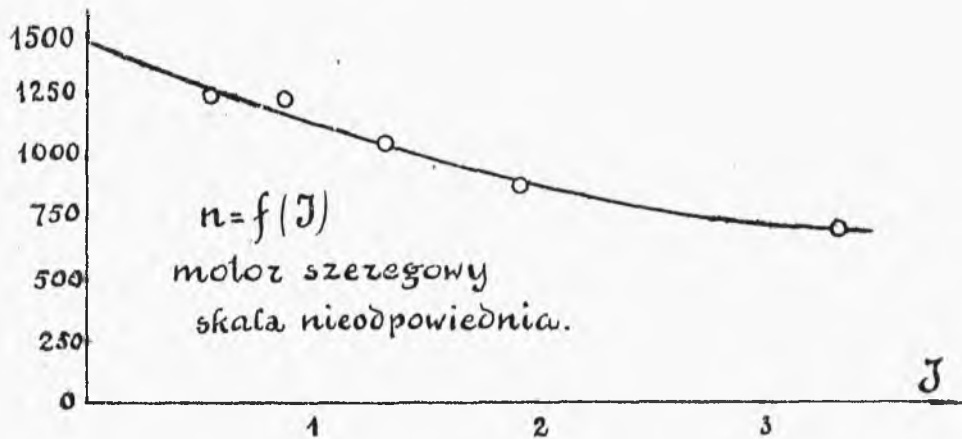
Wykonywując wykresy trzeba również pamiętać o odpowiedniej skali, gdyż nieumiejętnie dobierając skalę stracimy pojęcie o charakterze zjawiska.

Rys.4 i 5 wskazuje nam, jak dzięki nieumiejętnie dobranej skali można otrzymać wrażenie, iż szybkość silnika bocznikowego prądu stałego spada przy wzroś



rys.4.

cie obniżenia prawie do 0, szybkość zaś silnika szeregowego prawie się utrzymuje na swoim poziomie.



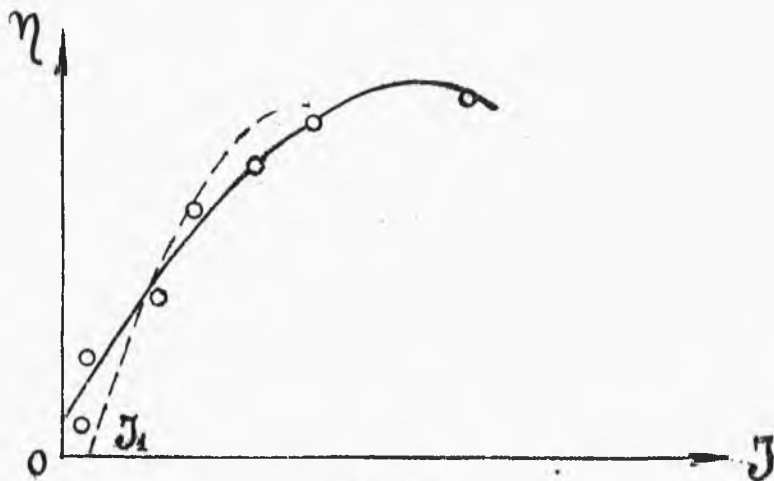
rys. 5.

Wykonanie podobnych wykresów, świadczy o zupełnym niezrozumieniu istoty zadania przez pracującego.

Ważnym miejscem dla większości krzywych jest miejsce około punktu zerowego. Przebieg krzywej koło tego miejsca zwykle może być ustalony teoretycznie i z tego względu badając naszą krzywą koło punktu 0, bardzo często możemy wywnioskować o jakości całego doświadczenia.

Przebieg krzywej koło punktu 0 daje nam również w wielu wypadkach możliwość wydania opinii o badanym przedmiocie.

Dla przykładu podajemy tu krzywą $\eta = f(J)$ /krzywa współczynnika wydajności w zależności od prądu/ /rys.6/, dla danego motoru wykres ten odrazu nasuwa wątpliwości co do wykonania zadania, gdyż krzywa $\eta = f(J)$ teoretycznie przechodzi przez 0 przy pewnym prądzie $J > 0$, gdyż silnik rusza z miejsca li tylko wtedy, gdy prąd przewyższa wielkość potrzebną

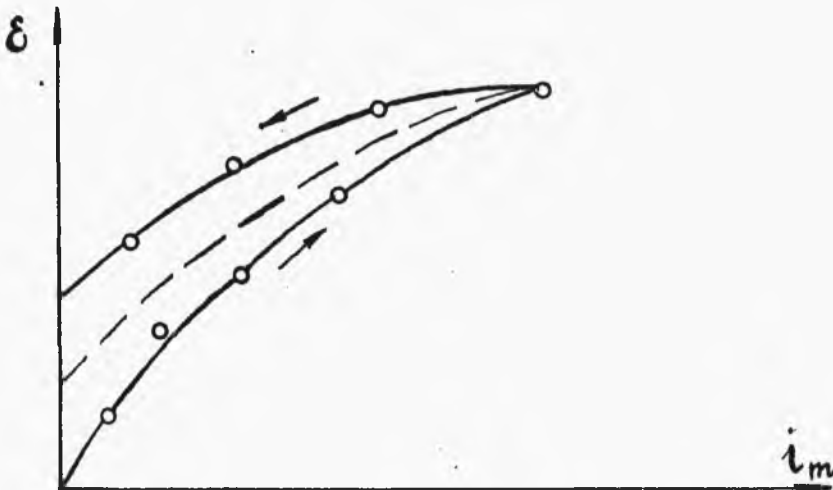


rys.6.

do pokonania oporu tarcia w łożyskach motoru, strat przy rozruchu i t.p. Jeżelibyśmy nawet te straty pominęli, to w każdym razie nie może być $\eta > 0$ w chwili gdy $J = 0$, czyli, że pomiary na podstawie których została wykreślona krzywa na rys.6, muszą być odrzucone jako mylne.

Jako drugi przykład mamy krzywą namagnesowywania przedstawioną na rys. 6^a o prawidłowym przebiegu

której można z łatwością sądzić po przechodzeniu gałęzi koło punktu zerowego.



rys. 6^a

BŁĘDY POMIARÓW.

Przy wszelkich pomiarach należy zdawać sobie sprawę z tego, jak wielki jest błąd, który popełniamy przy pomiarze, wykonanie bowiem pomiaru z zupełną dokładnością jest niemożliwe.

Jeżeli wartość rzeczywistą pewnej wielkości oznaczmy przez A , a wartość otrzymaną z pomiaru przez A_1 , wtedy różnica $A - A_1 = x$ stanowi błąd bezwzględny pomiaru,

liczba zaś

$$\frac{x}{A} = y$$

stanowi błąd względny. Nas interesuje zwykle, jako mający znaczenie praktyczne, błąd względny. Błąd

względny wyraża się w % .

Jeżeli wielkość A otrzymuje się jako funkcja całego szeregu innych wielkości mierzonych bezpośrednio, t. j. gdy mamy

$$A = f(u, v, z, \dots)$$

to błąd popełniony przy wyznaczaniu wielkości A wynika z całego szeregu błędów popełnianych przy mierzeniu wartości: u, v, z, \dots

Oznaczając błędy w pomiarze poszczególnych wielkości przez $\Delta A, \Delta u, \Delta v, \dots$ będziemy mieli:

$$\Delta A = f[(u + \Delta u)(v + \Delta v)(z + \Delta z)] - f(u, v, z)$$

ponieważ błędy są zwykle niewielkie, możemy wyraz ΔA uważać za różniczkę i napisać:

$$dA = \frac{\partial f(u, v, z)}{\partial u} du + \frac{\partial f(u, v, z)}{\partial v} dv + \frac{\partial f(u, v, z)}{\partial z} dz$$

Błąd względny będzie zatem:

$$\frac{\Delta A}{A}$$

Założmy teraz dla przykładu, że funkcja f ma postać następującą:

$$A = u^m \cdot v^n \cdot z^k$$

wtedy

$$\frac{dA}{A} = m \frac{du}{u} + n \frac{dv}{v} + k \frac{dz}{z} + \dots$$

widzimy więc, że wielkości wchodzące do wzoru /wyrażenia/ wielkości A w potęgach wyższych winny być mierzone z większą dokładnością od wielkości wchodzącej np. do wzoru pod pierwiastkiem.

Niech teraz f ma postać inną, a mianowicie:

$$A = u + v + z + \dots$$

wtedy

$$\frac{dA}{A} = \frac{\partial u + \partial v + \partial z + \dots}{u + v + z + \dots}$$

Jeżeli znaki błędów są zgóry niewiadome, to dla obliczenia największego możliwego błędu, należy przyjąć dla wszystkich błędów znaki jednakowe.

Błędy popełniane przy wykonywaniu zadań są 2 rodzajów, a mianowicie błędy systematyczne i błędy przypadkowe.

Błędy systematyczne są to takie błędy, które wynikają z jakichkolwiek stałych niedokładności w samym przyrządzie mierniczym, albo też powstają pod działaniem czynników zewnętrznych, wpływających na wskazania przyrządów.

Dla usunięcia błędów systematycznych, niezbędna jest rzeczą wykryć ich przyczynę. Uskuteczyć to można rozmaicie, np. jeżeli przyczyna tkwi w złym

wzorcowaniu przyrządu, to wykryć to łatwo, porównując ten przyrząd z innym przyrządem, dokładniejszym. Niektórych błędów systematycznych można uniknąć zupełnie, usuwając wpływ czynnika, który je wywołuje.

Błędy przypadkowe są to takie, które wynikają głównie z powodu niedoskonałości wzroku, słuchu i uwagi ludzkiej, a nadto także pod działaniem czynników zmiennych, wywołujących niedokładność wskazań przyrządów i zmieniających się w ten sposób, że trudno dostrzec w tych zmianach jakkolwiek wyraźną prawidłowość.

Błędów przypadkowych usunąć niepodobna. Można je tylko zmniejszyć przez skupienie uwagi i zastosowanie urządzeń pomocniczych dla zwiększenia dokładności wskazań.

Dla zmniejszenia wpływu błędów przypadkowych należy:

1. dokonywać pomiaru po ustaleniu się systemu, gdyż trzeba pamiętać, że nawet najczulsze przyrządy mają swój bezwład, który wpływa na wartość pomiaru - błąd pochodzący od zbyt śpiesznych odczytywań przyrządów mierniczych występuje w całej pełni, gdy dany szereg pomiarów robimy zwiększając lub zmniejszając zmienną wielkość w zadaniu, dla tej samej

wartości zmiennej otrzymujemy dwa zupełnie różne rezultaty dla poszukiwanej wielkości, aczkolwiek wiemy, iż funkcja ma tylko jedno znaczenie.

2. Przy odczytywaniu wskazań przyrządów wskazówkowych należy uważać, by kierunek od oka do wskazówki był prostopadły do powierzchni skali: jeżeli zaś pod wskazówką znajduje się lustro, to przy odczytywaniu położenia wskazówki na skali, ta ostatnia powinna pokrywać swój obraz w lustrze.

3. Wogóle przy pomiarach dążyć należy do otrzymania jaknajwiększego odchylenia każdego przyrządu mierniczego, a to dlatego, iż błąd względny jest odwrotnie proporcjonalny do wartości bezwzględnej odczytanego wskazania. Wyjątek stanowią tylko wskazania odczytywane na skali prostej, stosowanej przy przyrządach ze zwierciadłem. W tym wypadku, zamiast wielkości kąta, na który odchyła się lustro przyrządu, odczytujemy wartość jego tang., możliwe więc to jest tylko przy bardzo niewielkich kątach.

4. Powtórzyć dany pomiar większą ilość razy. W praktyce, przy pomiarach niezbyt dokładnych, powtarzamy pomiar trzy albo pięć razy, przy pomiarach zaś bardziej dokładnych - 10 razy i więcej. Średnia arytmetyczna ze wszystkich wyników takich pomiarów

wyraża wartość najprawdopodobniejszą mierzonej wartości.

Do powyższych kwestji wracać będziemy jeszcze niejednokrotnie przy rozważaniu poszczególnych zadań.

ROZDZIAŁ I.

CECHOWANIE PRZYRZĄDÓW.

Jednym z ważnych zadań elektrotechniki jest utrzymanie w porządku przyrządów mierniczych i świadomość, z jaką dokładnością dany przyrząd wskazuje. Jak wiadomo, każdy przyrząd mierniczy nie jest idealny i wskazuje z pewną dokładnością, przy czem najprecyzyjniejsze i najbardziej solidnie wykonane przyrządy z biegiem czasu dają odchylenia od swoich pierwotnych wskazań. Z tego względu każdy przyrząd mierniczy winien być co pewien czas cechowany na nowo, a rezultaty tego cechowania, ułożone w odpowiednie tablice oraz krzywe, dołączone do przyrządu. -

W praktyce, gdy chodzi o przyrządy pomiarowe techniczne, przy używaniu których są dopuszczalne błędy paroprocentowe, cechowanie przyrządów

mierniczych odbywa się za pomocą porównywania ich ze specjalnie używanymi do tego celu dokładnymi przyrządami mierniczymi np. amperomierzami i voltomierzami systemu Deprez d'Arsonvala, ze zwierciadlaną skalą. Wskazania pomienionych przyrządów można odczytywać przy większych odchyleniach z dokładnością do dziesiątych części % .

Przyrządy powyższe dla zachowania w dobrym stanie nie powinny być używane do codziennych pomiarów, lecz specjalnie przechowywane, ochraniane od kurzu, wstrząśnień, nagłych zmian temperatury, działań silnych pól magnetycznych i t.p.

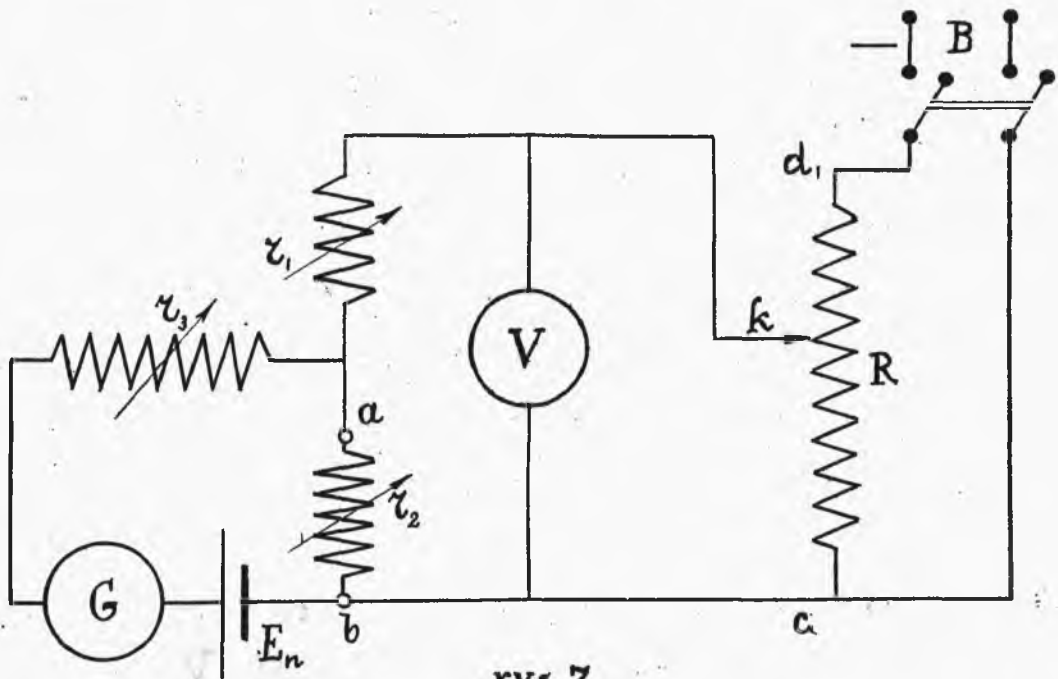
Jednak i te przyrządy winny podlegać sprawdzeniu - przez porównanie z laboratoryjnie wykonanymi wzorcami elektrotechnicznymi - należy je odpowiednio przechowywać. W Laboratorium Warsz. Elektrotechniki Ogólnej jako wzorcu elektrotechnicznego będziemy używać normalnego ogniwa Westona o napięciu 1,0183 Voltów.

§ 1. Cechowanie woltomierza metodą kompensacyjną.

Jako przykład cechowania laboratoryjnego rozpatrzmy cechowanie woltomierza syst. Deprez d'Arson-

wała o skali 0 - 120 V., za pomocą sposobu kompensacyjnego, porównyując napięcie otrzymywane na voltomierzu z napięciem normalnego ogniwa Westona.

Zasada sposobu kompensacyjnego polega na dobraniu takim oporów \mathcal{Z}_1 i \mathcal{Z}_2 w układzie wskazanym na rys.7, by prąd równał się 0 w tym odgałęzieniu, gdzie znajduje się wiadoma siła elektromotoryczna E_n /w naszym wypadku równa, jak podano wyżej, 1,0183 V./-. Dla przekonania się o tem służy galwanometr G . Zależność V od E_n znajdujemy w sposób następujący. Oznaczmy prądy płynące przez opory $\mathcal{Z}_1, \mathcal{Z}_2, \mathcal{Z}_3$ odpowiednio przez i_1, i_2 i i_3 , wów-



czas z drugiego prawa Kirchoffa dla obwodu aE_nb otrzymamy:

$$E_n = i_2 z_2 - i_3 z_3$$

wobec $i_3 = 0$

$$E_n = i_2 z_2 \quad /1/$$

Dla obwodu $abck$ równocześnie będziemy mieli:

$$V = i_1 z_1 + i_2 z_2$$

wobec $i_3 = 0$, $i_1 = i_2$, zatem

$$V = i_2 (z_1 + z_2) \quad /2/$$

z równań /1/ i /2/ otrzymamy:

$$V = E_n \frac{z_1 + z_2}{z_2}$$

Znając E_n można określić V , a więc tem samym zobaczyć, z jaką dokładnością voltomierz V daje swe wskazania.

Jako źródło prądu o napięciu V weźmiemy zaciski B szafki czyli prąd o napięciu 110 V., dla tego zaś by otrzymać wskazania dla kilku punktów, będziemy zmieniać napięcie za pomocą t.zw. potencjonometrycznego połączenia.

Opór R włączamy na całe napięcie sieci, przesuwając zaś kontakt K możemy wielkość V zmieniać

dowolnie od zera do napięcia istniejącego na zaciskach źródła prądu.

Opór R winien być dobrany tak, by prąd płynący po nim, a równy, jak wiadomo, iloczynowi napięcia sieci przez ilość omów opornika, nie uszkodził nam tego przyrządu. Zwykle na oporniku oprócz ilości omów wskazany jest również największy prąd, który może płynąć bez szkody dla opornika.

W zadaniu niniejszem dla zwiększenia ścisłości pomiaru jako oporu \mathcal{Z}_1 i \mathcal{Z}_2 /rys.7/ użyte są skrzynki oporowe, które jednak nie przenoszą prądów silniejszych od dziesięciotysięcznych części ampera. Wobec napięcia w sieci równego 110 volt, opory skrzynek winny być w porządku setek tysięcy omów i przy pomiarze możemy wsuwać wtyczki, zmniejszające ogólną sumę oporu $\mathcal{Z}_1 + \mathcal{Z}_2$ poniżej 100.000 omów. jedynie przy zmniejszeniu napięcia do 50 V.

Dla bezpiecznego rozładowania bardzo cząłego ogniwa wzorcowego, umieszcza się szeregowo z nim opór 100.000 omów, i przy tym oporze początkowo ustawia się opory \mathcal{Z}_1 i \mathcal{Z}_2 , i dopiero przy braku prądu w odgałęzieniu z ogniwem, zmniejsza się opór \mathcal{Z}_2 , co naturalnie powoduje nową potrzebę doboru oporów \mathcal{Z}_1 i \mathcal{Z}_2 dla zniknięcia prądu w odgałęzieniu. Operacja ta powtarza się do chwili zupełne-

go usunięcia ζ_3 .

Po skompensowaniu systemu przy jednym położeniu potencjometru /rys.7/, t.j. przy jednym wskazaniu skali woltomierza, należy kompensację powtórzyć dla drugiego położenia, by mieć przecechowanie uskutecznione dla 6-8 punktów skali.

Jak w każdej metodzie zerowej /t.j. takiej w którym przyrząd mierniczy nie powinien dawać odchyień/, należy pamiętać o tem, że zatrzymanie się wskazówki galwanometru na 0, może być rezultatem ubocznych wpływów: zbyt małej czułości przyrządu, zatarcia się wskazówek i t.p. Wobec tego wielkości oporów ζ_1 i ζ_2 należy zmieniać tak /praktycznie oczywiście zmienia się tylko jeden opór np. ζ_2 , pozostawiając ζ_1 podczas całego pomiaru stałe/, by galwanometr dawał wyraźne, możliwie jednakowe wychylenie w prawą i lewą stronę. Dla każdego z tych pomiarów obliczamy odpowiednie V_1 i V_2 .

Najprawdopodobniejsza wartość V będzie się równać

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

wielkość zaś błędu $\Delta V = \pm \frac{V_1 - V_2}{2}$

Błąd względny /czułość pomiaru/ wyrażony w % określamy ze wzoru:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} \cdot 100 \%$$

Pomiarów przy $\zeta_3 \neq 0$ nie notujemy.

Dla początkowego dobrania oporów należy pamiętać, że prąd i_3 nie będzie płynął, o ile rozkład potencjałów wzdłuż oporów ζ_1 i ζ_2 będzie taki, iż

$$V_b - V_a = E_n$$

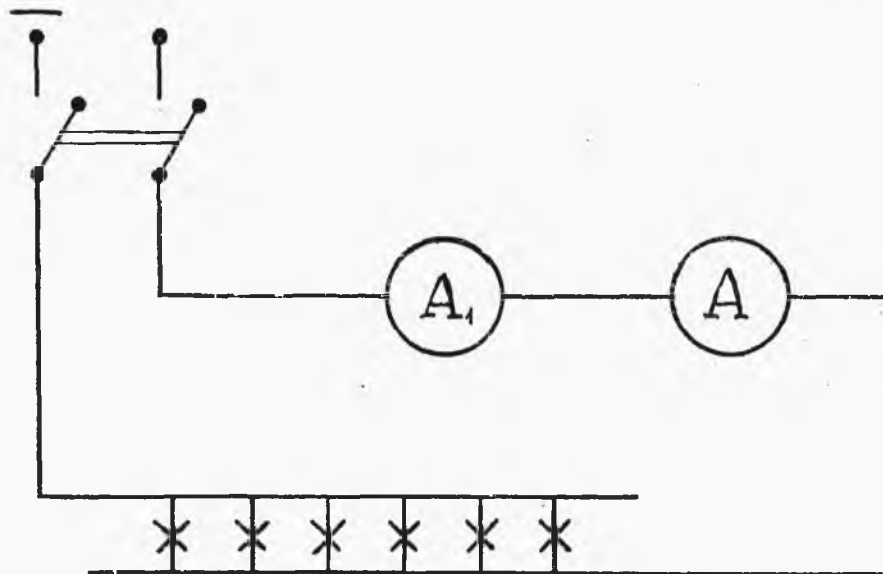
gdzie przez V_a i V_b są oznaczone potencjały w punktach a i b , t.j. napięcie pomiędzy punktami a i b powinno równoważyć się siłą elektromotoryczną E_n .

Przy operowaniu pudełkami oporowymi konieczne jest zwrócenie uwagi na dobry kontakt wtyczek, gdyż często bywa to przyczyną znacznych omyłek w odczytach. Należy koniecznie sprawdzać co pewien czas, czy wyjęcie jednej wtyczki lub też paru, dających przy wyjmowaniu ten sam opór, wywołuje ten sam efekt, jeśli jest inaczej, ćwiczenia trzeba powtórzyć i przejrzeć położenia wszystkich wtyczek w pudełkach.

§ 2. CECHOWANIE TECHNICZNE AMPEROMIERZA ELEKTRO- -MAGNETYCZNEGO.

Cechowanie techniczne amperomierza odbywa się przez porównywanie jego wskazań z dokładnym amperomierzem syst. Deprez d'Arsonvala ze skalą zwierciadlaną.

Cechowanie na prąd stały dokonujemy bezpośrednio, włączając te dwa pomienione przyrządy do jednego obwodu /patrz rys.8/, przy czym wobec tego, iż opory amperomierzy są bardzo małe, nie możemy ich nigdy włączać samych do obwodu, ale musimy koniecznie dać jeszcze szeregowo jakiś opornik, któryby



rys.8.

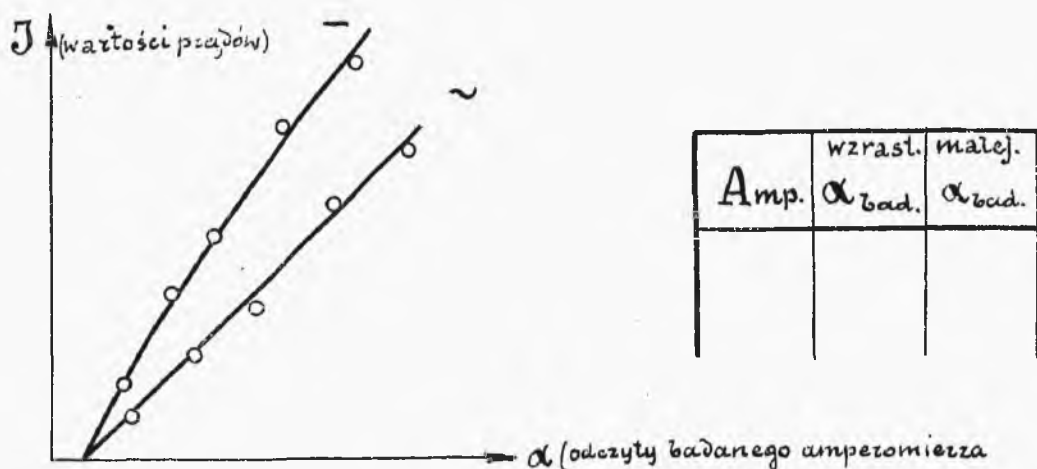
zmniejszył prąd do wartości, dopuszczalnej dla amperomierzy. Jeżeli cechowane amperomierze są 10 Amp. oporniki muszą być większe od 10 omów w razie korzystania z 110 V. prądu i dwudziestu omów, przy stosowaniu prądu o napięciu 220 V. opornik musi być zmienny i sam wytrzymywać odpowiedni prąd. W tym celu weźmiemy bądź opornik lampowy /lampy włączone są równolegle, zwiększając liczbę lampek dajemy prądowi większą ilość dróg, i tem samym zmniejszamy ogólny opór obwodu/, bądź też opornik wodny.

Cechowanie należy koniecznie przeprowadzić przy zwiększającym i zmniejszającym się prądzie, o ile wskazania zbyt mocno odbiegają od siebie prace należy powtórzyć.

Niewielkie różnice dają się wytłomaczyć histerezą magnetyczną przyrządów.

Wyniki pomiarów ujmujemy w tabliczkę i przedstawiamy w formie krzywej, którą wypośrodkujemy ze wszystkich pomiarów /rys. 9/.

Wobec tego, że przyrząd Deprez d'Arsenvala

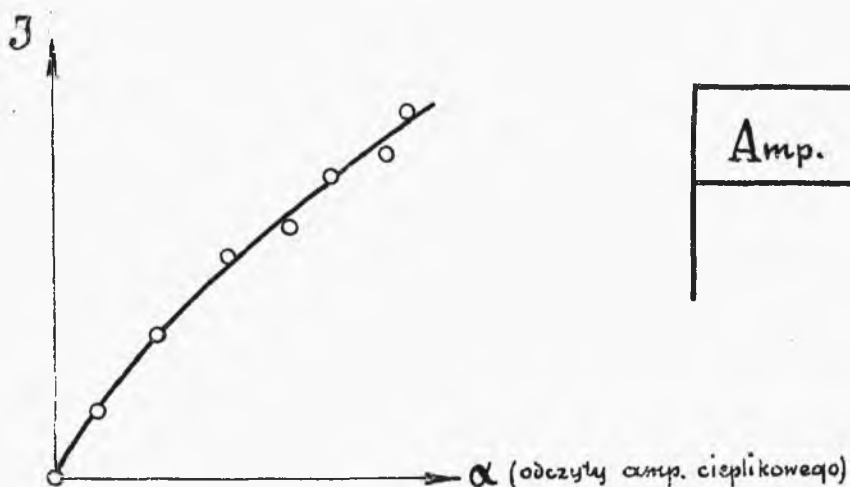


rys. 9.

nie działa przy prądzie zmiennym, dla wycechowania naszego amperomierza na prąd zmienny musimy uciec się do jakiegoś pośredniego przyrządu, który mógłby być przecechowany na prąd stały z amperomierzem dokładnym, a następnie służyć dla wycechowania naszego amperomierza elektromagnetycznego na prąd zmienny.

Jako taki przyrząd wybieramy amperomierz ciepłikowy, który daje jednakowe wychylenie przy prądzie stałym i zmiennym.

Cechujemy więc amperomierz ciepłikowy prądem stałym za pomocą amperomierza precyzyjnego, tak jak dopiero co cechowaliśmy amperomierz badany, i rezultaty pomiarów znowu przedstawiamy w odpowiedniej tabliczce i rysujemy w formie krzywej /rys.10/.



rys.10.

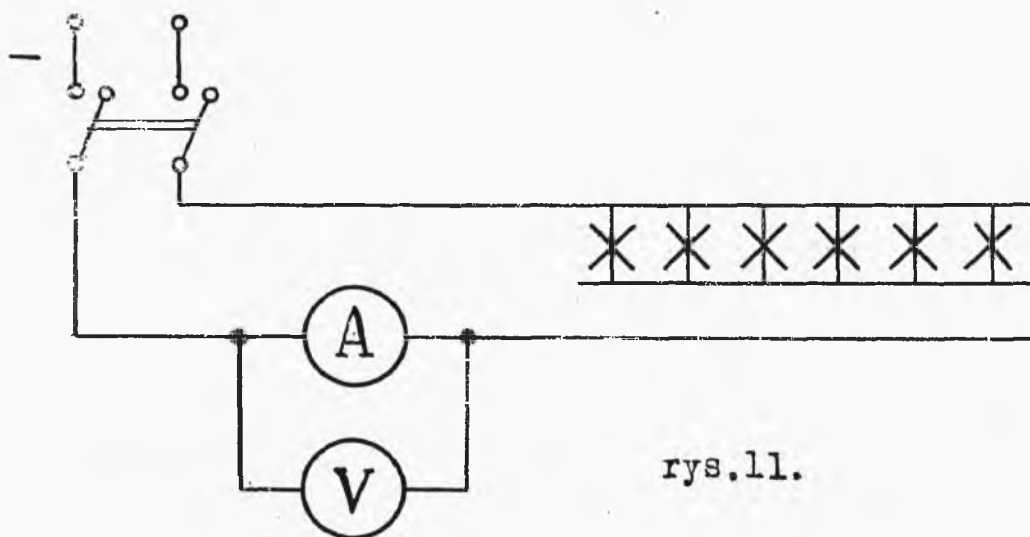
Następnie porównujemy amperomierz ciepłkowy z amperomierzem badanym przy prądzie zmiennym, przy czym wskazanie amperomierza ciepłkowego korygujemy na zasadzie otrzymanej krzywej 10. Rezultaty zestawione pozwolą zbudować krzywą /rys.9/.

$\alpha_{\text{bad.}}$	$\alpha_{\text{ciepl.}}$	Amp.

Na zakończenie zadania określamy opór amperomierza. Opór ten potrzebny jest nam np. dla wykonania bocznika dla amperomierza, gdy chodzi o mierzenie prądów większych niż te, na które dany amperomierz jest zbudowany, następnie do określenia błędu przy mierzeniu oporu za pośrednictwem amperomierza i woltomierza.

Opór amperomierza zmierzemy sposobem technicznym czyli "amperomierza i voltomierza", stosując dla pomiaru prądu sam badany amperomierz, wprowadzając tylko do jego wskazań odpowiednią poprawkę na mocy krzywych, które uprzednio otrzymaliśmy. Pamiętając o tem że opór amperomierza jest bardzo nieznaczący i że nawet przy prądzie 5 - 10 Amperów spadek napięcia będzie zaledwie parę volt, musimy wziąć do pomiaru odpowiedni voltomierz.

Połączenie do pomiaru oporu podane jest na rys.11.



rys.11.

Dla otrzymania lepszych rezultatów, robimy parę pomiarów i bierzemy średnią arytmetyczną odczytanych wielkości.

§ 3. WZORCOWANIE TECHNICZNE VOLTOMIERZA.

Wzorcowanie techniczne voltomierza elektromagnetycznego robimy tak, jak wzorcowanie techniczne amperomierzy, przez porównanie danego voltomierza z voltomierzem Deprez d'Arsonvala. Dla zmiany napięć stosujemy jak i w § 1 połączenie potencjometryczne. Dla przejścia na prąd zmienny używamy i tu przyrządu mierniczego cieplikowego, wychylenia którego są jednakowe przy prądzie stałym, i zmiennym.

Dane pomiarów układa się w trzy tabliczki i ujmuje w formę krzywych:

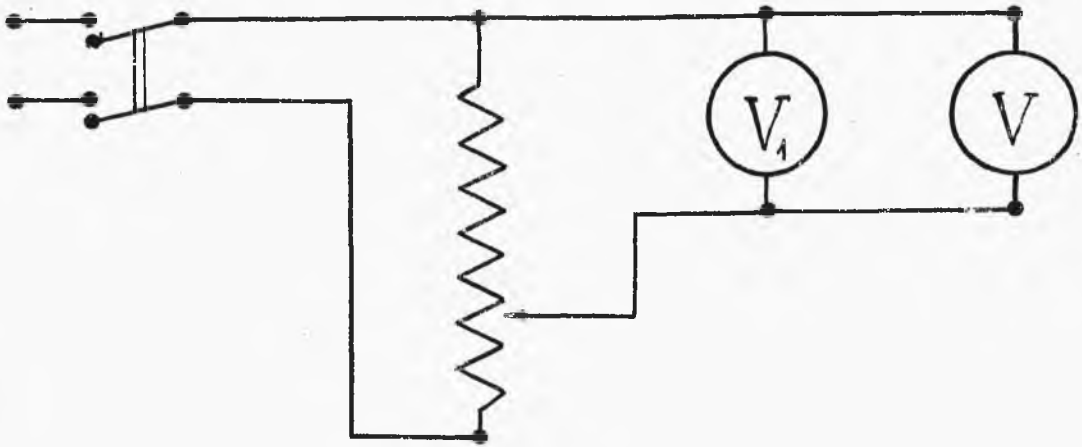
$\alpha_{elm.}$	Volty

$\alpha_{ciepl.}$	Volty

$\alpha_{elm.}$	$\alpha_{ciepl.}$	Volty

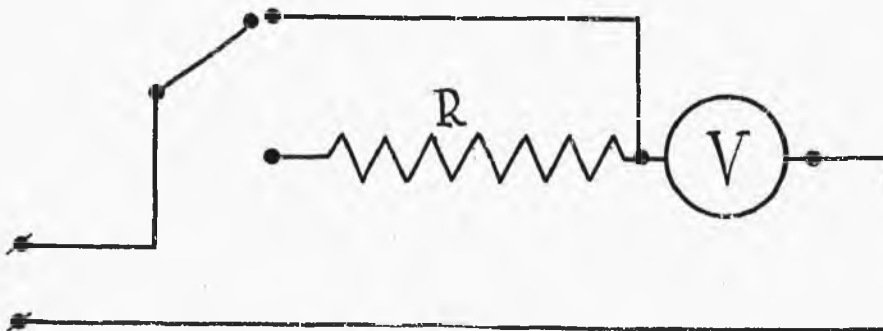
Pomiary należy uskuteczniać przy zwiększającym i zmniejszającym się napięciu. Układ połączeń podany jest na rys.12.

Pomiar oporu voltomierza, potrzebny ze względów wskazanych w końcu § 2, oraz dla obliczeń oporów dodatkowych voltomierza, pozwalających na mierzenie napięć wyższych niż te, na które dany voltomierz jest przeznaczony, uskutecznia się w sposób następujący. Do obwodu włączamy szeregowo z voltomierzem



rys. 12.

znany opór R /rys.13/, następnie wyłączamy go i za-
łączamy voltomierz bezpośrednio do źródła prądu.



rys. 13.

Oznaczając przez α_1 i α_2 wychylenia, proporcjo-
nalne do przechodzących przez voltomierz prądów bę-
dziemy mieli:

$$i_1 = \alpha_1 \cdot \text{const.} = \frac{V}{X+R}$$

$$i_2 = \alpha_2 \cdot \text{const.} = \frac{V}{X}$$

gdzie V na zaciskach potencjometru, X - niezna-
ny opór voltomierza. Rozwiązując te równania
otrzymamy:

$$X = R \cdot \frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1}$$

Dla osiągnięcia rezultatów dokładniejszych,
określamy X albo dla paru oporów R , albo też
pomiar dla jednego i tego samego oporu R paro-
krotnie powtarzamy, włączając go lub też wyłączając
z obwodu. Z otrzymanych wyników bierzemy śred-
nią arytmetyczną.

§ 4. CECHOWANIE WATOMIERZA.

W watomierzu, jak wiadomo, istnieją dwie nie-
zależne od siebie cewki, które noszą nazwy natę-
żeniowa i napięciowa. Przy wzorcowaniu watomierzy
włączamy obydwie cewki w dwa zupełnie niezależne
od siebie obwody i mierzymy w ten sposób moc pew-
nego idealnego prądu, którego wielkość jest rów-
na prądowi, przepływającemu przez cewkę natężenio-
wą przy napięciu takim, jak na zaciskach cewki
napięciowej. Używając sposobu dwu niezależnych
obwodów unikamy błędu systematycznego /a temsamem
robienia odpowiednich poprawek/. W wypadku mierze-

nia watomierzem jednego tylko obwodu musimy przyjąć pod uwagę moc pobieraną w cewce bądź natężeniowej bądź napięciowej, w zależności od sposobu przyłączenia tej ostatniej do obwodu, albowiem możemy ją włączyć przed lub poza cewką natężeniową /np. przy włączeniu za cewką natężeniową prąd w tej cewce będzie powiększony o natężenie prądu płynącego w cewce napięciowej/. Odróżnienie zacisków każdej z cewek nie przedstawia trudności, gdyż zaciski cewki natężeniowej, przeznaczonej do przepuszczania znacznych prądów - są duże zaciski cewki napięciowej, przeznaczone do prądów bardzo nieznacznych są małe. -

Watomierz cechujemy w zależności li tylko od prądu, gdyż w technice przyjmujemy zwykle napięcie stałe i odpowiadające wielkościom na które są zbudowane watomierze, prąd zaś zmienia się w zależności od wielkości i ilości odbiorników. Chcąc więc zmienić moc idealnego prądu, dla wyżej wskazanych względów, napięcie pozostawiamy stałe, zmieniamy jedynie prąd, sposobem stosowanym przy cechowaniu amperomierza. Oczywiście, pragnąc uniknąć wpływu różnicy faz cechujemy watomierz prądem stałym. Dane otrzymane układamy w tabliczkę:

V	J	V.J	W
---	---	-----	---

gdzie VJ i W wskazania watomierza, amperomierza i watomierza.

Zależność
$$W = f(V, J)$$

przedstawiamy w formie krzywej.

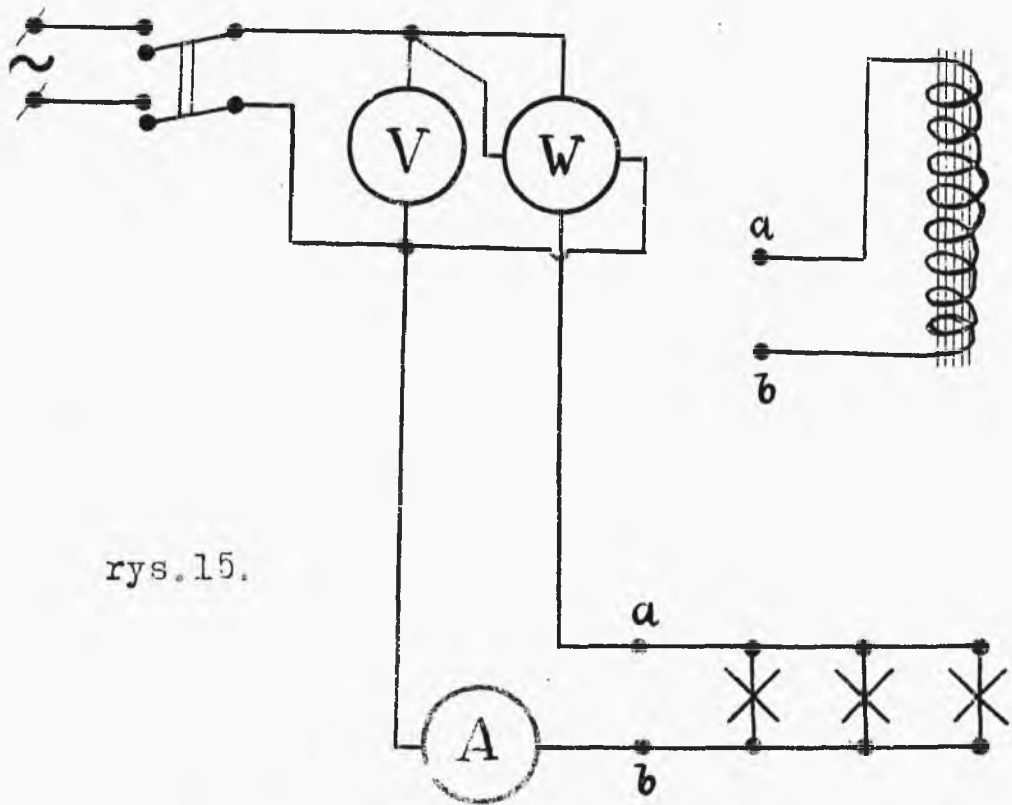
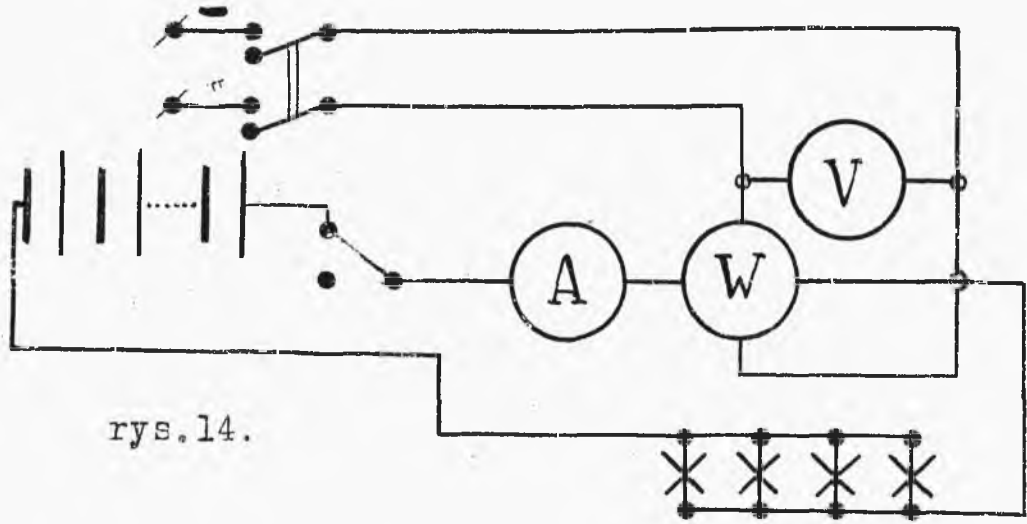
Następnie, załączając watomierz na prąd zmienny, stosujemy jako odbiornik początkowo lampy, następnie zaś dławik. Określamy jednocześnie $\cos \varphi$ w obydwu wypadkach, przy czym bierzemy wskazania watomierza z odpowiednią poprawką, zrobioną na podstawie uprzednio otrzymanej krzywej. $\cos \varphi$ obliczamy ze wzoru:

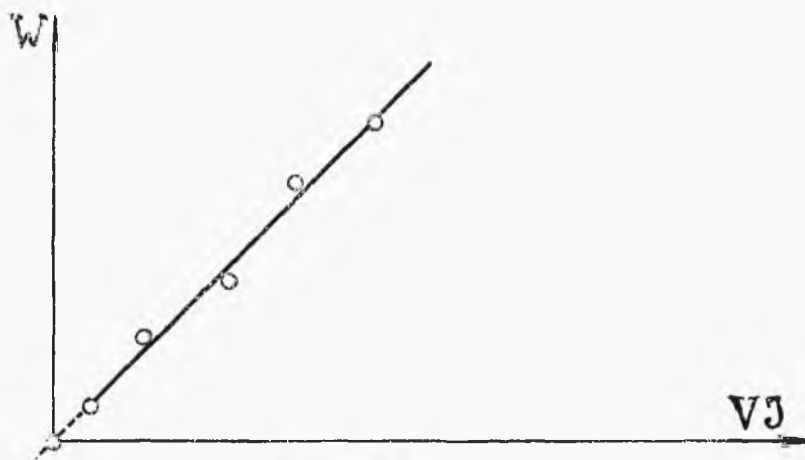
$$\cos \varphi = \frac{W'}{VJ}$$

Pomiar $\cos \varphi$ instalacji lampowej, który uskuteczniamy dla całego szeregu zmiennej ilości lamp, jest jednocześnie wskaźnikiem dokładności cechowania watomierza, gdyż lampy, jako odbiornik bezindukcyjny, posiadają $\cos \varphi = 1$

O ile błąd nie przekracza 1 - 2 % przechodzimy do pomiaru $\cos \varphi$ dławika. O ile różnice pomiędzy $\cos \varphi$ teoretycznym i otrzymanym z pomiaru są znaczne, cechowanie watomierza należy powtórzyć.

Na rys.14 i 15 przedstawione są odpowiednie schematy połączeń. Na rys.16 krzywa otrzymana z po-





rys.16.

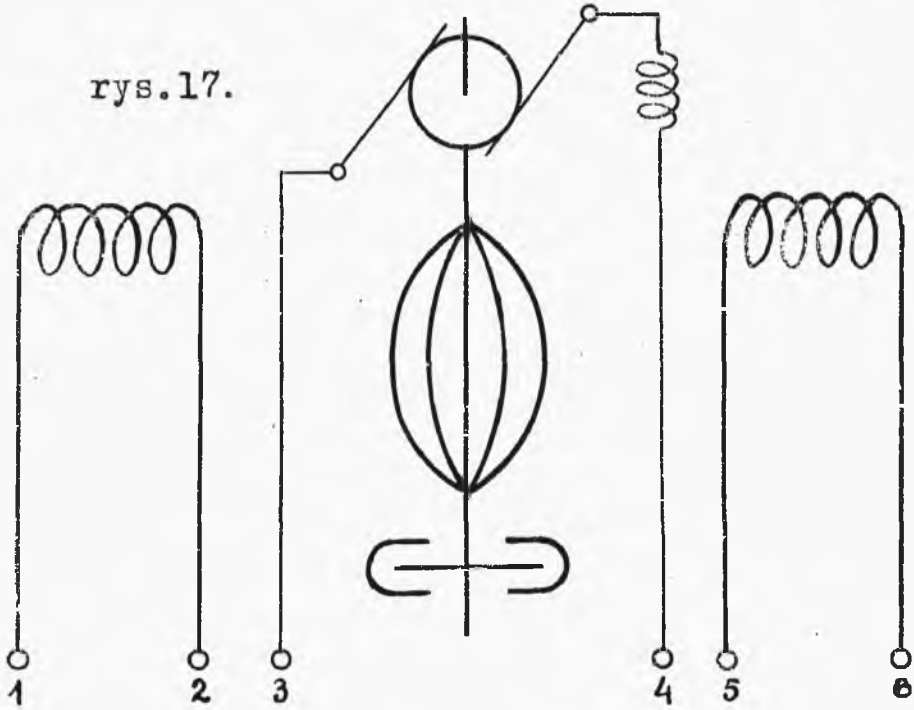
miaru.

§ 5. BADANIE LICZNIKA PRĄDU STAŁEGO.

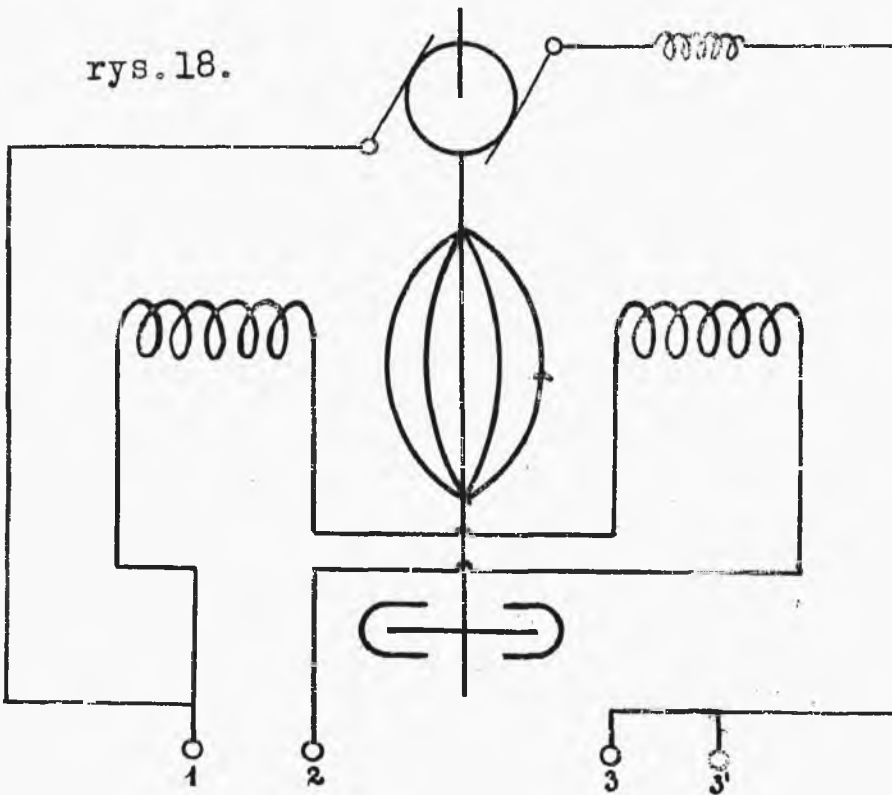
Przy badaniu licznika ustalamy w procentach błąd licznika i zależność tego błędu od wielkości prądu. Napięcie utrzymujemy cały czas stałe. Następnie po otrzymaniu tej krzywej, badamy licznik na czułość, czyli ustalamy wielkość prądu, przy której licznik zaczyna się obracać.

Każdy licznik prądu stałego mierzący kilowatogodziny ma zasadniczo 4 zaciski do włączania w obwód natężeniowy i 2 zaciski do włączania w obwód napięciowy /rys.17/. Zaciski te w praktyce kejarzą się ze sobą w różny sposób, jak to wskazane na rys.18.

rys.17.



rys.18.



Stałą licznika C czyli ilość obrotów przyrzędu dającą na cyferblacie jednostkę energii znajdujemy zwykle na tabliczce fabrycznej licznika; stosuje się ona do 1 kWh. Bardzo często zamiast wielkości C jest podawana wielkość $\frac{1}{C}$

Gdyby tego nie było, stałą licznika moglibyśmy otrzymać w ten sposób, iż licznik nie przyłączony do sieci kręcilibyśmy ręką, licząc jego obroty w czasie, kiedy wskazówka cyferblatu przesunie się o jedną działkę.

By dokonać pomiaru wielkości błędu włączamy licznik w sieć i obciążamy go np. lampami. Zakładamy pewne obciążenie, którego wielkość mierzymy dokładnym amperomierzem i woltomierzem i określamy dla tego obciążenia stałą C' w ten sposób, że liczymy ilość obrotów w ciągu określonego według sekundomierza czasu.

Jeżeli liczba obrotów będzie n , to stałą określimy ze wzoru:

$$C' = \frac{3600 \cdot 1000 \cdot n}{V \cdot J \cdot t}$$

gdzie VJ zużyta przez odbiornik moc w watach,
 t - czas w sekundach.

Wzór:

$$\frac{C - C'}{C} 100\%$$

da nam wielkość błędu w %. Zmieniając I otrzymamy poszukiwaną krzywą, w celu wykreślenia której otrzymane dane układamy w następującą tabliczkę:

V	J	t	n	C	C'	$\frac{C - C'}{C} \cdot 100\%$

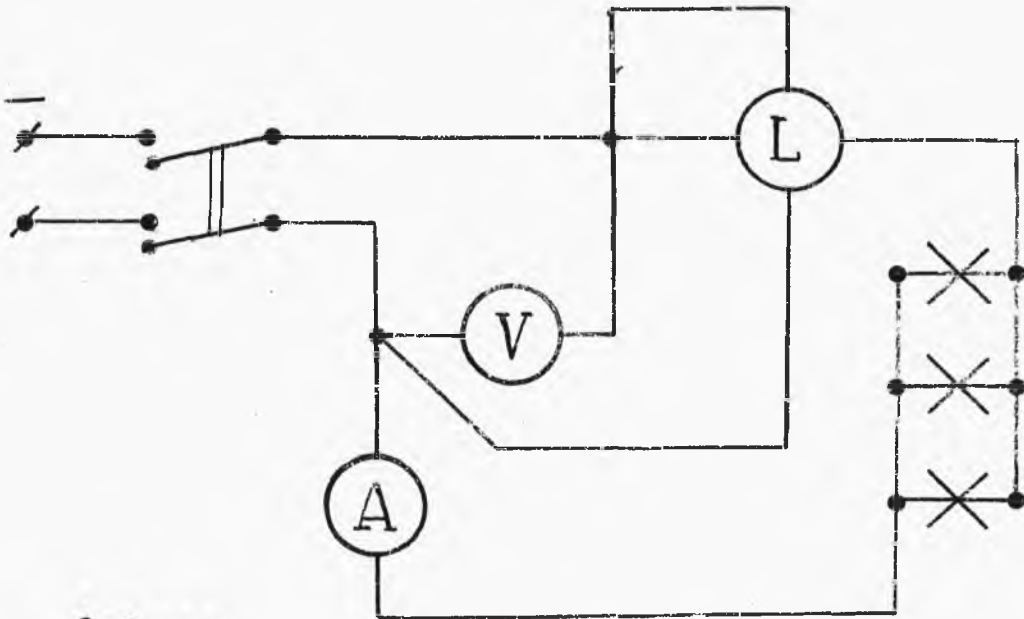
Dla ustalenia prądu, który zrusza licznik z miejsca czyli czułości licznika, włączamy szeregowo do lamp dodatkowy opornik, pozwalający na dokładniejsze regulowanie prądu.

Prąd, zruszający licznik z miejsca, wyraża się w % od wartości prądu normalnego /wskazanego w tabliczce licznika/. Jednocześnie z tem sprawdzamy, czy licznik nie ma biegu luzem, t.j. czy nie biegnie po wyłączeniu prądu w głównym obwodzie licznika. Bieg ten, spowodowany zbyt silnymi cewkami kompensacyjnymi jest oczywiście wadą licznika i w eksploatacji taki licznik jest niedopuszczalny.

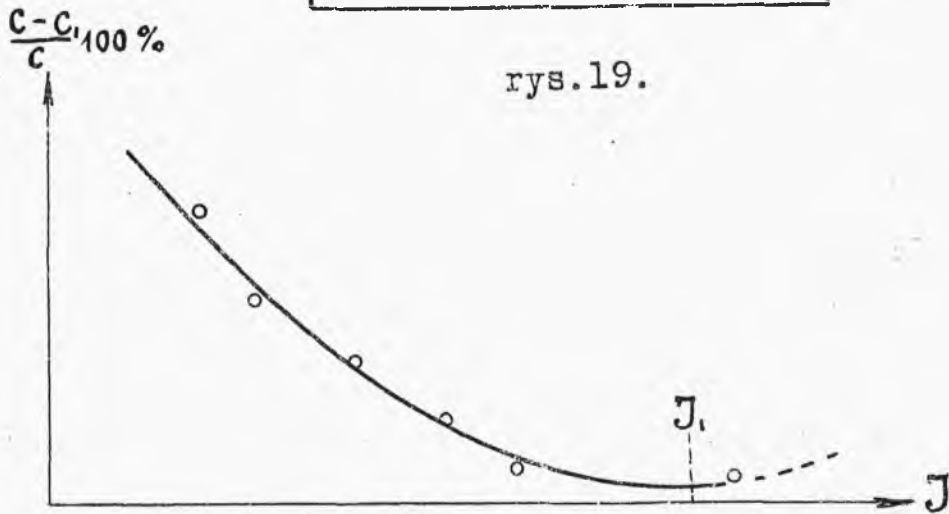
Rys.19 podaje układ połączeń przy badaniu błędu licznika, rys.20 podaje krzywą zależności błędu od wielkości prądu. Widzimy z niej, że przy $J = J_1$, licznik pracuje prawie bez błędu.

By otrzymane rezultaty były jaknajściślej na-

leży pomiar przeprowadzić przy zwiększającym i zmniejszającym się prądzie i brać dla każdego wypadku średnią wartość, lub też wykreślić na mocy krzywej przy zwiększającym i zmniejszającym się prądzie krzywą średnią.



rys.19.



rys.20.

§ 6. BADANIE LICZNIKA PRĄDU ZMIENNEGO.

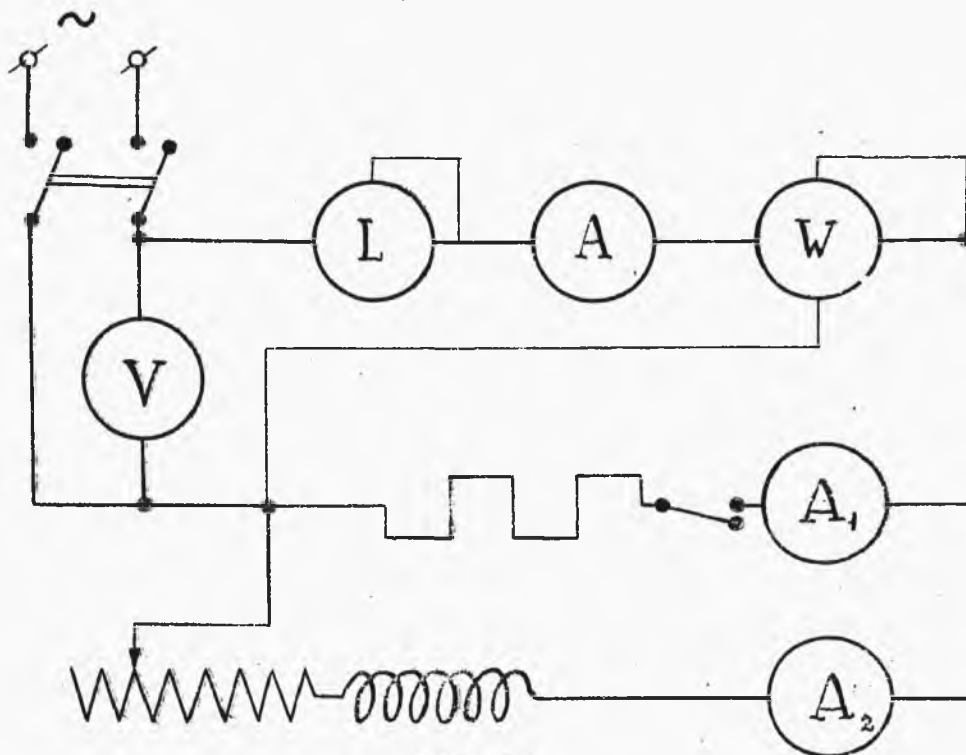
Cechując licznik przy prądzie zmiennym, należy uwzględnić wpływ nie tylko zmian prądu /napięcie V utrzymujemy zawsze stałe/, lecz i zmian $\cos \varphi$. Wobec tego, że cechowanie przy $\cos \varphi = \text{const.}$ i I zmiennym byłoby identyczne jak dla prądu stałego, przystępujemy odrazu do cechowania licznika przy $I = \text{const.}$, $V = \text{const.}$ i zmiennem $\cos \varphi$. W tym celu do zmiany $\cos \varphi$ zastosować wypadnie schemat wskazany na rys.21.

Na rys. tym prąd po przejściu przez licznik rozgałęzia się. W jednej gałęzi mamy odbiornik bezindukcyjny /lampy lub opór wodny/, w drugiej zaś cewkę i szeregowo z nią opór bezindukcyjny.

Prąd w obwodzie głównym I odczytywany przez nas na amperomierzu A /bez znaczka/ utrzymujemy stały.

Regulując wielkość oporów bezindukcyjnych zmieniamy natężenia prądów rozgałęzionych i w ten sposób otrzymujemy w obwodzie głównym najrozmaitsze kąty przesunięć prądu względem napięcia.

Tak np. na rys.22-a opór w obwodzie indukcyjnym jest nieskończenie wielki, prąd płynie tylko po obwodzie bezindukcyjnym i mamy w głównym obwo-

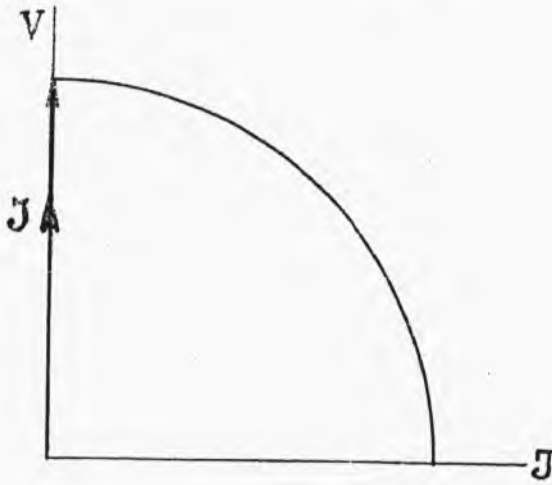


rys. 21.

dzie prąd zgodny w fazie z napięciem.

Gdy nieskończenie wielki opór weźmiemy w rozgałęzieniu bezindukcyjnym /rys.22-b/, wtedy mamy prąd w obwodzie głównym, spóźniający się w fazie względem napięcia niemal o 90° . W wypadku pośrednim /rys.22c/ prądy w rozgałęzieniu składają się na prąd przesunięty o pewien kąt względem napięcia, wielkość którego uzależnia się stosunkiem regulowanych przez nas oporów.

Dla mierzenia mocy prądu umieszczamy w głównym obwodzie również watomierz. W ten sposób, mamy

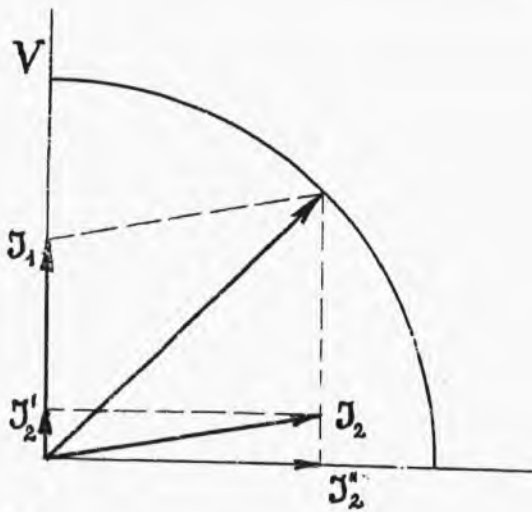


$$J_1 = J$$

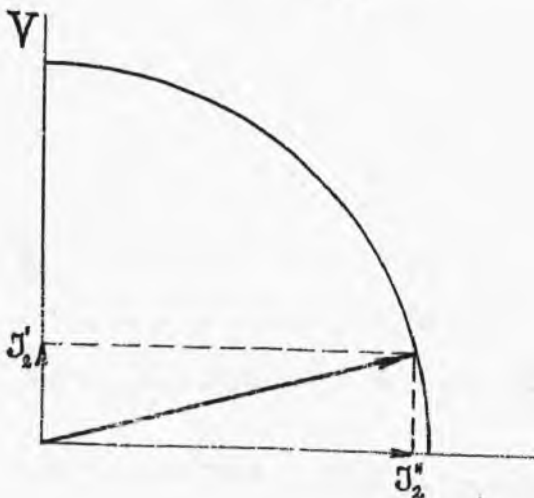
$$\cos \varphi = 1$$

$$J_2 = 0$$

rys. 22^a



rys. 22^b



$$J_1 = 0$$

$$\cos \varphi = \infty 0$$

rys. 22^c

moc prądu P , $\cos \varphi = \frac{P}{V \cdot I}$; stałą licznika znajdujemy jak przy prądzie stałym.

Dane z pomiarów układamy jak następuje:

V	I	V I	W	$\frac{W}{V I} = \cos \varphi$	I_1	I_2	c	t	n	c'	$\frac{c-c'}{c} 100\%$

Mając stałą dla różnych $\cos \varphi$ wykreślamy odpowiednią krzywą $\frac{c-c'}{c} 100\% = f(\cos \varphi)$ $I = \text{const.}$

Obecnie liczniki mają specjalne urządzenia kompensacyjne, dzięki którym błąd przy zmianie $\cos \varphi$ nie przekracza granic dopuszczalnych dla liczników. Wielkość dopuszczalnego błędu w praktyce, jak również wielkość prądu, dostatecznego do zruszenia z miejsca licznika, ustalają zazwyczaj odnośne przepisy.

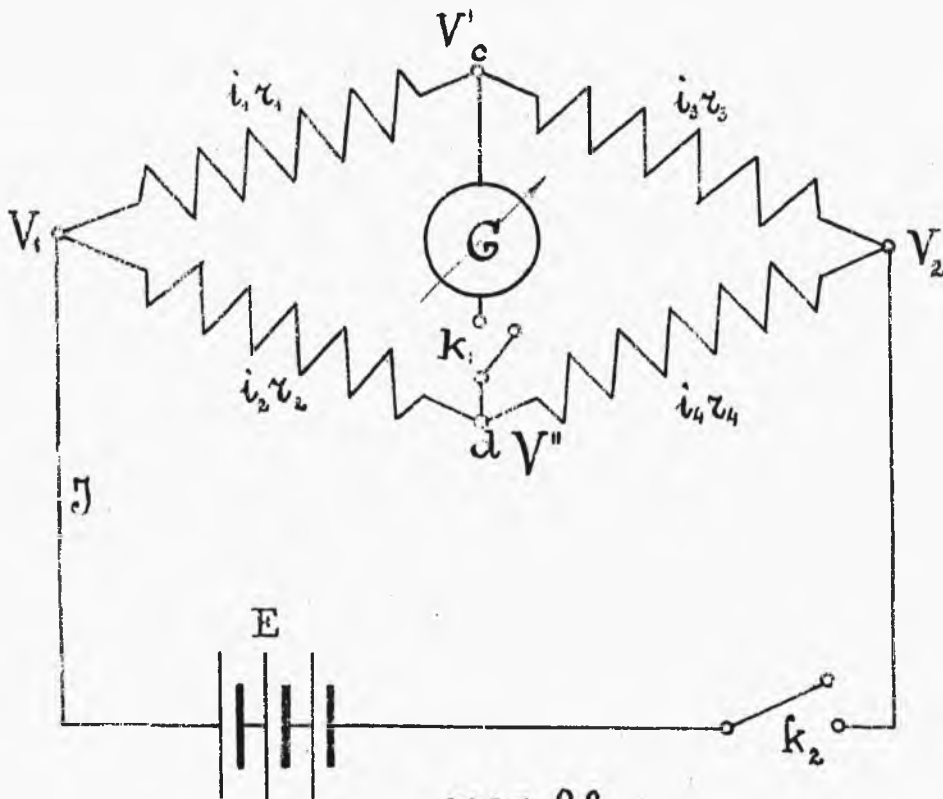
Tak np. dla liczników obsługujących abonentów Elektrowni Warszawskiej dopuszczalna wielkość błędu wynosi $\pm 3\%$, zaś prąd zruszający licznik z miejsca jest $0,5\%$ wielkości normalnego prądu t.j. prądu podanego na tabliczce fabrycznej licznika.

ROZDZIAŁ II.

POMIARY ELEKTRYCZNE.

§ 1. Most Wheatstone'a.

Przyrządem najczęściej używanym do mierzenia oporów od 5 do 10.000 omów jest t.zw. mostek Wheatstone'a. Schemat połączeń źródła prądu, oporów i galwanometru wskazuje rys.23. Po zamknięciu kluczy



k_1 i k_2 w układzie pojawiają się prądy i i potencjały V , które na schemacie w oddzielnych gałę-

ziach oznaczamy odpowiednimi znaczkami. Regulowaniem oporów możemy osiągnąć to, że potencjał V_1 przy punkcie C będzie równy potencjałowi V'' przy punkcie d , co poznamy po tem, że galwanometr nie da odchylenia, bowiem prąd $i=0$.

Dla każdej gałęzi mamy odpowiednio:

$$\begin{array}{ll} V_1 - V' = i_1 r_1 & V_1 - V'' = i_2 r_2 \\ V' - V_2 = i_3 r_3 & V'' - V_2 = i_4 r_4 \end{array}$$

co wobec $V'=V''$, daje:

$$i_1 r_1 = i_2 r_2 \qquad i_3 r_3 = i_4 r_4$$

dzieląc stronami te równania i stosując pierwsze prawo Kirchoffa dla węzłów C i d , w wypadku $i=0$ otrzymamy:

$$\frac{r_1}{r_3} = \frac{i_1 r_2}{i_4 r_4} \qquad \frac{r_1}{r_3} = \frac{r_2}{r_4}$$

Jeżeli trzy z tych oporów, lub stosunek dwu pierwszych i trzeci będą znane, to w każdym razie możemy określić czwarty. W laboratorium korzystamy z mostu Wheatstone'a odpowiednio zmontowanego w formie pudełka oporowego z wtyczkami. Mamy tu trzy opory r_1 , r_2 i r_3 , zaciski do przyłączenia czwartego poszukiwanego oporu, galwanometru i baterji. Opory

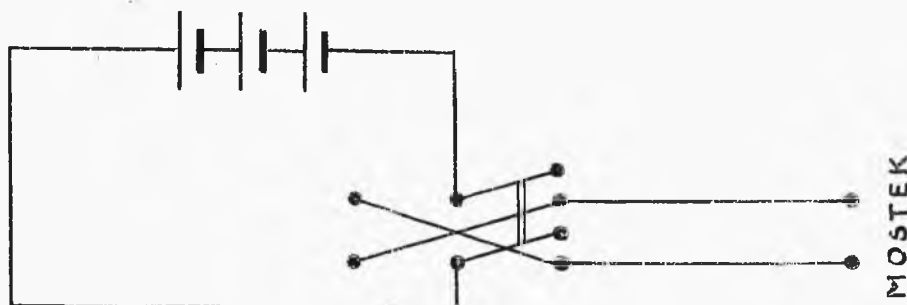
\mathcal{Z}_1 i \mathcal{Z}_3 mają odpowiednio wielkości 1, 10, 100 omów, korzystamy z nich by ustalić stosunek $\frac{\mathcal{Z}_1}{\mathcal{Z}_3}$ i z jaknajwiększą dokładnością określić nieznaną opór \mathcal{Z}_4 przy możliwym wyzyskaniu oporu \mathcal{Z}_2 w celu otrzymania rezultatu z największą ilością cyfr znaczących.

Wobec tego, iż opory skrzynkowe posiadają znaczne samoindukcje, to nawet przy odpowiednio dobranych oporach galwanometr będzie dawał wychylenia, a następnie wahał się przy włączeniu kluczy z tego względu należy początkowo włączać element, a następnie galwanometr, przy wyłączaniu zaś zachowywać porządek odwrotny. By pomiar odbywał się w najlepszych warunkach, trzeba opór \mathcal{Z}_3 dobrać tak, aby był on możliwie zbliżony do \mathcal{Z}_4 - oporu nieznanego, czyli dążyć do równości:

$$\mathcal{Z}_1 = \mathcal{Z}_2 = \mathcal{Z}_3 = \mathcal{Z}_4$$

Dla uniknięcia działania prądów termoelektrycznych należy posługiwać się możliwie małymi prądami, włączać je, li tylko na chwilę pomiaru i nie stosować zbyt silnych akumulatorów. Najlepiej jest powtórzyć pomiar przy zmienionym kierunku prądu, w tym celu źródło prądu przyłącza się do mostka

za pomocą specjalnego przełącznika rys.24.



rys. 24.

Jak w każdej metodzie zerowej /patrz § 1 Rozdział I/ nie szukamy położenia wskazówki galwanometru na zerze, lecz zmieniamy wielkość oporu porównawczego ζ_3 tak, by galwanometr dawał już wyraźne możliwe jednakowe wychylenia w prawą i lewą stronę, dla każdego z tych położeń obliczamy poszukiwane przez nas ζ_4 t.j. opór \mathcal{X} , otrzymujemy \mathcal{X}_1 i \mathcal{X}_2 .

Opór ζ_4 będzie równał się:

$$\zeta_4 = \frac{\mathcal{X}_1 + \mathcal{X}_2}{2} = \mathcal{X}$$

Wielkość zaś błędu:

$$\Delta \zeta_4 = \pm \frac{\mathcal{X}_1 - \mathcal{X}_2}{2}$$

Wobec czego ζ_4 możemy również przedstawić w formie: $\zeta = \mathcal{X} \pm \Delta \mathcal{X}$

Błąd względny wyrażony w % określimy ze wzoru:

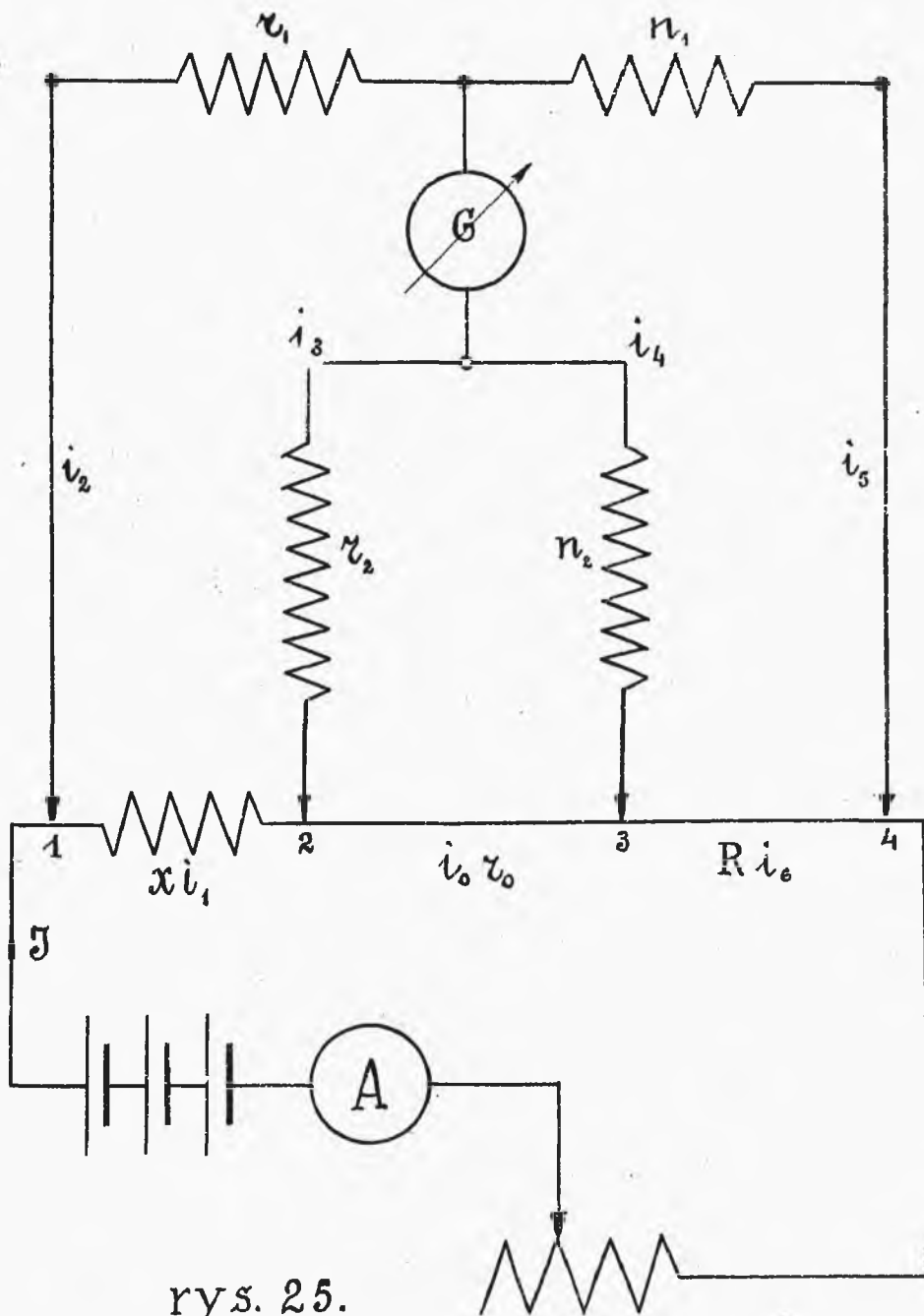
$$\frac{\Delta \zeta_4}{\zeta_4} 100\%$$

Jako opory do pomiarów mostem Wheatstone'a wybieramy pomiar poszczególnych oporów rozrusznika dla silnika prądu stałego - mamy tam również opory przeznaczone do wprowadzania w obwód magnesów silnika.

Ustalamy tu przedewszystkiem rząd wielkości tych ostatnich oporów, oraz oporów włączonych w obwód twornika, Przekonywując się jednocześnie, jak ważne jest w tych wypadkach dobieranie ζ_1 do ζ_3 . Pomiar zakończyć należy wykreśleniem schematu rozrusznika z oznaczeniem oporów pomiędzy poszczególnymi kontaktami. Analogicznie zbadać należy opornik regulacyjny elektromagnesów prądu bocznikowego.

§ 2. Mierzenie oporów podwójnych mostkiem Thomsona.

Gdy chodzi o pomiary oporów małych, dla których opory drutów miedzianych, służących do połączeń, mogłyby grać rolę, stosuje się "podwójny most Thomsona". Zasadę odpowiednich połączeń przedstawia rys.25. Mamy tu połączone szeregowo: badany



rys. 25.

opór X , porównawczy - R , baterję, amperomierz i opornik regulacyjny. Zaciski oporów X i R /oznaczone 1,2,3,4/ są połączone między sobą za pomocą dwu gałęzi przez opory ζ i n . Gałęzie te łączą się przez galwanometr G . Opory n są pewnymi ilorazami oporów ζ , co daje $n = C \cdot \zeta$, gdzie C jest liczbą stałą, równą zazwyczaj 10, 100 i t.p. Kontakty 1-4 są przesuwane i ustawia się je tak, aby przez galwanometr prąd nie płynął.

Zakładamy pozatem, że $\zeta_1 = \zeta_2$ i $n_1 = n_2$. Gdy przez gałąź z galwanometrem prąd nie płynie, wówczas różnice potencjałów w rozgałęzieniu z lewej strony - są równe, a zatem:

$$i_1 X + i_3 \cdot \zeta_2 = i_2 \cdot \zeta_1 \quad \text{I.}$$

analogicznie do prawej strony:

$$R \cdot i_6 + i_4 \cdot n_2 = i_5 \cdot n_1 \quad \text{I'}$$

Wobec $\zeta_1 = \zeta_2 = \zeta$ i $n_1 = n_2 = n$

$$i_1 \cdot X = \zeta (i_2 - i_3) \quad \text{II.}$$

$$i_6 \cdot R = n (i_5 - i_6)$$

Dzieląc stronami i przyjmując pod uwagę, że:

$$i_1 = i_6, \quad i_2 = i_3, \quad i_5 = i_6$$

otrzymamy: $\frac{x}{R} = \frac{z}{n}$

czyli $x = R \frac{z}{n}$

Widzimy więc, że opór drutów łączących nie gra tu żadnej roli, jeżeli tylko z i n są dostatecznie duże. Przy pomiarach mostkiem Thomsona stosujemy te same ostrożności przy włączaniu prądu oraz gałęzi z galwanometrem, co i w mostku Wheatstone'a. Amperomierz i opornik w obwodzie zewnętrznym służą do regulowania prądu I , który wynosić winien parę amperów. Stosuje się tu również metodę znajdowania dwu wartości dla oporu

X , przy dwóch jednakowych wychyleniach galwanometru w prawo i lewo /wychylenia możliwie bliskie zera/.

W tym celu przesuwamy odpowiednio kontakty 3 i 4 na oporze porównawczym, który jest zazwyczaj kalibrowanym drutem o znanym oporze jednostki długości.

Z pomocą mostu Thomsona określamy opór właściwy miedzi, ołowiu oraz żelaza. W tym celu jako opór X bierzemy kawałek prostego drutu, z jednego z tych metali o średnicy możliwie jednakowej na całej długości. Opór właściwy określi się ze wzoru:

$$S = \frac{\pi \cdot \delta^2}{4} \cdot \tau \cdot \frac{1}{l}$$

gdzie δ - średnica drutu, l - jego długość, τ - wielkość otrzymana z pomiaru, czyli nasze uprzednie χ .

Dla otrzymania błędu względnego pomiaru, czyli wielkości $\frac{ds}{S}$, obie strony wzoru logarytmujemy, a następnie różniczkujemy. Zakładając, iż błędy poszczególne dodają się, będziemy mieli:

$$\frac{ds}{S} = 2 \frac{d\delta}{\delta} + \frac{d\tau}{\tau} + \frac{dl}{l}$$

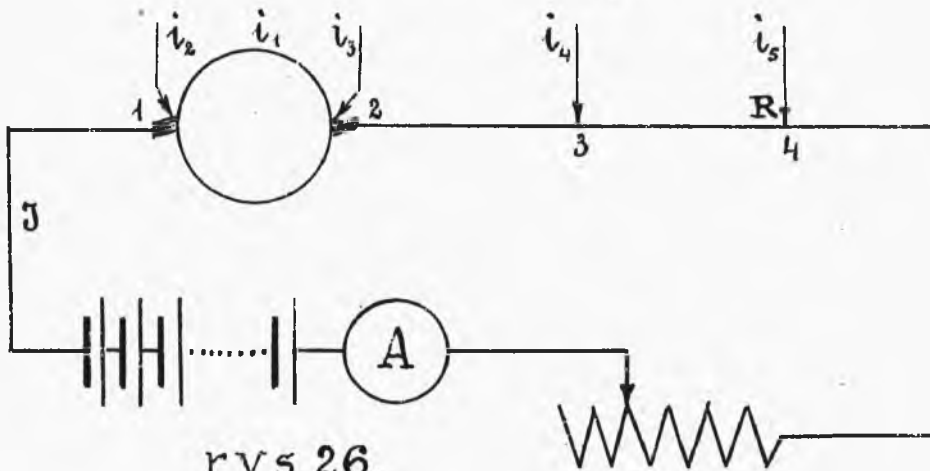
Widzimy więc, iż średnice drutu winny być mierzone z dwa razy większą dokładnością, niż opór drutu i jego długość. Przyjmując jeszcze pod uwagę, iż kształt przekroju nie jest wszędzie kołowy mierzymy średnicę najmniej 10 razy w różnych miejscach i różnych kierunkach i bierzemy średnią arytmetyczną rezultatów. Błąd tego najprawdopodobniejszego rezultatu określimy ze wzoru:

$$\alpha_{\delta\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i^2}{n(n-1)}}$$

gdzie n - ilość pomiarów, zaś α - różnica pomię-

dzy danym pomiarem i średnią arytm. wszystkich pomiarów. Błąd przy mierzeniu długości drutu określili się mniej więcej na 0,5 m/m.

Pozatem określamy opór twornika maszyny prądu stałego. Dla uproszczenia pomiarów wybieramy maszynę dwubiegunową. Schemat pomiaru będzie przedstawiał się według rys.26. Prąd i_1 , oczywiście, roz-



rys. 26.

gałęzia się wzdłuż dwóch połów zamkniętego obwodu twornika. Pomiar należy powtórzyć dla paru położenia szczotek maszyny. Końcówki 1 i 2 winny oczywiście dotykać tych samych płytek kolektora, co i szczotki. Należy określić czułość każdego pomiaru, oraz najprawdopodobniejszy błąd z wyżej wskazanego wzoru dla średniej arytmetycznej wszystkich pomiarów.

§ 3. Pomiar izolacji voltomierzem o dużym oporze. Induktor.

Gdy chodzi o pomiar znacznych oporów możemy użyć voltomierza o dużym oporze. Notując wychylenia voltomierza przyłączonego bezpośrednio do zacisków źródła prądu oraz połączonego szeregowo z nieznanym oporem, otrzymamy ze wzorów:

$$i_1 = \alpha_1 \cdot C \frac{V}{R} \quad i_2 = \alpha_2 \cdot C \frac{V}{x+R} \cdot J$$

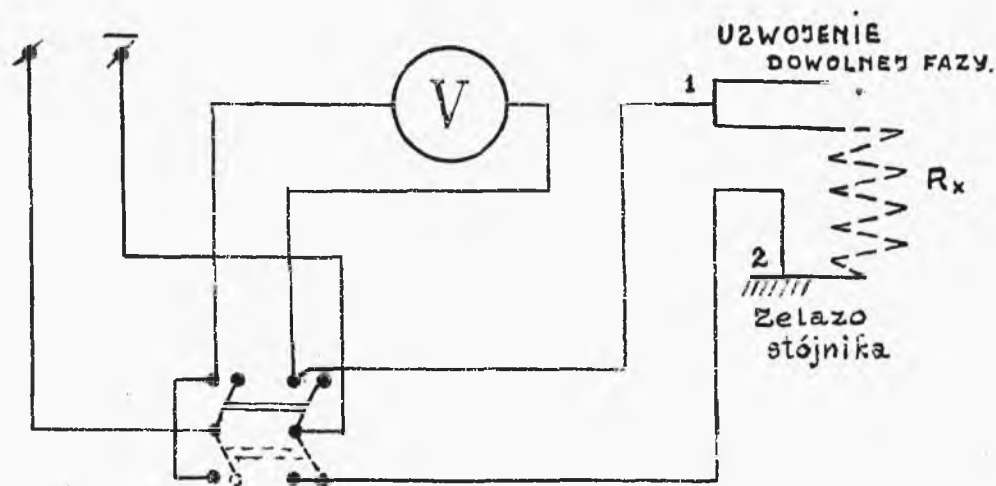
nieznany opór x

$$x = R \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1 \right)$$

gdzie i_1, i_2 - prądy w obwodzie voltomierza w pierwszym i drugim wypadku połączenia, α_1, α_2 wychylenia, R - opór voltomierza. Korzystamy z tego wzoru dla określenia oporu izolacji motoru trójfazowego. Mierzymy początkowo opory pomiędzy poszczególnymi fazami, następnie pomiędzy uzwojeniami i żelazem stojnika.

Ten ostatni pomiar uskuteczniamy, łącząc wszystkie uzwojenia razem i mierząc wtedy opór izolacji. Gdy pomiar daje wyniki zadawalniające /jest naprz. równy paraset tysięcy omów przy napięciu na zaciskach źródła 110 - 220 V/ doświad-

czenie kończymy: jeżeli się okaże, że izolacja ma opór bardzo mały lub równy 0, należy zmierzyć opór izolacji poszczególnych faz, ażeby natrafić na fazę uszkodzoną. Układ połączeń w tym wypadku wskazuje rys.27. Voltomierz przyłączony do źródła



rys.27.

prądu przez przełącznik przy jednym położeniu, którego mamy tylko voltomierz połączony z zaciskami, przy drugim voltomierz szeregowo z danym oporem.

Jako drugi pomiar tym voltomierzem uskutecznia się odnalezienie wielkości oporności izolacji sieci bez napięcia. W tym wypadku końce przewodników 1 i 2 /rys.27/ z jednej strony dołączamy do zacisków sieci badanej /do każdej fazy po kolei/, z drugiej - uziemiamy. W laboratorium uziemienie

uskutecznia się przez połączenie z kranem wodociągu. Jako trzeci pomiar mierzenie oporności ciała ludzkiego.

Stajemy w płycie żelaznej i łączymy z nią jeden z przewodników idących od źródła prądu przez voltomierz, drugi koniec starannie odizolowany trzymamy w rękach. Pomiar powtarzamy dwukrotnie: raz z rękami suchymi, drugi raz zwilżonymi wodą. Przy pomiarach oporności ciała ludzkiego jako źródła prądu należy używać wyłącznie baterji suchomokrej o niewielkiej mocy - przy innych pomiarach należy dbać tylko o to, żeby źródło prądu nie miało uziemienia w żadnym z biegunów, gdyż w takim razie rezultaty pomiarów mogą być mylne.

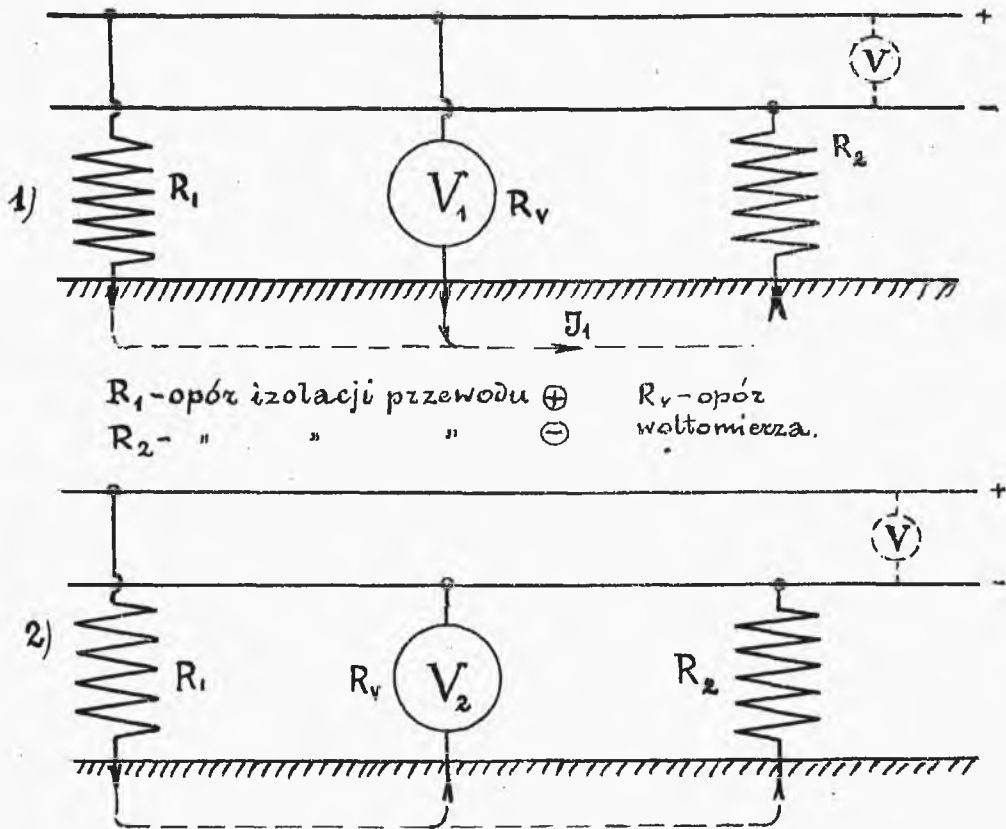
Za pomocą voltomierza o znacznym oporze możemy również zmierzyć izolację sieci już pod napięciem. W tym celu dokonywujemy trzech pomiarów: napięcia pomiędzy (+) i (-), napięcia pomiędzy (+) i ziemią, oraz (-) i ziemią. Rezultaty oznaczymy

V, V_1, V_2 .

Zachodzą następujące zależności:

$$V - V_1 = J_1 R_2 \quad \text{I}$$

$$J_1 = \frac{V}{R_2 + \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_v}}} \quad \text{II (rys. 28-1)}$$



rys. 28.

$$V - V_2 = J_2 R_1 \dots (I')$$

$$J_2 = \frac{V}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_v}}} \dots (II') \text{ (rys.28-2)}$$

Określamy prądy J z równań I i podstawiamy do II:

$$\frac{V - V_1}{R_2} = \frac{V}{R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_v}}; \quad \frac{V - V_2}{R_1} = \frac{V}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_v}{R_2 + R_v}};$$

albo

$$\frac{R_2 + \frac{R_1 \cdot R_V}{R_1 + R_V}}{R_2} = \frac{V}{V - V_1} ; \quad \frac{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_V}{R_2 + R_V}}{R_1} = \frac{V}{V - V_2}$$

odejmując od obydwu stron tych równań po 1:

$$\frac{R_1 \cdot R_V}{R_2(R_1 + R_V)} = \frac{V_1}{V - V_1} ; \quad \frac{R_2 \cdot R_V}{R_1(R_2 + R_V)} = \frac{V_2}{V - V_2}$$

albo

$$\frac{V - V_1}{V_1} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_V} ; \quad \frac{V - V_2}{V_2} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_V} \quad (\text{III})$$

$$\frac{V}{V_1} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_V} + 1 = \frac{R_2 R_V + R_2 R_1 + R_1 R_V}{R_1 R_V} ;$$

$$\frac{V}{V_2} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_V} + 1 = \frac{R_1 R_V + R_1 R_2 + R_2 R_V}{R_2 R_V} ;$$

dzieląc stronami znajdziemy:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{IV})$$

Po podstawieniu do równania III określimy:

$$R_1 = R_V \frac{V - V_1 - V_2}{V_1} ; \quad R_2 = R_V \frac{V - V_1 - V_2}{V_2}$$

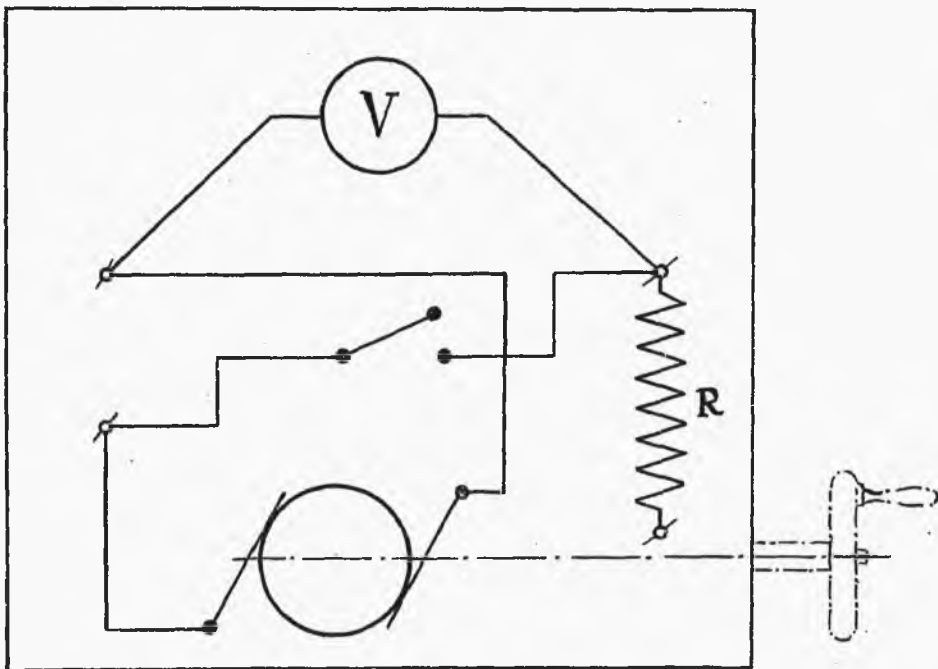
lub opór całkowitej izolacji:

$$R_{\text{całk.}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = R_w \left(\frac{V}{V_1 + V_2} - 1 \right)$$

We wzorach tych należy brać absolutne wartości

dla V_1 i V_2 : gdy $V_1 + V_2 > V$ - zamiast voltomierza wypadnie wziąć amperomierz z oporem dodatkowym 200 omów i bezpiecznikiem, względnie voltomierzem o nieznacznym oporze R_v . Przy sieciach wielkich, gdy $R > 50$ omów $\frac{V}{V_1 + V_2}$ będzie b. mało większe od 1. Minimalny błąd odczytu może spowodować wówczas poważny błąd w rezultacie.

Gdy nie chodzi o ścisłe rezultaty ilościowe, lecz jedynie o stwierdzenie, czy opór izolacji jest mniejszy lub większy od pewnej wielkości, używamy przyrządu zwanego induktorem, którego schemat podany jest na rys.29. Przyrząd ten, umieszczono-



rys. 29.

ny zwykle w łatwym do przenoszenia pudełku, stanowi połączenie voltomierza o znacznym oporze ze źródłem prądu. Tym ostatnim jest zwykle szpula drutu, umieszczona między stałymi magnesami i obracana za pomocą korbki. Kręcąc tę korbkę ze stałą szybkością, otrzymamy stałe napięcie.

Dla sprawdzenia, czy szybkość obrotowa jest stała, wyłączamy badany opór z obwodu za pomocą specjalnego guzika i obserwujemy wychylenia voltomierza. Opór dodatkowy R służy wtedy, gdy voltomierza używamy oddzielnie i posługujemy się napięciem wyższym niż to, na które voltomierz ten jest zbudowany. Induktor ma 4 zaciski, z których korzystamy stosownie do tego, czy używamy tylko voltomierza, czy całego aparatu, z pomocą którego powtarzamy badanie izolacji silnika trójfazowego oraz izolacji sieci bez prądu.

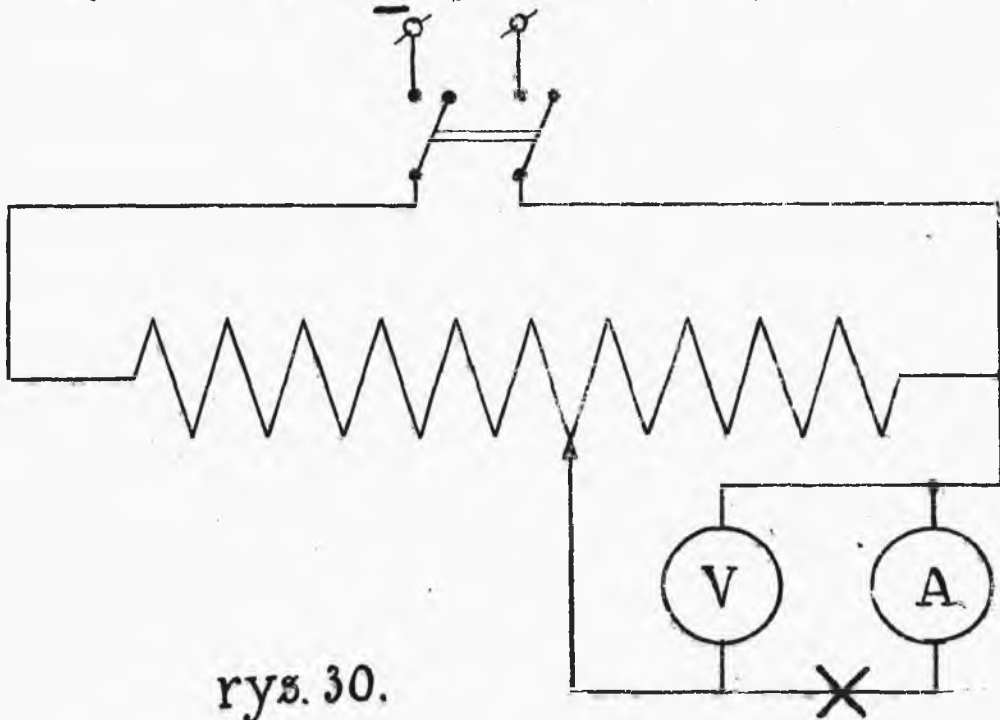
§ 5. Pomiar oporu amperomierzem i voltomierzem.

O ile chodzi o pomiar oporów, które zmieniają się w zależności od przechodzącego przez nie prądu, stosujemy prawo Ohma, dokonując pomiaru amperomierzem i voltomierzem. Oczywiście otrzymamy rezultaty daleko mniej dokładne, niż przy sposo-

bach opisanych poprzednio. Zatem pomiar amperomierzem i voltomierzem nazwiemy pomiarem oporów drogą techniczną.

Dla przykładu zmierzmy opory lamp żarowych metalowej i węglowej, ustalając odpowiednio zależność $R=f(I)$, gdzie R - opór lampy, I - prąd przez nią przechodzący. -

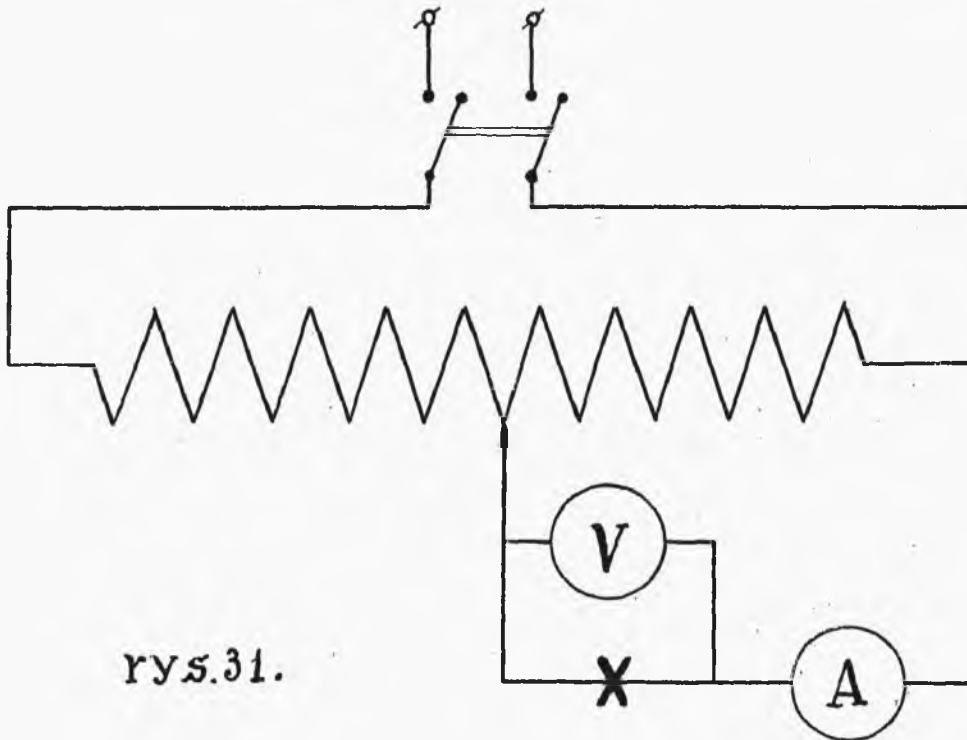
Dla otrzymania różnych prądów i napięć na lampce stosujemy układ potencjometryczny /rys, 30/.



rys. 30.

Na schemacie tym mierzymy voltomierzem spadek napięcia nie tylko w lampie, lecz i na amperomierzu, wobec tego jednak, że oporność amperomierza jest

w stosunku do oporności lampy nieznaczna, błąd w tym wypadku jest znacznie mniejszy, niż przy zastosowaniu schematu 31, gdzie w amperomierzu mie-



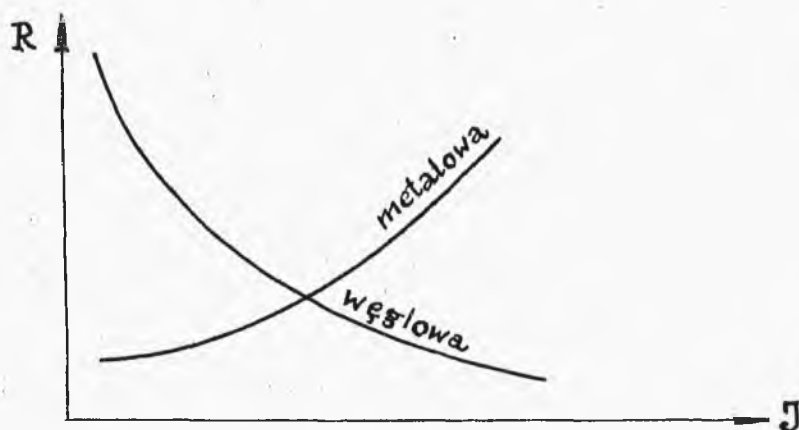
rys.31.

rzymy prąd idący nie tylko przez lampę, lecz i przez voltomierz, oporność którego może być tego samego porządku, co i oporność lampy.

Wyniki układamy jak zwykle w tabliczki i na ich podstawie wykreślamy krzywe /rys.32/, dające zależność oporu od wielkości prądu.

Zastanówmy się teraz nad ustaleniem błędu przy pomiarze.

Pierwszy błąd, będzie błędem systematycznym i



rys. 32.

będzie wynikał z tego, iż, jak to już mówiliśmy, mierzyliśmy spadek napięcia nie tylko na lampie, lecz i na amperomierzu. Oznaczając prąd płynący przez lampę przez J , opór amperomierza przez r_a , spadek napięcia na amperomierzu będzie równy Jr_a , spadek zaś napięcia na lampie $V - Jr_a$, o ile przez V oznaczymy wskazanie voltomierza. Błąd względny w tym wypadku będzie wyrażał się:

$$\frac{V - Jr_a}{V} \cdot 100\%$$

Można go usunąć przez wprowadzenie odpowiedniej poprawki.

Jeżeli jednak chodzi o rzeczywiste wprowadzenie poprawki do pomiarów, to wobec tego, iż zwykle znamy opór voltomierza daleko dokładniej, niż opór amperomierza, używamy do pomiarów schematu, poda-

nego na rys. 31 i wprowadzamy poprawkę na prąd płynący w voltomierzu.

Dane układamy w następującą tabliczkę:

J	V	R_w	$i = \frac{V}{R_w}$	$J' = J - i$	$R = \frac{V}{J'}$

gdzie $J.V$, wielkość otrzymana z pomiarów, R_w - opór voltomierza i prąd płynący przez voltomierz,

J' - prąd w lampie, R - opór lampy. Pozostałe błędy będą li tylko przypadkowe i uniknąć ich drogą odpowiednich poprawek nie możemy. Pochodzą te błędy z niedokładności odczytów na voltomierzu i amperomierzu. Oczywiście nie zajmujemy się wcale oporami drutów łączących, jako wielkościami zbyt małymi. Przyjmując, że wszystkie błędy względne się sumują, otrzymamy:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dV}{V} + \frac{dJ}{J}$$

W tym wzorze V i J napięcie i prąd na lampce po dokonaniu omówionych poprawek. Błąd dV wynika z ograniczonej czułości aparatu, a następnie dzięki omyłkom przy odczycie. Wielkość jego określamy w sposób następujący: mając dane wskazania voltomierza i amperomierza, np. V_1 i J_1 , wyłączamy

prąd, i albo włączamy go znowu, albo przesunawszy w prawo lub lewo ruchomy kontakt potencjometru, puszczaemy prąd i regulujemy potencjometr tak, aby prąd osiągnął wartość poprzednią J_1 .

Wówczas voltomierz wskaże inne wychylenia np.

V_2 . Powtarzając operację n razy otrzymamy dla danego J_1 cały szereg znaczeń dla V : V_1, V_2, V_3, \dots

skąd

$$V_{\text{śr.}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n}{n}$$

oraz poszczególne różnice $\alpha_i = V_{\text{śr.}} - V_i$, gdzie $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Wówczas przybliżony błąd średni każdego pomiaru wyraża się:

$$\alpha_v = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i^2}{(n-1)n}} \quad \text{czyli} \quad \frac{dV}{V} = \frac{\alpha_v}{V}$$

W analogiczny sposób określamy α_j , a tem samym $\frac{dJ}{J}$ i dla danej wielkości $R_1 = \frac{V_1}{J_1}$ otrzymujemy błąd względny pomiaru:

$$\frac{dR_1}{R_1} = \frac{\alpha_v}{V_1} + \frac{\alpha_j}{J_1}$$

Wzór ten obliczamy dla paru wielkości R , by stworzyć sobie pojęcie, jak ze zmianą R zmie-

nia się wartość błędu w pomiarze. Oczywiście $\frac{dR}{R}$ wyrażamy w ‰.

§ 6. Spadek napięcia w linii.

Linje doprowadzające prąd do odbiorników mogą być zasilane w jednym lub też w paru punktach. To ostatnie ma na celu zabezpieczenie dostarczania prądu w razie uszkodzenia jednego z punktów zasilających oraz w celu zmniejszenia spadku napięcia.

Spadek napięcia możemy określić teoretycznie, znając długość linji, wymiary przewodników, materiału, z którego są one wykonane, oraz wielkość prądu, pobieranego przez odbiorniki.

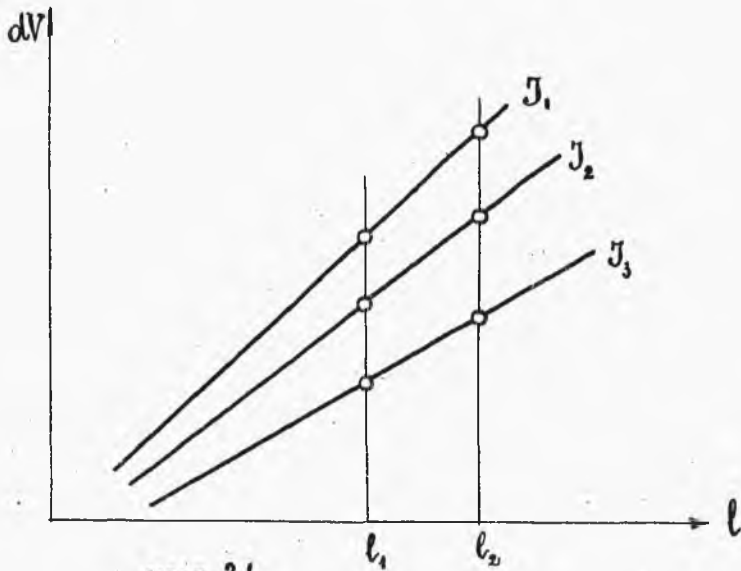
Dane otrzymane z teoretycznych wyliczeń możemy porównać z pomiarami napięć w paru miejscach linji, przy różnych prądach. Wyniki pomiarów ujmujemy w krzywe, przedstawiające zależność spadku napięcia

δV od odległości e do punktu zasilającego i wielkości prądu J .

$$dV = f(J) \quad J = \text{const.}$$

$$dV = f(J) \quad \text{przy } l = \text{const.}$$

Mając pęk krzywych $dV = f(J)$ przy paru J /rys. 34/, możemy $dV = f(l)$ znaleźć wykreślenie, a mianowicie przeprowadzając proste prostopadłe



rys. 34.

do osi 01 w punktach l_1 , l_2 i t.p. Punkty przecięcia tych prostopadłych z linjami $dV=f(J)$ dadzą nam zależność $dV=f(l)$ przy danem J . Oczywiście, mając pęk krzywych $dV=f(l)$ przy różnych J moglibyśmy określić analogicznie $dV=f(l)$.

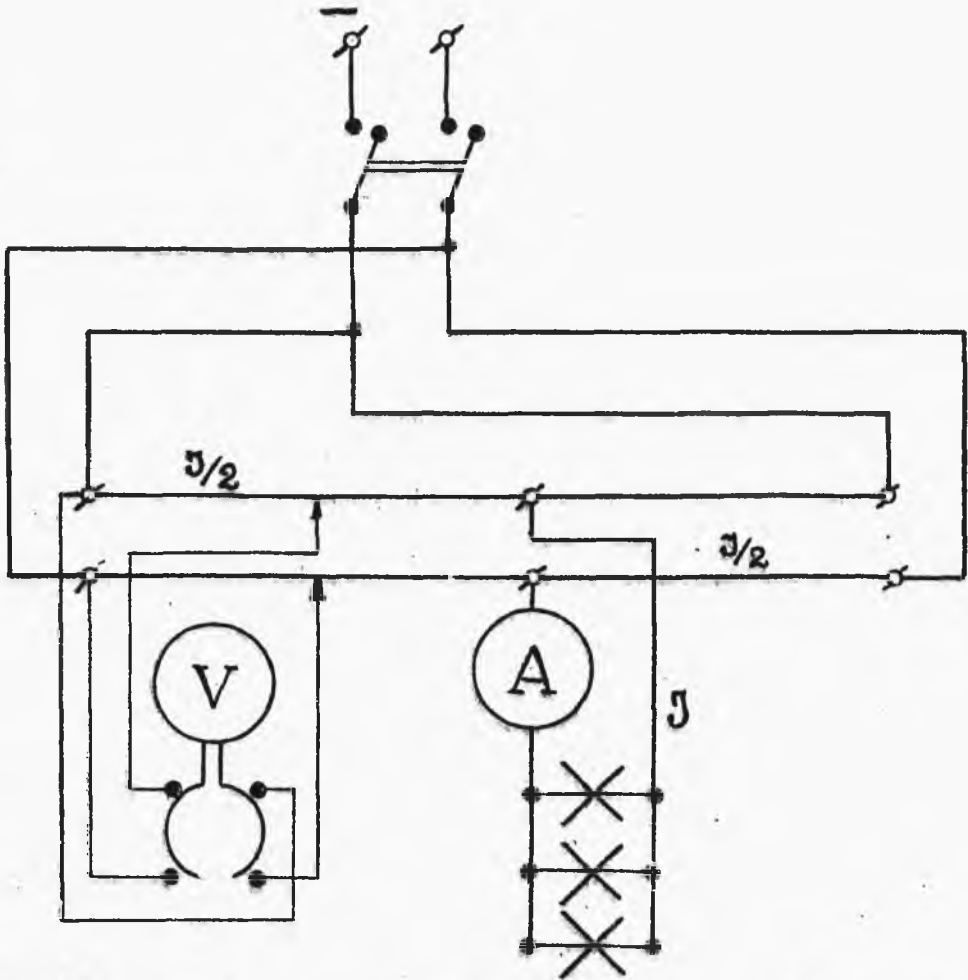
Spadki napięcia teoretyczne określamy na zasadzie wzoru:

$$dV = J \cdot \zeta \cdot \frac{l}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

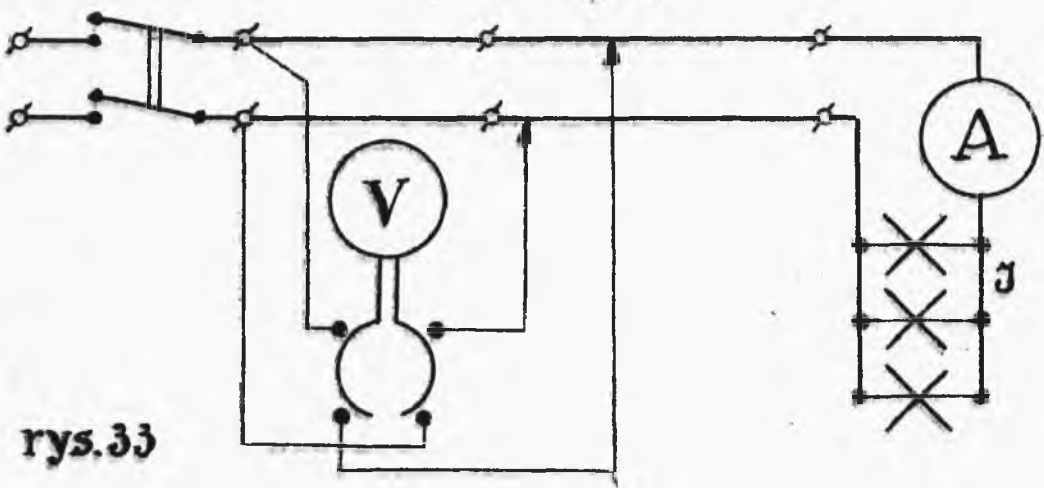
gdzie J - prąd przechodzący w linii, ζ - opór właściwy, d - średnica drutu, zaś l - długość tego drutu, oczywiście $l =$ podwójnej długości linii

Dane otrzymane z pomiarów i drogą teoretyczną nie powinny różnić się od siebie więcej, niż o parę procentów.

b)



a)



rys. 33

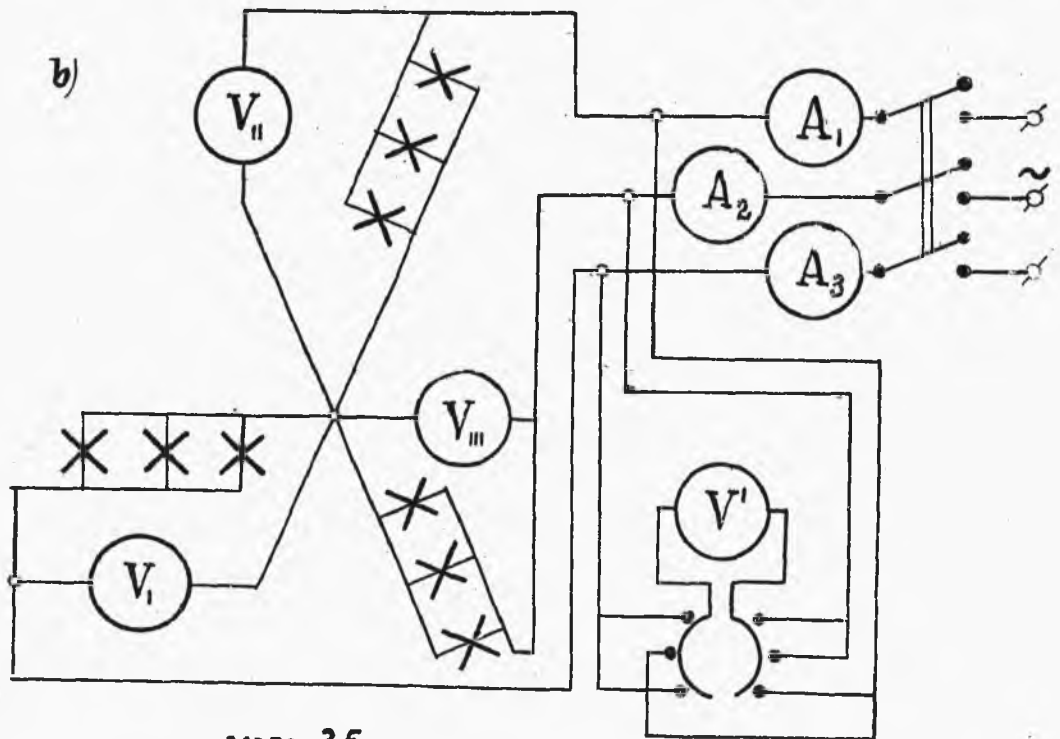
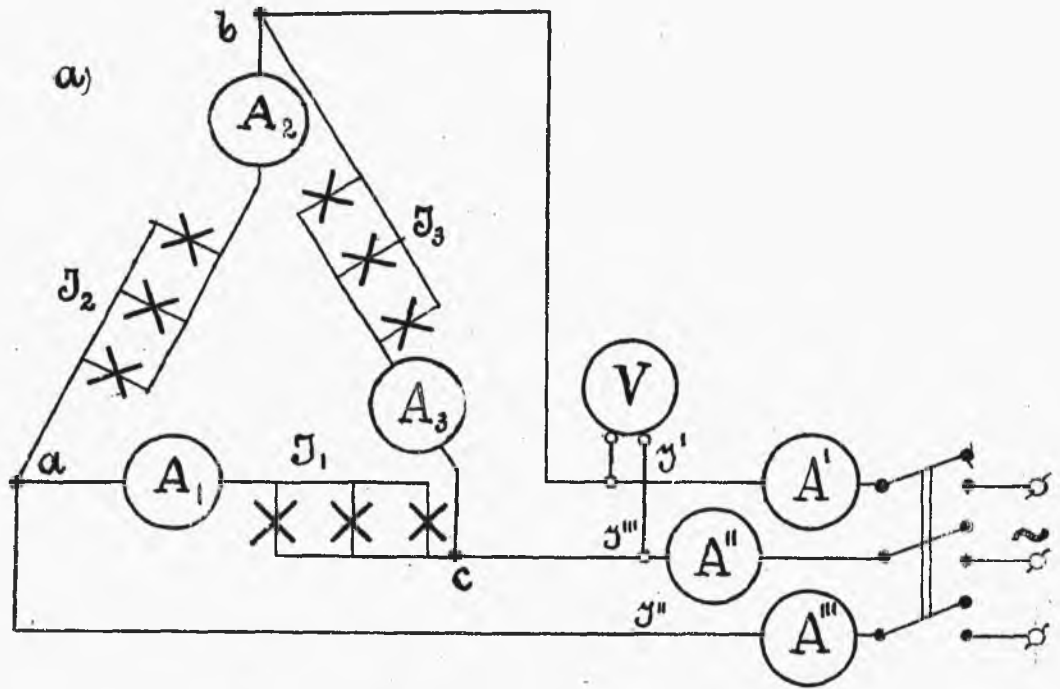
Zadanie przerabiamy dla wypadku wskazanego na rys.33 a i b.

§ 7. Pomiary napięć i prądów w sieci trójfazowej.

Badanie sieci trójfazowej przeprowadzimy w wypadku połączeń w trójkąt i gwiazdę. Schemat podaje rys.35. Wobec tego, że posługujemy się tu wskazaniami różnych przyrządów i wyniki tych pomiarów wypadnie porównać, należy przedewszystkiem odpowiednio scechować przyrządy pomiędzy sobą. Cechowanie to przeprowadza się drogą techniczną. Wobec tego, że nie chodzi tu o absolutną, lecz tylko o względną ścisłość pomiarów, możemy użyć zamiast dokładnego voltomierza /patrz § 3/ jednego z danych voltomierzy technicznych i z nim porównywać pozostałe. Jak zwykle wyniki cechowania przedstawiamy w postaci krzywych, które następnie bez wzorów interpolacji dadzą możliwość bezpośredniego znajdowania odpowiednich rezultatów.

Układ w trójkąt /rys.35 a/ badamy:

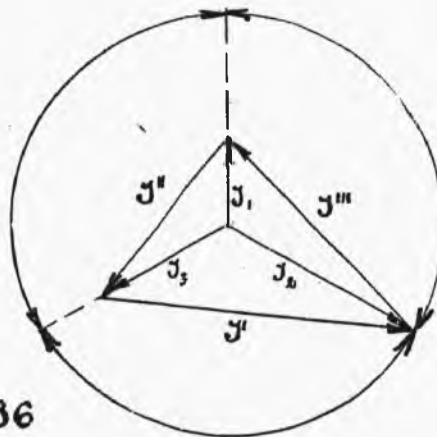
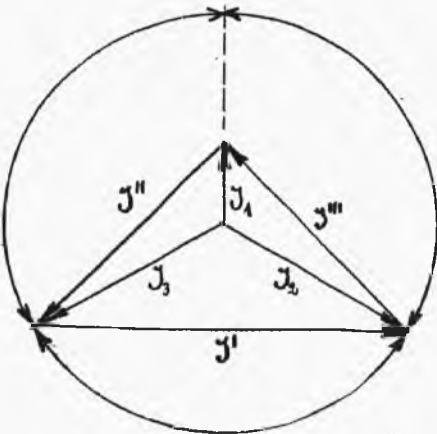
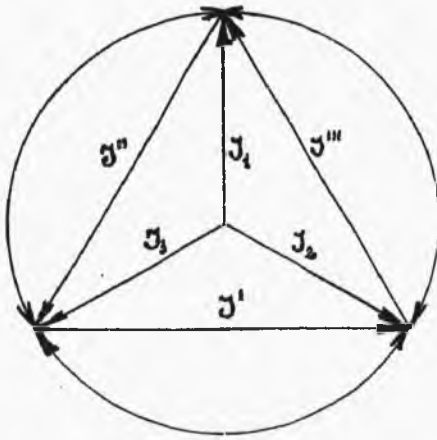
- 1/ gdy wszystkie fazy są obciążone jednakowo,
- 2/ gdy dwie fazy są obciążone jednakowo,
- 3/ gdy wszystkie fazy są obciążone niejednakowo.



rys.35

Zmieniając w ten sposób obciążenia faz notujemy wielkość prądów fazowych \mathcal{J} w przewodach t.j. wartość $\mathcal{J}_1, \mathcal{J}_2, \mathcal{J}_3$ oraz $\mathcal{J}', \mathcal{J}'', \mathcal{J}'''$, które odczytujemy na odpowiednio oznaczonych amperomierzach. Korygujemy te wskazania, poczem sprawdzamy je wykreślnie. Wektory prądów $\mathcal{J}_1, \mathcal{J}_2, \mathcal{J}_3$ są przesunięte względem siebie o 120° . Zaś wektory $\mathcal{J}', \mathcal{J}'', \mathcal{J}'''$ zamykają trójkąt, w których dwiema stronami są odpowiednio $\mathcal{J}_2 - \mathcal{J}_3, \mathcal{J}_1 - \mathcal{J}_3$ i $\mathcal{J}_2 - \mathcal{J}_1$ /rys.36/, opieramy się przytem na I^{ym} prawie Kirchhoffa dla prądów zmiennych. Widzimy więc, że gdy np. $\mathcal{J} = 0$ to $\mathcal{J}''' = \mathcal{J}_2, \mathcal{J}'' = \mathcal{J}_3$ zaś $\mathcal{J}' = \mathcal{J}_2 + \mathcal{J}_3$. O ile wykresy i pomiary wykonane były dokładnie, to wyniki jednych i drugich różnią się zazwyczaj od siebie o wielkość błędu dopuszczalnego przy rozwiązaniach wykreślnych i pomiarach technicznych, to jest o parę % .

Układ w gwiazdę /rys.35 b/ badamy przy obciążeniach jak poprzednio, zapisujemy odpowiednie napięcia i prądy, korygujemy, następnie sprawdzamy wyniki wykreślnie. Suma geometryczna prądów w punkcie 0 jest zerem. Znając z odczytów wartości $\mathcal{J}_1, \mathcal{J}_2, \mathcal{J}_3$ wykreślamy trójkąt prądów czyli budujemy trójkąt, mając trzy jego strony. Wobec tego, że obciążenie jest bezindukcyjne, napięcia będą zgodne co do kie-



rys. 36

runku z prądami. Łatwo więc wykreślimy wektory napięć, znając ich kierunki oraz wielkości z odczytów V_1, V_2, V_3 /rys.37/ wektory OA, OB, OC są odpowiednio równoległe do ab, cb, ac

Wektory napięć międzyprzewodowych będą bokami zamykającymi trójkąty, których pozostałymi bokami są odpowiednio $V_1 - V_2, V_2 - V_3, V_1 - V_3$. Zbudujemy naprz. wykres dla wypadku trzeciego. Jeżeli trójkąt abc /rys.37/ jest utworzony z J_1, J_2, J_3 , wówczas boki AC, CB i BA wyrażać będą odpowiednio napięcia

międzyprzewodowe V' , V'' i V''' , które powinny być

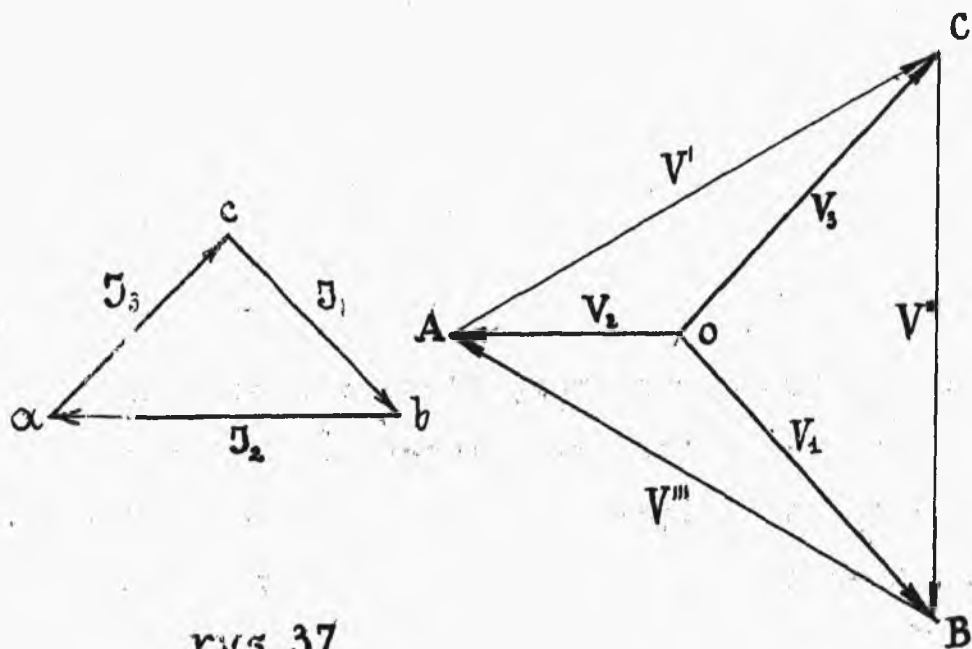
zgodne w granicach możliwego błędu z odpowiednimi odczytami na voltomierzu. Jeżeli $J_3 = 0$, wówczas $J_1 = J_2$, a napięcie międzyprzewodowe będzie się rozkładać na odbiornikach 1 i 2 fazy odwrotnie proporcjonalnie do wielkości oporów. Oczywiście $V''' = V_1 + V_2$ wobec bezindukcyjności odbiorników jest to suma algebraiczna.

§ 8. Badanie dławika.

Włączając dławik w obwód prądu zmiennego /rys. 38/ badamy zależność prądu i mocy, pochłanianej przez dławik, od napięcia na zaciskach dławika z jednej strony, i od wielkości szczeliny powietrz-

nej z drugiej strony.

Napięcie na zaciskach dławika regulujemy włączaniem w obwód oporu; szczelinę zmieniamy, wkładając



rys. 37

mniejszą lub większą ilość podkładek tekturowych między żelaza dławika. Wielkość szczeliny określamy, mierząc grubość podkładek, za pomocą śruby mikrometrycznej.

Pomiar należy uskutecznić dla czterech różnych napięć, utrzymując stałą szczelinę, następnie dla czterech różnych szczelin, utrzymując stałe napię-

cie.

Następnie należy wykreślić przynajmniej 4 wykresy dla stałego napięcia i zmiennej szczeliny - czyli należy zbadać, jaki wpływ na wykres dławika ma wielkość szczeliny. Dla wykonania wykresu dławika konieczna jest wiadomość o jego danych konstrukcyjnych, oraz oporności omowej jego uzwojeń.

Dane konstrukcji dla dławika używanego dla pomiarów w laboratorium, są następujące:

waga 7 klgr.

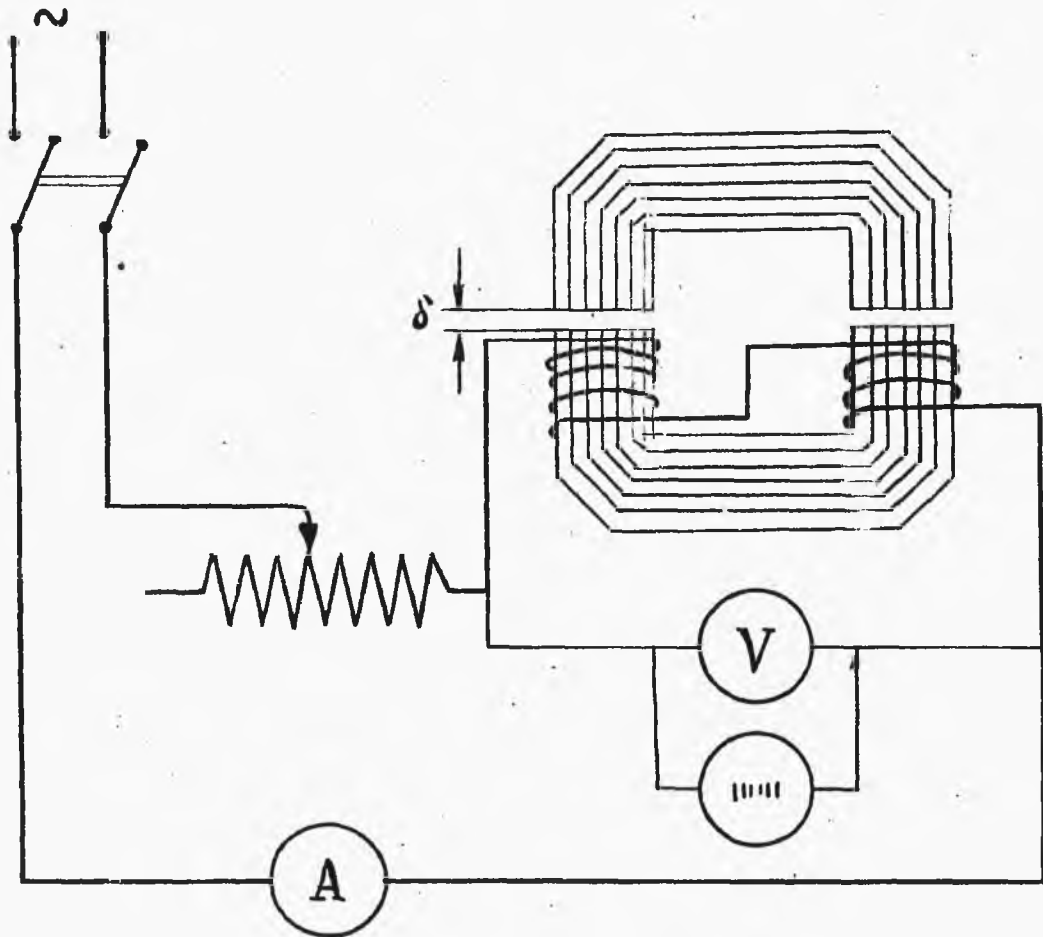
liczba zwojów 254.

Wymiary dławika ćwiczący określają sami, pamiętając, iż izolacja zajmuje około 10 % przekroju żelaza.

Żelazo użyte dla dławika jest normalnem żelazem transformatorowem, nie krzemowanem.

Oporność omowa uzwojenia określa się sposobem technicznym /przy pomocy amperomierza i voltomierza/ oczywiście przy prądzie stałym /tylko bez częstotściomierza/ /rys. 38/.

Wobec tego, iż oporność uzwojenia jest stosunkowo mała, ażeby uniknąć nadmiernych prądów należy włączyć w obwód opór dodatkowy. Jak zwykle oporność określamy z dwóch lub trzech pomiarów, biorąc śred-

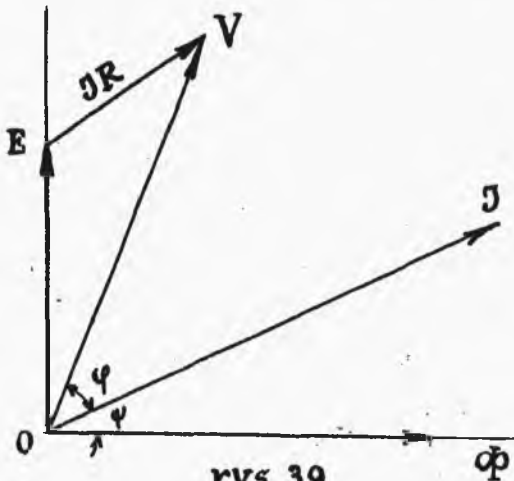


rys. 38.

nie arytmetyczne ich rezultatów.

Wykres przedstawiony jest na rys. 39.

Wektor OV - napięcie V na zaciskach OJ -
prąd J , EV spadek omowy równy JR , gdzie R opór
omowy uzwojeń. Kierunek EV zgodny jest z kierun-
kiem OJ , zaś OE równy co do wielkości i odwrot-
ny co do kierunku do S.E.M. samoindukcji. ϕ - wy-
obraża strumień magnetyczny, który spóźnia się



rys. 39.

względem OE o 90° .

Zadanie polega na odnalezieniu kątów φ i ψ /ten ostatni spowodowany histerezą/.

Oczywiście mając watomierz możnaby określić φ ze wzoru

$\cos \varphi = \frac{W}{I \cdot V}$, lecz φ jest bliskie 90° , więc mały błąd pomiarowy dałby dużą różnicę wartości φ . Wobec tego zakładamy $E \approx V$, co jest możliwe, gdy $R = 0$ i określamy ϕ ze wzoru

$V = E_s = 4,44 \cdot \phi \cdot f \cdot Z \cdot 10^{-8}$ /II/

a następnie mając przekrój, znajdziemy wielkość indukcji

$$B = \frac{\phi}{S} \quad \text{/III/}$$

Dalej z odpowiednich tablic określamy straty w żelazie na histerezę i prądy wirowe.

Obecnie znamy więc całą moc pochłanianą przez dławiki:

$$W = I^2 \cdot R + Q \cdot p$$

jeżeli przez Q oznaczymy wagę rdzenia w klg.; przez p straty w 1 klg. Mając W znajdujemy z wyżej wymienionego wzoru I kąt φ . Mając kąt φ i wiel-

kości \overline{EV} i \overline{OV} , możemy zbudować trójkąt OEW , gdyż kąt \widehat{EVO} jest równy φ .

Otrzymujemy oczywiście $\overline{OE} \neq \overline{OV}$, musimy więc w naszych obliczeniach zrobić odpowiednie poprawki zamiast V do wzoru II wstawiamy otrzymaną przez nas wielkość \overline{OE} , otrzymujemy nowy strumień ϕ , nową indukcję B , a w następstwie nowe straty p , moc W i kąt φ . - Otrzymujemy więc w rezultacie i nowe OE , bardziej zbliżone do wielkości rzeczywistej E_s , które znowu wstawiamy do wzoru II i po raz trzeci powtarzamy obliczenia.

O ile założone i znalezione E_s nie różnią się od siebie więcej, niż to jest dopuszczalne ze względu na dokładność pomiarów, obliczeń możemy nie powtarzać, gdyż rezultaty są zadawalniające. Mając φ możemy znaleźć kąt \widehat{EOV} to jest $90 - (\varphi - \psi)$, a tym samym kąt ψ .

Następnie określamy zastępcze wartości dla dławika, a mianowicie oporności Z, R i X , oraz współczynnik samoindukcji L .

Wartości te określamy ze wzorów:

$$Z = \frac{V}{J} \quad R = \frac{P}{J^2}$$

$$x = \sqrt{z^2 - R^2} \quad \alpha = \frac{x}{\omega}$$

gdzie $\omega = 2\pi f$

poczem wykreślamy następujące zależności:

z, R, x, α jako $f(J)$

dla dwóch różnych wielkości szczeliny δ oraz

z, R, x, α jako $f(\delta)$

dla dwóch różnych wielkości J przy stałym δ .

§ 9. Pomiar strat w żelazie.

Dla określenia strat w żelazie stosuje się urząd Epsteina. Składa się on z 4-ch jednakowych rdzeni, utworzonych z pasków blachy żelaznej. Połowa tych pasków jest wycięta wzdłuż włókien blachy - połowa wpoprzek. Wymiary paska 500 x 30 milimetr. Waga 4 rdzeni - 10 kg. Dla izolacji włożono pomiędzy paski żelazne - przekładki papierowe. Na rdzenie nasadza się zwojnice, przez które płynie prąd o znacznej częstotliwości.

Za pomocą dokładnego watomierza określamy moc tego prądu, z pomocą zaś amperomierza i voltomierza odpowiednio natężenie i napięcie w celu określenia gęstości linii magnetycznych.

Przekrój określa się z wymiarów i liczby blaszek, poczem sprawdza się podług wagi /ciężar właściwy żelaza zwykłego - 7,7; nakrzemionego - 7,5/. Aby oddzielić straty w żelazie od strat na ciepło, mierzymy uprzednio opór zwojnic, który w przyrządzie Epsteina wynosi 0,512 oma. Schemat połączeń podaje rys.40, wyniki ułożymy, jak to podaje tabliczka,

z	V	J	W	$W - J^2 z$	$J^2 z$	p	$\lg p$	$\lg B$	B

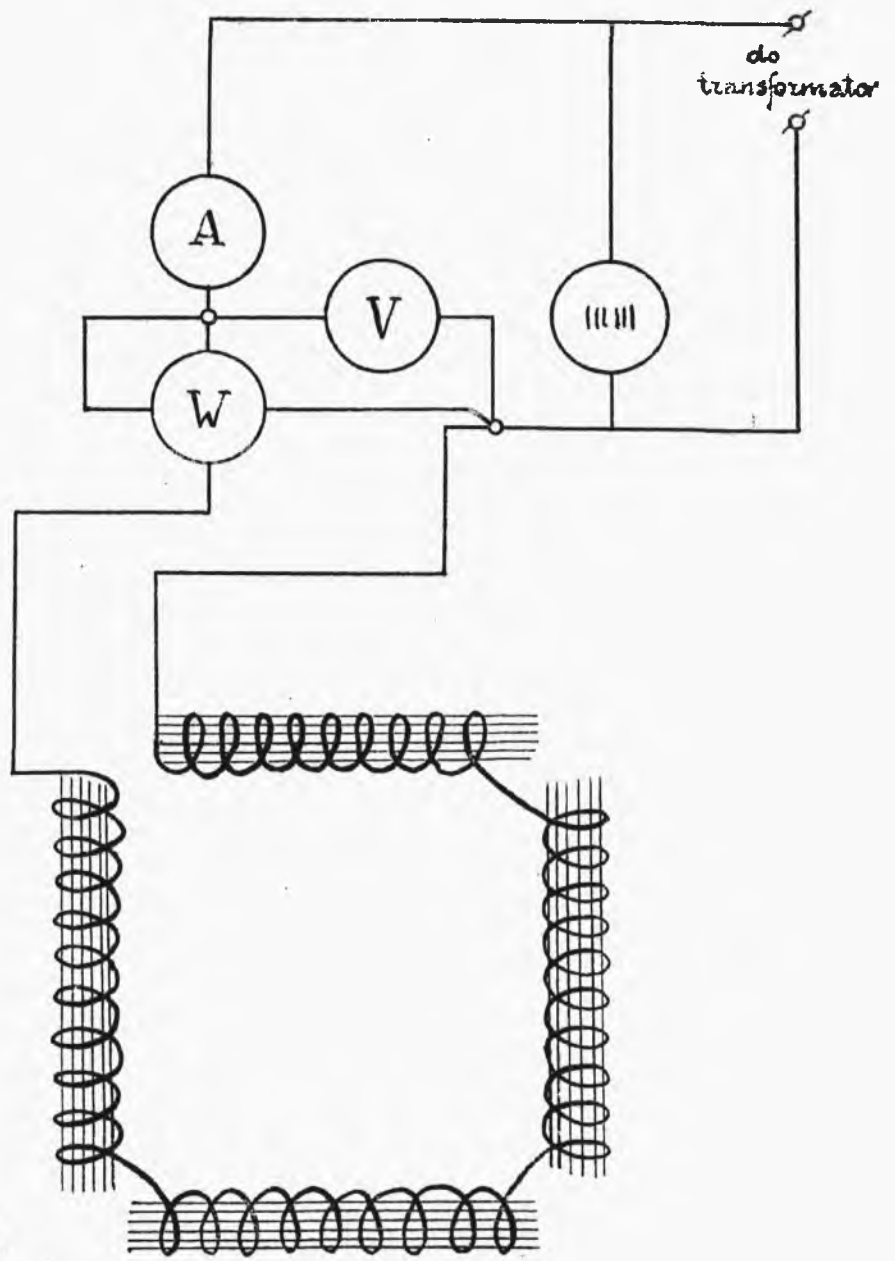
gdzie p - oznacza straty na 1 klgr., czyli $\frac{W - J^2 z}{10}$. Oczywiście, jako błąd systematyczny występuje tu strata energii w cewkach watomierza.

Zmieniając napięcie na zaciskach otrzymamy zależność $p = f(V)$, którą następnie przedstawiamy wykreślnie. Zmian napięcia dokonywujemy przy pomocy specjalnego transformatora.

Zależność $p = f(V)$ pozwoli nam na znalezienie tak ważnej przy budowie maszyn elektrycznych zależności:

$$p = f(B)$$

gdyż znając napięcie, częstotliwość sieci, przekrój żelaza i liczbę zwojów możemy znaleźć B . Jak wia-



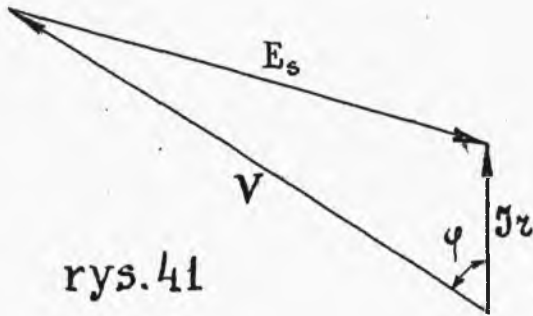
rys. 40.

domo

$$B = \frac{E \cdot \sqrt{2} \cdot 10^8}{m \cdot S} \cdot \frac{1}{2\pi f}$$

gdzie m - liczba zwoi, S - przekrój żelaza, f - częstotliwość, E - S.E.N. samoindukcji.

Jeżeli nie chodzi o pomiary bardzo dokładne, zamiast E możemy przyjąć V , gdyż napięcie na końcówkach przyrządu jest prawie równe S.E.M. samoindukcji. Przy bardziej dokładnych obliczeniach E określimy ze wzoru: $\bar{V} = \bar{E} + \bar{J}z$ /rys.41/.



rys.41

W ten sposób E znajdziemy z trójkąta, w którym jeden bok wyraża spadek omowy w cewce Jz / z - opór cewki/, drugi zaś bok strony - napięcie na zaciskach V ,

kąt φ pomiędzy Jz , i V znajdziemy ze wzoru.

$$\cos \varphi = \frac{W}{VJ}$$

gdzie W, V i J wskazania watomierza, voltomierza i amperomierza w naszym układzie.

Korzystając z uproszczonego wzoru piszemy:

$$B = \frac{V \sqrt{2} 10^8}{m \cdot S} \cdot \frac{1}{2\pi f}$$

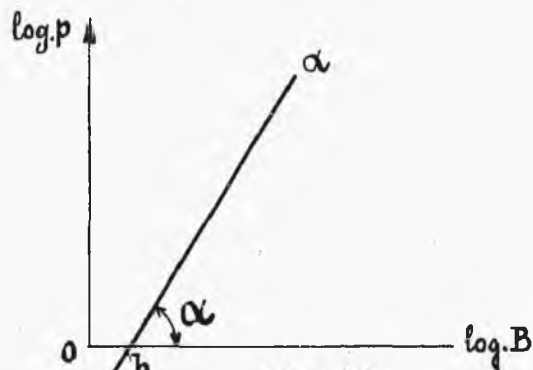
albo:

$$B = 0,45 \frac{V \cdot 10^8}{2m \cdot S \cdot f}$$

oczywiście zakładamy, iż krzywa napięcia jest sinusoidalna, w przeciwnym razie musielibyśmy do tego wzoru wprowadzić pewne poprawki, pominięcie których może dać błąd paroprocentowy. Dla danego przyrządu i stałej częstotliwości możemy napisać:

$$B = \text{const} \cdot V$$

czyli że krzywa $p = f(V)$ jest krzywą $p = f(B)$, tylko w innej skali. By znaleźć odpowiednie równanie zakładamy, że związek nasz ma postać $f(B) = KB^\alpha$ i postaramy się odnaleźć wartości stałych K i α .



rys. 42.

W tym celu wzór $p = KB^\alpha$ logarytmujemy:

$$\lg p = \lg K + \alpha \lg B$$

W odpowiednim układzie jest to linja prosta

/rys.42/ i α jest tang. jej kąta pochylenia. Dla określenia $\lg K$ - przyrównamy $\lg p$ do zera, wów-

czas $\lg B$ równa się odcinkowi Ob czyli $B=B_0$,
wówczas

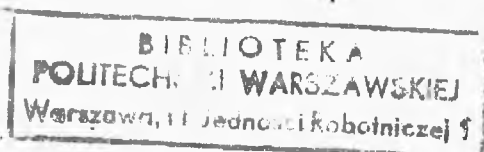
$$0 = \lg K + \lg B_0 \quad \text{skąd} \quad K = \frac{1}{B_0}$$

w rezultacie:

$$p = \left(\frac{B}{B_0} \right)^\alpha$$

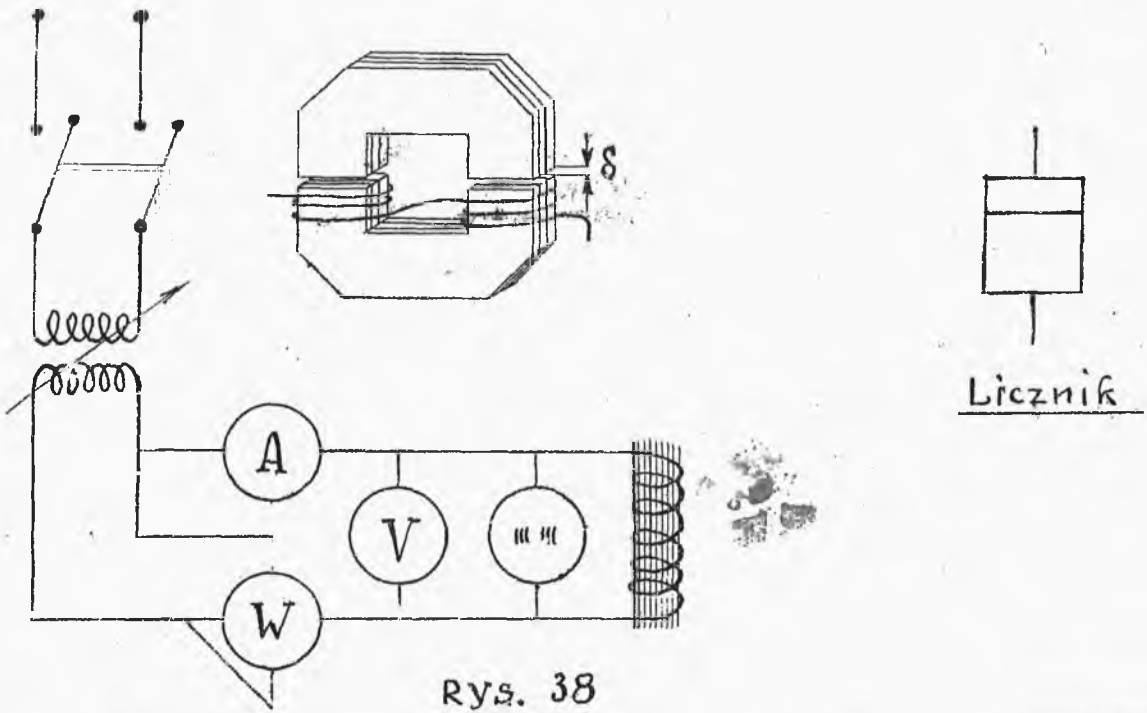
Mając określone B_0 i α dla każdej indukcji
znajdziemy odpowiadającą jej wartość p .

Koniec I części.



n/P. 536

ERRATA.



Rys. 38

nr	Wiersz	Jest	Powinno być
18	1	obniżenia	obciążenia
19	2	wydajności	sprawności
36	8	volt	woltów
45	23	$\frac{c-c'}{c} 100\%$	$\frac{c-c'}{c'} 100\%$
54	8	znaczne samoind.	niewielką samoindukcję
58	6	ilorazami	wielokrotnościami
"	10	zakładamy... że	bierzemy
"	19	$n(i_5 - i_6)$	$n(i_5 - i_4)$
"	21	$i_2 = i_3; i_5 = i_6$	$i_2 = i_5; i_3 = i_4$
60	18	$\sqrt{\dots \alpha^2 \cdot i}$	$\sqrt{\dots \alpha_i^2}$
62	8	$i_1 = \alpha_1 c \frac{V}{R}; i_2 = \alpha_2 c \frac{V}{X+R}$	$i_1 = \alpha_1 c = \frac{V}{R}; i_2 = \alpha_2 c = \frac{V}{X+R}$
64	4	wpływie	na płycie
67	5	$R > 50$ omów	$R < 50$ omów
68	3	szpula	cewka między stałymi magnesami obracana za pomocą karbki

Str.	Wiersz	Jest	Powinno być
71	9	$\frac{V - J r_a}{V} 100\%$	$\frac{J r_a}{V} 100\%$
74	17	e	l
74 i 75		wszędzie zamiast δv i dv winno być ΔV	
77	10	scechować	porównać
79	9	$J_1 - J_3$; $J_2 - J_1$	$J_1 - J_2$ i $J_3 - J_1$
"	11	$J''' = J_2$; $J'' = J_3$	$J''' = J_3$; $J'' = J_2$
80	rys 36 I	oznaczenia wektorów J'' , J''' winny być odwrotnie: J'' , J'''	
83	6	konieczna	należy znać jego konstrukcję.
85	9	$\cos \varphi = \frac{W}{J V}$	$\cos \varphi = \frac{W}{J V} \dots / I$
92	1	czyli $\beta = B_0$	załóżmy $O b = \lg B$
"	3	$0 = \lg K + \lg B_0$; $K = \frac{1}{B_0}$	$0 = \lg K + \alpha \lg B_0$; $K = \frac{1}{B_0^\alpha}$

Str.	Wiersz	Postawie	dodać
12	5	pewnych	przyrządów w razie
40	22	statym.	Cechowanie należy powtórzyć przy zmianie kierunku prądu w cewce nie ruchomej celem wyłączenia wpływu pola ziemskiego
43	13	jak to ...	dla przykładu ...
85	5	histerezą	i prądami wirowymi

Str.	Wiersz	Wykreślić
77	10	Cechowanie... (aż do końca zdania)
82	5	między żelaza dławika
83	16	nie krzemowanym
90	15	strony.

Uwaga: Pisze się woltomierz - wolty - woltów
a nie voltomierz - volty - volt