

ciężarze gatunkowym 1,15. W celu osiągnięcia dobrego przylegania masy straconej, gęstość prądu nie powinna przekraczać 1 A na 25 cm^2 .

Elektrochemiczny równoważnik miedzi

$$\varepsilon = 0,3294 \text{ mgr.}$$

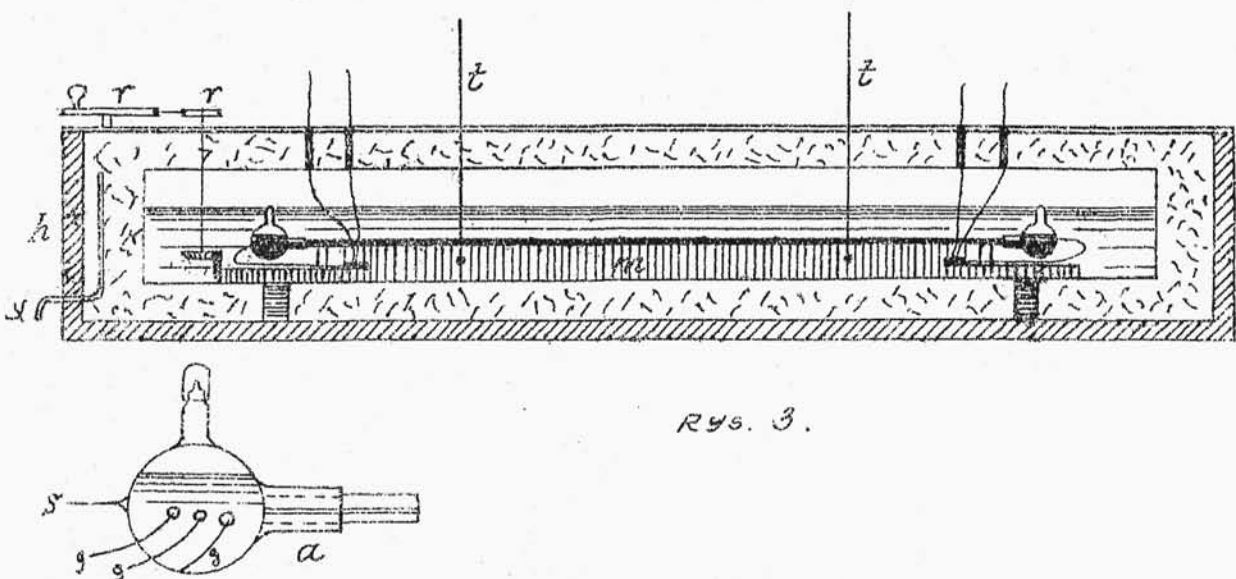
Woltametr miedziowy służy do pomiarów, wymagających większych natężeń prądu; dokładność pomiaru jest tu jednak mniejsza, niż przy woltametrze srebrowym.

Woltametry mają zastosowanie tylko w ścisłych laboratorjach, dawniej służyły do cechowania amperomierzy, lecz zarzucono je jako zbyt dokładne, ponieważ już przy odczytywaniu amperomierza popełniamy błąd, który nie da się usunąć nawet przez zastosowanie bardzo dokładnych przyrządów czy metod.

II. W z o r c e = = o p o r u =

a/ Wzorzec podstawowy rtęciowy. Wzorcem podstawowym jest wzorzec oma międzynarodowego, stanowiącego opór słupa rtęci w temp. 0° , którego długość przy jednostajnym przekroju /ok. 1 mm^2 / wynosi 106,3 cm., a masa - 14,4521 gr.

/Rys.3/ przedstawia wzorzec rtęciowy oma



Rys. 3.

międzynarodowego. Rtęć mieści się w rurce szklanej, której końce są szczelnie wsunięte w rurki szersze, stanowiące wyrostki na bańkach. Jedna z takich baniek przedstawiona jest oddzielnie u dołu rysunku. Widoczne są tu także druciki platynowe s, g, g, g , służące dla doprowadzania prądu i połączenia z przyrządami, wskazującymi różnicę potencjałów na końcach rurki. Dla utrzymania odpowiedniej stałej temperatury, rurka leży na płycie miedzianej m , wewnątrz naczynia miedzianego K , wypełnionego naftą. Naczynie K jest umieszczone wewnątrz pudełka drewnianego h , które wypełnia się topniejącym lodem; przez rurkę x odpływa wo-

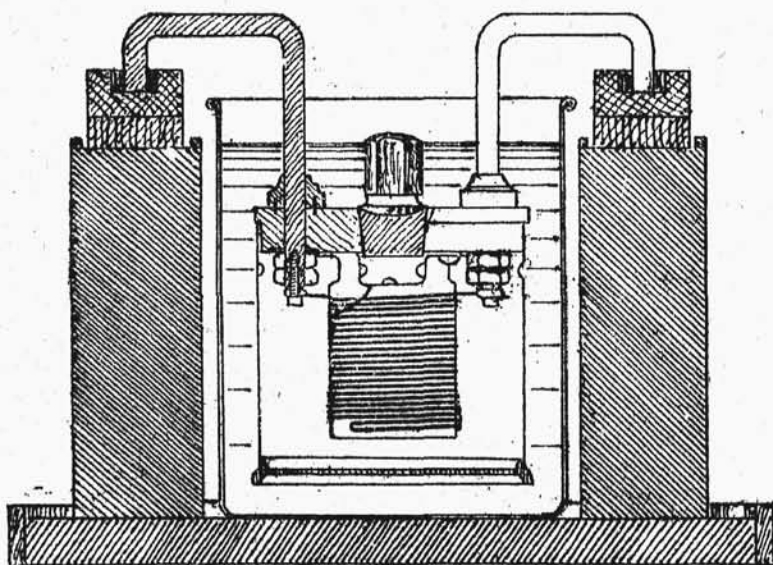
da. Zapomocą krążków X, Y wprawiamy w ruch mieszadło, w celu wyrównania temperatury wzdłuż rurki. Temperaturę wskazują dwa termometry t, \bar{t} , których naczynia znajdują się w zagłębieniach wywierconych w płycie mn . Lód przykrywa się kawałkiem filcu. Wszystkie otwory uszczelnia się bawełną, umieszczaną w nafcie.

Takie wzorce, dokładnie zbadane pod względem średnicy otworu rurek i ich długości, porównywa się co pewien czas pomiędzy sobą a z nimi wzorce wtórne.

b/ Wzorzec wtórny rtęciowy. Dawniej posługiwano się wzorcami wtórnymi rtęciowymi, gdyż uważano, że rurki podstawowe, wobec swego prostego kształtu, dają się łatwo zastąpić rurkami wtórnymi, zaś z wzorcami drutowymi nie umiano sobie radzić. Z czasem pogląd ten uległ zmianie i obecnie używa się oporników drutowych, jako wzorce wtórne.

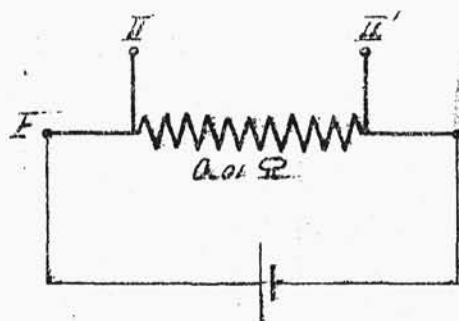
c/ Wzorzec wtórny drutowy. Wzorce drutowe są lepsze w użyciu i wygodniejsze aniżeli wzorce rtęciowe. Kilka takich wzorców porównywa się z podstawowym wzorcem rtęciowym, służą one do

corocznego sprawdzania wzorców drutowych, używanych w laboratorjach. Budowa takich wzorców jest następująca: Drut izolowany jest nawinięty dwunitkowo /bezindukcyjnie/ na cylinder z cienkiej blachy, a końce tego drutu są przymocowane do dwóch grubych haków miedzianych. Prąd doprowadzamy przez miseczki z rtęcią, w których są zanurzone końce haków. Cały opornik pogrąża się w naczynie, aby ułatwić jego ochładzanie się. Wyjawszy korek w środku, można wstawić termometr, zaś mieszadełko /turbinka/ służy do wyrównywania temperatury w całym oporze. Rys. 4 przedstawia taki wzorzec drutowy.



Rys. 4.

Jako opór wzorca rozumiemy opór, zawarty między zaciskami i składający się z drutu, haków i reszty doprowadzeń. Przy małych oporach wpływ haków jest dość znaczny, wskutek tego daje się specjalne zaciski, zwane zaciskami potencjalnymi.



Rys. 5.

Na rys.5 zaciski I i I' służą dla doprowadzenia prądu, zaś II i II' są zaciskami potencjalnymi, pomiędzy którymi jest zawarty mierzony opór $0,01 \Omega$. Zaciski potencjalne są używane przy oporach mniejszych od $0,1 \Omega$.

Metal, używany do wyrobu wzorców drutowych, winien nie zmieniać swego oporu wraz z temperaturą /współczynnik termiczny oporu α mały/, oraz winien wykazywać małe siły termo-



elektryczne przy zetknięciu z innym metalem /miedzią/. Wskutek tego czyste metale używane nie mogą, gdyż w nich współczynnik termiczny, wynoszący $+4\%$ na 1° i więcej, jest dość znaczny. Lepszymi pod tym względem są stopy, które posiadają znacznie mniejszy współczynnik termiczny aniżeli czyste metale.

Ze wszystkich stopów najlepszym okazał się manganin, zaprojektowany przez Westona, i posiadający następujący skład: 84 % Cu, 12 % Mg, 4 % Ni - mangan zmniejsza spójczynnik termiczny, zaś nikiel - siłę termoelektryczną, przyczem $\alpha = 1 \div 2 \cdot 10^{-5}$, siła termoelektryczna $STE = 2 \mu V$ na $1^{\circ}C$. względem miedzi, opór właściwy $\rho = 0,4 \div 0,45$. Stopem podobnym do manganinu jest konstantan, o składzie: 60 % Cu, 40 % Ni, posiada wprawdzie mały współczynnik termiczny, i dlatego bywa czasami używany do oporników wzorcowych, lecz ma tak dużą siłę termoelektryczną względem miedzi / $40 \mu V$ na $1^{\circ}C$. / że z powodzeniem może być użyty do budowy termoelementów. Jego opór właściwy $\rho = 0,46 \div 0,50$. Wskutek powyższych własności konstantan nie nadaje się

do oporników precyzyjnych, natomiast znajduje zastosowanie w opornikach technicznych, wskutek znacznego oporu właściwego. - Oprócz powyższych stopów używany jest nikielin, o składzie: 76 % Cu, 24 % Ni, współczynnik termiczny: $\alpha = 0,00008 \div 0,00023$, opór właściwy $\rho = 0,46 \div 0,56$.

Oporniki wzorcowe sporządza się zwykle z manganinu, w wielkościach różnych, najczęściej od 100000 Ω do 0,0001 Ω . Oporniki powyżej 0,1 Ω są sporządzone z drutu, zaś poniżej 0,1 Ω - z blachy manganinowej lub bloków, odlanych w formie rury czy walca.

II^b Oporniki ścisłe.

Oporniki ścisłe są jednostopniowe i wielostopniowe, zaś te ostatnie mogą być, zależnie od konstrukcji: kołeczkowe, korbkowe i suwakowe.

a/ Oporniki jednostopniowe.

Oporniki jednostopniowe są zbudowane podobnie jak wzorce drutowe i służą do bardzo

dokładnych pomiarów.

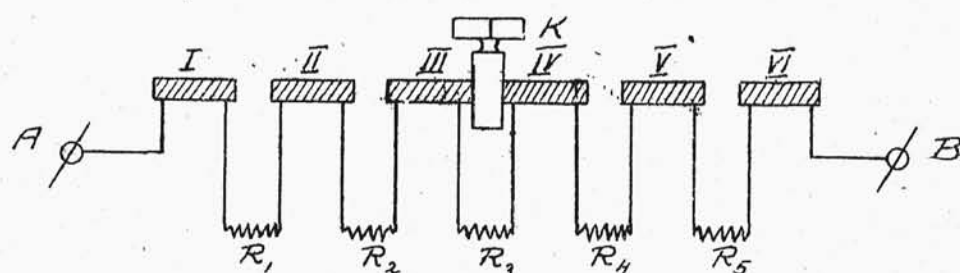
b/ Oporniki wielostopniowe.

Oporniki kołeczkowe.—Ten rodzaj oporników znajduje szerokie zastosowanie przy pomiarach elektrycznych; są one zestawiane w t.zw. skrzynkach opornikowych i uporządkowane według szeregu stopni w rozmaitym porządku, np.: 1, 1, 1, 2, 5, 10, 10, 20, 50 Ω

1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, 100, 200, 200
500,

1, 2, 3, 4, 5, 10 i t.d.

tak aby można było przez wkładanie lub wyjmowanie kołeczków kombinować wszelkie /całe/ wartości oporu od 1 \div 100 \div 1000 i t.d.



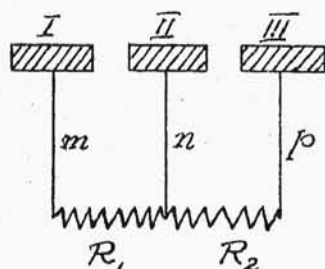
RYS. 6.

Rys. 6 uwidoczni układ połączeń opornika kołeczkowego. W punktach A i B znajdują się zaciski dla doprowadzenia prądu, opory zaś

R_1, R_2, R_3 i t.d. są połączone szeregowo za pomocą płytek metalowych I, II, III i t.d. Przez wetknięcie kołeczka \mathcal{K} opór

R_3 , znajdujący się pomiędzy płytkami III i IV, zostaje zwarty i wskutek tego - wyłączony. W ten sposób możemy opory R_1, R_2, R_3 i t.d. dowolnie kombinować. Na rysunku 6 opór, zawarty pomiędzy punktami A i B , wynosi $R_1 + R_2 + R_4 + R_5$.

Na rys. 7 wskazany jest inny sposób połączeń poszczególnych oporników ze sobą



rys. 7.

w których dwa sąsiednie opory R_1 i R_2 mają wspólne doprowadzenie n . W tym układzie nie jest wszystko jedno czy, przez wyjęcie kołeczków, opory R_1 i R_2 są połączone szeregowo, czy jeden z nich jest zwarty; bowiem przy połączeniu szeregowym przez doprowadzenie n - prąd nie przepływa, zaś przy zwarcu np. oporu R_1 lub

R_2 przez to doprowadzenie prąd przepływa. Uwzględnianie tej okoliczności przy dokładnych pomiarach mniejszych oporów jest niewygodne i dlatego w lepszych skrzynkach bywa stosowany układ połączeń, wskazany na rys.6, gdzie tak przy połączeniu szeregowym oporów jak i przy ich pojedynczym użyciu dopływ prądu do poszczególnych oporów odbywa się zawsze przez dwa doprowadzenia.

Często płytki metalowe I, II, III i t.d. posiadają oddzielne otwory, w które można wtykać t.zw. kołeczki dodatkowe, służące do wyeliminowania oporów stykowych przy dokładnych pomiarach. Do tych kołeczków przymocowywa się druty odgałęźne za pomocą śrub.

Kołeczki winny posiadać mały opór, być utrzymane w czystości przez częste przemywanie naftą i dobrze dopasowane do otworów. - W celu zapewnienia dobrego kontaktu, należy kołeczki dociskać, lecz niezbyt mocno, gdyż zacierają się i rozluźniają. Opór stykowy kołeczka winien wynosić nie więcej jak $1/20000$

Ω , co można osiągnąć przez staranne wykonywanie.

β /Oporniki korbkowe. Opornik korbkowy
jest podzielony na t.zw. dekady, z których
każda składa się z dziewięciu jednakowej wiel-
kości oporów, doprowadzonych do styków i jed-
nej korbki stykowej. Układ styków jest kołowy.
To urządzenie jest korzystne z tego względu,
że liczba oporów stykowych jest zawsze ta sa-
ma, czego nie mamy w opornikach kołeczkowych.
Wada tego urządzenia jest mniejszy wybór opo-
rów niż w opornikach kołeczkowych.

γ /Oporniki suwakowe.—W tych opornikach
zamiast korbki znajduje się suwak, za pomocą
którego można odpowiednio dobierać opór. Układ
styków jest równoległy.

Oporniki skrzynkowe są budowane do 100000
 Ω i wyżej. Małe opory, poniżej 0,1 Ω
lub 0,05 Ω służą do interpolacji i przy
dokładnych pomiarach nie dają większej dokład-
ności. Dokładność, jaką można uzyskać przy
opornikach skrzynkowych, nawet z uwzględnieniem
temperatury, wynosi 0,1 %. Wskutek powyższego
oporniki te nie mogą służyć jako wzorce przy
bardzo dokładnych pomiarach; do tego celu uży-
wa się tylko oporników jednostopniowych.

II^o. Oporniki techniczne.

Oporniki techniczne, zależnie od celu do którego służą, można podzielić na: obciążające, dodatkowe i dzielniki napięcia.

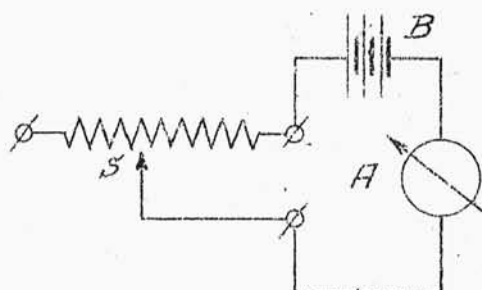
a) Oporniki obciążające.

Służą one do sztucznego obciążania; zwykle są wyrabiane jako suwakowe lub korbowe. Oporniki suwakowe są lepsze od korbowych, gdyż umożliwiają lepszą regulację. Jak już zaznaczono, najlepszym materiałem, używanym do budowy tego rodzaju oporników, jest konstantan, jako mający duży opór właściwy. Również lampki żarowe, przy niezbyt dużym prądzie i małych wymaganiach co do niezmienności prądu, mogą być z korzyścią używane jako opory obciążające.

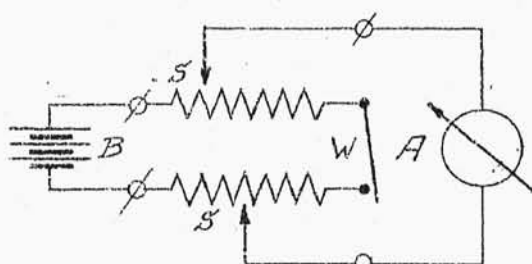
Rys. 8 i 9 uwidoczniają układy połączeń oporników obciążających.

Przez przesuwanie styków *S* /korbek lub suwaków/ zmieniamy natężenie prądu, płynącego przez amperomierz *A* z baterji *B* ; przyczem na rys. 9 wyłącznik *W* jest otwarty.

Oporniki wodne znajdują również zastosowanie jako oporniki obciążające.



Rys. 8.



Rys. 9.

Do regulacji napięcia używamy oporników dodatkowych /szeregowych/.

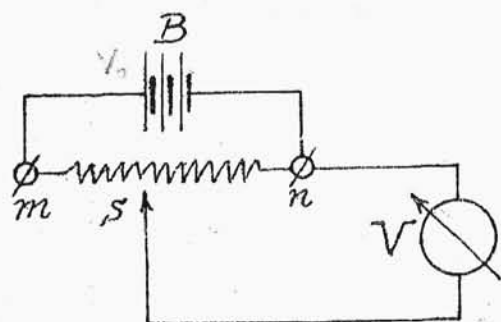
β) Dzielniki napięcia.

W technice pomiarowej często zdarza się potrzeba rozdziału napięcia. Do tego celu służą w zasadzie oporniki, za pomocą których możemy odgałęzić część danego napięcia.

Rys.10 i 11 uwidoczniają zasadę takich dzielników.

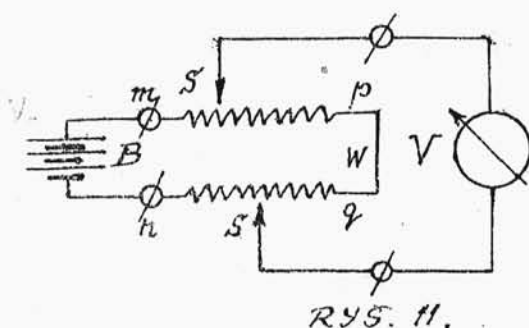
Przez przesuwanie styków S zmieniamy napięcie, wskazane przez woltomierz V . Na rys.10 woltomierz wskazuje część napięcia baterji B , równającą się stosunkowi oporów $\frac{Sn}{mn} = \frac{V}{V_0}$ zaś na rys.11 - stosunkowi

$$\frac{mS + nS}{mS + nS} = \frac{V}{V_0} ; \text{ przyczem wyłącznik } W$$



RYS. 10.

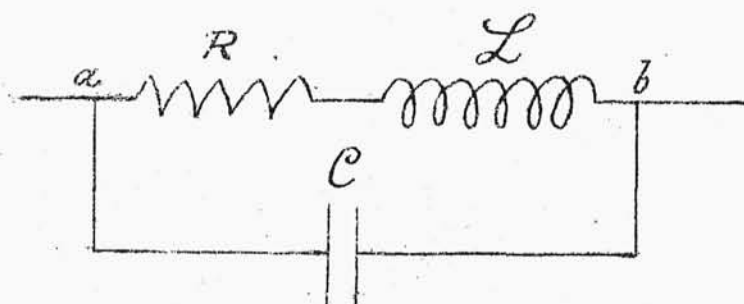
jest zamknięty.



RYS. 11.

Przy pomiarach prądów zmiennych występuje skutek indukcyjności i pojemności oporów, pozorne powiększenie oporu, jak również przesunięcie fazy między prądem i napięciem. Przy dużej liczbie zmian prądu występuje jeszcze zjawisko naskórkowości, które również może spowodować pozorne powiększenie oporu. Im szybsze są zmiany prądu, tem wyraźniej zjawiska powyższe występują.

W teoretycznych rozważaniach można opornik przy prądzie zmiennym przedstawić jako połączone szeregowo oporność R i indukcyjność L , do których jest załączona równolegle pojemność C /patrz rys. 12/.



Rys. 12.

Opór wypadkowy, zawarty pomiędzy punktami a i b , określamy jako opór pozorny opornika; wyraża się on następującym wzorem, przy pulsacji $\omega = 2\pi\nu$:

$$R_z = R \frac{\sqrt{1 + \omega^2 \left(\frac{L}{R} - RC \right)^2}}{1 - \omega^2 C (2L - R^2 C)} \dots \dots \dots 2)$$

zaś przesunięcie fazy: $\varphi = \frac{x}{R}$

$$\operatorname{tg} \varphi = \omega \left(\frac{L}{R} - RC \right) \dots \dots \dots 3)$$

Wzór /3/ wykazuje, że przy małym oporze przeważa indukcyjność ($\varphi > 0$), zaś przy dużym oporze - pojemność ($\varphi < 0$).

Jeżeli L i C obierzemy tak, aby było:

$$L = R^2 C \dots \dots \dots 4)$$

to wówczas nie będzie przesunięcia fazy, czyli

$$\varphi = 0$$

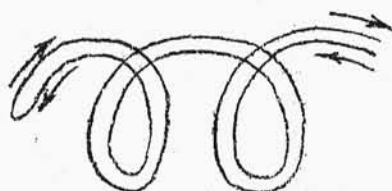
zaś opór pozorny wyrazi się następująco:

$$R_z = \frac{R}{1 - \omega^2 LC} \dots \dots \dots 5/$$

Przy małych L i C jest $R_z \approx R$

Należy zatem albo uwzględnić błąd pomiaru, spowodowany powyższymi zjawiskami, albo tak budować oporniki, aby ich indukcyjność i pojemność były jaknajmniejsze.

W celu zmniejszenia indukcyjności bywa stosowane nawinięcie dwunitkowe /bifilarne/, w którym przez obie połowy przewodnika prąd przepływa w kierunkach odwrotnych /patrz rys. 13/:



rys. 13.

Ten rodzaj nawinięcia ma jednak tę wadę, że zwiększa pojemność i to tem więcej, im dłuższy i cieńszy jest przewodnik.

Przy dużych operach stosuje się t.zw. sposób nawinięcia przeciwarstwowy Chaperon'a. Jest to nawinięcie jednonitkowe /unifilarne/, w którym parzysta liczba warstw jednonitkowych jest nawi-

nięta w ten sposób, że po przejściu każdej warstwy kierunek nawinięcia ulega zmianie. Pojemność jego jest mniejsza od pojemności nawinięcia dwunitkowego.

Unieszkodliwienie lub też częściowe usunięcie pojemności, występującej w dużych opornikach, można uskutecznić w rozmaity sposób.

Przez odpowiedni dobór stosunku indukcyjności do pojemności przy danej liczbie okresów, można uniknąć przesunięcia fazy. Usunięcie pojemności w oporach małych i średnich uskutecznia się przez sztuczne zwiększenie indukcyjności, dodając kilka jednonitkowych zwojów działających indukcyjnie.

III. Wzorce siły elektromotorycznej.

Jako wzorce siły elektromotorycznej służą ogniwa normalne. Wymagania, jakie stawiamy ogniwu normalnemu są: niezależność jego napięcia od temperatury, odwracalność, niezależność napięcia od stanu używalności czyli stałość jego SEM-aj, oraz gotowość do użycia w każdej chwili. Jako ogniwa normalne używane są: ogniwo Westona i ogniwo Clarka.