

kazuje różnicę wskazań, zależnie od tego czy prąd się zwiększa czy zmniejsza /wpływ hysterezy/, przyczem średnia z dwóch odczytów, odpowiadająca stałemu prądowi w cewce ruchomej, nie jest proporcjonalną do prądu wzbudzającego w cewce nieruchomej. Przy prądzie zmiennym straty hysterezyowe powodują przesunięcie fazy pomiędzy prądem wzbudzającym i polem magnetycznym. Jeżeli to przesunięcie fazy jest duże, to wskazania przyrządu są fałszywe, przyczem błąd wynosi do $0,8 \div 1 \%$.

R O Z D Z I A Ł V.

PRZYRZĄDY INDUKCYJNE,

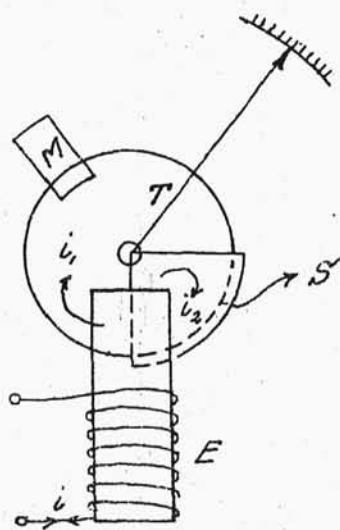
1/ Zasada działania.

W przyrządach indukcyjnych tarcza lub bęben aluminiowy ruchomy znajduje się pod działaniem nieruchomego elektromagnesu o prądzie zmiennym. Moment kręący powstaje wskutek działania strumienia magnetycznego, przenikającego tarczę lub bęben, na indukowane przez niego w tarczy lub bębnie prądy wirowe.

W przyrządach, zawierających bęben ruchomy, elektromagnesy, rozłożone naokoło niego, wytwarzają pole wirujące, podczas gdy w przyrządach, zawierających ruchomą tarczę, elektromagnesy są umieszczone zwykle obok siebie i wytwarzają pole wędrujące.

Przyrządy indukcyjne mogą być stosowane tylko do prądu zmiennego i nie mogą być cechowane prądem stałym.

2/ Przyrządy indukcyjne o polu wędrującem.



Rys. 39.

Rys. 39 uwidocznia zasadę działania tego rodzaju przyrządu. Bieguny elektromagnesu E są osłonięte częściowo przez metalowe segmenty S

Pole magnetyczne, przenikające tarczę, indukuje tak w segmentach, jako też i w tarczy podnieosłoniętą częścią biegunów prądu wirowe, których kierunki i fazy są jednakowe. Te prądy, według praw elektrodynamiki, przyciągają się, wytwarzając moment kręący. Tarcza obracać się będzie tak długo, aż moment ten zostanie zrównoważony momentem zwracającym, wytworzonym za pomocą sprężyn.

Jeżeli oznaczymy prądy wirowe, indukowane w tarczy i segmentach odpowiednio przez i_1 i i_2 /rys.39/, to moment kręący jest proporcjonalny do iloczynu tych prądów t.j.

$M_i = K_1 i_1 i_2$. Ponieważ z drugiej strony te prądy są proporcjonalne do mierzonego prądu i , zatem $M_i = K_2 i^2$. Postać równania równowagi będzie:

$$K_2 i^2 = D\alpha$$

skąd

$$i = c\sqrt{\alpha}$$

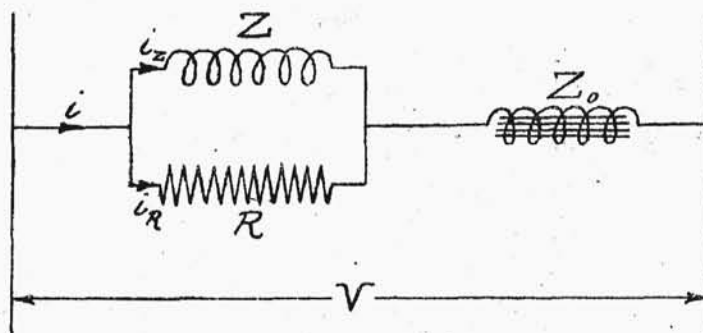
skala jest więc kwadratową.

Przyrządy na tej zasadzie oparte są budowane jako amperomierze, woltomierze i watomierze.

Amperomierze i woltomierze posiadają tylko jeden elektromagnes prądowy względnie napięciowy, zaopatrzony w osłony metalowe lub uzwojenie zwarte, działające jako osłona elektrodynamiczna /pod wpływem prądu zmiennego indukują się w uzwojeniu zwartem prądy przesunięte o około 180° względem prądów pierwotnych; pole wypadkowe jest prawie = 0/.

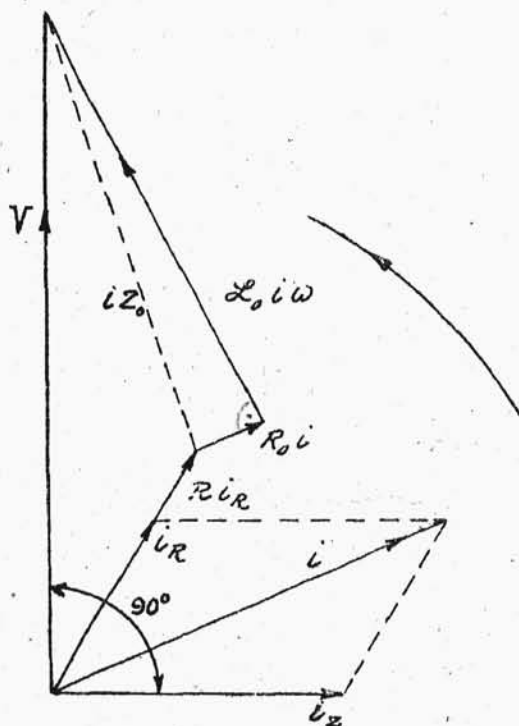
Watomierze i liczniki posiadają dwa elektromagnesy, z których jeden jest prądowym, a drugi napięciowym /podobnie jak u przyrządów elektrodynamicznych/, przyczem aby wskazania ich były dobre, niezależnie od przesunięcia fazy obciążenia, to pole magnetyczne, wytworzone przez elektromagnes napięciowy, winno spóźniać się o 90° względem napięcia, lub, co na jedno wyniesie, napięcie układu winno wyprzedzać prąd w cewce napięciowego elektromagnesu o 90° . Rys.40 uwi-
docznia jeden z układów połączeń, za pomocą których wspomniany warunek może być osiągnięty.

Równolegle do cewki napięciowej Z jestłączony opornik \mathcal{R} , a w szereg z utworzonym w ten sposób oporem kombinowanym jest połączona cewka Z_0 .



Rys. 40.

Wykres wektorowy, uwidoczniiony na rys.41, otrzymuje się w następujący sposób:



Rys. 41.

Przyjmując kierunek napięcia V jako pionowy oraz zakładając z góry kierunki prądu i_z w cewce napięciowej jako prostopadły do V , a i_R w oporniku R tak jak wskazano na wykresie, otrzymujemy, przez geometryczne zsumowanie tych prądów, wielkość i kierunek wektora prądu całkowitego i /rys.40/.

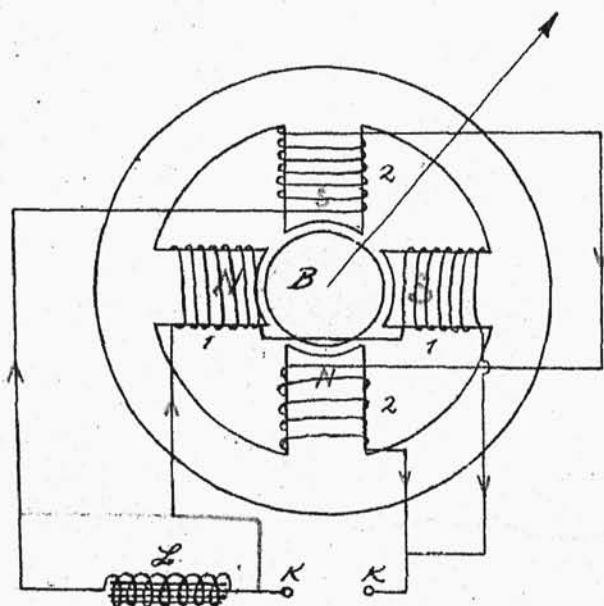
Spadek napięcia na oporze R jest zgodny z prądem i_R oraz posiada wartość $R i_R = V_R$. Jeżeli do tego spadku dodamy geometrycznie spadek omowy $i R_o$ na cewce Z_o , który jest w fazie z prądem i , oraz spadek napięcia indukcyjny $\omega L_o i$ na tejże cewce, skierowany prostopadle do tegoż prądu, to otrzymamy całkowite napięcie V , panujące w sieci.

Z wykresu tego widać, że przez odpowiedni dobór oporu R i cewki Z_o można osiągnąć przesunięcie fazy pomiędzy prądem i_z a napięciem V , wynoszące 90° . Gdyby cewki Z_o nie było, t.j. cewka Z wraz z równoległym oporem R były załączone na pełne napięcie sieci, to osiągnięcie tego celu byłoby niemożliwe, gdyż wskutek oporu omowego cewki napięciowej, przesunięcie fazy pomiędzy prądem i_z i napięciem V byłoby zawsze mniejsze od 90° .

Ten sposób znajduje zastosowanie w nowoczesnych konstrukcjach liczników indukcyjnych.

Tłumienie w przyrządach z ruchomą tarczą odbywa się za pomocą magnesu stałego M /rys: 39/, obejmującego tarczę. Zaletą tych przyrządów jest niezależność ich wskazań od kształtu krzywej, wadą zaś - zależność wskazań od częstotliwości.

3/ Przyrządy indukcyjne o polu wirującym
/Ferraris/ /rys. 42/.



Rys. 42.

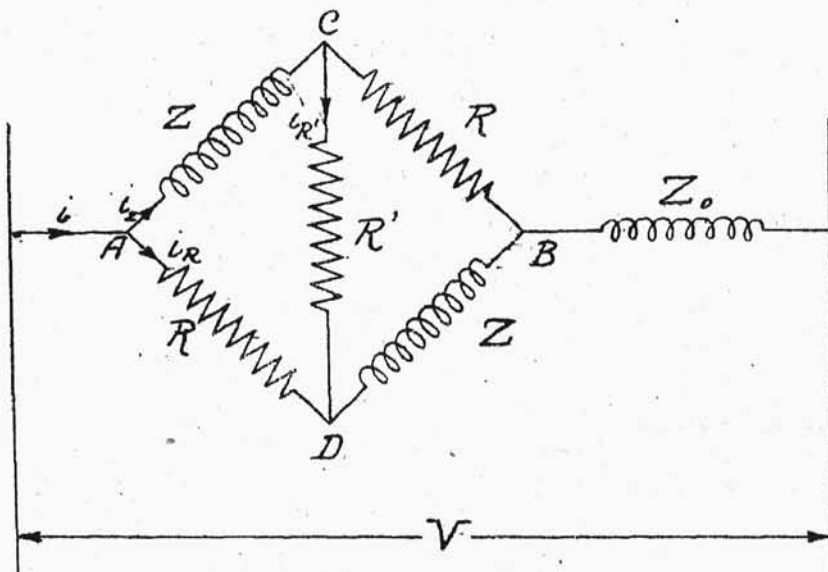
Przyrząd stanowi pierścień żelazny z czterema biegunami wewnętrznymi, złożony z cienkich blach. Na biegunach są umieszczone cewki, z których każde dwie *PRZECIWNIE* są połączone szeregowo, tworząc w ten sposób jedną cewkę. Osi cewek 1-1 i 2-2 są do siebie prostopadłe, a prądy przez nie przepływające są przesunięte w fazie o kąt 90° , przyczem to przesunięcie jest wywołane sztucznie za pomocą dławika

L

Działanie takiego ustroju jest podobne do działania silnika asynchronicznego t.j. pole wirujące, wytworzone przez cewki, indukuje w aluminiowym bębnie *B* prądy wirowe, które posiadają taki kierunek, że pole pociąga za sobą bęben, wytwarzając w ten sposób moment kręjący. Ten moment odchyła wskazówkę przyrządu, przymocowaną do bębna, i równoważy się z momentem zwracającym, pochodzącym od sprężyn spiralnych. Wielkość momentu kręcącego jest zależna od kwadratu prądu mierzonego, czyli skala jest kwadratowa. Można jednak uzyskać równomierność skali, nacinając odpowiednio ruchomy bęben lub stosując sprężyny kierujące specjalnego kształtu. Tłumienie skutecznia się za pomocą magnesu trwałego

posiadającego kształt podkowy i działającego na bęben.

Przyrządy na tej zasadzie oparte są budowane jako amperomierze, woltomierze i watomierze. W amperomierzach i woltomierzach całkowity prąd dzieli się na dwa prądy przesunięte w fazie o kąt 90° , zaś w watomierzach napięcie winno wyprzedzać prąd w cewce napięciowej o 90° , co daje się osiągnąć np. przez zastosowanie układu połączeń cewki napięciowej, uwidocznionego na rys.43.



Rys. 43.

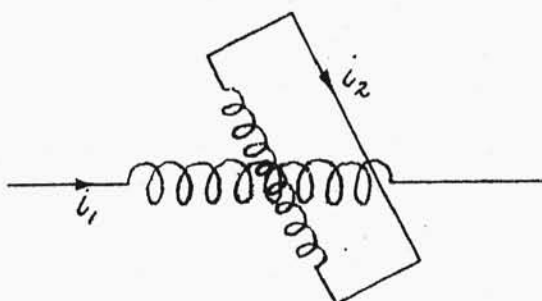
Przyjmując kierunek napięcia V jako pionowy oraz kierunki prądów i_z w cewkach napięciowych AC i BD /wskutek symetrii układu prądy w gałęziach AC i BD oraz AD i BC są parami równe/ i i_R w opornikach omowych AD i BC , tak jak wskazano na wykresie, otrzymujemy przez geometryczne zsumowanie tych prądów, wielkość i kierunek wektora prądu całkowitego i . Spadek napięcia na oporniku R jest zgodny z prądem i_R oraz posiada wartość $R i_R$. Jeżeli do tego spadku dodamy spadek napięcia $Z i_z$ na cewce napięciowej Z , który wyprzedza prąd i_z o pewien kąt α , to otrzymamy napięcie AB , panujące pomiędzy punktami A i B . Dodając geometrycznie do tego napięcia spadek omowy $R_0 i$ na cewce Z_0 równoległe do prądu i oraz spadek indukcyjny $\omega L_0 i$ na tejże cewce prostopadłe do tegoż prądu, otrzymujemy całkowite napięcie V panujące w sieci. Przekątnia CD w równoległoboku $ABCD$ daje spadek napięcia na oporniku R' . Prąd płynący przez gałąź R' będzie różnicą i_z i i_R ; w fazie z nim jest $R' i_{R'}$.

Z wykresu tego widać, że przez odpowiedni

dobór oporów R i R' oraz cewki Z_0 można osiągnąć przesunięcie fazy pomiędzy prądem i_z a napięciem V , wynoszące 90° .

Pod względem czułości przyrządy te są gorsze od przyrządów dynamometrycznych. Zaletą ich jest mocna budowa, przez co znajdują zastosowanie w tablicach rozdzielczych, oraz znaczna nieczułość na wpływy postronnych pól magnetycznych, która jest spowodowana prawie zupełną doskonałością obwodu magnetycznego. Wadą tych przyrządów jest pewna zależność od częstotliwości w granicach jej wartości normalnej i od kształtu krzywej wskutek obecności żelaza. Również wpływ temperatury jest dość znaczny, albowiem opór omowy drogi prądów wirowych, indukowanych w bębnie, wskutek jego ogrzewania się ulega zmianie, powodując zmianę momentu kręącego, a co za tem idzie błąd wskazania przyrządu. Stosując odpowiednie urządzenia, można błąd ten zmniejszyć do $1 \div 2\%$ na każde 10°C .

Zamiast bębna może być użyta cewka zwarta, jak to uwidocznia rys.45.



Rys. 45.

Prąd i_1 w cewce nieruchomej działa na prąd i_2 indukowany w cewce zwartej, starając się ustawić ją prostopadle do cewki nieruchomej i wytwarzając w ten sposób moment kręjący. Te przyrządy znajdują mniejsze zastosowanie.

R O Z D Z I A Ł VI.

PRZYRZĄDY ELEKTROMAGNETYCZNE.

1/ Zasada działania.

Zasada tych przyrządów polega na działaniu pola magnetycznego, wytworzonego przez cewkę, przez którą przepływa prąd, na rdzeń żelazny, wykonany z miękkiego żelaza. Pole magnetyczne