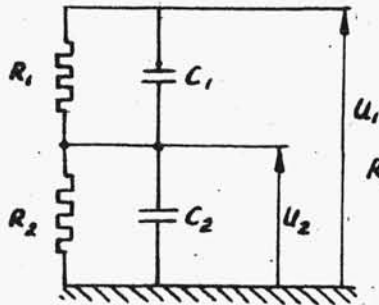


pasowanie pojemnościowego i opornościowego rozkładu napięcia. Wpływa stąd zależność określająca, że stałe czasowe poszczegól-



Rys.32. Schemat ideowy dzielnika mieszanego opornościowo-pojemnościowego

gólnych członów dzielnika powinny być sobie równe  $R_1 C_1 = R_2 C_2$ . Wartości oporności dzielnika dobiera się wg wskázówek podanych w opisie dzielników oporowych.

W dzielnikach mieszanych kondensatory równoległe mają zwykle znaczne wartości pojemności, co pozwala na zmniejszenie do minimum uchybu powodowanego pojemnościami doziem-

nymi (współczynnik  $\omega C$  jest bardzo mały).

Z przedstawionych powyżej typów dzielników, w technice badań łączników elektrycznych w.n. największe zastosowanie znajdują dzielniki pojemnościowe oraz mieszane. Szczególnie ostatni typ dzielnika, z uwagi na zapewnienie możliwości rejestracji zarówno oscylografem elektronicznym jak i pętlicowym jest bardzo przydatny.

#### 1.5.2. Pomiar prądu

W badaniach aparatów elektrycznych zachodzi wielokrotnie konieczność pomiaru i rejestracji dużych prądów. Aktualnie istnieją tu 3 możliwości pomiarowe:

- boczniki wielkoprądowe,
- przekładniki prądowe,
- układy z wykorzystaniem hallotronów.

Jako urządzeń rejestrujących powszechnie używa się oscylografów pętlicowych, a w niektórych przypadkach (próby bezpieczników) oscylografów elektronicznych.

##### 1.5.2.1. Boczniki wielkoprądowe

Boczniki wielkoprądowe służą do pomiaru dużych wartości prądów np. przy próbach zwarciovych aparatów elektrycznych. Zasada pomiaru polega na tym, że na pewnej ściśle określonej oporności bocznika mierzy się spadek napięcia proporcjonalny do war-

tości mierzonego prądu. Dokładność pomiaru zależna jest od zmian wartości oporności bocznika przy przepływie prądu mierzonego oraz od stałej czasowej układu. Przy stosowaniu bocznika należy pamiętać, że jeden z jego zacisków przyłączonych powinien być uziemiony, bądź też w przypadku nieuziemia bocznika, napięcie jego względem ziemi nie może przekroczyć napięcia dopuszczalnego dla obwodów przyrządu rejestrującego (oscylografu).

Boczniki wielkoprądowe można podzielić na 2 zasadnicze grupy:

- 1) boczniki wysokooporowe (dające spadki napięcia do ok. 10 V),
- 2) boczniki niskooporowe (dające spadki napięcia do ok. 1 V).

Pierwsza grupa posiada szereg zalet jak: małą wartość stałej czasowej, dużą wartość spadku napięcia, dzięki czemu pomiar uniezależniony jest od czułości pętlic i małą wrażliwość na wpływy obcych pól magnetycznych. Wadą ich jest natomiast ograniczanie prądu probierczego (szczególnie w obwodach n.n.) oraz stosunkowo duża moc wydzielana w boczniku. Wad tych nie mają boczniki niskooporowe, które nie mają jednak zalet boczników wysokooporowych. Boczniki wysokooporowe stosowane są w układach wysokonapięciowych np. przy próbach zdolności łączenia, natomiast niskooporowe w układach z transformatorami obniżającymi, np. przy próbach zwarciowej wytrzymałości dynamicznej i cieplnej.

Wielkościami charakteryzującymi boczni wielkoprądowy są:

- a) rodzaj bocznika (w zależności od przeznaczenia będziemy tu odróżniać boczniki nisko- i wysokooporowe);
- b) znamionowy prąd bocznika (wartość skuteczna) i dopuszczalny czas trwania pomiaru. Jako znamionowy prąd bocznika rozumie się taki prąd probierczy, który przepływając przez boczni w ciągu czasu trwania pomiaru nie spowoduje wzrostu oporności bocznika powyżej założonego dopuszczalnego uchybu. Z pojęciem znamionowego prądu bocznika skojarzona jest również wartość znamionowego spadku napięcia bocznika;
- c) dopuszczalny uchyb bocznika. Wartość dopuszczalnego uchybu zależna od ogólnych wymagań dokładności pomiaru jest zwykle zakładana i uwzględniana podczas obliczeń bocznika.

Bardzo istotną sprawą przy projektowaniu boczników jest rodzaj zastosowanego materiału. Idealnym byłby tu materiał o oporności właściwej możliwie niezależnej od temperatury. Najlepiej nadają się do tego celu materiały oporowe jak konstantan lub manganin. Do budowy boczników niskooporowych stosuje się jednak najczęściej materiały przewodzące (Cu lub Ms).

Przekrój bocznika niskooporowego dobiera się ze względu na dopuszczalny wzrost oporności czynnej przy nagrzewaniu w wyniku przepływu prądu probierczego. Do obliczeń należy przyjąć dopuszczalny wzrost oporności wyznaczony w oparciu o założoną wartość uchybu (zwykle przyjmuje się dopuszczalną wartość uchybu wynoszącą 3%). W oparciu o powyższe można określić dopuszczalny przyrost temperatury bocznika

$$\Delta \vartheta = \frac{\Delta \rho}{\alpha_0 \vartheta_0}, \quad (9)$$

gdzie  $\alpha_0$  - temperaturowy współczynnik oporności dla materiału bocznika,

$\vartheta_0$  - oporność właściwa materiału bocznika w temperaturze  $\vartheta_0$ .

przy przykładowym założeniu  $\frac{\Delta \rho}{\vartheta_0} = 3\%$ .

Znając wartość dopuszczalnego przyrostu  $\Delta \vartheta$  z zależności

$$j^2 t = \frac{\gamma \cdot c}{\alpha \cdot \vartheta_0} \ln \alpha \left( \Delta \vartheta + \frac{1}{\alpha} \right), \quad (10)$$

gdzie  $c$  - ciepło właściwe materiału bocznika w J/G °C,

$\gamma$  - gęstość materiału bocznika w G/cm<sup>3</sup>

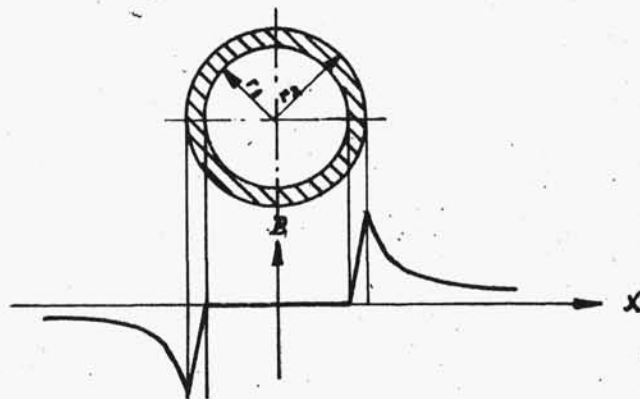
można dla danego czasu pomiaru  $t$  wyznaczyć dopuszczalną gęstość prądu, a następnie na podstawie znajomości znamionowego prądu bocznika ( $J_{nb}$ ), przekrój czynny bocznika ( $s = \frac{J_{nb}}{j_{dop}}$ ).

W przypadku bocznika wyskooporowego, doboru przekroju dokonuje się w oparciu o inne kryteria, albowiem uchyb spowodowany zmianą oporności właściwej wobec bardzo małej wartości  $\alpha_0$  jest tu w zakresie temperatur do ok. 100°C pomijalny.

Długość części pomiarowej bocznika dobiera się opierając się na wymaganej wartości spadku napięcia przy prądzie znamionowym bocznika i wyznaczoną wartość powierzchni przekroju. Całkowitą długość przyjmuje się nieco większą w celu uniknięcia wpływu efektu krawędziowego. Ponadto w celu zmniejszenia wpływu obcych pól magnetycznych kształtuje się odpowiednio wyprowadzenia pomiarowe bocznika, a odprowadzenia do przyrządu rejestrującego wykonuje się w postaci pary splecionych przewodów ekranowych magnetycznie i elektrostatycznie.

Przy większych częstotliwościach prądu mierzonego znaczną rolę zaczyna odgrywać zjawisko naskórkowości, wpływając na powiększenie oporności bocznika, a tym samym zwiększając uchyb pomiaru. Z tego też względu boczniki wykonuje się zwykle jako rurowe, co pozwala na zmniejszenie zjawiska naskórkowości i powiększenie zakresu pomiarowego. Przy przyjęciu określonego zakresu częstotliwości, wymiary rury pomiarowej bocznika dobiera się w oparciu o założoną wartość dopuszczalnego uchybu wywołanego zjawiskiem naskórkowości. Szczegóły stosowanej do tego celu metody obliczeniowej podane są w (L.4).

. W celu zmniejszenia stałej czasowej bocznika  $T_B = \frac{L}{R}$ , która w sposób istotny wpływa na dokładność pomiarów, stosuje się często układ złożony z dwóch rur koncentrycznych, pozwalający na wydatne zmniejszenie indukcyjności a tym

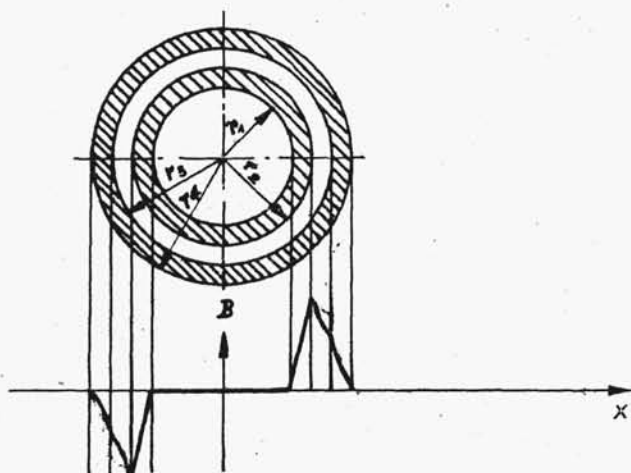


Rys.33. Rozkład pola magnetycznego rury pojedynczej

samym i stałej czasowej bocznika. Na rys.33 przedstawiono rozkład pola magnetycznego rury pojedynczej. Indukcyjność takiej rury składa się z indukcyjności wewnętrznej, którą wyznacza się na podstawie przebiegu strumienia w ścianie rury

(obszar  $r_2 - r_1$ ) oraz zewnętrznej, określonej strumieniem w obszarze od  $r_2$  do  $\infty$ .

W przypadku układu dwóch rur koncentrycznych, w których prądy płyną w przeciwnych kierunkach, rozkład pola magnetycznego zmienia się i przedstawia się tak jak to widać na rys.34.



Rys.34. Rozkład pola magnetycznego układu 2 rur z przeciwnym kierunkiem prądu

Pole magnetyczne poza rurą zewnętrzną jest w tym przypadku równe zero, zgodnie z prawem przepływu. Indukcyjność takiego układu jest zdecydowanie (kilkadziesiąt razy) mniejsza niż indukcyjność rury pojedynczej o tych samych wymiarach, przy czym jest ona tym mniejsza, im mniejszy jest odstęp pomiędzy rurami. Dokładne wyznaczenie indukcyjności takiego układu na drodze analitycznej jest dość trudne, dlatego też wartości stałych czasowych wyznacza się zwykle doświadczalnie.

W celu zapewnienia rejestracji przebiegu z określoną dokładnością, wartość stałej czasowej układu pomiarowego powinna być odpowiednio mniejsza od stałej czasowej przebiegu badanego

(zwykle przyjmuje się  $\frac{T_B}{T_{\text{przeb}}} \leq 5\%$ ). Trzeba tu jednakże wyjaśnić, że wierna rejestracja całego prądu istotna jest jedynie w przypadku prób zdolności łączenia, a więc w układach, gdzie stosuje się boczniaki wysokooporowe, w których uzyskanie odpowiednio małych wartości stałej czasowej nie jest zbyt trudne, z uwagi na znaczną wartość oporności boczniaka. Natomiast przy próbach zwarciowej wytrzymałości cieplnej i dynamicznej, gdzie istotny jest jedynie pomiar wartości szczytowych, dostateczną dokładność zapewniają boczniaki niskooporowe. Wartości stałych czasowych boczników niskooporowych są wobec małych wartości

ich oporności stosunkowo duże, ale z drugiej strony stromość przebiegu prądu w pobliżu maksimum jest na tyle mała, że rejestracja wartości maksymalnej odbywa się z dostateczną dokładnością.

Rury bocznika z których wewnętrzną nazywamy pomiarową, a zewnętrzną ekranującą poddawane są przy przepływie prądu działaniu elektrodynamicznemu. Ponieważ prądy płyną w przeciwnych kierunkach rura wewnętrzna będzie ściskana (miażdżona), a zewnętrzna rozrywana.

Prąd miażdżący dla rury wewnętrznej można wyznaczyć wg wzoru

$$J_m = \sqrt{\frac{3\pi^2 E}{2\mu_0(1-m^2)} \frac{r_2(r_1+r_2)^2 r_2 - r_1)^3}{r_1^3(2r_1+r_2)}}. \quad (11)$$

Prąd rozrywający dla rury zewnętrznej

$$J_r = \sqrt{\frac{3\pi^2 \sigma_r r_3(r_4+r_3)^3 (r_4-r_3)}{\mu_0 r_4^2 (r_3+2r_4)}}, \quad (12)$$

gdzie

$E$  - moduł sprężystości materiału bocznika,

$m$  - liczba Poisson'a,

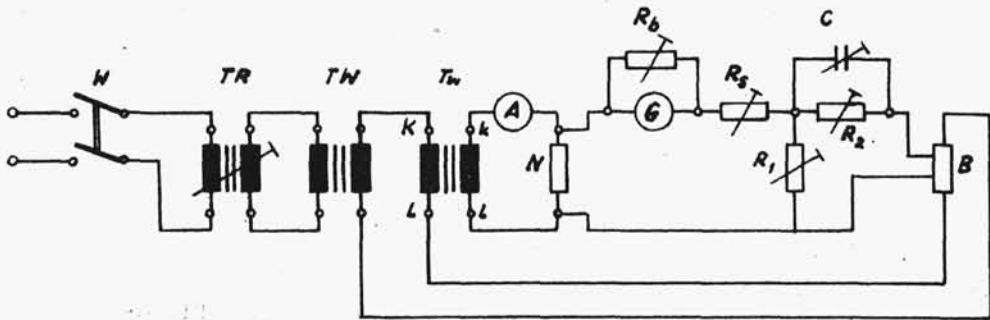
$\mu_0$  - przenikalność magnetyczna próżni,

$\sigma_r$  - wytrzymałość na rozrywanie materiału bocznika,

$r_1, r_2, r_3, r_4$  - promienie rur wg oznaczeń na rys. 33, 34.

Wartości tych prądów leżą zwykle znacznie powyżej znamionowego prądu bocznika dopuszczalnego ze względu na uchyb pomiaru.

Przy korzystaniu z bocznika, jako elementu pomiarowego, niezbędna jest dokładna znajomość wartości oporności części pomiarowej oraz wartości stałej czasowej bocznika.



Rys.35. Układ do pomiaru oporności czynnej i indukcyjnej bocz-  
ników wielkopiędowych: TR - transformator nastawczy, TW -  
transformator wielkopiędowy,  $T_w$  - przekładnik wzorcowy, N -  
opornik normalny, B - bocznik badany,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_b$  - opor-  
niki dekadowe, C - kondensator dekadowy, G - galwanometr wi-  
bracyjny, A - amperomierz prądu zmiennego, W - wyłącznik po-  
mocniczy

Wielkości te mierzone są zwykle przy użyciu metody porów-  
nawczej w układzie przedstawionym na rys.35.

W stanie równowagi układu tj. w przypadku, kiedy prąd pływ-  
ający przez galwanometr równa się zeru, obowiązują następujące  
zależności

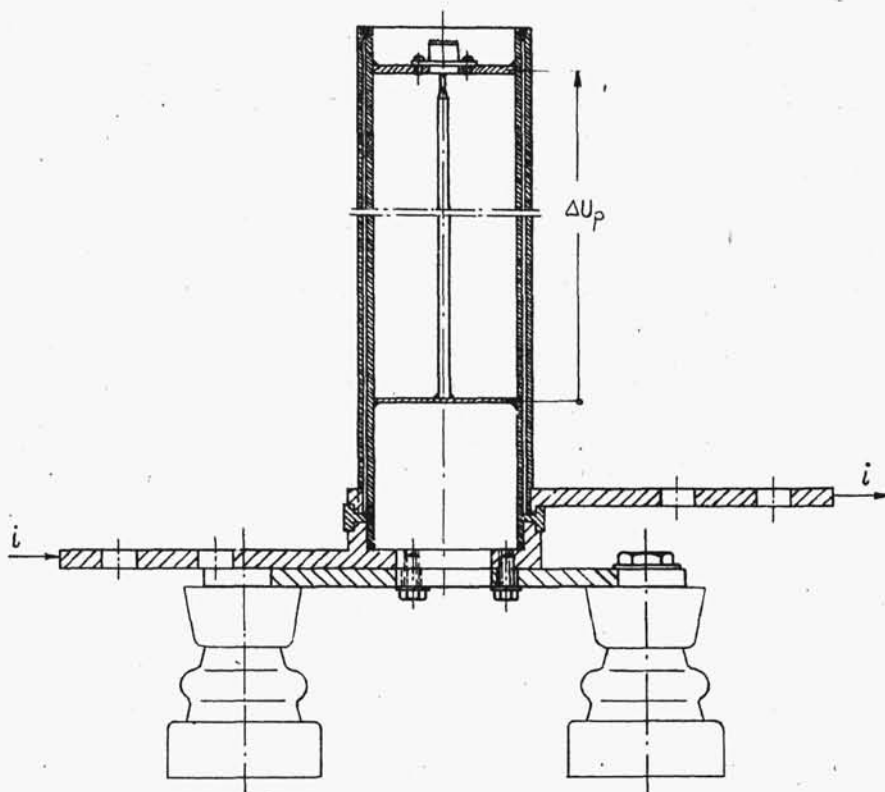
$$R_B = \frac{R_N(R_1 + R_2) + R_N R_1 R_2^2 \omega^2 + R_2^2 \omega C X_N}{p R_1 (R_2^2 \omega^2 C^2 + 1)} \quad (13)$$

oraz

$$X_B = \frac{R_1 X_N (1 - R_2^2 \omega^2 C^2) - R_2^2 \omega^2 C R_N + X_N R_2}{p R_1 (R_2^2 \omega^2 C^2 + 1)} \quad (14)$$

Na rys.36 przedstawiono przykładowo szkic konstrukcji  
bocznika dwururowego.





Rys.36. Przykład rozwiązania konstrukcyjnego dwururowego bocznika wielkoprądowego:  $i$  - prąd mierzony,  $\Delta U_p \cong i \cdot R_p$  - spadek napięcia na odcinku pomiarowym rury wewnętrznej o oporności  $R_p$

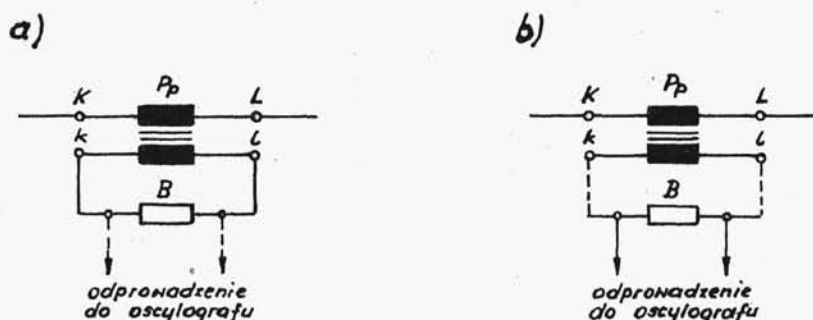
#### 1.5.2.2. Przekładniki prądowe

W niektórych przypadkach występuje konieczność izolowania układu probierczego w miejscu instalowania przyrządów do pomiaru prądu. Ma to miejsce np. w zwarciołniach sieciowych dla układów pracujących przy napięciu 110 kV i powyżej, których punkty zerowe są z reguły skutecznie uziemione. Uziemienie punktu zerowego miejsca pomiaru jest w tym przypadku niedopuszczalne, z uwagi na wymagania dotyczące wartości napięcia powrotnego, wymaganego w próbie zdolności łączenia zwarciowej. Dla układu ze skutecznie uziemionym punktem zerowym zasilania i miejsca zwarcia występuje bowiem złagodzenie warunków na-



pięcia powrotnego dla pierwszego wyłączającego bieguna (początkowa wartość napięcia powrotnego wynosi w tym przypadku mniej niż w układzie z izolowanym punktem zerowym miejsca zwarcia tj.  $1,5 E_m$ ).

W tych przypadkach niemożliwy jest zatem pomiar prądów przy użyciu boczników i konieczne jest stosowanie innej metody



Rys. 37. Zasada pomiaru dużych prądów przy użyciu przekładników: a- przy umieszczeniu bocznika B w pobliżu przekładnika, b- przy umieszczeniu bocznika B w pobliżu oscylografu

dy pomiarowej. Zastosowanie znajdują tu przekładniki prądowe oraz w ostatnich latach układy z hallotronami.

Zasada pomiaru i rejestracji prądu z użyciem przekładnika prądowego została przedstawiona na rys. 37. Istnieją jak widać 2 różne możliwości pomiaru. W pierwszym przypadku bocznik B znajduje się w pobliżu zacisków przekładnika, a spadek napięcia od prądu wtórnego na oporności bocznika zostaje za pomocą przewodów doprowadzony do urządzenia rejestrującego (oscylografu), przy czym długość tych przewodów może być znaczna. W drugim układzie prąd wtórny przekładnika doprowadzony jest do bocznika umieszczonego w pobliżu oscylografu.

Istnieje jeszcze trzeci układ, gdy prąd z przekładnika zostaje doprowadzony bezpośrednio do pętlicy (bez stosowania bocznika). Stosowane są wtedy pętlice 5A.

Pierwszy układ ma tę zaletę, że obciążenie uzwojenia wtórnego jest niewielkie (jedynie oporność bocznika), co zmniejsza wydatnie uchyby przekładnika; wadą jego jest natomiast możliwość wpływu obcych pól na przewody pomiarowe przez które płyną bardzo małe prądy. Układ drugi jest praktycznie nieczuły

na wpływy zewnętrzne, zwiększa jednakże uchyb przekładnika przez zwiększenie jego obciążenia (dochodzi tu obciążenie przewodów doprowadzających). Z uwagi na wymagania dotyczące uchybów przekładnika, w praktycznych układach częściej stosowany jest układ drugi.

Przy doborze przekładnika prądowego do pomiaru dużych prądów przy wysokim napięciu, poza podstawowym wymaganiem dotyczącym odpowiedniego napięcia izolacji przekładnika, stawiany jest warunek transformowania na stronę wtórną mierzonego prądu z określoną dokładnością. Dla określenia dokładności transformacji konieczna jest dokładna znajomość uchybów przekładnika przy przetężeniach, przy czym dopuszcza się zwykle pracę w zakresie do 10% liczby przetężeniowej. Przekładniki używane do pomiaru dużych prądów stanowią zwykle wykonania specjalne, w których stosuje się specjalne środki zmierzające do zmniejszenia uchybów i powiększenia liczby przetężeniowej.

W celu zmniejszenia uchybów dąży się w pierwszym rzędzie do zmniejszenia oporności indukcyjnej rozproszenia uzwojenia wtórnego ( $x_2$ ) oraz do ograniczania obciążenia przekładnika ( $Z$ ). Z tego względu należy stosować przekładniki typu przepustowego, w których indukcyjność rozproszenia uzwojenia wtórnego jest pomijalna (szczególnie przy rdzeniach toroidalnych), jak również dążyć do możliwie małej mocy obciążenia tzn. stosować układ z bocznikiem umieszczonym bezpośrednio przy przekładniku. Ponadto w niektórych przypadkach stosuje się specjalne środki zmierzające do wyprostowania charakterystyki magnesowania, przedłużania jej części prostoliniowej itp. Sprawy te wybiegają jednakże poza ramy skryptu, a zainteresowanych odsyła się do literatury [L.3,4].

Z przeprowadzonej analizy uchybów przy transformowaniu przebiegów zmiennych [L.4] wynika, że w stanach przejściowych składowej zmiennej uchyb transformacji wzrasta nieznacznie. Bardzo wyraźny wpływ na wartość uchybu transformacji wywiera składowa nieokresowa prądu. Powstały w tym przypadku uchyb zależy od stosunku  $\frac{T}{T_h}$

gdzie

$$T = \frac{L_m}{R_2 + R} \quad - \text{stała czasowa przekładnika,}$$

$L_m$  - indukcyjność gałęzi magnesowania przekładnika,

$R_2$  - oporność czynna uzwojenia wtórnego,

$R$  - oporność czynna obciążenia,

$T_h$  - stała czasowa zanikania składowej nieokresowej prądu mierzonego.

Wartość tego uchybu może dochodzić do kilkadziesiąt procent.

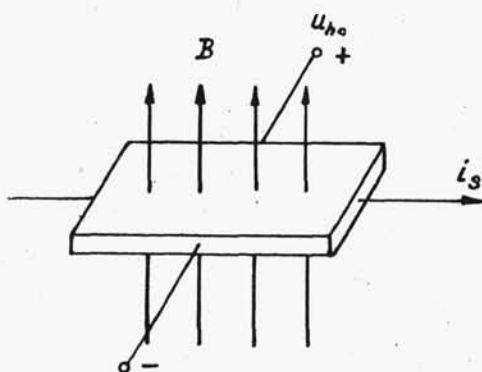
Reasumując można stwierdzić, że przekładniki prądowe mogą być z powodzeniem stosowane do pomiaru dużych prądów również w przypadku stanów przejściowych składowej zmiennej prądu. Powodują one jednakże duże, a w niektórych przypadkach niedopuszczalne uchyby przy transformowaniu przebiegów ze składowymi nieokresowymi.

#### 1.5.2.3. Układy do pomiaru prądu z użyciem hallotronów

W ostatnich latach coraz częstsze zastosowanie zaczynają znajdować układy do pomiaru prądu oparte na generatorach Halla. Pozwalają one bowiem na pomiar bez konieczności uziemienia układu pomiarowego w miejscu pomiaru, a jednocześnie przenoszą prawidłowo składową nieokresową prądu tzn. eliminują

uchyby występujący przy pomiarach z wykorzystaniem przekładników prądowych.

Zjawisko Halla powstaje wówczas, gdy płytkę przez którą przepływa prąd elektryczny ustawimy w prostopadłym do niej polu magnetycznym (rys.38). Pole magnetyczne działając na elektrony będące w ruchu skierowanym, powoduje odchylenie w ich



Rys.38. Zasada działania hallotronu

ruchu, w wyniku czego na jednym z boków płytki powstaje nadmiar elektronów. Powoduje to powstanie między pokazanymi na rysunku bokami płytki napięcia, którego wartość jest proporcjonalna do indukcji magnetycznej oraz natężenia prądu zwanego prądem sterującym. Możliwość techniczna wykorzystania tego zjawiska powstała stosunkowo niedawno, po wyprodukowaniu nowych materiałów półprzewodnikowych takich jak arsenek indu czy antymonek indu. Płytki wykonane z odpowiedniego materiału półprzewodnikowego, w których występuje zjawisko Halla noszą nazwę hallotronów. Hallotроны wykonane z antymonku indu wykazują jednakże dużą zależność wielkości elektrycznych od temperatury, co znacznie ogranicza możliwości ich stosowania. Spowodowało to, że obecnie praktyczne zastosowanie znajdują hallotроны wykonane z arsenku indu. Produkowane obecnie hallotроны pozwalają na uzyskanie napięć rzędu części wolta oraz mocy do ok. 200 mW. Trwają intensywne prace nad wykorzystaniem nowych materiałów, które prawdopodobnie pozwolą na powiększenie parametrów hallotronów.

Wartość napięcia hallotyonu w stanie jałowym daje się wyrazić wzorem

$$U_{ho} = A \cdot i_s \cdot B \cdot f(p), \quad (14)$$

gdzie

A - stała związana z własnościami użytego materiału,

$i_s$  - prąd sterujący,

B - wartość indukcji wzbudzenia,

$f(p)$  - funkcja zależna od wymiarów geometrycznych płytki.

W rzeczywistym układzie pomiarowym z hallotyonu pobiera się pewną moc niezbędną do zasilania urządzenia rejestrującego. Ujawnia się tu pewna wada hallotyonu, a mianowicie zależność jego oporności wewnętrznej (od której m.in. zależy prąd jaki można pobrać z hallotyonu) od wartości indukcji wzbudzenia. Powoduje to, że przy obciążeniu zależność napięcia hallotyonu od indukcji wzbudzenia traci liniowość, co jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym. Wadę tę można częściowo skompensować

przez odpowiednie dopasowanie oporności zewnętrznej układu do oporności wewnętrznej hallotronu w stanie jałowym tj. przez odpowiedni dobór współczynnika

$$\lambda = \frac{R_a}{R_{ih0}}$$

gdzie

$R_a$  - oporność obwodu zewnętrznego,

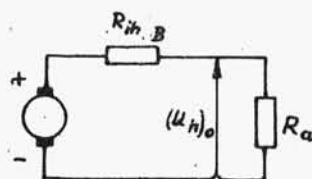
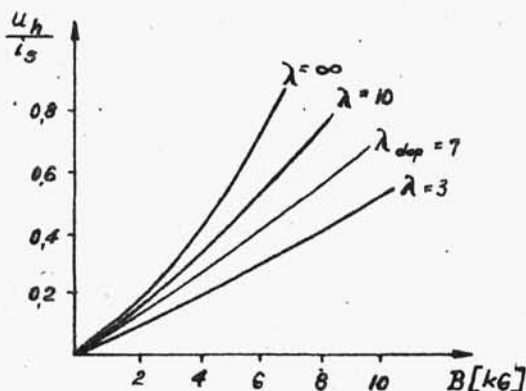
$R_{ih0}$  - oporność wewnętrzna hallotronu przy  $B = 0$ .

Hallotron charakteryzuje się następującymi wielkościami znamionowymi:

a) indukcja znamionowa  $B_n$  - określa obszar, w którym pomiar indukcji odbywa się z określoną dokładnością,

b) znamionowy prąd wzbudzenia -  $i_{sn}$ ; przekroczenie wartości prądu znamionowego grozi uszkodzeniem hallotronu,

c) charakterystyka zależności  $\frac{U_h}{i_s} = f(B)$  przedstawiona przykładowo na rys.39. Z przedstawionych na tym rysunku przebiegów wynika, że przy określonej wartości  $\lambda$  (na rys.39 dla  $\lambda = 7$ )



$$\lambda = \frac{R_a}{R_{ih0}}$$

gdzie  $R_a$  - oporność zewn.  
 $R_{ih0}$  - oporność wewn.  
 hallotronu przy  $B=0$   
 $R_{ihB}$  - oporność wewn.  
 hallotronu przy ind.  $B$

Rys.39. Zależność  $\frac{U_h}{i_s} = f(B)$

występuje dopasowanie układu zewnętrznego, tzn. że przebieg jest prawie prostoliniowy. Widoczna jest również łatwość regulacji czułości oraz zakresów mierzonej indukcji przez zmianę wartości prądu sterującego.

Obecnie produkowane hallotrony wykonywane są - w zależności od ich przeznaczenia - w bardzo szerokim zakresie parametrów takich jak napięcie, prąd sterujący oraz wymiary geometryczne.

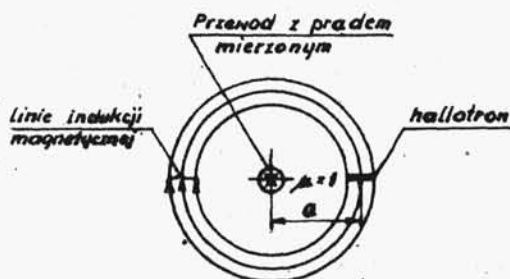
Już od pewnego czasu do pomiaru prądu stałego stosowane są hallotrony umieszczone w szczelinie rdzenia żelaznego otaczającego przewód z prądem mierzonym. Zastosowanie tej metody do pomiaru dużych prądów zmiennych jest jednak bardzo kłopotliwe z uwagi na to, że straty powstałe w rdzeniu - szczególnie przy większych częstotliwościach - zniekształcają przebieg prądu. Dlatego też duże wartości prądów mierzy się za pomocą hallotronów umieszczonych w ośrodku niemagnetycznym, w pewnej określonej odległości od przewodu (patrz rys.40). Zasada pomiaru jest wówczas następująca:

Przewód z prądem wywołuje wokół siebie pole magnetyczne, którego natężenie w odległości  $a$  od osi przewodu wynosi

$$H = \frac{J}{2\pi a} \frac{A}{Cm}, \quad (15)$$

gdzie  $J$  - prąd mierzony (wartość skuteczna).

Napięcie powstałe w hallotronie jest proporcjonalne (przy stałym prądzie wzbudzenia) do wartości przenikającej przez płytkę indukcji  $B = \mu_0 H$ , a więc pośrednio do prądu płynącego w przewodzie. Napięcie z hallotronu zasila bezpośrednio pętlę oscylografu, który rejestruje badany przebieg.



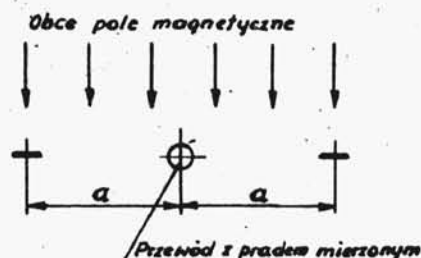
Rys.40. Zasada pomiaru dużych prądów zmiennych przy zastosowaniu hallotronu

Przy projektowaniu układu z użyciem hallotronów należy uwzględnić następujące czynniki:

a) napięcie układu probierczego - wartość tego napięcia oraz rodzaj zastosowanej izolacji wyznaczają minimalną odległość hallotronu od przewodu z prądem. Jako materiał izolacyjny zalecana jest obecnie żywica epoksydowa;

b) zakres pomiarowy i wymagana czułość układu - czułość układu związana jest pośrednio z odległością hallotronu od przewodu. Dla określonej wartości napięcia i minimalnego zakresu prądowego istnieje możliwość doboru hallotronu o odpowiedniej czułości. Zmianę zakresu prądów mierzonych w kierunku ich powiększenia osiąga się przez zmniejszenie wartości prądu sterującego;

c) wpływy zewnętrzne-należy tu odróżnić wpływy obcych pól magnetycznych (jak np. od sąsiednich faz) oraz wpływ bliskich



Rys.41. Sposób eliminacji obcych pól magnetycznych na pomiar prądu hallotronami

mas ferromagnetycznych. Środkiem zmierzającym do wyeliminowania wpływu obcych pól magnetycznych jest zastosowanie 2 hallotronów umieszczonych symetrycznie po obu stronach przewodu z prądem i połączonych szeregowo w sposób umożliwiający wykorzystanie sumy napięć powstałych w obu hallotronach pod wpływem pola od prądu mierzonego (rys.41). W układzie tym wpływ ob-

cего pola jest częściowo skompensowany, ponieważ napięcia wywołane nim w obu hallotronach odejmują się.

Układ taki pozwala jednocześnie na osiągnięcie większych wartości napięć, co jest korzystne z uwagi na ograniczoną czułość stosowanych do pomiaru pętlic. Wpływu bliskich mas ferromagnetycznych powodujących zniekształcenie pola magnetycznego, a tym samym będących przyczyną uchybów pomiaru, można uniknąć przez dostateczne oddalenie od nich układu pomiarowego. Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono, że masy ferromagnetyczne umieszczone w odległości  $\geq 0,5$  m nie wywierają dostatecznego wpływu na dokładność pomiaru.

#### Wykaz literatury

1. Giriat W. i in.: Hallotrony. PWN, W-wa 1961,
2. Kobus A. i in.: Hallotrony i ich zastosowanie. WNT, W-wa 1963,



3. Podgórski A.: Niektóre zagadnienia techniki pomiarowej przy próbach zwarciovych. Przegląd Elektrotechniczny 1953, z.11/12.
4. Podgórski A.: Pomiar wielkich prądów zmiennych przy pomocy boczników oraz przekładników prądowych. Prace Instytutu Elektrotechniki 1955, z.13.
5. Szpor S.: Wytrzymałość elektryczna i technika izolacyjna. PWN, W-wa 1960.
6. Winiarski W.: Boczniki wielkoprądowe w zwarciozni KWN i PR Politechniki Gdańskiej. Przegląd Elektrotechniczny 1955, z.6, s.391-396.

#### 1.6. Opis laboratorium zwarcioowego Katedry Aparatów Elektrycznych Politechniki Warszawskiej

W roku 1954 rozpoczęto budowę, a w latach 1959-1960 uruchomiono w Katedrze Aparatów Elektrycznych P.W. laboratorium zwarcioowe małej mocy składające się z dwóch zasadniczych układów probierczych:

- układ zwarcioowy prądu stałego umożliwiający przeprowadzenie badań przy napięciu do 720 V i prądzie do 30 kA,
- układ zwarcioowy wielkoprądowy prądu zmiennego umożliwiający przeprowadzanie badań wielkoprądowych w zakresie do ~150 kA przy napięciu 110 V.

Dodatkowo w zakresie mocy zwarcioowych do ~10 MVA układ ten umożliwia przeprowadzanie jednofazowych badań łączeniowych przy napięciach 110, 220, 440, 880 V  $\pm$  15%.

Niżej podany jest krótki opis powyższych układów, traktowany jako wprowadzenie do wykonywanych w laboratorium zwarcioowym ćwiczeń.

##### 1.6.1. Główny schemat elektryczny układu zwarcioowego prądu stałego (rys.42).

Źródłem energii dla obwodu probierczego jest przystosowana do prób zwarcioowych prądnica prądu stałego (produkcji Siemens-Schuckert Werke) o mocy znamionowej 1500 kW przy prądzie znamionowym 3000 A (G). Prądnicę tę charakteryzuje wysoki stopień stałości napięcia przy obciążeniu zwarcioowym, dzięki do-