

25. Amperomierze cieplne.

a) Amperomierz cieplny z przewodnikiem rozszerzalnym. Zasada ustroju tych amperomierzy polega na zastosowaniu rozszerzalności metalowych przewodników, najczęściej drucików, pod wpływem ciepła, wywołującego się od prądu, przepływającego w tych drucikach.

Są dwa zasadniczo różne ustroje. W jednych sprężyna naciąga drucik wzdłuż i wydłużenie drucika sprawia uginanie się sprężyny, a z nią i przesunięcie wskazówki. W drugich drucik, lekko rozpięty, jest odciągnięty w pobliżu środka innym poprzecznym drucikiem. W miarę ogrzewania się drucik z prądem wygina się.

Ten drugi ustrój mamy pokazany w szczegółach na rys. 46.

Prąd przepuszczamy przez cienki drucik ab , sporządzony ze stopu platyny z irydem.*)

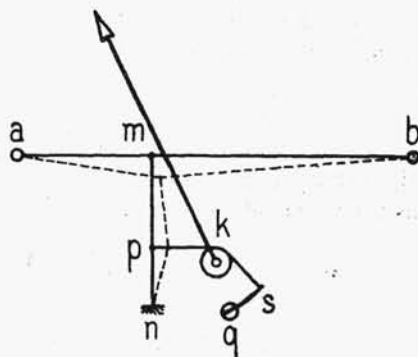
Do tego drutu w punkcie m przymocowany jest inny cienki drucik mn , którego drugi koniec n przytwierdza się do nieruchomej części przyrządu.

Do druciku mn w punkcie p przyczepiona jest cienka mocna nitka, owinięta wokoło krążka k i przymocowana drugim końcem do sprężyny S , która przytwierdza się nieruchomo na słupku q .

Gdy prąd przepływa przez drucik ab , to ten ostatni ogrzewa się i wydłuża, a pod wpływem sprężyny S cały układ drucików przybierze postać, wskazaną na rys. liniami kropkowymi. Przytem krążek k obróci się o pewien kąt, a razem z nim przesunie się wskazówka, która jest do niego przymocowana.

Dla tłumienia wahań wskazówki, umocowuje się na osi krążka k blaszka aluminiowa z wycięciami, nie pokazana na rys. Blaszka ta jednym brzegiem wchodzi pomiędzy bieguny stałego magnesu stalowego. Przy waniach wskazówki porusza się razem i blaszka aluminiowa. Magnes wznieca w niej prądy wirowe i tłumia wahania.

Aby temperatura otoczenia nie oddziaływała na położenie wskazówki, słupki a i b , do których jest przymocowany, rozszerzający się drucik, przytwierdza się do płytki metalowej, mającej ten sam współczynnik rozszerzalności cieplnej, co drucik ab .



Rys. 46. Urządzenie amperomierza cieplnego.

*) Pozatem jest stosowany stop platyny ze srebrem, lub stal niklowa.

Zamiast tego można drucik rozpiąć pomiędzy dwoma sprężynami razem z drugim takim samym drucikiem, jednak izolowanym elektrycznie od pierwszego.

W niektórych przyrządach, gdzie drucik rozszerzalny rozgrzewa się do temperatury wynoszącej blisko 300°, zbyteczne są wszelkie urządzenia kompensacyjne. Wystarczy tylko, jak to zawsze się robi, jeden koniec drucika cieplnego np. *b* przymocować do sprężyny, która wygina się za pomocą odpowiedniej śrubki. Wtedy, obracając tą śrubką, można nastawić wskazówkę na zero, gdy zsunie się z tego położenia przy zmianie temperatury.

Dla przybliżonego wyznaczenia zależności wychylenia wskazówki od natężenia prądu przyjmujemy, że przyrost długości drutu jest proporcjonalny do przyrostu temperatury, a przyrost temperatury — proporcjonalny do ilości ciepła, powstającej w jednostkę czasu, albo według prawa Joule'a do kwadratu natężenia prądu.

Z mechanicznego uzależnienia położenia wskazówki od długości drutu *a* *b*, wypada, że przy małych wydłużeniach, kąt wychylenia wskazówki jest proporcjonalny od przyrostu długości drutu.

A więc wzór, wyrażający natężenie prądu stałego, przepływającego przez drucik, w funkcji kąta wychylenia wskazówki, będzie:

$$J^2 = K. \alpha$$

Gdy prąd mamy zmienny, to ilość ciepła, wytwarzająca się w jednostkę czasu, wyraża się wzorem:

$$Q_1 = 0,24. \frac{1}{T} \int_0^T i^2_t . R . dt,$$

albo:

$$Q_1 = 0,24. R . \frac{1}{T} \int_0^T i^2_t . dt,$$

a ponieważ skuteczna wartość prądu zmiennego jest:

$$J = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2_t . dt},$$

więc:

$$Q_1 = 0,24. R. J^2.$$

Przeto:

$$J^2 = K. \alpha$$

Z porównania wzorów na prąd stały i zmienny wynika, że skuteczna wartość pewnego prądu zmiennego daje tu te same wychylenie, co taka sama wartość prądu stałego.

Wzory powyższe wskazują, że prąd jest proporcjonalny do pierwiastka z kąta wychylenia:

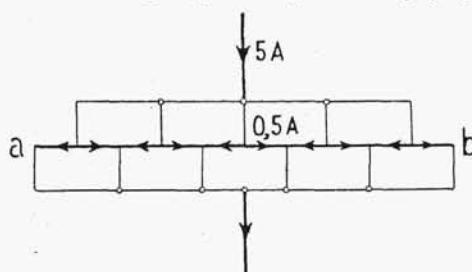
$$J = K \cdot \sqrt{\alpha},$$

więc skala przyrządu jest niejednostajna.

Przez odpowiednie urządzenie przekładni mechanicznej, od rozszerzającego się drucika do wskazówki, można osiągnąć względnie równe odległości działek na pewnej części skali, jednak w pobliżu zera odległości działek będą zawsze małe.

Przez cienki drucik takiego przyrządu można przepuścić tylko słaby prąd.

Grubość drucika oczywiście przystosowuje się do największego natężenia prądu. Gdy przekrój drucika wypada zbyt wielki, stosuje się wielokrotny dopływ prądu (rys. 47), tu drucik włączony jest w obwód pięciu równoległymi cząstkami. Rozszerza się jednak jako całość.



Rys. 47 Równoległy układ cząstek drucika rozszerzalnego.

Przy jeszcze większych prądach włącza się boczniki w postaci cienkich blaszek (rys. 48), umieszczonych wewnątrz przyrządu, lub zewnątrz w osobnych pudełkach.

Najważniejszą cechą amperomierzy cieplnych jest niezależność wskazań od częstotliwości prądu w szerokim zakresie.



Rys. 48. Drucik rozszerzalny z bocznikiem.

Wszystkie amperomierze cieplne z niedzielonemi, czy dzielonemi drucikami, a nawet bocznikami, wzorcowane prądem stałym, zachowują swoją skalę dla prądów zmiennych dowolnej częstotliwości, używanej w urządzeniach oświetlenia elektrycznego i przenoszenia siły.

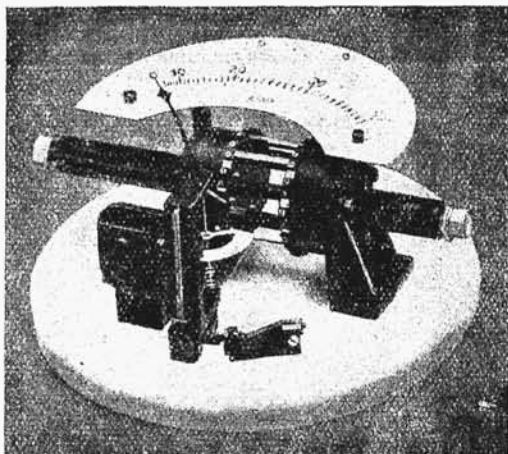
Dla prądów średniej i wysokiej częstotliwości stosuje się amperomierze cieplne specjalnego ustroju.

Są dwa zjawiska, wywierające wpływ na wskazania amperomierzy cieplnych w zależności od częstotliwości prądu.

Gdy prąd przepływa przez pojedynczy niedzielonny drucik, przy prądach szybkozmiennych ma wpływ naskórkowość, polegająca na tem, że prąd nie przepływa przez cały przekrój drutu, a skupia się w pobliżu powierzchni i przez to oporność omowa drucika zwiększa się.

Przy zastosowaniu drucika dzielonego i bocznika wchodzi w grę jeszcze indukcyjność obwodów, która wytwarza oporność urojoną, proporcjonalną do częstotliwości, oporność ta ma wpływ na rozdział prądów w równoległych obwodach.

Zazwyczaj amperomierze do 0,5 A mają drucik cienki i niedzielony, znoszący cały prąd, wtedy naskórkowość



Rys. 49. Amperomierz na prąd szybkozmenny, z grzejniami paskami w układzie klatkowym firmy Hartmann-Braun.

tak mało wpływa na oporność drutu nawet przy prądach wysokiej częstotliwości, używanych w radjotechnice, że skala, wychowana prądem stałym może służyć do pomiarów prądów dowolnej częstotliwości, używanej w elektrotechnice. Niedokładność pomiaru, skutkiem naskórkowości, przy najwyższych częstotliwościach, stosowanych dziś w radjotechnice, nie wyniesie więcej od kilku dziesiątych części procenta.

Dla prądów silniejszych, wypada prąd dzielić na obwody równoległe, przystosowane do wielkiej częstotliwości.

Jeden ze sposobów ukształtowania takich obwodów polega na rozgałęzieniu prądu na kilka symetrycznie umocowanych pasków (rys. 49), sporządzonych ze stopu platyny z irydem.

Paski mają grubość 0,01 mm, przy szerokości 4 do 5 mm i długości 30 mm.

Każdy pasek przepuścić może około 3 amperów prądu, więc np. amperomierz 100 amperowy ma 30 pasków. Jeden z pasków jest w zwykły sposób połączony ze wskazówką i przez to, rozszerzając się, przesuwą tę wskazówkę. Mała bardzo grubość tych pasków zapewnia mały wpływ naskórkowości, a symetryczny układ — równy rozdział prądu, w pewnej mierze niezależnie od częstotliwości.

Inny sposób, stosowany dla bardzo wielkich nawet prądów przy znacznych częstotliwościach ($f = 10^6$ i więcej), polega na użyciu bocznika indukcyjnego.*)

Układ połączeń w takim amperomierzu wskazany jest na rys. 50: A — zwykły amperomierz cieplny z cienkim drucikiem o oporze r , dodatkowe opory R_1 i R_2 są bezindukcyjne, L_1 i L_2 indukcyjne.

*) Jahrbuch d. drahtl. Telegraphie u. Telephonie Bd. 11. Heft. 1.

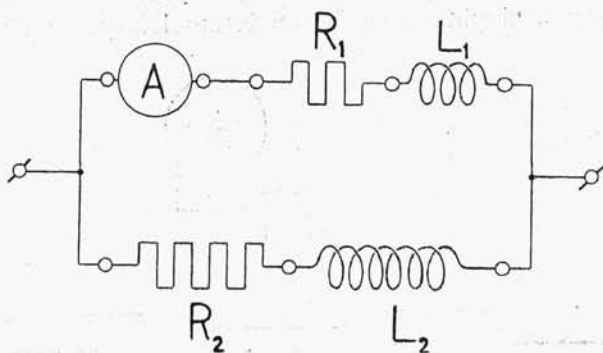
Jeżeli $r + R_1$ stanowi całkowitą oporność omową, a L_1 indukcyjność górnej gałęzi, R_2 — całkowitą oporność omową, a L_2 indukcyjność dla dolnej gałęzi, to dobieramy te wielkości w ten sposób, aby:

$$\frac{r + R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2}.$$

Rozgałęzienie prądów odbywa się odwrotnie proporcjonalnie do oporności pozornych:

$$\sqrt{(r + R_1)^2 + (\omega L_1)^2} : \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2},$$

a więc w tym samym stosunku, co przy prądzie stałym, z zastrzeżeniem, że oporności omowe i indukcyjności zachowują swoją wartość przy różnych częstotliwościach. Tak jest istotnie, ale tylko w przybliżeniu. Indukcyjność zmienia się mniej, niż oporność omowa, więc dobieramy oporności omowe w ten sposób, aby były kilka razy mniejsze już przy częstotliwościach niewielkich.



Rys. 50. Układ połączeń amperomierza z bocznikiem indukcyjnym.

W ten sposób amperomierz cieplny z bocznikiem indukcyjnym może być cechowany prądem stałym, a następnie używany do pomiarów przy prądzie zmiennym bardzo wielkiej częstotliwości.

Wskazania amperomierzy cieplnych są zupełnie niezależne od kształtu krzywej prądu, nawet prądy mające wśród składowych pewną wielkość stałą, niezależną od czasu, dają w amperomierzach cieplnych wychylenia, wskazujące właściwą wypadkową wartość skuteczną.

Pole magnetyczne w zwykłych warunkach nie oddziałuje na wskazania przyrządu. Wyjątkowo chyba, jeżeli zdarzy się silne pole magnetyczne, prostopadłe do drucika cieplnego w układzie na rys. 46, to może wypaść odchylenie nieco za małe, lub za duże pod wpływem siły elektrodynamicznego działania pola magnetycznego na drucik z prądem, gdyż wtedy siła ta będzie sprzyjać lub przeciwdziałać wyginaniom się drucika.

Osobliwością amperomierzy cieplnych jest jeszcze ta własność, że wskazówka stopniowo dochodzi do właściwej działki, odpowiadającej prze-

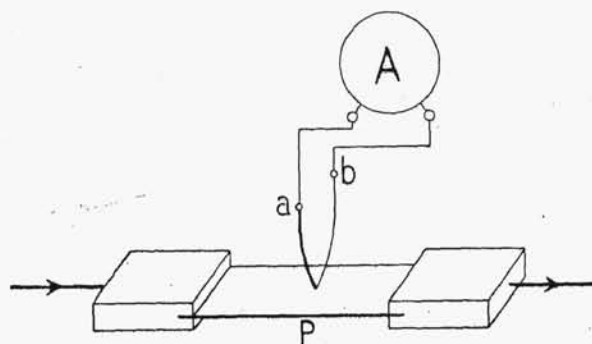
plywającemu prądowi, oczywiście skutkiem tego, że drucik ogrzewa się stopniowo.

W amperomierzach na bardzo słabe prądy temperatura ustala się już po upływie 1 sekundy, natomiast w amperomierzach na prądy znaczne, zaopatrzonych w grubsze druciki cieplne, nieraz potrzeba nawet 6 sekund na ustalenie się położenia wskazówki.

Wobec takich własności, amperomierze cieplne nie mogą służyć do pomiaru wartości chwilowych prądów, zmieniających się raptownie w małych odstępach czasu.

Natomiast dobrze wskazują średnią wartość skuteczną prądów stałych i zmiennych np. zasilających silniki elektryczne o zmiennym obciążeniu, poruszające walcownie i t. p.

b) Amperomierz cieplny z ogniwnem termoelektrycznym. Dla prądów wielkiej częstotliwości znalazły zastosowanie amperomierze cieplne z ogniwami termoelektrycznymi.*)



Rys. 51. Amperomierz cieplny z ogniwnem termoelektrycznym.

Przyrząd pomiarowy stanowi zwykły amperomierz na prąd stały, z ruchomą cewką.

Z tym amperomierzem połączone jest ogniwo termoelektryczne (rys 51), którego styk znajduje się w zetknięciu z cienką płytką *P*, przez którą płynie mierzony prąd.

Końce termoogniwa *a* i *b* są bezpośrednio

połączone z amperomierzem *A*. Płytką *P* rozgrzewa się prądem *i*, skutkiem wzrostu temperatury styku termoogniwa, powstaje w obwodzie amperomierza siła termoelektromotoryczna, wywołująca stały prąd, który daje wychylenia amperomierza.

Ogniwo termoelektryczne łącznie z płytką *P* i końcówkami stanowi razem jedną całość, zamkniętą w pudełku, przykrywającym części delikatniejsze.

Takie płytki grzejne z termoogniwami są sporządzane na różne prądy od 50 do 1000 amperów.

W ten sposób można mierzyć prądy stałe i zmienne. Szczególnie jednak stosuje się amperomierze tego rodzaju do pomiaru prądów szybkozmiennych.

*) Elek. Techn. Zeitsch. 1925 r. Zeszyt 26.