

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

pod naczelnym kierunkiem prof. M. POŻARYSKIEGO.

Rok XIII.

15 Października 1931 r.

Zeszyt 20.

Redaktor inż. WACŁAW PAWŁOWSKI

Warszawa, Czackiego 5, tel. 690-23.

BADANIE PRĄDÓW ZMIENNYCH PRZY WYŁADOWANIACH NIEZUPEŁNYCH.

Prof. K. Drewnowski, inż. J. Miłodrowski, inż. S. Szpor.

1. Cel pracy.

Przy wyładowaniach niezupełnych w układach izolacyjnych, badanych w laboratorjach, płyną prądy rzędu mikroamperów lub miliamperów.

Z powodu tych wyładowań prądy te mają przebieg odkształcony nawet przy napięciu zmiennem sinusoidalnem, zawierają więc sinusoidę podstawową (pierwszą harmoniczną) i wyższe harmoniczne. Moc tracona przy wyładowaniach zależy tylko od amplitudy i przesunięcia fazowego pierwszej harmonicznej prądu względem napięcia. Wyższe harmoniczne prądu wobec sinusoidalnego napięcia nie dają mocy. Najwłaściwszy zatem pod względem energetycznym jest pomiar pierwszej harmonicznej prądu; pomiary np. wartości średniej prądu wyprostowanego nie dają w tym przypadku właściwych wyników.

W niektórych układach izolacyjnych przebieg czasowy prądu nie jest jednaki dla obu znaków napięcia. Dla porównania zjawisk przy różnych kierunkach prądu korzystny jest pomiar wartości maksymalnych prądu obu znaków.

Przy dokładniejszych badaniach jakościowych konieczne jest zdejmowanie przebiegów czasowych prądu. Oscylografowanie ma wielkie znaczenie szczególnie przy napięciach zbliżonych do krytycznego dla danego układu, kiedy impuls prądu jonowego jest bardzo mały w porównaniu z prądem pojemnościowym i nie daje się jeszcze stwierdzić przy pomiarach pierwszej harmonicznej i wartości maksymalnych.

Zadaniem niniejszej pracy było opracowanie dokładnej a praktycznej metody, pozwalającej na mierzenie pierwszej harmonicznej prądu płynącego przez układ izolacyjny przy wyładowaniach, na badanie kierunkowości tego prądu, oraz na oscylografowanie jego przebiegów czasowych, — wszystko to przy dostosowaniu do wysokich napięć. Z podobnym do poniższego rozwiązaniem idei mierzenia prądu przy wyładowaniach nie spotkaliśmy się w dostępnej nam literaturze naukowej.

Badania te zostały przeprowadzone w Laboratorium Wysokich Napięć Politechniki Warszaw-

skiej przy sposobności studjów nad zjawiskami ulotu elektrycznego,*) o czym nastąpią dalsze publikacje.

2. Pomiary prądów odkształconych zapomocą woltomierza katodowego.

a) *Zasada.* — Dla wyodrębnienia pierwszej harmonicznej zastosowano sposób, polegający na przepuszczaniu prądu przez obwód antyrezonansowy, złożony z dławika z żelazem i kondensatora, a dostrojony do pierwszej harmonicznej. Jeżeli oporność rzeczywista dławika R jest mała w porównaniu z opornością indukcyjną ωL , a oporność pojemnościowa kondensatora wynosi $\frac{1}{\omega C}$, to przy spełnionym warunku rezonansu dla pierwszej harmonicznej: $\frac{1}{\omega C} = \omega L$, oporność zastępcza dla pierwszej harmonicznej jest rzeczywista i wyraża się wzorem:

$$R_I = \frac{\omega^2 L^2}{R} = \frac{\omega L}{R} \cdot \omega L, \dots (1a)$$

oporność zastępcza dla drugiej harmonicznej jest w przybliżeniu pojemnościowa i wynosi:

$$X_{II} = \frac{1}{2\omega C - \frac{1}{2\omega L}} = \frac{2}{3} \omega L, \dots (1b)$$

a dla n -tej harmonicznej:

$$X_n = \frac{1}{n\omega C - \frac{1}{n\omega L}} = \frac{n}{n^2 - 1} \omega L. \dots (1c)$$

Przy użyciu dobrych dławików z żelazem można uzyskać duży stosunek $\frac{\omega L}{R}$, oporności więc X_{II} , X_n można uczynić według wzorów (1a), (1b), (1c) bardzo małymi w porównaniu z opornością R_I . W takim obwodzie antyrezonansowym prąd odkształcony wytwarza spadek napięcia prawie pozabawiony wyższych harmonicznych, a odpowiadający sinusoidalnie podstawowej prądu. Jeżeli więc

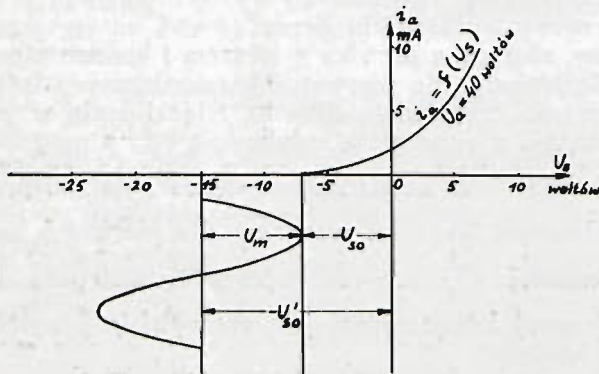
*) Temat pracy dyplomowej J. Miłodrowskiego i S. Szpora.

zmierzymy amplitudę tego spadku napięcia U_{Im} , to będziemy mogli obliczyć amplitudę pierwszej harmonicznej prądu według wzoru:

$$I_{Im} = \frac{U_{Im}}{R_I} \dots \dots \dots (2)$$

Prądy I_{Im} są rzędu mikroamperów lub miliamperów, dla uzyskania więc napięć U_{Im} rzędu jednostek woltów należy stosować oporność R_I rzędu megomów lub kiloomów. Dlatego do pomiarów napięcia U_{Im} nie można użyć zwyczajnych woltomierzy np. elektrodynamicznych, gdyż zwierająłby one obwody antyrezonansowe, a woltomierz elektrostatyczny rozstrajałby rezonans.

Jako dogodny woltomierz wielkooporowy zastosowano przeto woltomierz katodowy, służący do pomiaru wartości maksymalnej napięcia. Wybrany woltomierz katodowy opiera się na zasadzie detekcji na zakrzywieniu charakterystyki prądu anodowego lampy trójelektrodowej. Na dolnym zakrzywieniu charakterystyki prądu anodowego, jako funkcji napięcia siatki: $i_a = f(U_s)$, napięcie zmienne, nałożone na napięcie początkowe siatki, wywołuje przyrost składowej stałej prądu anodowego. Charakterystykę $i_a = f(U_s)$ przy napięciu anodowym $U_a = 40$ woltów lampy Philipsa B 409 przedstawia rys. 1.

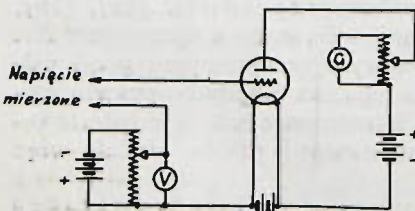


Rys. 1.

Kiedy niema składowej zmiennej napięcia na siatce, to prąd anodowy znika przy początkowym napięciu siatki — U_{s0} . Przy występowaniu składowej zmiennej napięcia na siatce o amplitudzie U_m , prąd anodowy znika dopiero przy początkowym napięciu — U'_{s0} , ponieważ przy mniejszej wartości ujemnego napięcia początkowego wierzchołek dodatni krzywej napięcia zmiennego powodowałby prąd anodowy na zasadzie detekcji. Mamy więc równanie do określenia wartości maksymalnej napięcia zmiennego:

$$U_m = U'_{s0} - U_{s0}.$$

Schemat woltomierza katodowego przedstawia rys. 2. Napięcie początkowe siatki regulujemy za-

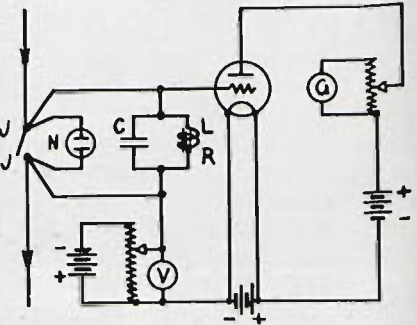


Rys. 2.

pomocą potencjometru i określamy wartość napięcia przy krórej zaczyna wychylać się galwanometr w obwodzie anodowym. Pomiary wykonujemy przy włą-

czonem i wyłączonem mierzonym zmiennem napięciu. Różnica odczytanych wartości napięcia początkowego siatki jest równa wartości maksymalnej napięcia zmiennego. Przełączając przewody napięcia zmiennego, możemy określić wartości maksymalne napięcia znaku dodatniego i ujemnego. Bocznik galwanometru jest używany na początku każdego pomiaru, kiedy napięcie początkowe siatki nie jest jeszcze wyregulowane.

Schemat układu pomiarowego pierwszej harmonicznej prądu jest przedstawiony na rys. 3. Zastosowanie w ob-



Rys. 3.

wodzie antyrezonansowym bardzo dobrego dławika ma wielkie znaczenie, ponieważ pozwala uniknąć w woltomierzu katodowym napięć, pochodzących od wyższych harmonicznych prądu, a powodujących uchyb przy określaniu pierwszej harmonicznej prądu. Uchyb ten zależy zarówno od amplitud wyższych harmonicznych prądu, jak od przesunięć fazowych.

Naprzykład jeżeli krzywa prądu zmiennego ma pionową oś symetrii, to wartości maksymalne harmonicznych prądu wypadają w tym samym czasie. Ponieważ zaś oporność R_I jest rzeczywista, a oporności X_{II} , X_n pojemnościowe, więc wartości maksymalne wyższych harmonicznych napięcia na układzie antyrezonansowym są przesunięte w czasie względem wartości maksymalnej pierwszej harmonicznej. W tym przypadku wyższe harmoniczne prądu powodują stosunkowo małe błędy.

Dla pomiarów wartości maksymalnych prądu obu znaków wystarczy wykonać w układzie przyrządów niewielką zmianę. Zamiast obwodu antyrezonansowego włączamy opornik, na którym prąd odkształcony wytwarza spadek napięcia o takim samym przebiegu czasowym. Jeżeli włączona oporność wynosi R_m , a napięcie, określone za pomocą woltomierza katodowego U_m , to wartość maksymalna prądu:

$$I_m = \frac{U_m}{R_m} \dots \dots \dots (3)$$

Przełączając przewody prądowe, możemy określić wartości maksymalne prądu obu znaków. Na rys. 3 jest zaznaczony kierunek prądowy, dla którego określamy amplitudę prądu.

b) Sposób postępowania i wskazówki praktyczne. — Napięcie zmienne na woltomierzu katodowym powinno być małe w porównaniu z napięciem zasilającym, ażebyśmy mogli pominąć różnicę między napięciem na transformatorze zasilającym i napięciem na układzie badanym. Odejmowanie napięcia na układzie pomiarowym prądu od napięcia na transformatorze zasilającym byłoby nieściśle wobec innego przebiegu w czasie. Spadki napięcia na woltomierzu nie mogą być jednak zbyt małe, ponieważ przyrosty składowej stałej prądu

anodowego byłyby nieznaczne i układ pomiarowy posiadałby niewielką czułość. Jednoczesne spełnienie tych warunków nie przedstawia wielkich trudności. Naprzykład przy użyciu woltomierza katodowego do 30 woltów błąd przy napięciu zasilającym o wartości maksymalnej 15 kilowoltów nie przekracza 0,2%, co stanowi wartość nieznaczną wobec innych błędów, a z rys. 1 dla lampy Philipsa B 409 wynika, że na dolnym zakrzywieniu charakterystyki prądu anodowego już spadkiem napięcia V_s rzędu jednostek woltów odpowiadają znaczne odcinki tego zakrzywienia, czułość jest więc dostateczna.

Ażeby otrzymywać na woltomierzu katodowym spadki napięcia żądanej wielkości, należy rozporządzać szeregiem oporników i obwodów antyrezonansowych na różne zakresy mierzonych prądów. Odpowiednie przełączniki w układzie pomiarowym pozwalają na szybkie włączanie właściwego opornika lub członu antyrezonansowego.

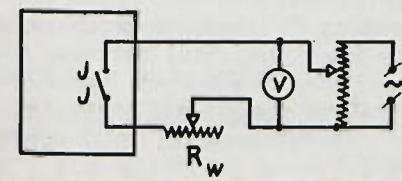
Jeżeli nie posiada się dławików takiej wielkości, ażeby móc uzyskać wymaganą oporność R_I według wzoru (1a), to należy włączać układ antyrezonansowy przez transformator. Przy przekładni transformatora równej ϑ oporność zastępcza dla pierwszej harmonicznej:

$$R_I = \vartheta^2 \frac{\omega^2 L^2}{R} \quad (4)$$

Należy przytem pamiętać o indukcyjności transformatora, odpowiadającej prądowi magnetyzującemu, i stosować dodatkową pojemność, dostrójoną do transformatora.

Indukcyjność i oporność rzeczywista dławików z żelazem zależy od napięcia. Dlatego należy wzorcować układy antyrezonansowe przy różnych napięciach, a przy zastosowaniu do pomiaru prądu dostrajać je w zależności od otrzymywanego napięcia zapomocą kondensatora zmiennego.

Przy wyborze metody wzorcowania obwodów antyrezonansowych należy zwrócić uwagę na konieczność wzorcowania w warunkach możliwie takich samych, w jakich te obwody będą stosowane, ażeby ograniczyć możliwość rozstrajania. Schemat takiego układu wzorcowania, odpowiadającego temu warunkowi, jest przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4.

Ażeby nie pominąć wpływu dodatkowych pojemności, oporności i indukcyjności, pochodzących na przykład od przewodów, dołączamy gotowy układ pomiarowy zaciskami J, J do układu wzorcowania. Badany obwód antyrezonansowy włącza się zapomocą odpowiednich przełączników. W szeregu z członem antyrezonansowym jest włączony opornik wzorcowy R_w , a otrzymany obwód zasilamy z potencjometru napięciem sinusoidalnym o wartości skutecznej U , odczytywanej na woltomierzu V . Amplitudę napięcia na obwodzie antyrezonansowym U_m określamy zapomocą woltomierza katodowego.

Przy antyrezonansie oporność zastępcza dla pierwszej harmonicznej R_I osiąga maximum i przy stałym napięciu zasilającym U napięcie na obwodzie antyrezonansowym U_m uzyskuje maximum i zgodność fazową z napięciem U . Oporność R_I możemy więc obliczyć według wzoru:

$$R_I = R_w \frac{U_m}{\sqrt{2} U - U_m} \quad (5)$$

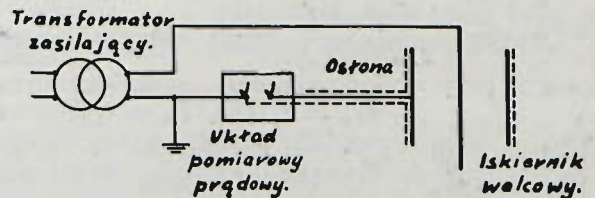
Z równania (5) wyprowadzamy wzór na uchyb:

$$\frac{\Delta R_I}{R_I} = \frac{\Delta R_w}{R_w} + \frac{\sqrt{2} U}{\sqrt{2} U - U_m} \cdot \frac{\Delta U_m}{U_m} + \frac{\sqrt{2} U}{\sqrt{2} U - U_m} \cdot \frac{\Delta U}{U} \quad (6)$$

Wyraz $\frac{\Delta R_w}{R_w}$ jest uchybem opornika wzorcowego, wyraz $\frac{\sqrt{2} U}{\sqrt{2} U - U_m} \cdot \frac{\Delta U_m}{U_m}$ pochodzi od uchybu woltomierza U_m i od uchybu czułości układu katodowego, a wyraz $\frac{\sqrt{2} U}{\sqrt{2} U - U_m} \cdot \frac{\Delta U}{U}$ od uchybu woltomierza V . Drugi i trzeci wyraz we wzorze (6) maleją ze wzrostem stosunku $\frac{\sqrt{2} U}{U_m}$, stosunkowo wielka wartość napięcia zasilającego jest zatem korzystna.

Wyłącznik między zaciskami prądowymi J, J bywa normalnie zamknięty, a otwiera się tylko przy wyznaczaniu U'_{so} . Równoległe do wyłącznika przyłączamy lampę neonową (N), która nie pozwala na niebezpieczny wzrost napięcia na zaciskach J, J w wypadkach przeskoku lub błędnego połączenia obwodów antyrezonansowych.

Ze względu na konieczność regulowania układu pomiarowego prądu przy włączonym wysokim napięciu, włączamy układ na przewodzie zasilającym uziemionym. Ażeby uniknąć błędów pochodzących od prądów, które mogłyby przepływać bezpośrednio między przewodami zasilającymi, omijając układ badany, należy osłonić elektrostatycznie przewód zasilający między woltomierzem katodowym i badanym układem, a osłonę przyłączyć do przewodu zasilającego przed woltomierzem katodowym.



Rys. 5.

Rys. 5 przedstawia układ badania prądów w iskierniku walcowym, kiedy należy osłonić również walec zewnętrzny. Spadek napięcia na zaciskach układu pomiarowego prądu powoduje prądy pojemnościowe i upływności między osłoną a doprowadzeniem i walcem zewnętrznym. Prądy te powodują efekt bocznikowania układu pomiarowego prądu, należy je więc ograniczyć przez odpowiednie odizolowanie osłony od doprowadzenia i walca zewnętrznego.

c) *Uchyby.* — Przy pomiarze amplitudy pierwszej harmonicznej prądu, określanej według wzoru (2), popełniamy uchyb:

$$\frac{\Delta I'_{Im}}{I_{Im}} = \frac{\Delta U'_{Im}}{U_{Im}} + \frac{\Delta R_I}{R_I} \quad \dots (7)$$

a przy pomiarze wartości maksymalnej, obliczanej według wzoru (3), uchyb:

$$\frac{\Delta I'_m}{I_m} = \frac{\Delta U_m}{U_m} + \frac{\Delta R_m}{R_m} \quad \dots (8)$$

Uchyb $\frac{\Delta U_m}{U_m}$ składa się z uchybu woltomierza i z uchybu czułości układu pomiarowego prądowego. W skład uchybu $\frac{\Delta U'_{Im}}{U_{Im}}$ wchodzi obok uchybu woltomierza i uchybu czułości dodatkowy uchyb, powodowany wyższymi harmonicznymi prądu mierzonego. Wyraz $\frac{\Delta R_m}{R_m}$ jest to uchyb opornika wzorcowego, a wyraz $\frac{\Delta R_I}{R_I}$ jest uchybem wzorcowania obwodu antyrezonansowego.

Uchyb $\frac{\Delta I'_{Im}}{I_{Im}}$ jest większy, niż $\frac{\Delta I'_m}{I_m}$, ponieważ wyraz $\frac{\Delta U'_{Im}}{U_{Im}}$ jest większy, niż $\frac{\Delta U_m}{U_m}$, a wyraz $\frac{\Delta R_I}{R_I}$ większy, niż $\frac{\Delta R_m}{R_m}$.

Kiedy wyznaczamy charakterystykę prądu w zależności od napięcia zasilającego U_z , występuje uchyb napięcia $\frac{\Delta U_z}{U_z}$. Odczytujemy więc napięcie zasilające U_z , a pomiar wykonywamy przy napięciu $U_z + \Delta U_z$, wskutek czego powstają dodatkowe uchyby amplitudy pierwszej harmonicznej i wartości maksymalnej prądu:

$$\frac{\Delta I''_{Im}}{I_{Im}} = \frac{U_z}{I_{Im}} \cdot \frac{d I_{Im}}{d U_z} \cdot \frac{\Delta U_z}{U_z},$$

$$\frac{\Delta I''_m}{I_m} = \frac{U_z}{I_m} \cdot \frac{d I_m}{d U_z} \cdot \frac{\Delta U_z}{U_z}.$$

Uchyby $\frac{\Delta I''_{Im}}{I_{Im}}$, $\frac{\Delta I''_m}{I_m}$ mogą osiągnąć znaczne wartości przy wyładowaniach, ponieważ krzywe $I_{Im} = f_1(U_z)$, $I_m = f_2(U_z)$ mają kształt, przedstawiony na rys. 6. Powyżej napięcia krytycznego stosunek $\frac{I_{Im}}{U_z}$ może być znacznie mniejszy od pochodnej $\frac{d I_{Im}}{d U_z}$, a stosunek $\frac{I_m}{U_z}$ mniejszy od pochodnej $\frac{d I_m}{d U_z}$. W tym przypadku uchyby $\frac{\Delta I''_{Im}}{I_{Im}}$, $\frac{\Delta I''_m}{I_m}$ są znacznie większe, niż uchyb $\frac{\Delta U_z}{U_z}$.

Calkowity uchyb amplitudy pierwszej harmonicznej prądu wynosi:

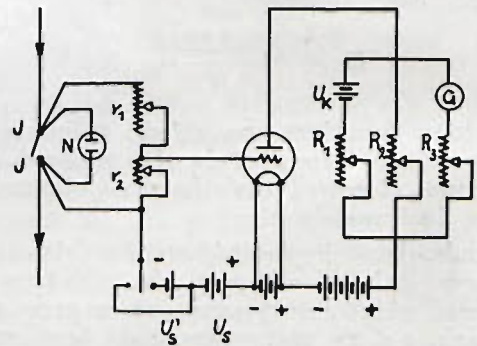
$$\begin{aligned} \frac{\Delta I_{Im}}{I_{Im}} &= \frac{\Delta I'_{Im}}{I_{Im}} + \frac{\Delta I''_{Im}}{I_{Im}} = \\ &= \frac{\Delta U'_{Im}}{U_{Im}} + \frac{\Delta R_I}{R_I} + \frac{U_z}{I_{Im}} \cdot \frac{d I_{Im}}{d U_z} \cdot \frac{\Delta U_z}{U_z} \quad (9), \end{aligned}$$

a calkowity uchyb wartości maksymalnej:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I_m}{I_m} &= \frac{\Delta I'_m}{I_m} + \frac{\Delta I''_m}{I_m} = \\ &= \frac{\Delta U_m}{U_m} + \frac{\Delta R_m}{R_m} + \frac{U_z}{I_m} \cdot \frac{d I_m}{d U_z} \cdot \frac{\Delta U_z}{U_z} \quad (10). \end{aligned}$$

3. Oscylografowanie prądów.

Bezpośrednie włączenie galwanometru oscylografu w obwód badanego prądu jest nieodpowiednie z powodu niebezpieczeństwa przypadkowych przeskoków i trudności dostosowania galwanometru do zakresu badanych prądów, niekiedy bardzo małych. Korzystne jest użycie wzmacniacza lampowego, który pozwala zabezpieczyć galwanometr od nadmiernego prądu i dostosowywać układ do zakresu badanych prądów. Schemat układu ze wzmacniaczem jest przedstawiony na rys. 7.



Rys. 7.

Układ jest przyłączony do przewodu zasilającego uziemionego w zaciskach J, J wyłącznika. Przy zamkniętym wyłączniku badany prąd omija układ, a przy otwartym przepływa przez oporniki r_1 , r_2 , wytwarzając na oporności r_2 składową zmienną napięcia na siatce. Ponieważ w obwodzie anodowym występują tylko oporności rzeczywiste, przeto wartości chwilowe składowej zmiennej prądu anodowego są proporcjonalne do równoczesnych wartości chwilowych składowej zmiennej napięcia na siatce, a zatem do wartości chwilowych badanego prądu, jeżeli tylko zakres pracy nie przekracza prostoliniżnej części charakterystyki statycznej lampy.

Przez regulację opornika r_2 można dostosować układ do zakresu badanych prądów. Napięcie na opornikach $(r_1 + r_2)$ jest ograniczone przez lampę neonową, która stanowi zabezpieczenie przeciw przepięciom na siatce lampy wzmacniającej, wywołanym przez przypadkowe przeskoki. Odpowiednie dobranie stosunku $\frac{r_1 + r_2}{r_2}$ pozwala unikać niebezpiecznych prądów w obwodzie anodowym. Opornik r_1 powinien być tak regulowany, aby lampka neonowa nie świeciła się przy wyładowaniach niezupełnych.

Ażeby galwanometr G był zasilany tylko składową zmienną prądu anodowego, użyto baterji U_b , która kompensuje spadek napięcia na oporniku R_1 , wywołany przez składową stałą prądu anodowego, tak że składowa stała napięcia na boczniku R_2 jest równa zeru. Bocznik R_2 i opornik szeregowy R_3 służą do regulacji.

Do wyznaczania skali zdejmowanych krzywych prądu służy znane dodatkowe napięcie siatki U'_s . Linja skali, zdjęta przy włączonym napięciu U'_s , odpowiada badanemu prądowi równemu $\frac{U'_s}{r_2}$.

Znak prądu, odpowiadający linii skali, można określić na podstawie znaku napięcia U'_s .

Przy zdejmowaniu na jednej kliszy kilku krzywych prądu, linii zerowej i linii skali, należy zachować te same wartości oporności R_1 , R_2 , R_3 .

Konieczność osłony elektrostatycznej na przewodzie zasilającym przedstawia się podobnie, jak w układzie pomiarowym prądu zapomocą woltomierza wielkooporowego.

4. Przykład.

Układ pomiaru prądu zamopocą woltomierza katodowego był zastosowany do badania ulotu w iskierniku walcowym o promieniu walca zewnętrznego równym 7,5 cm, o długości walca zewnętrznego bez wygięć krawędziowych równej 20 cm, a długości całkowitej wraz z wygięciami równej 30 cm. Elektrody wewnętrzne wybierał się stosunkowo niewielkich promieni, ażeby uzyskać duże różnice między napięciem przeskoku i napięciem krytycznym, czyli szeroki zakres wyładowań niezupełnych. Badane prądy posiadały amplitudy w granicach od 50 mikroamperów do 2 miliamperów.

Odpowiednie przełączniki służyły do włączania zależnie od wielkości badanych prądów właściwej oporności R_l lub R_m . W skład obwodów antyrezonansowych wchodził dławik o rdzeniu otwartym i kondensator wtyczkowy do 1,11 μF , transformator napięciowy 10000/110 V i kondensatory na 10000 $\mu\mu F$ po stronie 10000 V, oraz transformator napięciowy 6000/110 V i kondensatory na 0,033 μF po stronie 6000 V. Przy dostrojeniu do pierwszej harmonicznej (50 ~ /sek) obwód antyrezonansowy dławika przedstawiał oporność

$R_l \cong 30\,000 \Omega$ przy stosunku $\frac{\omega L}{R} \cong 7$, obwód transformatora 10 000/110 V oporność $R_l \cong 1\,200\,000 \Omega$ przy $\frac{\omega L}{R} \cong 4$, a obwód transformatora 6 000/110 V oporność $R_l \cong 250\,000 \Omega$ przy $\frac{\omega L}{R} \cong 2,5$.

Dla uzyskania kilku filtrów o dużym stosunkowo $\frac{\omega L}{R}$ została zastosowana przy dławiku przekładnia, równa ilorazowi przekładni transformatorów. Posiadaliśmy więc oporności R_l równe w przybliżeniu: 1) 13 000 Ω , 2) 30 000 Ω , 3) 75 000 Ω , 4) 250 000 Ω , 5) 1 200 000 Ω ; (1) i 3) uzyskane dzięki przekładni).

Oporności R_m otrzymywaliśmy z oporników wtyczkowych 10 \times 10 000 Ω , 10 \times 10 000 Ω , i 10 \times 1 000 Ω .

Woltomierz katodowy składał się z lampy trójelektrodowej Philipsa B 409, pracującej w wa-

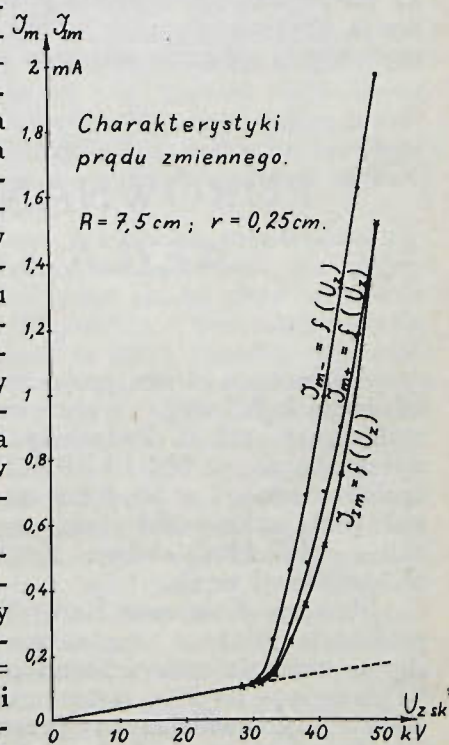
runkach, przedstawionych na rys. 1, z galwanometru o skali $1^\circ = 4,9 \mu A$ i bocznika, oraz z potencjometru i woltomierza siatkowego na 40 V.

W układzie amplifikatorowym oscylografu, zastosowanym do badania tego samego iskiernika walcowego, użyto również lampy Philipsa B 409. Napięcie anodowe 160 V i napięcie siatkowe — 4 V odpowiadają warunkowi pracy na prostoliniowej części charakterystyki statycznej. Jako źródło dodatkowego napięcia V'_s zostało użyte normalne ogniwo Westona.

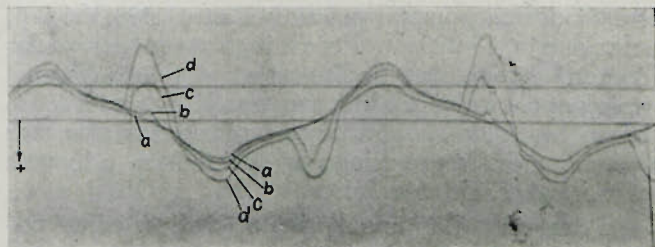
W obwodzie badanego prądu były włączone oporniki wtyczkowe r_1 na 10 \times 10 000 Ω , oraz r_2 na 10 \times 10 000 Ω , 10 \times 1 000 Ω , 10 \times 100 Ω i 10 \times 10 Ω . Bateria kompensująca U_K miała 4 wolty, opornik R_1 suwakowy 250 Ω , opornik R_2 wtyczkowy 1 110 Ω , opornik R_3 suwakowy 24 Ω , galwanometr oscylografu miał oporność 4 Ω .

Celem przedstawienia stosowności metody ograniczymy się obecnie do podania wyników badania prądów w iskierniku walcowym tylko dla elektrody wewnętrznej mosiężnej o promieniu $r = 0,25$ cm. Obszerniejszy materiał doświadczalny dla iskiernika walcowego i dyskusja wyników pomiarów podane będą później.

Rys. 8 przedstawia charakterystyki amplitudy pierwszej harmonicznej prądu $I_{1m} = f(U_z)$, wartości maksymalnej prądu przy napięciu dodatnim na walcu wewnętrznym $I_{m+} = f(U_z)$, oraz wartości maksymalnej przy napięciu ujemnym na walcu wewnętrznym $I_{m-} = f(U_z)$.



Rys. 8.



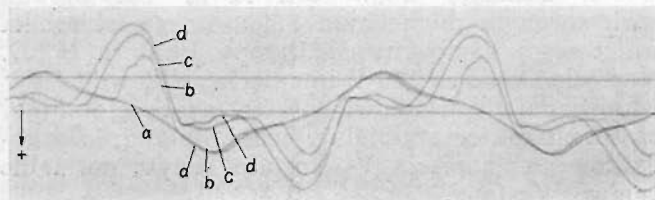
Rys. 9.

Oscylogramy prądu zmiennego w iskierniku walcowym. Promienie elektrod: $R = 7,5$ cm, $r = 0,25$ cm. Elektroda wewnętrzna mosiężna.

$U_{z\ sk}$ w kV: a) 28,3, b) 30,4, c) 31,2, d) 33.
Skala w μA : a) 111, b) 110, c) 91, d) 83,3.

Na rys. 9 i 10 widzimy oscylogramy prądów dla różnych napięć. Poniżej napięcia krytycznego krzywe (a) przedstawiają prąd pojemnościowy.

pojemnościowy. W czasie zdejmowania krzywej (c) rys. 9 nastąpił krótkotrwały przeskok iskrowy, któremu odpowiada stosunkowo długi ząb prądu jonowego na prawym końcu u dołu oscylogramu.



Rys. 10.

Oscylogramy prądu zmiennego w iskierniku walcowym. Promienie elektrod: $R = 7,5$ cm, $r = 0,25$ cm. Elektroda wewnętrzna mosiężna.

U_{zsk} w kV: a) 28,3, b) 33, c) 40,6 d) 49,5
Skala w μA : a) 100, b) 125, c) 385, d) 715

W miarę wzrostu napięcia powstają powyżej napięcia krytycznego zęby prądu jonowego, rosną stopniowo i wreszcie znacznie przewyższają prąd

5. Wnioski ogólne.

Opracowany układ pomiarowy prądu pozwala określać amplitudę pierwszej harmonicznej prądu, która ma duże znaczenie przy napięciu sinusoidalnym ze względu na moc, oraz wartości maksymalne obu znaków, co daje możliwość badania wpływu znaku przyłożonego napięcia. Zarówno układ pomiarowy metodą woltomierza wielkooprowego, jak układ amplifikatorowy oscylograficzny może być dogodnie dostosowywany do zakresu badanych prądów. Zabezpieczenie lampami neonowymi daje dostateczną ochronę przyrządów w wypadkach przeskoku.

Opisane metody zastosowano do badania iskiernika walcowego, a otrzymane wyniki będą przedmiotem jednej z następujących prac.

PORÓWNANIE OFERT NA ELEKTRYFIKACJĘ WĘZŁA KOLEJOWEGO WARSZAWSKIEGO.

Inż. J. Podoski.

Techniczna strona projektowanej elektryfikacji węzła kolejowego warszawskiego opisana została przez inż. R. Podoskiego w artykule, zamieszczonym w Nr. 13-XIII „Przeglądu Elektrotechnicznego” i w Nr. 8 i 9 „Inżyniera Kolejowego”, gdzie autor podał zasady opracowanego przez siebie dla Ministerstwa Komunikacji projektu elektryfikacji węzła.

Komisja Kolejowej Rady Technicznej, której projekt ten złożono do zatwierdzenia, zgadzając się w zasadzie z wywodami inż. R. Podoskiego i skłaniając się ku zastosowaniu prądu stałego 3000 V, przewidzianego przez autora projektu, uznała jednak za niezbędne dokładniejsze przestudowanie sprawy rodzaju prądu, przy czym postanowiono wziąć pod uwagę nie tylko najbliższą przyszłość, lecz również dalsze okresy rozwoju elektryfikacji kolei w kraju.

W związku z tem opracowany został dodatkowy projekt elektryfikacji węzła warszawskiego, tym razem za pomocą prądu stałego 1500 V i jednofazowego 15000 V. Prócz tego została wydelegowana specjalna podkomisja dla zwiędzenia istniejących kolei elektrycznych. Raport tej podkomisji oraz opis podróży podany został przez prof. St. Odr.-Wysockiego w specjalnym odczycie („Przegląd Elektrotechniczny” Nr. 11-XIII).

Pozatem dla umożliwienia zestawienia odpowiednich kosztorysów, Ministerstwo Komunikacji skierowało do szeregu firm elektrotechnicznych zapytania oraz warunki techniczne na wykonanie dostaw, związanych z elektryfikacją węzła warszawskiego, przy czym przewidziane zostały trzy alternatywy: zasilanie prądem stałym 1500 V, prądem stałym 3000 V oraz prądem jednofazowym

niskiej częstotliwości. W tym ostatnim przypadku energia elektryczna mogłaby być dostarczana bądź pod postacią prądu trójfazowego o częstotliwości przemysłowej, bądź bezpośrednio jako prąd jednofazowy niskiej częstotliwości.

17 firm polskich i zagranicznych odpowiedziało na zapytanie Ministerstwa, nadsyłając niezmiernie bogaty i obszerny materiał, pozwalający na szczegółowe ustalenie kosztorysów oraz na opracowanie wszelkich szczegółów technicznych, dotyczących projektowanej elektryfikacji. Ponieważ rozesłane zapytania objęły zarówno firmy, pracujące przeważnie dla przedsiębiorstw prądu stałego, jak i pracujące dla kolei jednofazowych, nadesłane oferty stanowią nader cenny materiał porównawczy i pozwalają na wyjaśnienie szeregu wątpliwości, nasuwających się zawsze przy obiorze systemu prądu dla trakcji elektrycznej.

W ramach niniejszego artykułu pragnąłbym omówić wyniki, jakie uzyskano przez porównanie ze sobą rozmaitych alternatyw zasilania energią elektryczną, przy czym jednak zajmę się wyłącznie porównaniem trzech głównych systemów trakcji elektrycznej z punktu widzenia kosztów zakładowych, pomijając zupełnie sprawę eksploatacji oraz wyższości jednego systemu w stosunku do pozostałych. Ponieważ podane przez firmy ceny łatwo ulegać mogą zmianom, wszelkie obliczenia przedstawione zostały w formie stosunku względem jednego z systemów, a mianowicie w stosunku do prądu stałego 3000 V, jako przyjętego w zasadniczym projekcie elektryfikacji.

Warunki techniczne Ministerstwa Komunikacji podzielone zostały na 3 niezależne od siebie