

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

ZAKŁAD MIERNICTWA ELEKTROTECHNICZNEGO I WYSOKICH NAPIĘĆ

PUBLIKACJA № 7.

LABORATORJUM WYSOKICH NAPIĘĆ

OBJAŚNIENIA DO ĆWICZEŃ OPRACOWANE POD KIERUNKIEM
PROF. KAZIMIERZA DREWNOWSKIEGO

1929|30.

NAKŁADEM ZAKŁADU MIERN. ELEKTR. I WYS. NAPIĘĆ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Druk i blł. F. REBUŁSKI Włdok 26.

l.z. 446

P R A C E

ZAKŁADU MIERNICTWA ELEKTR. I WYSOKICH NAPIĘC

Politechniki Warszawskiej

- Nr. 1. K. Drewnowski - "Materiały i układy izolacyjne wysokiego napięcia", 1927
2. K. Drewnowski i J. Skowroński - "Pomiar wysokiego napięcia iskiernikiem kulowym", 1927
3. K. Drewnowski i J. Skowroński - "Przepisy odbiorcze na masy kablowe", 1927
4. K. Drewnowski i J. Skowroński - "Przepisy odbiorcze na oleje izolacyjne", 1927
5. S. Dunikowski - "Badanie rozkładu potencjałów w układach izolacyjnych", 1929
6. K. Drewnowski - "Laboratorium Miernictwa Elektrotechnicznego", 1929
7. K. Drewnowski - "Laboratorium Wysokich Napięć", 1929



~~C. 4810~~

~~D. 810~~



MP.154

BG02P/554-23

P R Z E D M O W A

Skrypta niniejsze (część I) są dostosowane do programu obowiązkowych ćwiczeń w Laboratorium Wysokich Napięć. Politechniki Warszawskiej. Studenci obowiązani są przerobić wszystkie ćwiczenia tu opisane w przeciągu 1 semestru, mając na to przeznaczone 42 dnia w tygodniu. Każdy temat składający się z paru ćwiczeń stanowi dla siebie całość, z której należy przedstawić wspólne sprawozdanie wraz z wnioskami, wynikającymi z pomiarów.

Część I skryptów obejmuje ćwiczenia podstawowe z zakresu wytrzymałości elektrycznej. Ćwiczenia specjalne z tej dziedziny oraz ćwiczenia z zakresu przepięć elektrycznych będą stanowiły część II skryptów, która ukaze się później. Jest to program wchodzący w zakres ćwiczeń nieobowiązkowych.

Przy opracowywaniu skryptów, oraz samych metod pomiarów z punktu dostosowania ich do potrzeb i warunków Laboratorium, brali udział pp. adjunkt inż. J. Skowroński, asyst. inż. S. Dunikowski i J. Hoser. Za pracę jaką w to włożyli, wyrażam im niniejszem gorące podziękowanie.

Warszawa w grudniu 1929 r.

Kazimierz Drewnowski

S P I S R Z E C Z Y

I. BADANIE ISKIERNIKOW POMIAROWYCH.	1 - 12
1. Charakterystyki ikiernika płaskiego	1
2. " " kul. i ostrz	4
3. " " walcowego	9
II. BADANIE WYTRZYMAŁOŚCI POWIETRZA.	13 - 14
1. Badanie wpływu gęstości powietrza	13
III. BADANIE ULOTNOSCI PRZEWODOW.	20 - 27
1. Charakterystyki ulotu elektrycznego	20
IV. BADANIE OLEJOW IZOLACYJNYCH.	28 - 36
1. Badanie wytrzymałości elektrycznej	28
2. " własności fizycznych	33
V. BADANIE MATERJ. IZOLAC. STAŁYCH	37 - 49
1. Badanie wyładowań powierzchniowych	37
2. " wytrzymałości elektrycznej	45
VI. BADANIE KABLI WYSOKIEGO NAPIECIA.	50 - 61
1. Charakterystyki stratn. dielektr.	50
VII. BADANIE IZOLATORÓW	62 - 72
1. Próba kształtu izolatora stojącego	62
2. Rozkład napięć	67
DODATEK: POMIAR WYSOKIEGO NAPIECIA.	73 - 84
1. Iskiernik pomiarowy kulowy	74
2. Metoda pomiaru prądu pojemnościowego	82
REGULAMIN CWICZEN	85 - 88

TEMAT I

BADANIE ISKIERNIKOW POMIAROWYCH

Cel pomiaru:

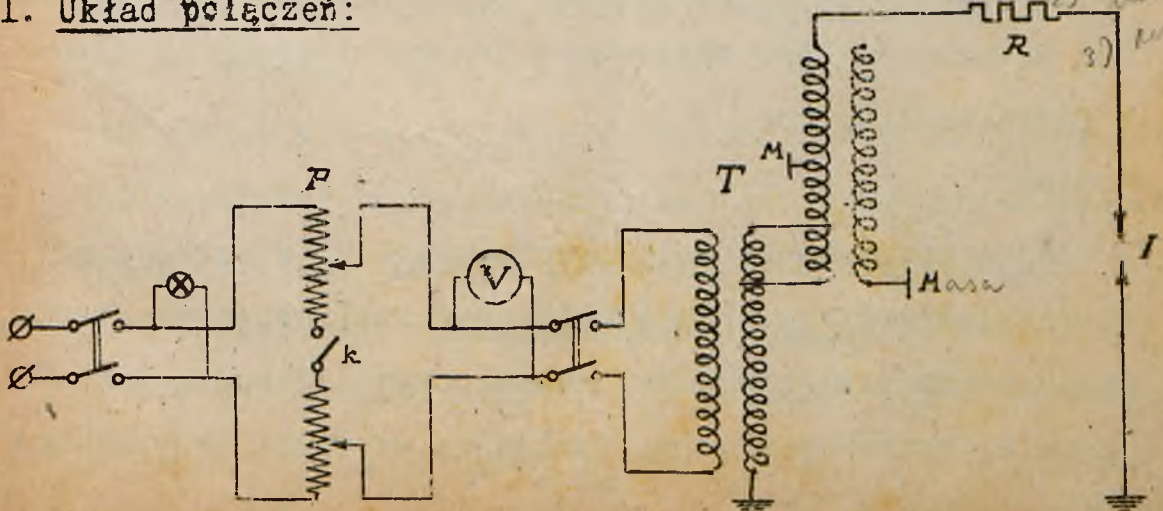
Przy dostatecznie dużym napięciu następuje na elektrodach wyładowanie bądź niezupełne, jak jarzące i snopiaste, bądź też zupełne w postaci iskry lub łuku. Zadaniem pomiaru jest wyznaczenie naprężenia dielektyku t.j. natężenia pola (przez określenie napięcia i odstępów elektrod), przy którym między elektrodami w powietrzu zjawia się pierwsze dostrzegalne wyładowanie. Te wartości natężenia pola (F_0) i napięcia (V_0) noszą nazwę krytycznych. Są one różne dla podstawowych układów elektrod: płaskich, kulowych, walcowych i ostrzowych, stanowiących formy iskiernika pomiarowego.

Cwiczenie 1.

Znak: L/1

CHARAKTERYSTYKI ISKIERNIKA PŁASKIEGO

1. Układ połączeń:



Oznaczenia: P - dwa oporniki (każdy 35Ω , 5 A) przy zamkniętym kluczu k stanowią potencjometr, przy otwartym załączone są szeregowo. T - grupa dwu transformatorów (każdy 4 kVA, 20000/245,222,200 V) połączonych kaskadowo. I - iskiernik o elektrodach płaskich. R - opornik wodny. V - woltomierz elektrodynamiczny. M - masa transformatora.

2. Zasada pomiaru:

Dwie elektrody w postaci tarcz przedstawiają kondensator płaski. Natężenie pola wewnątrz kondensatora płaskiego (a więc tam, gdzie panuje pole jednostajne) jest w każdym punkcie jednakowe i wyraża się wzorem:

$$F = \frac{V}{a} \quad \frac{kV}{cm.}$$

gdzie: V - napięcie między elektrodami w kV, a - odstęp elektrod w cm. Tak określone naprężenie będzie miarodajne dla pomiaru tylko wtedy, jeśli przeskok nastąpi rzeczywiście w polu jednostajnym, a nie na krańcach elektrod. Dla uniknięcia tego ostatniego brzegi elektrod są odpowiednio zaokrąglone.

3. Pomiar:

1. Zdjąć przebieg napięcia krytycznego V_0 w funkcji odstępu elektrod a. Pomiaru dokonać, zbliżając elektrody przy stałym napięciu. Jako wynik przyjąć średnią z co najmniej trzech pomiarów, pomijając wartości przypadkowe,

odbiegające znacznie od przeciętnej. Dla kilku punktów porównać wynik, otrzymany przy stałym napięciu i zbliżaniu elektrod z wynikiem przy stałym odstępie i podnoszeniu napięcia.

Uwagi: 1. W celu otrzymania wartości napięcia wysokiego, należy wartość napięcia niskiego, odczytaną na woltomierzu, pomnożyć przez przekładnię transformatora, przyjmując ją za stałą i równą:

2. Przed pomiarem ustalić poprawkę na zero skali śruby mikrometrycznej, poprawkę tę uwzględniać przy odczycie.

Przy pomiarze ze względu na zjawisko opóźniania się wyładowań elektrody zbliżać dostatecznie wolno, a po powstaniu wyładowania między elektrodami prąd natychmiast wyłączyć.

2. Na podstawie wyników pomiaru obliczyć naprężenie krytyczne: $F_0 = \frac{V_0}{a}$ kV/cm.

Uwaga: Do obliczeń brać wartości napięć poprawione z wykresu $V_0 = f(a)$.

3. Przedstawić wykreślnie zależność napięcia i naprężenia krytycznego od odstępu elektrod: $V_0 = f_1(a)$ i $F_0 = f_2(a)$

Uwaga: Wykresy podawać w wartościach maksymalnych (kształt krzywej napięcia przyjąć za sinusoidalny) oraz dla warunków normalnych: 25°C i 760mm Hg.

$$V_{0,25;760\text{mmHg}} = V_{0,t,t} \cdot \delta$$

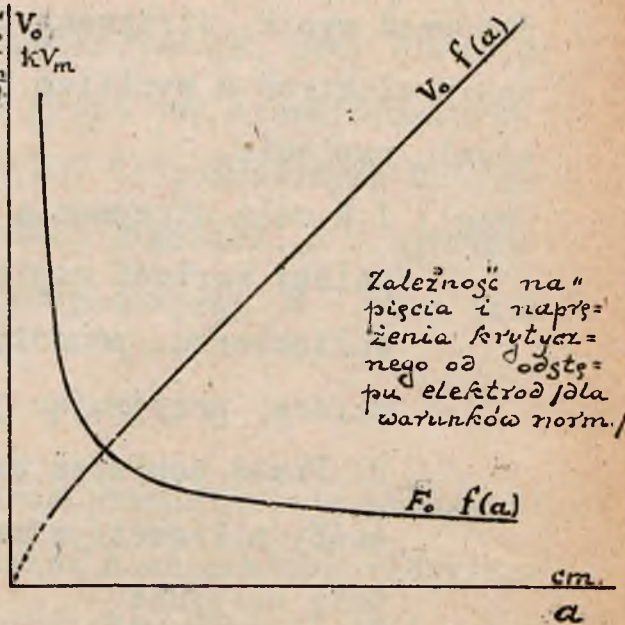
gdzie:

$$\delta = \frac{b}{760} \cdot \frac{273 + 25}{273 + t} = 0,392 \frac{b}{273 + t}$$

4. Wzór protokołu i wykresu:

$$\left. \begin{matrix} t = \dots \\ b = \dots \end{matrix} \right\} \delta = \dots \quad \frac{F_0}{\frac{kV}{cm}} \quad \frac{V_0}{kV_m}$$

L_p	V_0' 25,760	V_0^* 25,760	a	F_0
	kV_{max}	kV_{max}	cm.	$\frac{kV_{max}}{cm}$



* Wartości poprawione z wykresu

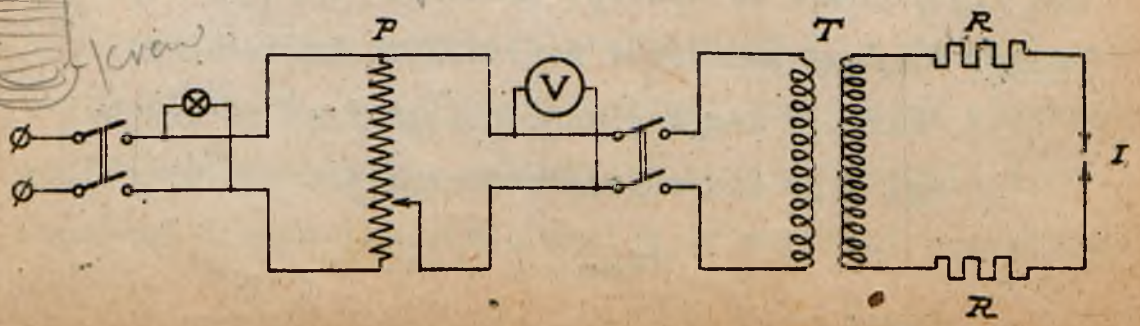
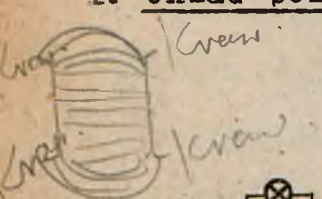
5. Wnioski:

W sprawozdaniu należy tutaj wyjaśnić przebieg krzywej napiężeń krytycznych oraz omówić sprawę rodzaju wyładowań przy elektrodach płaskich.

Wniosek: ...
Cwiczenie 2. Znak: 1/2
CHARAKTERYSTYKI ISKIERNIKA KULOWEGO I OSTRY.

1. Układ połączeń:

Wyładowania prądowe mają charakter ...

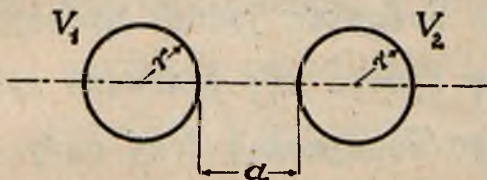


Oznaczenia: P - potencjometr A. T - transformator 50000/110 V. I - iskiernik o elektrodach kulowych i ostrzowych. R - oporniki po 150000 Ω . V - woltomierz elektrodynamiczny.

2. Zasada pomiaru:

Dla układu dwu kul o jednakowych średnicach największe napięcie (panuje ono na powierzchni kuli nieuziemiowanej w punkcie najmniejszego odstępu kul) określa wzór ogólny:

$$F = \frac{V_1 - V_2}{a} \cdot \beta_1 + 2 \cdot \frac{V_2}{a} \cdot (\beta_1 - \beta_0),$$

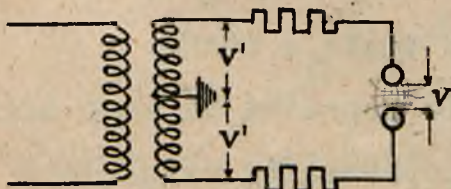


gdzie: V_1 i V_2 - potencjały kul względem ziemi, a - przerwa iskrowa, β_1 i β_0 - współczynniki

zależne od stosunku $\frac{a}{r}$, r - promień kul.

$$\beta_1 = f'(\frac{a}{r}) ; \beta_0 = f''(\frac{a}{r}) , \text{ przytem } \beta_1 > \beta_0 .$$

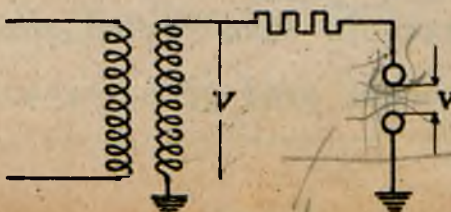
Dla układu symetrycznego (obie kule nieuziemiowane mają



$$V_1 = -V_2 = V' \quad F = \frac{V}{a} \beta_0 .$$

te same potencjały, ale przeciwnego znaku / $V_1 = -V_2$ /, co osiągamy zazwyczaj przez uziemienie środka transformatora):

Dla układu niesymetrycznego (jedna z kul uziemiona, na



drugiej cały potencjał V względem ziemi):

$$F = \frac{V}{a} \cdot \beta_1 .$$

Dla określenia największego

deponująca pole

naprężenia przy znanem napięciu V między kulami i przerwie iskrowej a , wystarczy teraz znać jeszcze współczynnik f^3 . Wartość tego współczynnika podają odpowiednie krzywe.

3. Pomiar:

1. Zdjąć przebieg napięcia krytycznego V_0 w funkcji odstepu elektrod a dla kilku par kul o różnych średnicach i ostrzy. Pomiar uskutecznić, zbliżając elektrody przy stałym napięciu, aż do przeskoku. Jeżeli występuje jarzenie i dopiero potem przeskok, notować obydwa napięcia. Jako napięcie krytyczne rozumieć jednak należy najniższe napięcie, przy którym zjawia się pierwsze wyładowanie. Każdy pomiar powtórzyć conajmniej trzy razy, przyjmując za wynik wartość średnią.

Uwagi: 1. W celu otrzymania wartości napięcia wysokiego, należy wartość napięcia niskiego, odczytaną na woltomierzu, pomnożyć przez przekładnię transformatora, przyjmując ją za stałą i równą:

2. Przed pomiarem ustalić poprawkę na zero skali śruby mikrometrycznej, poprawkę tę uwzględnić przy odczycie. Przy pomiarze uwzględnić zjawisko opóźniania się wyładowań i podnosić napięcie dostatecznie wolno. Po powstaniu łuku (wyładowania zupełnego) między elektrodami prąd jaknajszybciej wyłączyć.

2. Na podstawie wyników pomiaru obliczyć (tylko dla kul) naprężenie krytyczne ze wzoru: $F_o = \frac{V_o}{a} \cdot \int_o^\beta$

Uwaga: Do obliczeń brać wartości V_o poprawione z krzywej $V_o = f_1(a)$.

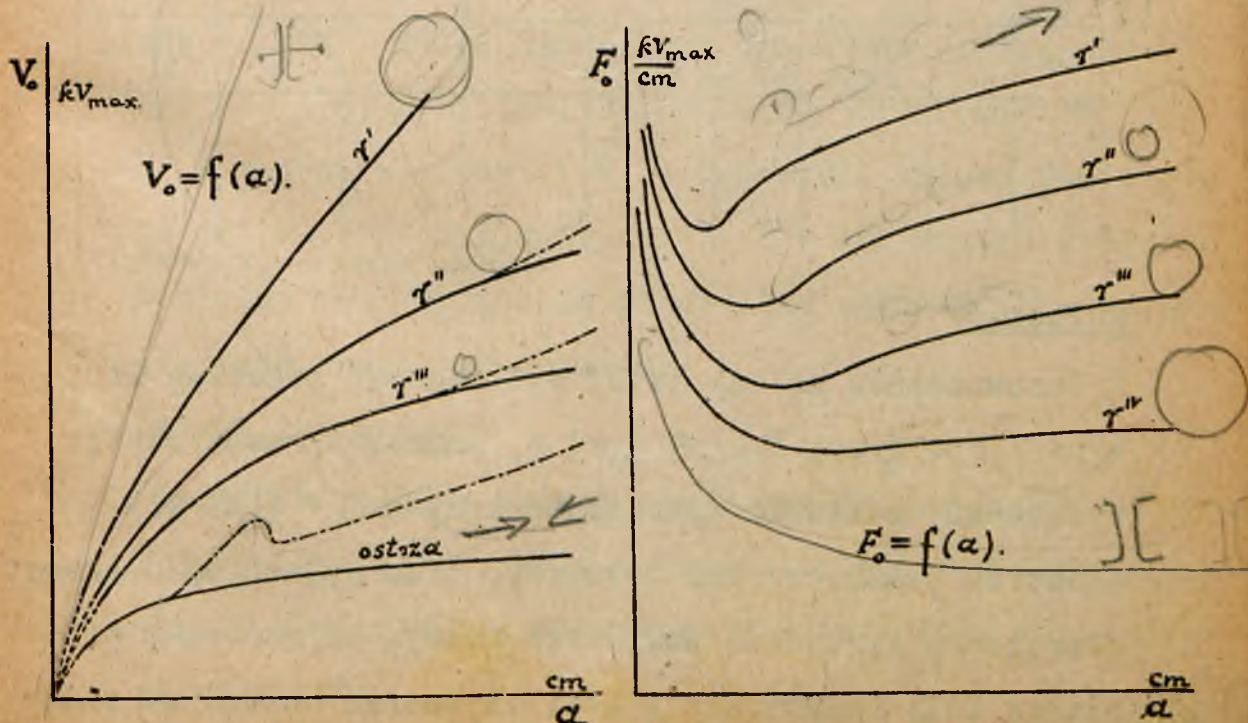
3. Przedstawić wykreślnie napięcie i naprężenie krytyczne V_o i F_o :

$$V_o = f_1(a), F_o = f_2(a), F_o = f_3\left(\frac{a}{r}\right), F_{o, \min} = f_4(r).$$

gdzie $F_{o, \min}$ oznacza najmniejszą wartość naprężenia krytycznego dla danej kuli, określoną z krzywej $F_o = f_2(a)$ lub $F_o = f_3\left(\frac{a}{r}\right)$.

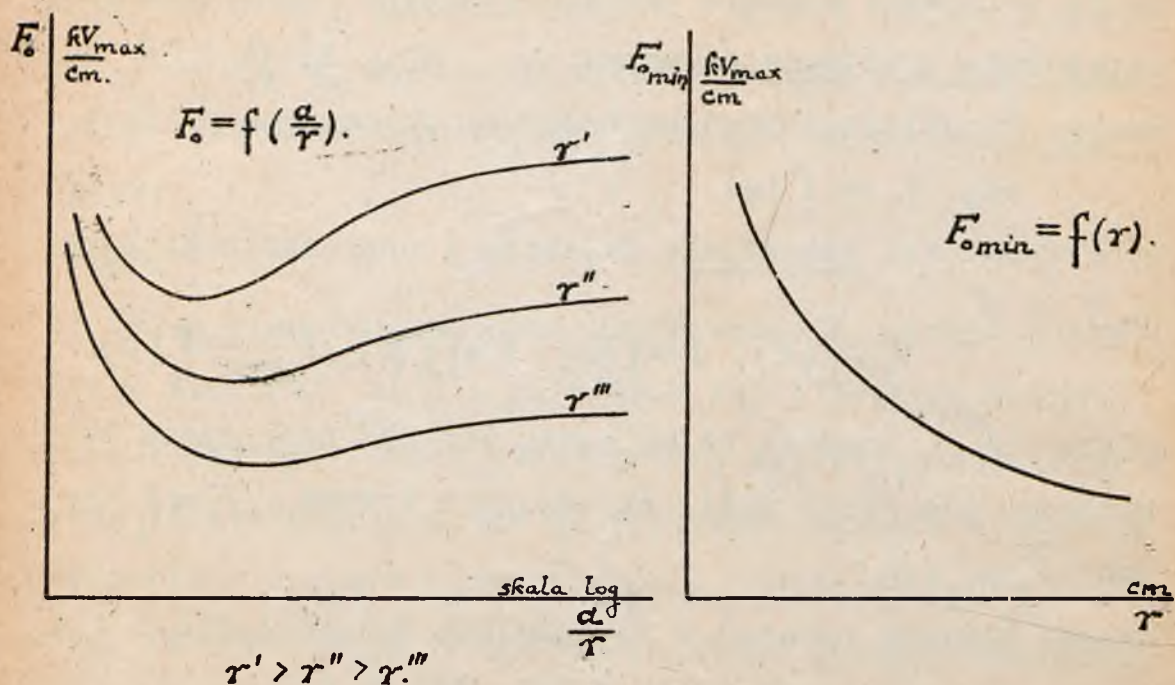
Uwaga: Wykresy podawać w wartościach maksymalnych i dla warunków normalnych (25°C, 760 mm Hg).

4. Wzór protokołu i wykresów:



$$r' > r'' > r'''$$

$$r' > r'' > r''' > r^{IV}$$



$t = \dots, b = \dots; \delta = \dots$

L.p.	r	V_0'	V_0^*	V_p'	V_p^*	α	$\frac{a}{r}$	β_0	F_0
	cm.	kV_{max} 25°C., 760 mm Hg.				cm.			$\frac{kV_{max}}{cm}$

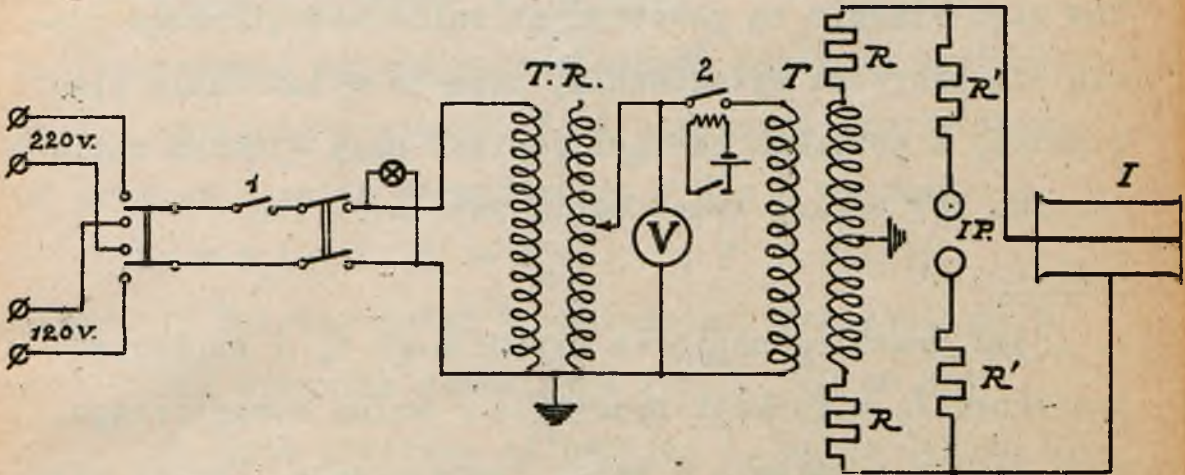
* Wartości poprawione z wykresu

5. Wnioski:

W sprawozdaniu należy tutaj wytłumaczyć przebieg krzywych / $F_0 = f_2(a)$, $F_{0min} = f_4(r)$ /, omówić sprawę rodzaju wyładowań, zestawić wykreślnie krzywe $V_0 = f_1(a)$ dla elektrod płaskich, kul i ostrzy, oraz wyjaśnić, dlaczego naprężenia krytyczne powietrza maleją ze wzrostem promienia kuli (elektrody płaskie i ostrza uważać za szczególny wypadek kuli).

CHARAKTERYSTYKI ISKIERNIKA WALCOWEGO

1. Układ połączeń:



Oznaczenia: T.R.- transformator regulacyjny. T - transformator (5 kVA, największe napięcie 150 kV). I - iskiernik walcowy: walec zewnętrzny R - 75 mm, walec wewnętrzny: r - 1,5; 2,5; 5,0; 10,0; 16,5; 26,5; 50,0 mm. R i R' - oporniki wodne. I.P. - iskiernik kulowy pomiarowy (Ø 125 mm, układ symetryczny). V - woltomierz elektrodynamiczny. 1 - wyłącznik maksymalny prądowy, 2 - wyłącznik bezpieczeństwa drzwiowy.

2. Zasada pomiaru:

Iskiernik walcowy składa się z dwu walców współśrodkowych i jako taki przedstawia kondensator walcowy. Naprężenie w polu kondensatora walcowego w odległości x od osi określa wzór:

$$F = \frac{V}{x \cdot \lg \frac{R}{r}} \dots \frac{kV}{cm.}$$

Największe naprężenie panuje na powierzchni walca wewnętrznego, jak zresztą mówi wyrażenie:

$$F = \frac{V}{r \cdot \lg \frac{R}{r}} \quad \frac{kV}{cm.}$$

Tam więc właśnie na powierzchni walca wewnętrznego zjawia się pierwsze wyładowania; będą to wyładowania niezupełne, a przeskok nastąpi dopiero przy wyższym napięciu lub też odrazu wyładowania zupełne - łuk.

3. Pomiar:

1. Zdjąć przebieg napięcia krytycznego V_0 i napięcia przeskoku V_p w funkcji promienia r walca wewnętrznego, przy stałym promieniu R walca zewnętrznego. Pomiar uskutecznić, podnosząc zwolna napięcie do nastąpienia pierwszego dostrzegalnego (okiem lub uchem) wyładowania i po zanotowaniu wskazania woltomierza, podnosić napięcie dalej aż do przeskoku. Jako wynik brać średnią z conajmniej 5 pomiarów, pomijając wartości przypadkowe, znacznie odbiegające od przeciętnej.

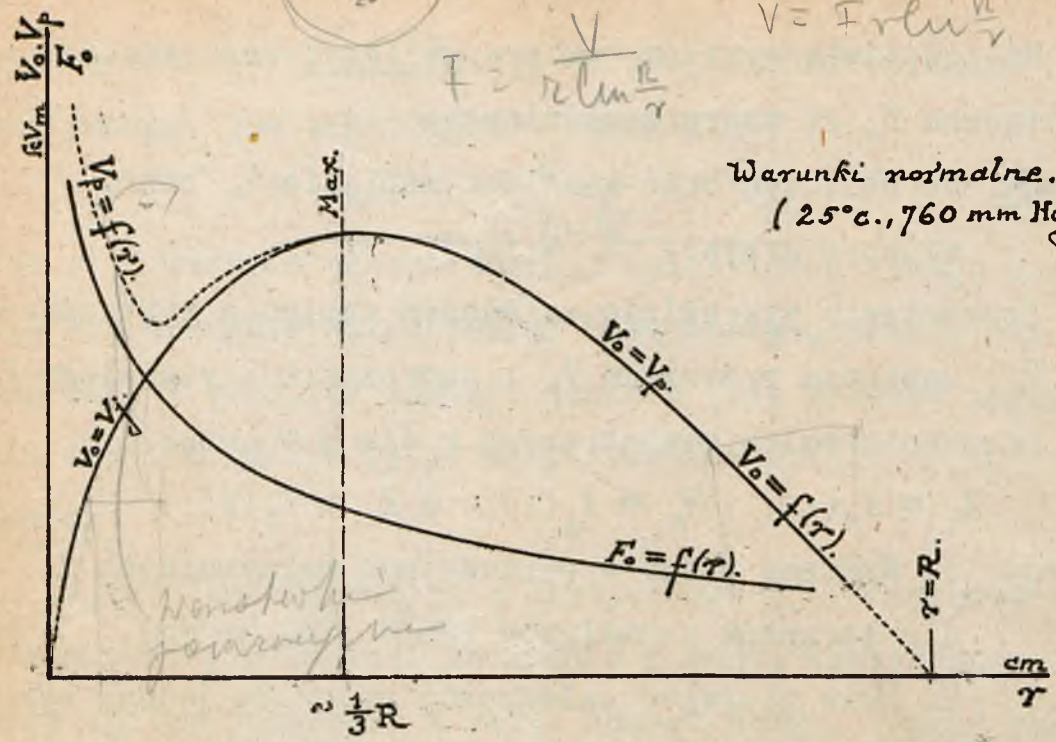
Uwaga: Napięcie odczytujemy na woltomierzu po stronie niskiego napięcia. Celem wyznaczenia wartości wysokiego napięcia, ustalić przekładnię transformatora dla każdego walca bezpośrednio po pomiarze przy pomocy iskiernika pomiarowego. Pomiar przekładni dokonać dla napięcia niższego od napięcia krytycznego (ok. 80 % jego wartości).



dla $\nu = \text{const}$
 $V = F r \ln \frac{R}{r}$

$$F = \frac{V}{r \ln \frac{R}{r}}$$

Warunki normalne.
 (25°C., 760 mm Hg).



6. Wnioski:

W sprawozdaniu wyjaśnić tutaj przebieg i charakter krzywych V_0 i V_p w funkcji r .

Oznaczenia: A.T. - regulator indukcyjny (autotransformatorowy). T - grupa dwóch transformatorów połączonych kaskadowo. I - iskiernik walcowy: elektroda wewnętrzna - pręt metalowy ($r =$ mm), elektroda zewnętrzna ($R = 50$ mm) arkusik cynfoljowy naklejony na szklanym walcu po stronie zewnętrznej. R - opornik wodny. V - woltomierz elektrodynamiczny. M - masa transformatora. C - cylinder szklany, szczelnie zamknięty, z urządzeniem do zmieniania ciśnień i temperatury. Ciśnienie w naczyniu zmieniamy przy pomocy smoczka, włączonego do wodociągu; temperaturę - przy pomocy opornika grzejącego, nawiniętego na walcu szklanym.

3. Zasada pomiaru:

Gęstość powietrza zmienia się proporcjonalnie do ciśnienia i odwrotnie proporcjonalnie do temperatury bezwzględnej:

$$\begin{aligned} P \cdot v &= R T. \\ P' \cdot v' &= R T'. \end{aligned}$$

$$\frac{P \cdot v}{T} = \frac{P' \cdot v'}{T'}.$$

odwrotność objętości właściwej jest gęstością: $\frac{1}{v} = \delta$,

zatem: $\frac{P}{T \cdot \delta} = \frac{P'}{T' \cdot \delta'}$;

$$\delta = \delta' \cdot \frac{P \cdot T'}{P' \cdot T} = \delta' \cdot \frac{b \cdot (273 + t')}{b' \cdot (273 + t)}$$

Jako gęstość normalną przyjęto gęstość powietrza w temperaturze 25°C i pod ciśnieniem 760 mm Hg. Jeżeli gęstość powietrza przy tej temperaturze i pod tem ciśnieniem

przyjąć za jedność ($\delta' = 1$; $t' = 25^{\circ}\text{C}$; $b' = 760 \text{ mm Hg}$), to gęstość względna powietrza przy innych temperaturach i ciśnieniach będzie:

$$\delta = \frac{b \cdot (273 + 25)}{760 \cdot (273 + t)} = 0,392 \cdot \frac{b}{273 + t}$$

Zmiany gęstości powietrza odbywają się przez zmianę ciśnienia i temperatury.

Układem do badania wytrzymałości powietrza jest tu iskier-
nik walcowy, dla którego:

$$F_0 = \frac{V_0}{r \cdot \lg \frac{R}{r}} \quad \frac{\text{kV}}{\text{cm}}$$

Uwaga: Stwierdzono doświadczalnie, że wytrzymałość po-
wietrza (napięcie i naprężenie krytyczne) zmienia
się w pewnych granicach proporcjonalnie z jego
względną gęstością, a więc wprost proporcjonalnie
do prężności i odwrotnie proporcjonalnie do tempe-
ratury bezwzględnej; a zatem napięcia krytyczne
będą w stosunku:

$$\frac{V_{0,25,760}}{V_{0,t,b}} = \frac{760 \cdot (273 + t)}{b \cdot (273 + 25)} = \frac{1}{\delta}$$

$$\underline{V_{0,t,b} = V_{0,25,760} \cdot \delta}$$

Mając zatem wartość napięć i naprężeń krytycznych
dla pewnych warunków atmosferycznych, jesteśmy w
stanie określić napięcia i naprężenia krytyczne
dla innej temperatury i innego ciśnienia.

4. Pomiar:

1. Zdjąć przebieg napięcia krytycznego V_0 w zależności:

a/ od ciśnienia H mm Hg przy stałej temperaturze t ,

b/ od temperatury t , dla stałego ciśnienia, równego ciśnieniu atmosferycznemu b .

Pomiar uskuteczniamy przy stałym odstępnie elektrod (układ walcowy) i zmiennem napięciu. Jako wynik brać średnią z trzech pomiarów.

Uwagi: 1. W punkcie a/ ciśnienie zmieniać od atmosferycznego w dół i cały pomiar przerobić dla kilku różnych temperatur.

2. W punkcie b/ temperaturę zmieniać w granicach $20 + 100^{\circ}\text{C}$.

3. Ze względu na zjawisko opóźniania się wyładowań, napięcie podnosić z jednakową stale szybkością, a po powstaniu wyładowania niezupełnego natychmiast wyłączyć.

4. W żadnym razie nie należy tak podnosić napięcia by powstał łuk, bo grozi to przebicciem szkła i zniszczeniem przyrządu.

5. Zmianę ciśnienia uzyskujemy, otwierając kurek A od smoczka i nastawiając kurek trójdrogowy B na położenie, łączące iskiernik z manometrem przy równoczesnem odcięciu atmosfery. Gdy ciśnienie w naczyniu osiągnie żadaną wartość, zamknąć kurek A i przystąpić do pomiaru. Przed każdym pomiarem przy nowem ciśnieniu aparat połączyć najpierw z atmosferą zewnętrzną (kurek B), otworzyć kurek A,

prowadzący do smoczka, i dopiero wtedy nastawić B na położenie iskiernik-manometr (jak wyżej). Wstępne łączenie iskiernika z atmosferą zapobiega wciągnięciu doń wody (gdyby się to stało, połączyć natychmiast aparat z atmosferą, niezamykając kurka A - wtedy smoczek wyciągnie wodę). Smoczek pracuje bez przerwy w czasie całego pomiaru, jedynie zaś kurek A zamykamy, lub otwieramy w miarę potrzeby.

Zmianę temperatury uzyskujemy dzięki opornikowi grzejącemu. Przy pomiarze dla $H = b = \text{const.}$ przez uzwojenie grzejące stale płynie prąd, a dopuszczalne wahania temperatury w czasie jednego pomiaru wynoszą $\pm 2 \text{ C.}$

2. Na podstawie wyników pomiaru obliczyć naprężenie krytyczne F_0 ze wzoru zasadniczego:

$$F_0 = \frac{V_0}{r \cdot l_n \cdot \frac{R}{T}} \quad \text{kV/cm.}$$

3. Poczem przedstawić wykreślić naprężenia krytyczne (wartości maksymalne):

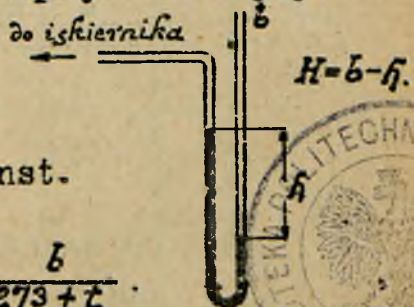
$$F_0 = f_1(H) \quad \text{dla } t = \text{const.}$$

$$F_0 = f_2(t) \quad \text{dla } H = b = \text{const.}$$

$$F_0 = f_3(\delta)$$

gdzie:

$$\delta = 0,392 \cdot \frac{b}{273 + t}$$



Uwagi: 1. Krzywą $F_0 = f_3(\delta)$ wykreślić jako wypośrodkowaną między punktami pomiarów dla $t = \text{const}$ i $H = \text{const}$.

nr 154

2. Wartości F_0 dla wykreślenia zależności $F_0 = f_0(\delta)$ brać poprawione z krzywych $F_0 = f_1(H)$ i $F_0 = f_2(t)$.

5. Wzór protokołu i wykresów.

2a./— $t = \dots = \text{const.}$; $b = \dots$ (wskaźanie barometru).
 $H = b - h$.

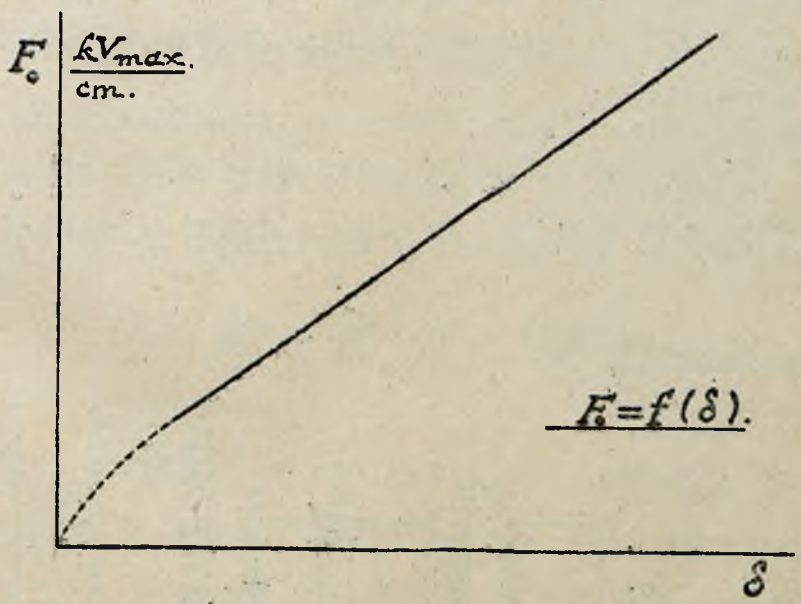
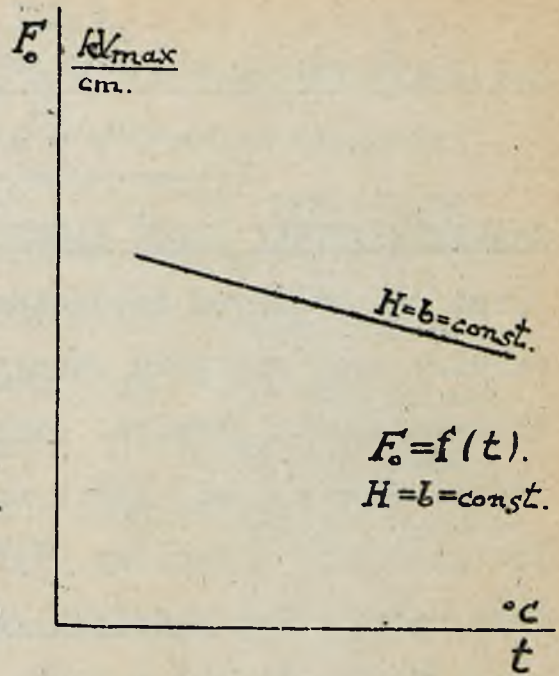
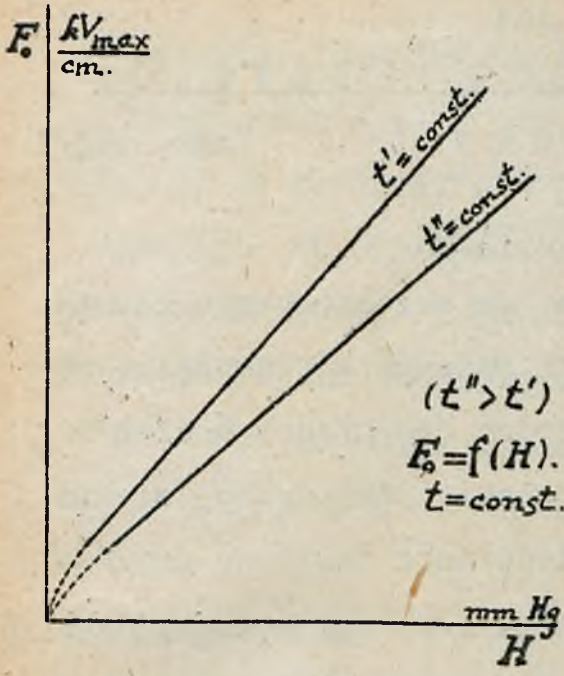
L.p.	H	V_0	F_0'	F_0^*	δ
	mm Hg	kV _{max}	$\frac{kV_{max}}{cm.}$	$\frac{kV_{max}}{cm.}$	

* Wartości poprawione z wykresu.

2b./— $H = b = \text{const.}$

L.p.	t	V_0	F_0'	F_0^*	δ
	°C	kV _{max}	$\frac{kV_{max}}{cm.}$	$\frac{kV_{max}}{cm.}$	

* Wartości poprawione z wykresu.



6. Wnioski: W sprawozdaniu podać nasuwające się wnioski co do kształtu krzywych i metody pomiaru.

TEMAT III

BADANIE ULOTNOŚCI PRZEWODÓW

Cwiczenie 1.

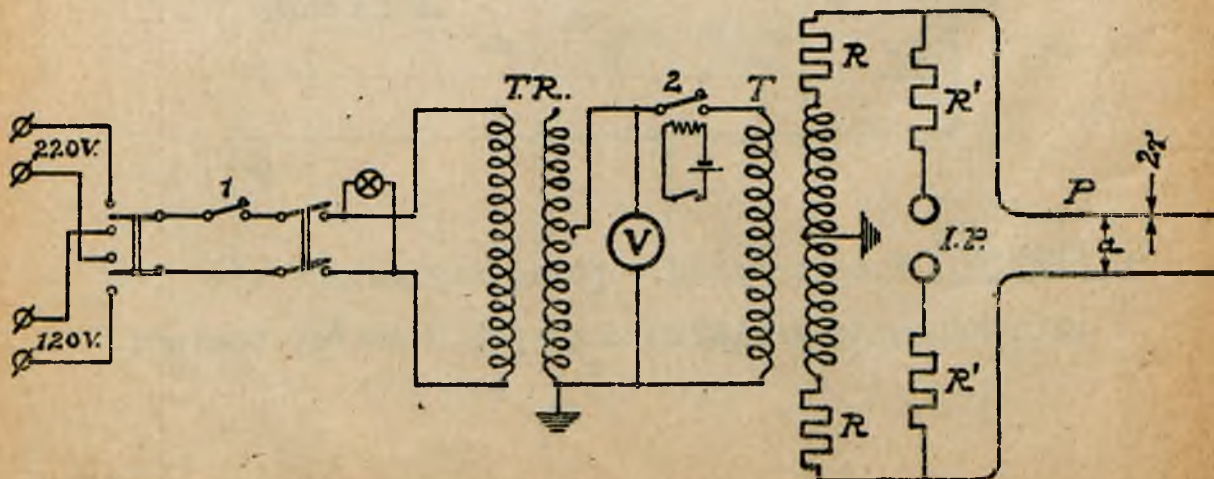
Znak: III/1

CHARAKTERYSTYKI ULOTU ELEKTRYCZNEGO.

Drut pod wysokim napięciem, po przekroczeniu pewnej granicy tego napięcia zaczyna świecić w ciemności. Są to wyładowania jarzące. Zachodzą one między drutem i innymi elektrodami, które stanowią inne druty, ziemia lub przedmiot uziemiony. Wyładowania takie na przewodzie noszą nazwę zjawiska korony lub ulotu elektrycznego. Pociągają one za sobą stratę energii i dlatego należy ich unikać. Zjawisko ulotu zależy od całego szeregu czynników.

Zadaniem poniższego pomiaru jest zbadanie, jaki wpływ na ulot mają dwa z nich: średnica drutu i odstęp przewodów.

1. Układ połączeń:



Oznaczenia: TR - transformator regulacyjny. T -
- transformator (150 kV). P - dwa przewody gołe
(druty) /o średnicy od 0,5 do 4,5 mm/ zawieszono
równoległe /w odstępach 0,35 do 1,0 m/. R i R'-
- oporniki wodne. I.P. - iskiernik kulowy pomia-
rowy (Ø 125 mm, układ symetryczny). V - woltomierz
w obwodzie niskiego napięcia. 1 - wyłącznik maksy-
malny prądowy. 2 - wyłącznik bezpieczeństwa drzwio-
wy.

2. Zasada pomiaru:

Napięcie potrzebne do wywołania zjawiska ulotu (V_u)
nosi nazwę napięcia ulotu, naprężenie zaś, panujące
wtedy na powierzchni przewodu, (F_u) - naprężenia ulo-
tu. Stwierdzono doświadczalnie, że zależność naprę-
żenia ulotu od promienia przewodnika (r) można wy-
razić:

$$F_u = F_{u_0} \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r}} \right) \dots \dots \dots (1).$$

przytem $F_{u_0} = \text{const.}$

Z drugiej strony dla dwu przewodów równoległych
o promieniu r w odległości a od siebie napręże-
nie ulotu t.j. naprężenie, jakie panuje na po-
wierzchni przewodu w chwili powstawania zjawiska,

określa wzór rachunkowo otrzymany:

$$F_u = \frac{V_u}{2r \cdot \lg_n \frac{a}{r}} \dots \dots \dots (2).$$

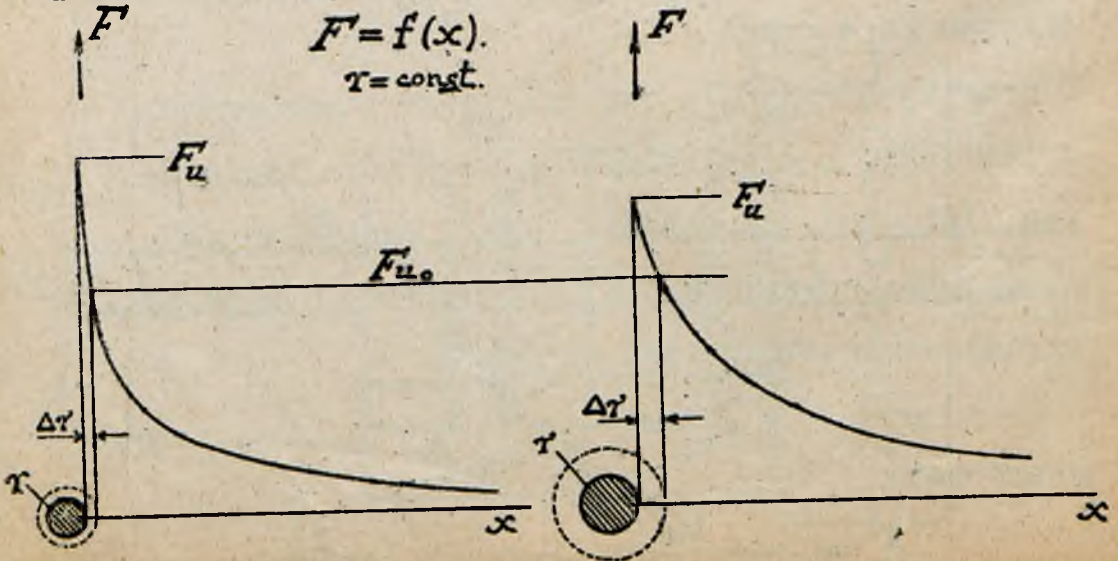
wobec tego:

$$F_{u_0} = \frac{V_u}{2 \cdot (r + 0,301\sqrt{r}) \lg_n \frac{a}{r}} = \frac{V_u}{2 \cdot (r + \Delta r) \lg_n \frac{a}{r}}$$

Jak widać z ostatniego, F_{u_0} jest naprężeniem, w chwili zjawienia się ulotu panującym nie na powierzchni drutu, lecz w odległości od niej $r = 0.301\sqrt{r}$. Tę wartość naprężenia nazywamy naprężeniem krytycznym ulotu, przyłożone zaś wtedy do przewodu napięcie - napięciem ulotu. Napięcie ulotu (V_u) jest to, więc napięcie, przy którym w chwili powstawania zjawiska na powierzchni przewodu panuje naprężenie ulotu (F_u), w odległości zaś Δr od powierzchni - naprężenie krytyczne ulotu (F_{u_0}).



Naprężenie krytyczne ulotu jest jednakowe dla wszystkich grubości drutu i wynosi dla warunków normalnych według Peaka $29,8 \text{ kV}_m / \text{cm}$ dla drutów gładkich, a $25,7 \text{ kV}_m / \text{cm}$ dla linek 7 żyłowych.



Naprężenie krytyczne ulotu F_{u_0} , zmienia się proporcjonalnie ze względną gęstością powietrza δ :

$$F_{u_0} = F_{u_{0n}} \cdot \delta,$$

gdzie:

$$\delta = \frac{0,3925}{273 + t}.$$

Odległość Δr od powierzchni przewodu, na jakiej podczas zjawiska ulotu panuje naprężenie krytyczne, zmienia się natomiast (według pomiarów Peeka) proporcjonalnie do pierwiastka kwadratowego z gęstości względnej; zatem ogólnie:

$$\Delta r = \frac{0,301\sqrt{r}}{\sqrt{\delta}}.$$

Łącząc obydwie te wpływy składowe gęstości powietrza, mamy:

$$F_{u_{t,\delta}} = \delta \cdot F_{u_{0n}} \cdot \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{\delta r}}\right) \dots (3)$$

Uwaga: Wartości naprężeń i napięć oznaczone indeksem n u dołu odnoszą się do warunków normalnych (25 °C, 760 mm Hg, $\delta = 1$), indeksy t i b posiadają wartości naprężeń i napięć dla temperatury t °C i ciśnienia b mm Hg.

Jeśli naprężenia i napięcia po obu stronach wzoru nie posiadają żadnych takich indeksów, to odnoszą się do dowolnych warunków atmosferycznych, ale takich samych

Jeżeli $t = 25$ °C, $b = 760$ mm Hg, wtedy $\delta = 1$, więc:

Przy uwzględnieniu nadto wpływu stanu powierzchni (spółczynnik $m < 1$ zależnie od rodzaju przewodów), powyższe wyrażenie przechodzi we wzór ogólny:

$$F_{u_{t,b}} = m \cdot \delta \cdot F_{u_{on}} \cdot \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right) \quad \dots (4)$$

skąd po podstawieniu do wzoru (2) wyrażenia na F_u (wzór 4), dostaniemy pełne wyrażenie na napięcie ulotu:

$$V_{u_{t,b}} = 2r \cdot m \cdot \delta \cdot F_{u_{on}} \cdot \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right) \lg \frac{a}{r} \quad \dots (5)$$

Przy sprowadzaniu napięć i naprężeń ulotu do warunków normalnych można posługiwać się następującymi wzorami:

$$F_{u_n} = F_{u_{t,b}} \cdot \frac{1 + \frac{0,301}{\sqrt{r}}}{\delta \cdot \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right)}$$

Wzór ten otrzymamy podstawiając do wzoru (3a) wyrażenie na $F_{u_{on}}$ ze wzoru (3)/

$$F_{u_{t,b}} = F_{u_n} \cdot \delta'$$

gdzie

$$\delta' = \frac{\delta \cdot \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{\delta \cdot r}}\right)}{1 + \frac{0,301}{\sqrt{r}}}$$

podobnie: $V_{u_{t,b}} = V_{u_n} \cdot \delta'$,

ale:

$$F_{u_{on,t,b}} = F_{u_{on}} \cdot \delta$$

3. Pomiar:

1. Zdjąć przebieg napięcia ulotu V_u dwu przewodów równoległych w zależności:

- a). od promienia drutu r przy stałym ich odstępie a.
- b). od odległości przewodów a przy stałym promieniu r.

Pomiar wykonać, podnosząc zwolna napięcie od zera do chwili zjawienia się dostrzegalnego wyładowania. Postępując w ten sposób, jako wynik wziąć średnią z kilku pomiarów dla każdego przewodnika.

- Uwagi:
1. Dla łatwiejszego spostrzeżenia zjawiska druty są o zbliżonych średnicach, ale niejednakowych. — Podnosić napięcie aż cieńszy z przewodów zacznie wyraźnie świecić w ciemności, poczem obniżyć je zwolna, aż świecenie to stanie się ledwie dostrzegalne, — wtedy odczytać napięcie na woltomierzu.
 2. Wyładowań na ostrzach i zgięciach nie brać pod uwagę. Za napięcie ulotu przyjmując napięcie, przy którym przewód świeci na całej swej długości.
 3. Przekładnię transformatora ustalić przy pomocy iskiernika pomiarowego, dla każdej pary przewodników przy napięciu nieco niższem od napięcia ulotu.
 4. W punkcie a). średnice przewodów zmieniać od $2r = 0,5$ mm do $2r = 4,5$ mm.
 5. W punkcie b). pomiar wykonać dla odstępów: $a = 0,35; 0,5; 0,75; 1,0$ m.

2. Na podstawie wyników pomiaru obliczyć naprężenie ulotu F_u , napięcie ulotu V_u oraz naprężenie krytyczne F_{u_0} . (F_{u_0} tylko dla $a = \text{const.}$).

Uwagi: 1. Poleca się wykonać obliczenia w następującej kolejności:

$$\begin{array}{l}
1 / \dots\dots\dots V_u = \frac{V_{u, \text{t} \delta}}{\delta'} \\
2 / \dots\dots\dots F'_{u_n} = \frac{V_{u_n}}{2r \cdot \lg_n \frac{a}{r}} \\
3 / \dots\dots\dots F'_{u_{cn}} = \frac{F_{u_n}}{1 + \frac{0.301}{V'}}
\end{array}$$

2. Zakładamy przewody idealnie gładkie ($m = 1$).

3. Do obliczeń brać wartości napięć V_u poprawione z krzywych.

3. Przedstawić wykreślnie:

a) napięcie ulotu V_u , naprężenie ulotu F_u oraz naprężenie krytyczne F_u w funkcji promienia (r), przy $a = \text{const.}$

b). napięcie ulotu V_u i naprężenie ulotu F_u w funkcji odległości a , przy $r = \text{const.}$

Uwaga: Wykresy wykonać w wartościach skutecznych i maksymalnych (2 skale) dla napięć, a tylko w maksymalnych dla naprężeń. Wszystkie krzywe mają być dla warunków normalnych.

5. Wzór protokołu i wykresów.

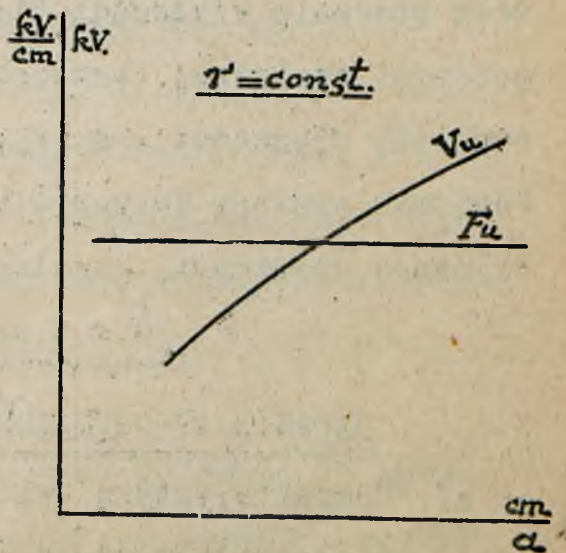
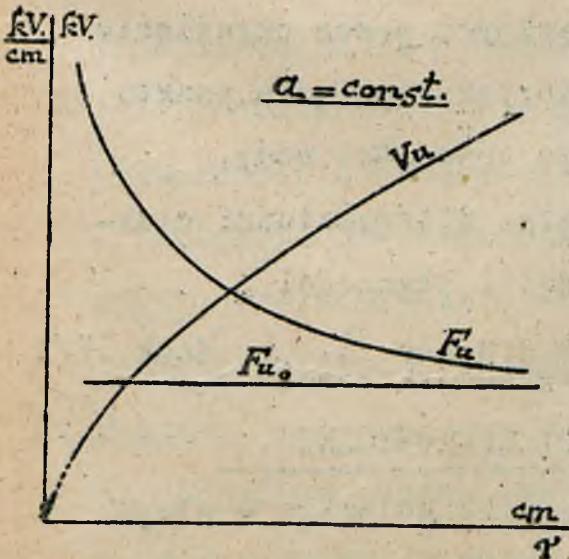
$$\left. \begin{array}{l} b = \dots\dots\dots \\ t = \dots\dots\dots \end{array} \right\} \delta = \dots\dots\dots$$

a/ $a = \dots = \text{const.}$

L.p.	r	δ'	V_u			F_u	F_{u0}
			25°C, 760 mm Hg.				
	cm.		t, b	kV _{sk}	kV _m	kV _{m/cm}	kV _{m/cm}

b/ $r = \dots = \text{const.}; \delta' = \dots$

L.p.	a	V_u			F_u
		25°C, 760 mm Hg.			
	cm	t, b	kV _{sk}	kV _m	kV _{m/cm}



6. Wnioski.

W sprawozdaniu podać tutaj wnioski dotyczące me-

TEMAT IV.

BADANIE OLEJÓW IZOLACYJNYCH

Najpoważniejszym materiałem izolacyjnym płynnym jest olej. W urządzeniach elektrycznych spełnia on zasadniczo trojaki zadanie: 1). izolowanie, 2). chłodzenie, 3) utrudnianie powstania łuku i gaszenie tegoż (wyłączniki olejowe).

O tym, w jakim stopniu olej odpowiada pierwszemu wymaganiu, mówi jego wytrzymałość elektryczna. Dobre własności fizyczne są natomiast podstawą głównie dwu dalszych czynności oleju, częściowo jednak i pierwszej. Celem badania jest stwierdzenie, czy olej badany jest w stanie sprostać swemu zadaniu, a więc oznaczenie jego wytrzymałości elektrycznej dla różnych odstępów elektrod i przy różnych temperaturach oraz zbadanie własności fizycznych przez określenie gęstości względnej, temperatury krzepnięcia, punktu zapłonu, płynności i wykrycie obecności wody.

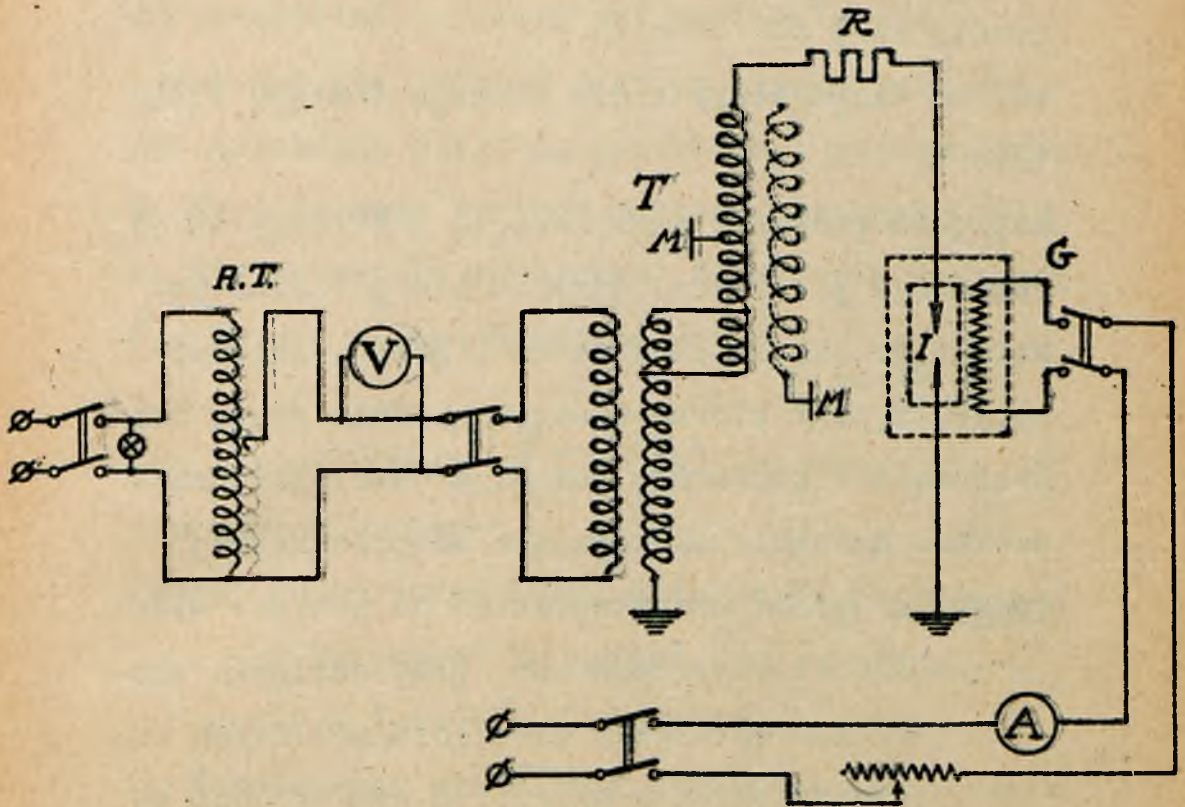
Poniższe pomiary dotyczyć będą: wytrzymałości elektrycznej, gęstości, zapalności i płynności.

Ć w i c z e n i e 1. Znak IV/1

BADANIE WYTRZYMAŁOŚCI ELEKTRYCZNEJ.

- a). Charakterystyka iskiernika kulowego w oleju.
- b). Wytrzymałość oleju w funkcji temperatury.

1. Układ połączeń i przyrządy.



Oznaczenia: A.T. - regulator indukcyjny, (auto-transformatorowy). T - grupa dwu transformatorów połączonych kaskadowo (każdy 20000/200 V). I - iskiernik o elektrodach kulowych. R - opornik wodny. V - woltomierz elektrodynamiczny. M - rdzeń transformatora. G - obwód grzejny.

2. Pomiar:

1. Zdjąć za pomocą iskiernika kulowego (w układzie niesymetrycznym) przebieg napięcia przebicia V_0' w zależności:

a). od odstępu elektrod a cm przy stałej temperaturze t C.

b). od temperatury t dla stałego odstępu elektrod a.

Napięcie podnosić z szybkością 1 kV/sek, aż do zupełnego przebicia (łuk); o ile przedtem powstają przebicia niezupełne (iskry), notować napięcie, przy którym występują. Jako wynik brać średnią z 5 pomiarów, pomijając wartości przypadkowe znacznie odbiegające od przeciętnej.

Uwagi: 1. przed przystąpieniem do pomiaru wywołać kilka przeskoków, przy odstępie około 1,5 mm w celu usunięcia możliwych zanieczyszczeń i wilgoci z powierzchni elektrod.

2. Po każdym przebiciu olej starannie wymieszać, usuwając z przerwy iskrowej spaliny i pozostawić w spokoju na przeciąg 1/2 minuty.

3. W punkcie a). pomiar uskutecznić dla temperatury otoczenia.

4. W punkcie b). zmianę temperatury uzyskujemy dzięki kąpeli olejowej, w której znajduje się olej badany. Kąpiel olejową ogrzewa zanurzony w niej opornik.

Porównać dla jednego odstępu wyniki otrzymane przy podnoszeniu napięcia szybko (ok. 2 sek. do przebicia) i bardzo wolno (ok. 1 min.).

Wykonać dla jednego odstępu szereg pomiarów, nie mieszając oleju po przebiciu, i porównać wyniki.

2. Na podstawie wyników pomiaru obliczyć (tylko dla przebicia zupełnego) naprężenie krytyczne F_o według wzoru zasadniczego:

$$F_o = \frac{V_o}{a} \beta_1 ,$$

gdzie współczynnik $\beta_1 = f\left(\frac{a}{r}\right)$ określa się z odpowiednich krzywych.

Uwaga: Do obliczeń brać wartości V_o poprawione z krzywych: $V_o = f_1(a)$ dla $t = \text{const.}$ i $V_o = f_3(t)$ dla $a = \text{const.}$

3. Przedstawić wykreslnie napięcia i naprężenia krytyczne V_o F_o

$$\left. \begin{array}{l} V_o = f_1(a) \\ F_o = f_2(a) \end{array} \right\} \text{ dla } t = \text{const.}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_o = f_3(t) \\ F_o = f_4(t) \end{array} \right\} \text{ dla } a = \text{const.}$$

Uwaga: Wykresy podać w wartościach maksymalnych i skutecznych (2 skale).

3. Wzór protokołu i wykresów:

$$r = \dots\dots\dots = \text{const.}$$

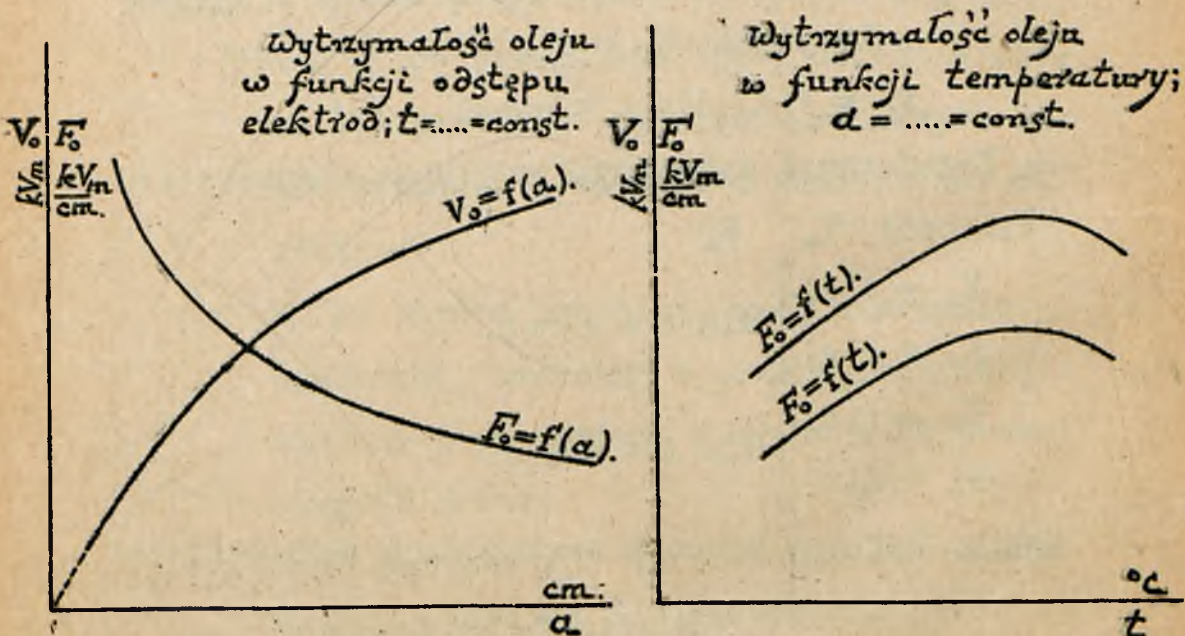
a). $t = \dots = \text{const.}$

$L.p.$	a	V_0'	V_0^*	$\frac{a}{r}$	β_1	F_0
	cm.	kV _{m.}				kV _{m./cm.}

b). $a = \dots = \text{const.}; \frac{a}{r} = \dots; \beta_1 = \dots$

$L.p.$	t	V_0'	V_0^*	F_0
	°C	kV _{m.}		kV _{m./cm.}

* wartości poprawione z wykresów.



Elektrody kuliste: $r = \dots$

4. Wnioski:

W sprawozdaniu podać tu wnioski dotyczące metody pomiaru i kształtu krzywych (maximum krzywej $F_0 = f(t)$).

BADANIE WŁASNOŚCI FIZYCZNYCH.

1. Określenie pojęć i zasada pomiaru.

Badanie własności fizycznych oleju izolacyjnego polega w tem ćwiczeniu na określeniu: jego gęstości względnej, punktu zapłonu, płynności oraz na próbie obecności wody.

Gęstość względna oleju wyznacza się w stosunku do wody.

Punktem zapłonu oleju nazywamy temperaturę, przy której gazy wydzielane przez olej zapalają się szybko za zbliżeniem płomyka gazowego i w tej chwili gasną (w odróżnieniu do punktu palności, kiedy gazy zapalone palą się dłużej conajmniej w ciągu 20 sekund.). Temperaturę zapłonu określa się za pomocą przyrządu Pensky'ego i Martensa.

Zasadniczą jego częścią jest tygiel zeliwny szczelnie zamknięty, ogrzewany od dołu przez palnik gazowy i dla zabezpieczenia przed promieniowaniem osłonięty płaszczem mosiężnym. Tygiel zawiera olej badany. W chwili, gdy przez pokręcenie specjalnej rączki odsłania się otwór w pokrywie, automatycznie nachyla się ku wnętrzu tygielka mały palniczek, dzięki czemu gazy, wydzielane przez olej, mają możność zapalenia się.

Płynność względna jest stosunkiem czasu wypływu cieczy badanej do czasu wypływu tej samej ilości wody przez ściśle kalibrowany otwór w naczyniu o określonych wymiarach, napełnionem cieczą badaną w określonej ilości..

Pomiaru płynności (stopnia wiskozy, pojęcie wiskozy jest odwrotnością płynności) dokonywa się wiskozomierzem syst. Euglera. Przyrząd składa się z naczynia umieszczonego w kąpielu wodnej, ogrzewanej przez pierścieniowy palnik. Istota pomiaru polega na wyznaczeniu czasu wypływu określonej ilości oleju przez kalibrowany otwór w dnie naczynia.

2. Pomiar:

a). Pomiar gęstości, skutecznie przy pomocy areometru. Otrzymaną wartość sprowadzić do 20^o C według wzoru:

$$\delta_{20} = \delta_t \cdot [1 + 0,0007 \cdot (t - 20)],$$

gdzie t jest temperaturą pomiaru w ^oC

b). Temperaturę zapłonu oznaczyć dwukrotnie, za wynik pomiaru przyjmując średnią.

Uwagi: 1. Dwa pomiary nie powinny się różnić od siebie więcej niż o 3^o C.

2. Próbka raz użyta do ponownego badania już się nie nadaje.

c) Pomiaru płynności dokonać przy temperaturze 20^o i 50^o C.

Uwagi. 1. Pomiar dla każdej temperatury powtórzyć dwa razy.

2. Jako temperaturę pomiaru przyjmować średnią pomiędzy temperaturą początku i końca wypływu oleju.

d). Proba obecności wody. Do wysuszonej czystej probówki nalać oleju do wysokości 1/3 i podgrzewać na płomieniu gazowym, aż olej zacznie parować. O ile powstają przytem charakterystyczne trzaski, świadczy to o obecności wilgoci w oleju.

3. Wzór protokołu:

a). Gęstość względna:

$$\delta_t = \dots\dots\dots ; t = \dots\dots\dots$$
$$\delta_{20} = \dots\dots\dots$$

b). Temperatura zapłonu:

I pomiart'	} średnio $t = \frac{t'+t''}{2}$.
II "t''	

c). Płynność:

20^o C - Czas wypływucm³ oleju - τ sek.

Wiskoza: $\frac{\tau}{\tau_0} = \dots\dots\dots$ °E

50^o C - Czas wypływucm³ oleju - τ' sek.

Wiskoza: $\frac{\tau'}{\tau'_0} = \dots\dots\dots$ °E

* τ_0 - czas wypływu tej samej co oleju *ilości*

d). Wynik próby obecności wody.

4. Wnioski:

W sprawozdaniu należy tutaj zamieścić nasuwające się wnioski o własnościach badanego oleju.

TEMAT V

BADANIE MATERJAŁÓW IZOLACYJNYCH STAŁYCH.

Materiały izolacyjne stałe stanowią większość materiałów używanych do izolowania części pod napięciem, bo mogą występować same, gdy tymczasem materiały płynne lub gazowe stosowane są zawsze w połączeniu ze stałymi. Przy materiałach stałych zachodzi możliwość nie tylko przebicia, ale nadto, i wyładowań powierzchniowych. Mówimy stąd o ich wytrzymałości skrośnej, czyli krótko wytrzymałości i o wytrzymałości powierzchniowej. Ponieważ najczęściej sąsiaduje z materiałem stałym powietrze, wytrzymałość powierzchniowa jest właściwie wytrzymałością powietrza.

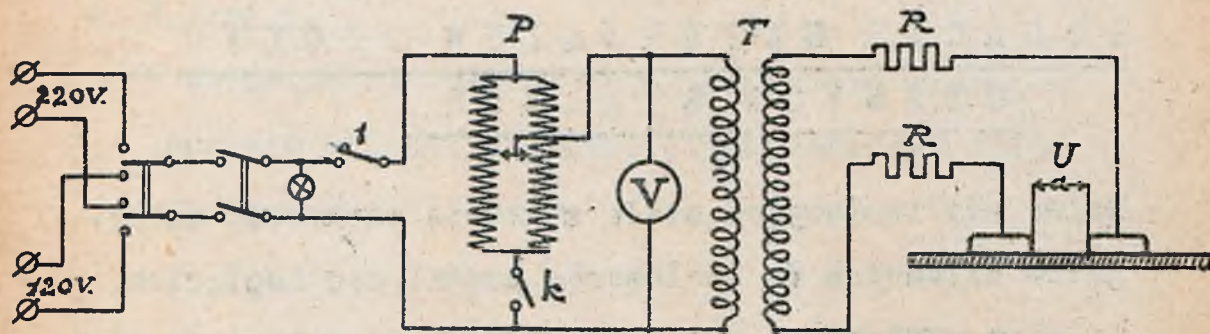
Głównym celem poniższego pomiaru jest wyznaczenie tych dwu wytrzymałości i zapoznanie się z metodą obydwu badań. W pomiarze idzie też o zbadanie, jak zmienia się wytrzymałość powietrza w sąsiedztwie innego dielektryka, jakim jest w danym wypadku izolator stały.

Ć w i c z e n i e 1. Znak V/I

BADANIE WYŁADOWAŃ POWIERZCHNIOWYCH.

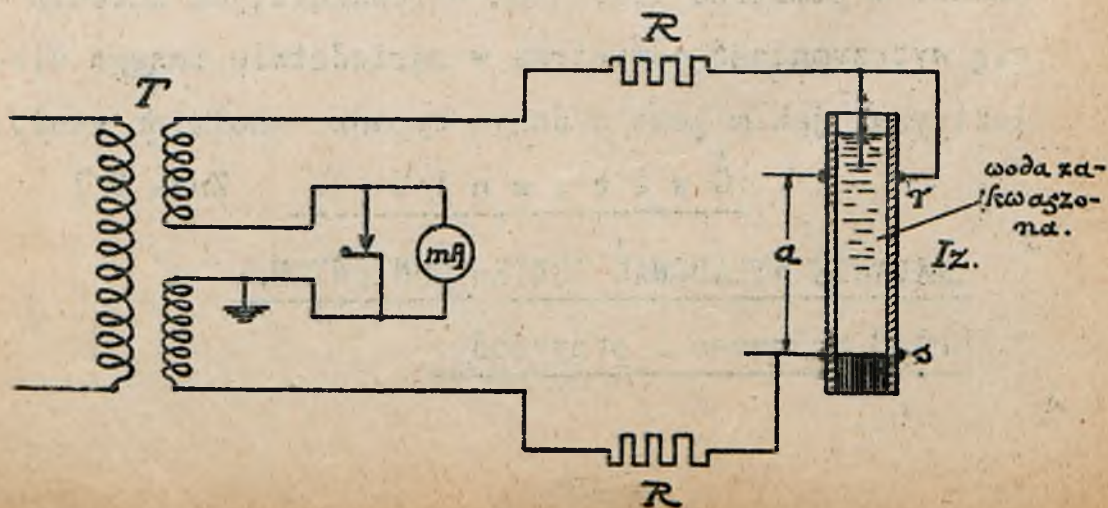
1. Układ połączeń i przyrządy:

I.



Oznaczenia: P - dwa oporniki (każdy 200 omów, 3,3 amp.) połączone równolegle, przy zamkniętym kluczu k stanowią potencjometr, przy otwartym opornik szeregowy. T - transformator 50000/110 V U - układ elektrod na płytce danego materiału. R - oporniki wodne. V - woltomierz w obwodzie niskiego napięcia. l - wyłącznik maksymalny prądu.

II.



Dodatkowe oznaczenia: mA - miliamperomierz w obwodzie wysokiego napięcia. Iz - model izolatora przepustowego. Elektrody: r - ruchoma; s - nieruchoma (gra ona rolę kołnierza).

2. Zasada pomiaru:

Na granicy zetknięcia się materiału stałego z dielektrykiem innej konsystencji mogą powstać w pewnych wypadkach wyładowania powierzchniowe. Przyczyną jest różność stałych dielektrycznych sąsiadujących izolatorów. Stan powierzchni ma wpływ na powstawanie wyładowań powierzchniowych. Na powierzchni chropowatej, na której łatwo osiada kurz, zanieczyszczenia, a przez to i wilgoć, oraz na powierzchniach, które mają skłonność do pokrywania się warstwą wilgoci, prędzej zjawiają się wyładowania ślizgowe, niż tam, gdzie powierzchnia jest gładka, a wreszcie i tłusta (np. parafina). Z drugiej strony na powierzchniach gładkich, pozbawionych wilgoci i kurzu, a nawet tłustych (jak powierzchnia dobrej masy kablowej) też występują wyładowania: Linje pola elektrycznego są wciągane (pole zniekształca się) do ciała o większej stałej dielektrycznej, tam bowiem spotykają one mniejszą oporność ($R_e = \frac{l}{\epsilon \cdot s}$). Stąd przy granicy dwóch dielektryków po-

wstaje zgęszczenie linii, duże naprężenia styczne i wreszcie wyładowanie, które zajdzie na granicy w materiale o mniejszej wytrzymałości.

W wypadku izolatora stałego i powietrza, zjawia się ono w powietrzu .

I. Wytrzymałość powierzchniową wyznaczamy w polu możliwie jednostajnym, wytworzonym przez dwie elektrody płaskie o zaokrąglonych górnych brzegach, położone na płytce z badanego materiału i zwrócone częściami płaskimi ku sobie. Naprężenia określa zatem wzór:

$$F = \frac{V}{d} \frac{kV}{cm.}$$

II. Za układ do badania wyładowań powierzchniowych służy nam także model izolatora przepustowego. Wyładowania zachodzą tutaj między kołpakiem (przewodem), a kołnierzem. Między prądem, który przepływa po powierzchni dielektryka podczas wyładowań powierzchniowych i napięciem, panującym wtedy na elektrodach zachodzi pewna zależność; większemu napięciu odpowiada większy prąd. Podobnie między napięciem przeskoku i odstępem elektrod (wysokością izolatora) też istnieje pewien związek.

3. Pomiar:

I. 1. Zdjąć przebieg napięcia początkowego wyładowań powierzchniowych V_0 i napięcia

przeskoku V_p w funkcji odstępów elektrod a dla kilku materiałów izolacyjnych (parafina, marmur) oraz przebieg napięcia przeskoku V_p (krytycznego) dla powietrza. Pomiaru dokonać, podnosząc zwolna napięcie przy stałym odstępach elektrod, aż do zjawienia się pierwszych dostrzegalnych wyładowań powierzchniowych (w postaci smugi świetlnej na powierzchni dielektryka między elektrodami) i po zanotowaniu wskazania woltomierza podnosić napięcie dalej, aż do przeskoku. Jako wynik brać średnią z trzech pomiarów.

Uwagi: 1. Wyładowań krawędziowych nie brać pod uwagę.

2. Napięcie odczytywać na woltomierzu załączonym na zaciski transformatora po stronie niskiego napięcia. Przekładnię transformatora przyjąć za stałą.

3. W chwili powstania przeskoku napięcie natychmiast wyłączyć.

2. Na podstawie wyników pomiaru obliczyć tylko dla napięcia przeskoku V_p naprężenie przeskoku F_p ze wzoru zasadniczego:
$$F_p = \frac{V_p}{a} .$$

Uwaga: Do obliczeń brać wartości V_p' poprawione z krzywej $V_p = f(a)$.

3. Przedstawić wykreślnie zależność napięcia początkowego wyładowań powierzchniowych V_0 ,

napięcia przeskoku V_p i naprężenia przeskoku F_p od odstępów elektrod a:

$$V_o = f_1(a) ; V_p = f_2(a) ; F_p = f_3(a) ;$$

Uwagi: 1. Wykresy podać w wartościach maksymalnych oraz dla warunków normalnych.

2. Wszystkie krzywe napięć, podobnie jak wszystkie krzywe naprężeń, dla różnych materiałów muszą znajdować się na jednym wykresie.

II. 1. Zdjąć przebieg:

a). Prądu wyładowań powierzchniowych I_{pow} w zależności od przyłożonego napięcia V , przy stałym odstępnie elektrod a.

b). Napięcia przeskoku V_p od odstępów elektrod a.

Pomiar uskutečnić, podnosząc napięcie, przy innych stałych układu niezmiennych, w punkcie a) aż do zjawienia się wyraźnych wyładowań powierzchniowych, w punkcie b) aż do przeskoku. Pomiaru nie pwtarzać.

Uwagi: 1. W punkcie a): miliamperomierz rozewrzeć na krótki przeciąg czasu i dopiero po ustaleniu się wyładowań. W przeciwnym razie bowiem w wypadku przeskoku przez przyrząd popłynie zbyt duży prąd.

2. W punkcie b): miliamperomierz pozostaje stale zwarty podobnie jak i oporniki wodne R. W chwili przskoku prąd natychmiast wyłączyć.

3. Napięcia V i V_p oraz prąd $I_{p_{\text{pow}}}$ w wartościach skutecznych.

2. Przedstawić wykreślnie zależności:

$$I_{p_{\text{pow}}} = f_1(V) \quad \text{dla } a = \text{const.}$$

$$V_p = f_2(a).$$

4. Wzór protokołu i wykresów:

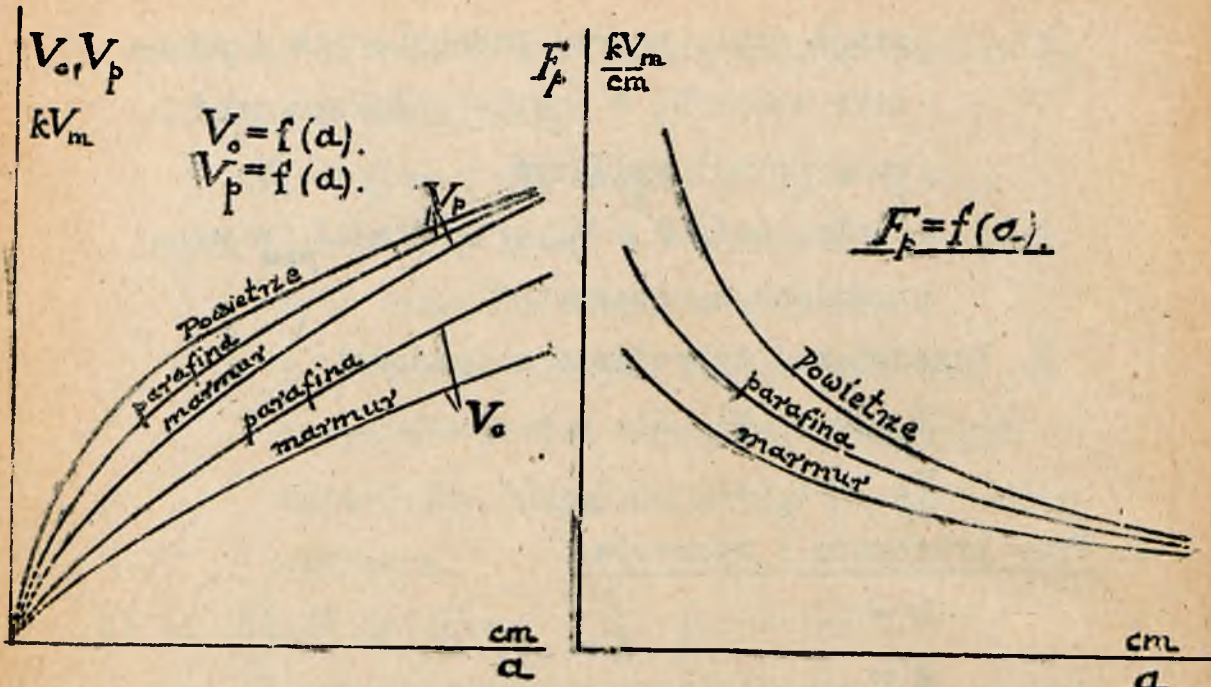
$$\left. \begin{array}{l} b = \dots\dots\dots \\ t = \dots\dots\dots \end{array} \right\} \delta = \dots\dots\dots$$

I. Rodzaj materiału, $\epsilon = \dots$

L.p.	a	V_0	V_p	V_p'	F_p
	cm.	25°C., 760 mm Hg.			
		kV max.			kV/cm.

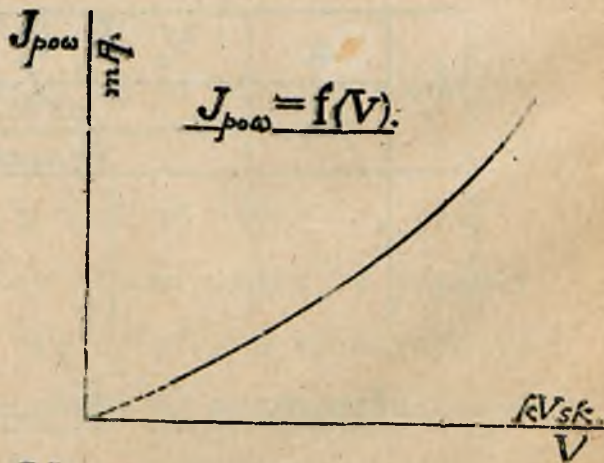
Powietrze, $\epsilon = 1.$

L.p.	a	V_p	V_p'	F_p
	cm.	25°C., 760 mm Hg.		
		kV max.		kV/cm.



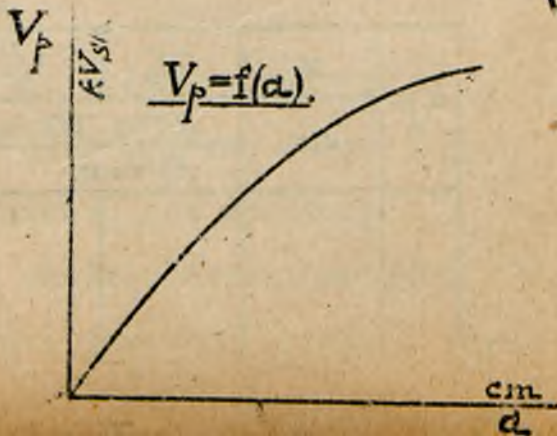
II a). — $d = \dots = const.$

L.p.	V	$J_{pow.}$
	kV_{sk}	mA



b). —

L.p.	d	V_p
	cm	kV_{sk}



5. Wnioski:

W sprawozdaniu należy podać tutaj wnioski dotyczące przebiegu krzywych V_p i F_p oraz samej metody pomiaru i dokładności stosowania wzoru

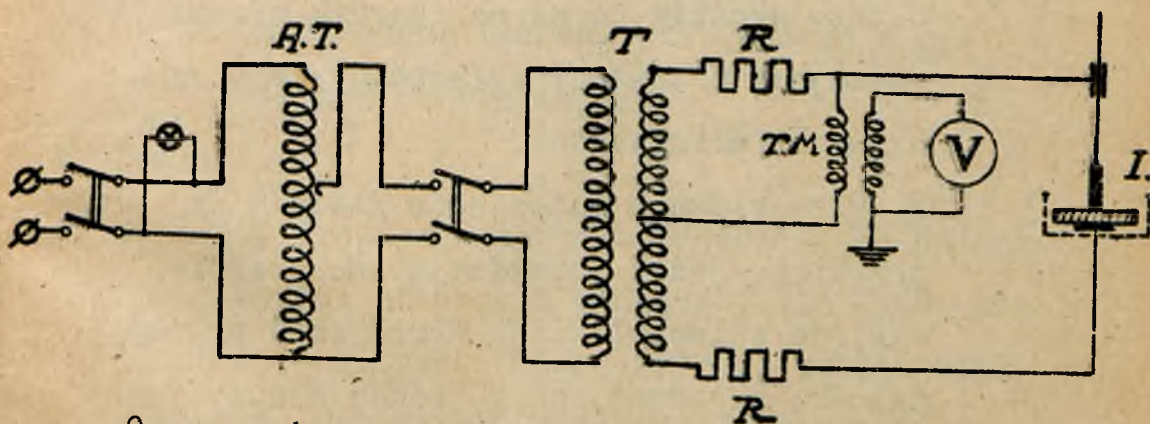
$$F = \frac{V}{a}$$

Gdzie na izolatorze przepustowym powstaje najpierw wyładowanie i co stąd za wniosek?

Ćwiczenie 2. Znak V/2

BADANIE WYTRZYMAŁOŚCI ELEKTRYCZNEJ.

1. Układ połączeń i przyrządy.



Oznaczenia: A.T.-regulator indukcyjny (autotransformatorowy). T - transformator 20000/220 V. I - układ elektrod, między którymi znajduje się płytka badanego izolatora (isckiernik). R - opornik wodny. T.M. - transformatorek miernikowy 10000/110 V. V - woltomierz w obwodzie transformatora.

2. Zasada pomiaru.

Układem do badania wytrzymałości izolatorów stałych jest układ elektrod płaskich, o stosunkowo małych średnicach i ^{głównych} wkręidłach zaokrąglonych.

W części, gdzie panują największe naprężenia, t. zn. tam, gdzie spodziewać się należy przebiecia, pole jest jednopstajne: $F = \frac{V}{a}$. Jako środowisko służy powietrze ($\epsilon = 1$) i olej ($\epsilon = 2$).

Uwagi: 1. Należy zwrócić uwagę na możliwie ściśle przyleganie elektrod do płyty izolatora, a to w celu uniknięcia układów dielektryków uwarstwionych i wynikających z tego skutków, oraz na czynnik przeszkadzający w postaci wyładowań powierzchniowych (ślizgowych).

2. Przy badaniu materiałów stałych na przebiecie, jeśli poprzedzają one przebiecie, to uniemożliwiają określenie wytrzymałości skrośnej, bo z jednej strony już jako takie nagrzewają materiał i mogą go lokalnie przepalić, z drugiej zaś doprowadzają do przeskoków iskrowych, a nawet łukowych. Ten ich wpływ szkodliwy daje się tem więcej we znaki im wyższa jest wytrzymałość danego materiału.

Intensywność natomiast ich występowania zależy, jak wiadomo, od stanu powierzchni i wartości stałej dielektrycznej materiału w stosunku do stałej dielektrycznej otoczenia, a nadto od wielkości samych elektrod w stosunku do wielkości płyty badanego izolatora. Zmniejszymy więc te wyładowania powierzchniowe dobierając, jako środowisko, dielektryk o odpowiedniej stałej i możliwie wytrzymały oraz odpowiednio nieduże elektrody, szczególniej górną (uchodzi tu jeszcze w grę sprawa przylegania).

3. Pomiar.

1. Zdjąć przebieg napięcia przebicia V_p w funkcji grubości materiału badanego, dla kilku izolatorów (preszpan i miki). Pomiar uskutecznić podnosząc napięcie, aż do zupełnego przebicia. Jako wynik przyjąć średnią z kilku (4 ÷ 5) pomiarów pomijając wartości przypadkowe.

Uwagi: 1. Preszpan badać w powietrzu i w oleju, mikę tylko w oleju.

2. Grubość preszpanu stopniować co 0,1 mm, miki co 0,01 mm.

3. Napięcie podnosić z jednakową stałą szybkością.

2. Na podstawie wyników pomiaru obliczyć naprężenia przebicia:

$$E_p = \frac{V_p}{d} .$$

Uwaga: Do obliczeń brać wartości napięcia V_p' poprawione z krzywej $V_p = f(a)$.

3. Przedstawić wykreślnie zależność napięcia i naprężenia przebicia V_p i E_p od grubości badanego dielektryka.

Uwagi: 1. Wykresy podać w wartościach maksymalnych.

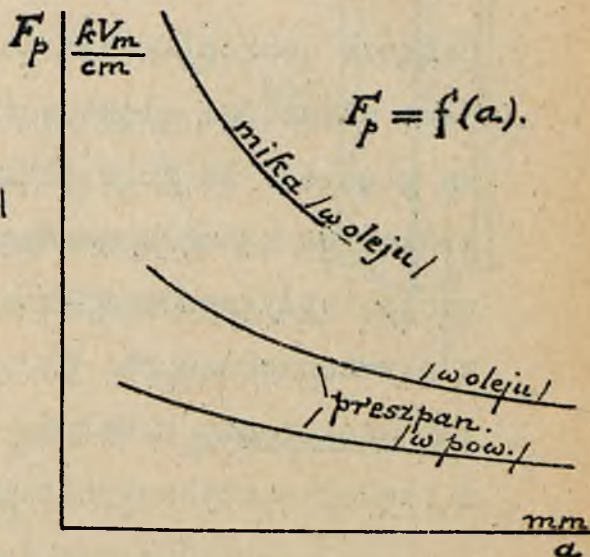
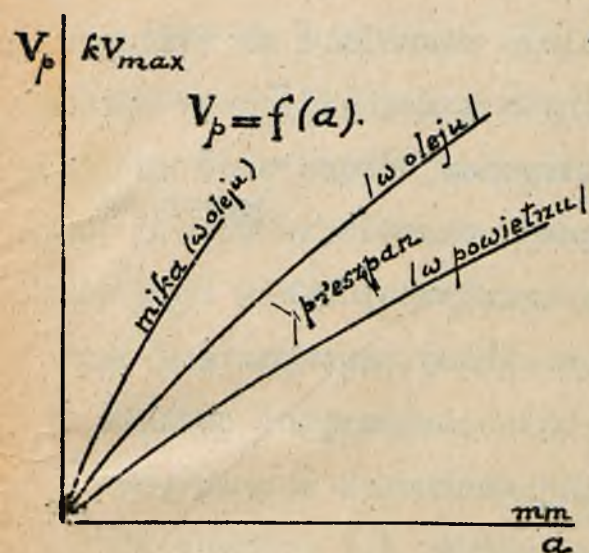
2. Krzywe zestawić na jednym wykresie.

4. Wzór protokołu i wykresów.

Rodzaj materiału, $\epsilon = \dots$; Środowisko, $\epsilon = \dots$.

$t = \dots^\circ\text{C}$.

Lp.	a	V_p	V_p'	E_p
	cm.	kV _{max.}		kV _{cm} /cm



5. Wnioski:

Wyjaśnić tutaj dlaczego mikę badamy tylko w oleju i dlaczego zmienia się wytrzymałość preszpanu badanego w oleju i w powietrzu oraz zamieścić wnioski, co do metody pomiaru i t.p.

TEMAT VI

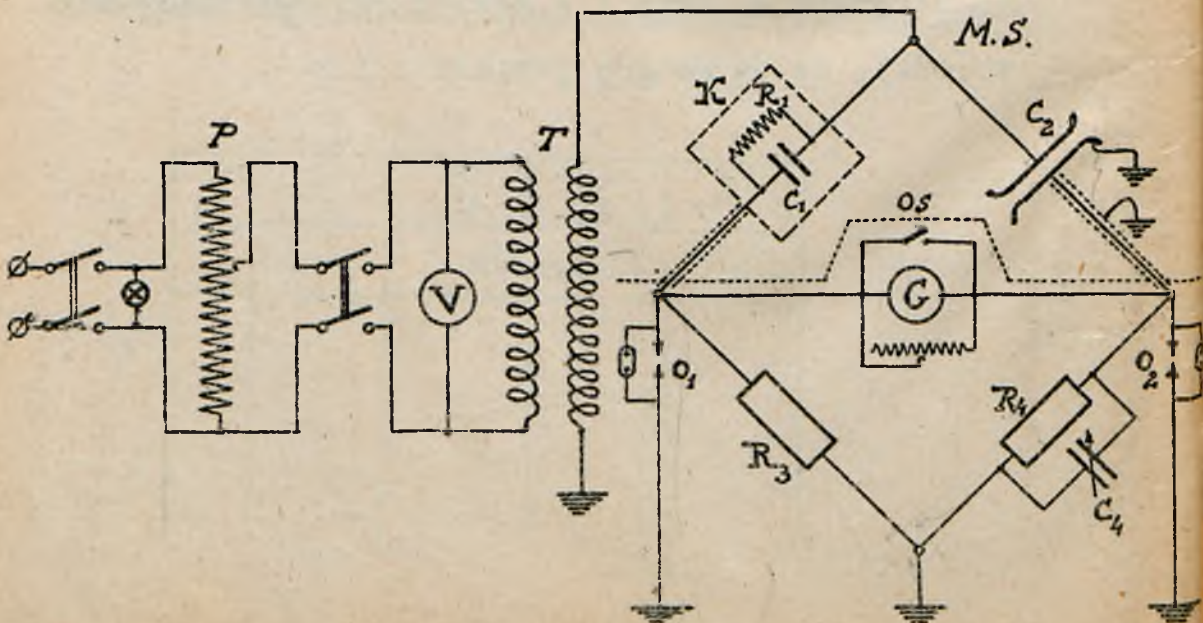
BADANIE KABLI

Badanie dobroci kabla polega normalnie na zbadaniu jego własności elektrycznych i mechanicznych (próba na gięcie). Badanie elektryczne, oprócz prób na przebicie, ma na celu zazwyczaj określenie ^{pojemności,} punktu jonizacji, upływności i kąta stratności kabla oraz strat w nim zachodzących. Celem niniejszego pomiaru jest zapoznanie się z metodą ostatniej części badania i z rzędem spotykanych tutaj wielkości w praktyce.

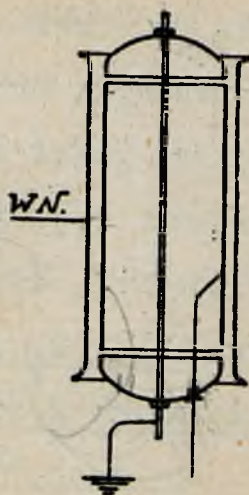
C w i c z e n i e 1. Znak VI/1

CHARAKTERYSTYKA STRATNOŚCI DIELEKTRYCZNEJ.

1. Układ połączeń i przyrządy:



Oznaczenia: P - potencjometr (90Ω),
T - transformator 110/35000 V, M.S.-
- mostek Scheringa: K - badany od-
cinek kabla (pojemność C_1 , oporność
przedstawiająca upływność R_1), C_2 -
- kondansator wzorcowy wys. nap. bez
strat o stałej pojemności $325 \mu\text{MF}$, R_3
i R_4 - oporniki korbkowe, C_4 - kon-
densator wtyczkowy do $1,1 \mu\text{F}$, G - galwanometr
wibracyjny o oporności R_g .



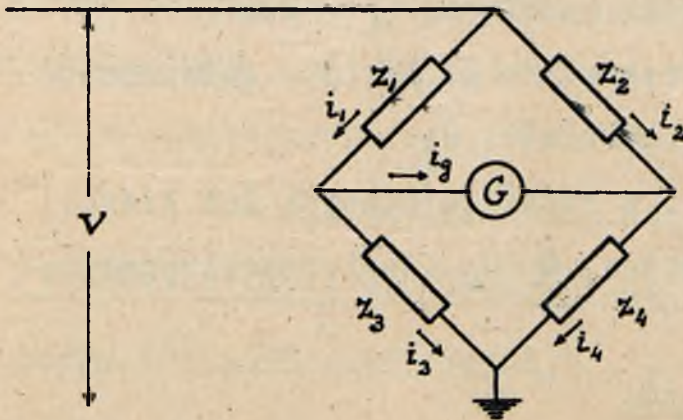
Os - osłony (z rurek metalowych lub siatki)
elektrostatyczne, O_1 i O_2 - ochronniki przepię-
ciowe.

2. Zasada pomiaru.

Zastosowano tutaj metodę zerową. Układem do ba-
dania jest mostek układu Scheringa, który tem
się różni od służącego do mierzenia pojemności
mostku układu Gotta (por. Lab. Miern. Elektr.
ćwicz. Nr. III/2), że galwanometr włączony jest
do innych punktów mostku i że w gałęzi 4 ma-
my dodatkową zmienną pojemność, której w mostku
Gotta nie ma. Pojemność ta służy do skompensowa-
nia przesunięcia fazowego, kabel nie przedstawia
bowiem czystej pojemności, lecz posiada upływność,
przedstawioną jako oporność załączoną równolegle.

Na podstawie praw Kirchhoffa ustawiamy szereg równań, z których określimy prąd i_g płynący przez gałąź galwanometru. Warunek równowagi mostku t.j. $i_g = 0$ da szereg zależności, pozwalających obliczyć wszystkie żądane wielkości.

I. Prąd i_g , płynący przez gałąź galwanometru wyrażony w zależności od prądu w gałęzi 1: i_1



$$\hat{i}_1 - \hat{i}_g - \hat{i}_3 = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\hat{i}_2 + \hat{i}_g - \hat{i}_4 = 0 \dots\dots\dots(2)$$

$$\hat{i}_1 \hat{z}_1 + \hat{i}_g \hat{z}_g - \hat{i}_2 \hat{z}_2 = 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$\hat{i}_1 \hat{z}_1 + \hat{i}_3 \hat{z}_3 - \hat{i}_4 \hat{z}_4 - \hat{i}_2 \hat{z}_2 = 0 \dots\dots\dots(4)$$

Przyjmujemy \hat{i}_1 za znane i obliczamy kolejno \hat{i}_3 , \hat{i}_2 , \hat{i}_4 i, podstawiając otrzymane wyniki w równanie(4), otrzymamy po przekształceniu:

$$\hat{i}_g = \frac{\hat{i}_1 \cdot (\hat{z}_2 \hat{z}_3 - \hat{z}_1 \hat{z}_4)}{\hat{z}_g (\hat{z}_2 + \hat{z}_4) + (\hat{z}_3 + \hat{z}_4) \cdot \hat{z}_2} = k \alpha I$$

gdzie k - stała galwanometru.

II. Prąd i_g , płynący przez gałąź galvanometru wyrażony w zależności od napięcia na mostku: v .

$$\hat{i}_1 - \hat{i}_g - \hat{i}_3 = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\hat{i}_2 + \hat{i}_g - \hat{i}_4 = 0 \dots\dots\dots(2)$$

$$\hat{i}_1 \hat{z}_1 + \hat{i}_g \hat{z}_g - \hat{i}_2 \hat{z}_2 = 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$\hat{i}_1 \hat{z}_1 + \hat{i}_3 \hat{z}_3 - \hat{i}_4 \hat{z}_4 - \hat{i}_2 \hat{z}_2 = 0 \dots\dots(4)$$

$$\hat{v} = \hat{i}_1 \hat{z}_1 + \hat{i}_3 \hat{z}_3 \dots\dots\dots(5)$$

Przyjmujemy \hat{v} za znane i obliczamy kolejno \hat{i}_3 , \hat{i}_1 , \hat{i}_4 , \hat{i}_2 i, podstawiając wartości na \hat{i}_1 i \hat{i}_2 do równania (3), otrzymamy ostatecznie:

$$\hat{i}_g = \frac{\hat{v} \cdot (\hat{z}_2 \hat{z}_3 - \hat{z}_1 \hat{z}_4)}{[\hat{z}_g (\hat{z}_1 + \hat{z}_3) + \hat{z}_1 \hat{z}_3] (\hat{z}_2 + \hat{z}_4) + \hat{z}_2 \hat{z}_4 (\hat{z}_1 + \hat{z}_3)} = k \alpha \quad \text{II}$$

Oporności pozorne:

$$\hat{z}_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + j\omega C_1}; \quad \hat{z}_3 = R_3; \quad \hat{z}_2 = -j \frac{1}{\omega C_2};$$

$$\hat{z}_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_4} + j\omega C_4}; \quad \hat{z}_g = R_g;$$

Z warunku równowagi mostku t.j. $\hat{i}_g = 0$ ($\hat{v} \neq 0$ czyli $\hat{i}_1 \neq 0$) wynika:

$$\hat{z}_2 \hat{z}_3 = \hat{z}_1 \hat{z}_4$$

Oporności pozorne występują tutaj jako wektory, więc powyższa równość sprowadza się do równości. 1 / - samych wartości, 2 / - ich przesunięć fazowych (t.zn. modułów i argumentów).

$$\text{Ogólnie: } \hat{z} = z(\cos \varphi + j \sin \varphi) = z \cdot e^{j\varphi}$$

$$\text{A więc: } z_2 \cdot z_3 \cdot e^{j(\varphi_2 + \varphi_3)} = z_1 \cdot z_4 \cdot e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)}$$

$$z_2 z_3 = z_1 z_4 \dots\dots\dots(1)$$

$$\varphi_2 + \varphi_3 = \varphi_1 + \varphi_4 \dots\dots\dots(2)$$

Te dwie zależności będą punktem wyjścia dla wzorów zasadniczych - Σ równania (1), uwzględniając wartości oporności pozornych:

$$\frac{R_3}{\omega C_2} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_1}\right)^2 + (\omega C_1)^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{R_4}\right)^2 + (\omega C_4)^2}}; \quad (1a)$$

Podstawiając poniższe wartości przesunięć fazowych do równania (2):

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= 90^\circ; \quad \varphi_3 = 0; \quad \varphi_1 = 90^\circ - \delta; \\ 90^\circ &= 90^\circ - \delta + \varphi_4; \\ \delta &= \varphi_4. \end{aligned}$$

Jak wynika z sąsiedniego rysunku

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_{u_1}}{I_{c_1}} = \frac{V_1/R_1}{V_1 \omega C_1} = \frac{1}{\omega C_1 R_1};$$

$$\operatorname{tg} \varphi_4 = \frac{I_{c_4}}{I_{u_4}} = \omega C_4 R_4;$$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \varphi_4 = \frac{1}{\omega C_1 R_1} = \omega C_4 R_4;$$

więc:

$$\underline{R_1 = \frac{1}{\omega^2 R_4 C_1 C_4}}.$$

Powracając do równania (1a):

$$\frac{\omega C_2}{R_3} = \sqrt{(\omega^2 R_4 C_1 C_4)^2 + (\omega C_1)^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{R_4}\right)^2 + (\omega C_4)^2}.$$

$$\frac{\omega C_2}{R_3} = \frac{\omega C_1}{R_4} \sqrt{1 + (\omega R_4 C_1)^2} \cdot \sqrt{1 + (\omega R_4 C_4)^2}$$

$$\frac{C_2}{R_3} = \frac{C_1}{R_4} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \delta).$$

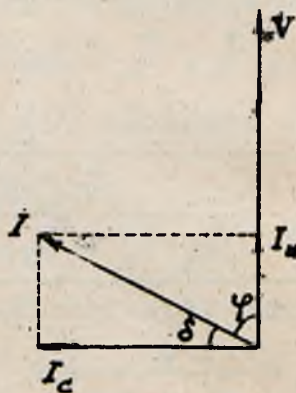
$$\boxed{C_1 = C_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}}$$

Ponieważ $\operatorname{tg} \delta$ wynosi kilka setnych co najwyżej, zatem nie popełnimy wielkiego błędu przyjmując:

$$\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} = 1.$$

oraz:

$$\underline{C_1 = C_2 \cdot \frac{R_4}{R_3}}.$$



Zestawienie wzorów:

$$C_1 = C_2 \cdot \frac{R_4}{R_3}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_4 R_4$$

$$A = \omega C_1 \operatorname{tg} \delta ; R_1 = \frac{1}{A}$$

$$P = A \cdot V^2$$

3. Najkorzystniejsze warunki pomiaru i obliczenie uchybów.

A. Obliczenie uchybów:

przy pomiarze C_1 :

1/ Uchyb graniczny:

$$\frac{\Delta_g C_1}{C_1} = \frac{\Delta C_2}{C_2} + \frac{\Delta R_4}{R_4} + \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\delta R_3}{R_3} ;$$

2/ Uchyb średni

$$\Delta_{sr} C_1 = \sqrt{\frac{\sum (\Delta' C_1)^2}{n(n-1)}} ;$$

3/ Uchyb całkowity:

$$\Delta C_1 = \Delta_g C_1 + \Delta_{sr} C_1 ;$$

4/ Wynik ostateczny.

$$C_1 \pm \Delta C_1.$$

5/ Dokładność pomiaru:

$$\frac{\Delta C_1}{C_1} 100 \%.$$

przy pomiarze $\operatorname{tg} \delta$:

1/ Uchyb graniczny:

$$\frac{\Delta_g \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta} = \frac{\Delta R_4}{R_4} + \frac{\Delta C_4}{C_4} + \frac{\Delta \omega}{\omega} + \frac{\delta C_4}{C_4} ;$$

2/ Uchyb średni,

$$\Delta_{sr} C = \sqrt{\frac{\sum (\Delta' \operatorname{tg} \delta)^2}{n \cdot (n-1)}} ;$$

3/ Uchyb całkowity:

$$\Delta \operatorname{tg} \delta = \Delta_g \operatorname{tg} \delta + \Delta_{sr} \operatorname{tg} \delta.$$

4/ Wynik ostateczny:

$$\operatorname{tg} \delta \pm \Delta \operatorname{tg} \delta.$$

5/ Dokładność pomiaru:

$$\frac{\Delta \operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \delta} 100 \%.$$

B. Najkorzystniejsze warunki pomiaru:

Rozpatrujemy najkorzystniejsze warunki pomiaru najpierw tylko ze względu na pomiar C_1 , później tylko ze względu na pomiar $\operatorname{tg} \delta$, a ponieważ obydwa pomiary odbywają się jednocześnie, wyprowadzimy wnioski o warunkach całego pomiaru.

a). ze względu na C_1 .

Do wzoru (I) na prąd płynący przez gałąź galwanometru podstawiamy:

$$\hat{z}_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + j\omega C_1} = \frac{1}{\omega C_1 (1 + j\omega C_1 R_1)}$$

$$\hat{i}_g = \frac{\hat{i}_1 (\hat{z}_2 \hat{z}_3 - \frac{1}{\omega C_1 (1 + j\omega C_4 R_4)} \hat{z}_4)}{\hat{z}_g (\hat{z}_2 + \hat{z}_4) + \hat{z}_2 (\hat{z}_3 + \hat{z}_4)} = k \cdot \alpha.$$

Różniczkując lewą stronę wyrażenia \hat{i}_g względem C_1 , prawą względem α , otrzymamy:

$$\frac{\hat{z}_1 \cdot \frac{\Delta C_1 \cdot \hat{z}_4}{\omega C_1^2 \cdot (1 + j\omega C_4 R_4)}}{\hat{z}_g (\hat{z}_2 + \hat{z}_4) + \hat{z}_2 (\hat{z}_3 + \hat{z}_4)} = k \cdot \Delta \alpha.$$

skąd po przekształceniu:

$$\frac{\Delta C_1}{C_1} = k \cdot \frac{\hat{z}_g (\hat{z}_2 + \hat{z}_4) + \hat{z}_2 (\hat{z}_3 + \hat{z}_4)}{\hat{i}_1 \cdot \hat{z}_1 \cdot \hat{z}_4} \cdot \Delta \alpha.$$

W przypadku równowagi mostku: $\hat{i}_1 = \hat{i}_3$, zatem:

$$\hat{v} = \hat{i}_1 (\hat{z}_1 + \hat{z}_3).$$

Wprowadzając czynnik napięcia do wzoru na $\frac{\Delta C_1}{C_1}$:

$$\frac{\Delta C_1}{C_1} = k \cdot \frac{(\hat{z}_1 + \hat{z}_3) [\hat{z}_g (\hat{z}_2 + \hat{z}_4) + \hat{z}_2 (\hat{z}_3 + \hat{z}_4)]}{\hat{i}_1 (\hat{z}_1 + \hat{z}_3) \cdot \hat{z}_1 \cdot \hat{z}_4} \Delta \alpha = k \frac{M}{\hat{v}} \cdot \Delta \alpha.$$

gdzie:
$$M = \frac{(\hat{z}_1 + \hat{z}_3) [\hat{z}_g (\hat{z}_2 + \hat{z}_4) + \hat{z}_2 (\hat{z}_3 + \hat{z}_4)]}{\hat{z}_1 \cdot \hat{z}_4}.$$

Po przekształceniu otrzymamy:

$$\frac{\Delta C_1}{C_1} = \frac{k \cdot \Delta \alpha}{\hat{v}} \left[\hat{z}_g \left(\frac{\hat{z}_2 + \hat{z}_1}{\hat{z}_4} + \hat{z}_3 + 1 \right) + \hat{z}_2 + \hat{z}_1 (1 + \hat{z}_3 + \hat{z}_4) \right].$$

Najkorzystniejsze warunki pomiaru ze względu na C_1 będą wtedy, gdy uchyb względny wyniku $\frac{\Delta C_1}{C_1}$ spowodowany uchybem $\Delta \alpha$ /czułości galwanometru/ będzie najmniejszy, t. zn. gdy pochodna po $\Delta \alpha$ prawej strony wyrażenia równa się 0. Pochodna ta nigdy nie staje się zerem, a zatem najkorzystniejsze warunki teoretycznie nie istnieją. Pomiar wykonywany będzie natomiast w warunkach tem korzystniejszych, im: stała galwanometru będzie mniejsza t. zn. galwanometr czulszy, im napięcie pomiaru wyższe, im oporności pozorne poszczególnych gałęzi mostku z_1 , z_2 , z_3 , i z_4 mniejsze i stosunek dwu dowolnych z nich bliższy do jedności oraz im oporność galwanometru mniejsza.

Z powyższego wynika, że oporności rzeczywiste (R_1 , R_3 , R_4) muszą być możliwie małe, a pojemności C_2

i C_4 możliwie duże i też bliskie sobie, wreszcie możliwie duża częstotliwość ω .

Uwaga: Oporności R_3 i R_4 muszą być możliwie małe także ze względu na możliwie mały spadek napięcia na niskonapięciowej części mostku, a to w celu usunięcia wpływu pojemności szkodliwych (rurka - przewód).

b.) Ze względu na $\operatorname{tg} \delta$.

Należałoby tutaj do wzoru na I_g wprowadzić przez odpowiednie podstawienia $\operatorname{tg} \delta$ i otrzymane wyrażenie w postaci $\operatorname{tg} \delta = f(\alpha)$ zróżniczkować, a następnie postąpić, jak wyżej. Uzyskane jednak wzory są nader złożone i wobec tego nie pozwalają wyciągnąć właściwych wniosków.

c). Ponieważ sprawa najkorzystniejszych warunków pomiaru jest tutaj (metoda zerowa) sprawą czułości układu, więc badanie ich sprowadza się do określenia warunku maksimum prądu w galwanometrze.

Wyrażenie na ten prąd jest ułamkiem. W miarę zbliżania się do równowagi różnica $(\hat{z}_2 \hat{z}_3 - \hat{z}_1 \hat{z}_4)$ zdąża do zera; prąd w galwanometrze będzie tem większy im mianownik będzie mniejszy (wzór II), a licznik większy. Ostatecznie zatem najkorzystniejsze warunki pomiaru są:

1 / 0. duże napięcie pomiaru v .

2^o / . małe oporności pozorne poszczególnych gałęzi mostku, co sprowadza się do warunków: oporności (R_1'' , R_3 , R_4 - małe pojemności C_1 , C_2 , C_4 - duże częstotliwość ω - duża.

3^o / . mała oporność galwanometru.

nadto

4^o / . duża czułość galwanometru

5^o / . mały kąt stratności, bo $\hat{z}_4 = \frac{R_4}{1 + j \operatorname{tg} \delta}$.

4. Pomiar:

1. Pomierzyć pojemność C_1 i $\operatorname{tg} \delta$ kabla dla różnych napięć. Układ doprowadzić do równowagi, zmieniając oporność R_3 i pojemność C_4 ; stałymi podczas całego pomiaru pozostają natomiast R_4 i C_2 .

Uwagi: 1. Przy sprowadzaniu mostku do równowagi postępować w następującej kolejności: zwiększając czułość układu przez stopniowe wyłączenie bocznika, sprowadzić przy pomocy oporności R_3 odchylenie galwanometru do minimum, poczem, włączając i regulując pojemność C_4 , sprowadzić prąd galwanometru do zera. /po ustaleniu pojemności C_4 jeszcze raz należy doregulować R_3 /

2. Napięcie przyłożone (w ciągu każdego

pomiaru pozostaje ono stałe) zmieniać co 1 kV. Pomiar rozpocząć od napięć niższych.

3. Nie trzymać długo kabla pod napięciem ze względu na możliwość przebicia przy napięciu wyższym od nominalnego.

4. Przestrzegać szczególnie niedotykania przy manipulacji części uziemionych obwodu.

5. Jako R_4 poleca się wziąć $\frac{1000}{\pi} \Omega$,

bo wtedy: $\operatorname{tg} \delta = \omega C_4 R_4 = 2\pi f \cdot C_4 \cdot \frac{1000}{\pi} = 10^5 C_4$,

lub $\operatorname{tg} \delta = 0,1 C_4$, gdzie C_4 w μF .

2. Na podstawie wyników pomiaru obliczyć pojemność kabla na 1 km C'_1 , tangens kąta stratności $\operatorname{tg} \delta$ i sam kąt stratności δ , upływność A i straty zachodzące w kablu na 1 km P .

Uwagi: 1. Do wszystkich wzorów pojemności wchodzi wyrażone w faradach, przy obliczaniu wyników wyrazić w μF .

2. W obliczeniach wyróżnić C'_1 , $\operatorname{tg} \delta$, A i P dla napięcia nominalnego kabla (V_n).

3. Przedstawić graficznie zależności kąta stratności i strat w kablu od napięcia przyłożonego:

$$\operatorname{tg} \delta = f_1(V)$$

$$P = f_2(V)$$

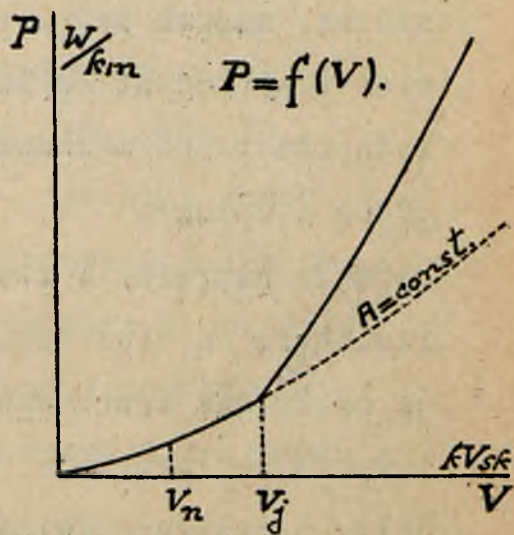
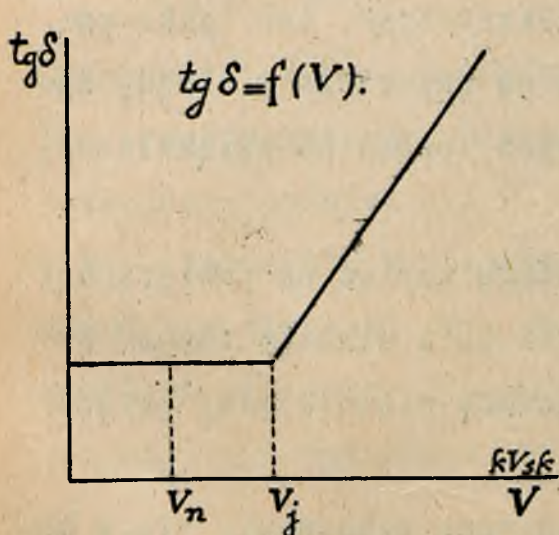
Z krzywej pierwszej określić napięcie punktu jonizacji kabla, jako napięcie, przy którym kąt strat-

ności przestaje być stały

5. Wzór protokołu i wykresów:

$$\begin{array}{l|l}
 R_4 = \text{const.} = \dots\dots\dots & t = \dots\dots = \text{const.} \\
 C_2 = 325 \mu\text{MF} = \text{const.} & l = \dots\dots\dots \\
 f = 50 \sim/\text{sek.} &
 \end{array}$$

L.p.	V	R ₃	C ₄	tg δ	δ	C' ₁	A	P
	kV _{sk}	Ω	μF			μF/km	1/Ω	W/km



V_n — napięcie nominalne kabla.

V_j — " punktu jonizacji.

6. Wnioski.

Wyjaśnić, dlaczego kabel nie może pracować powyżej punktu jonizacji. Porównać wysokość napięcia nominalnego i napięcia jonizacji. Omówić sprawę osłon (patrz schemat). Jak można przedstawić układ bez osłon i z osłonami, rysując poszczególne pojemności?

TEMAT VII

B A D A N I E I Z O L A T O R O W

Badania, jakim poddaje się izolatory, rozpatrywać można z punktu widzenia odbiorcy, lub konstruktora. Badanie dla potrzeb odbiorcy składa się zwykle z dwu zasadniczych prób: próby kształtu, której podlega kilka izolatorów (3) dla danego typu i próby wyrobu, której częściowo podlegają wszystkie izolatory /ogłędziny, dodatkowa próba mechaniczna, masowa próba elektryczna/, lub tylko pewien ich procent /próba na przebicie w oleju, zasadnicza próba mechaniczna, próba na wsiąkalność, próba cieplna/.

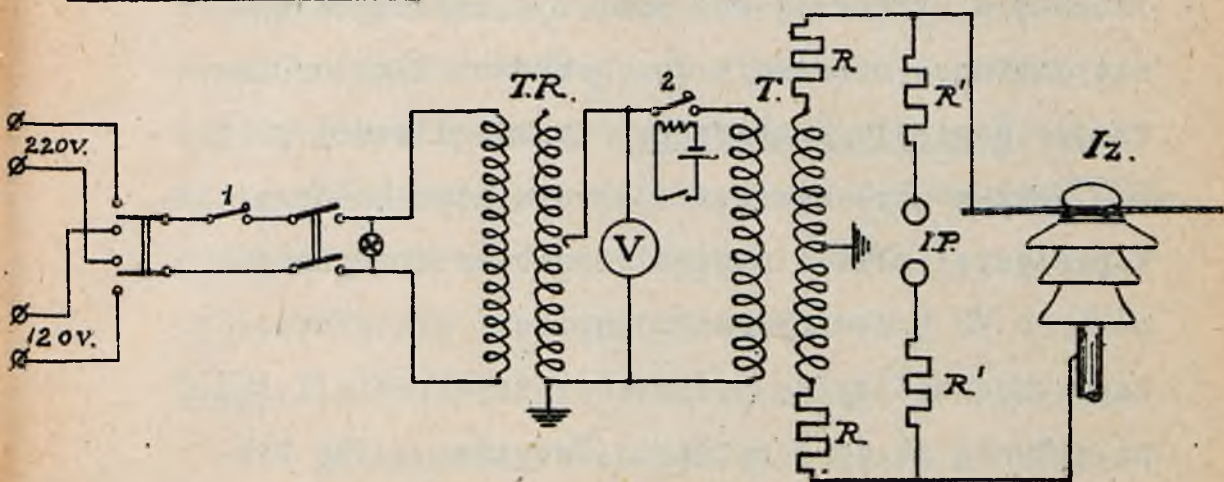
Badanie naprężeń i rozkładu napięć na powierzchni izolatora /a więc badanie pola elektrycznego/ daje natomiast cenne wskazówki właśnie przy projektowaniu izolatorów.

Celem poniższych ćwiczeń jest zapoznanie się z metodą próby izolatorów według norm polskich (PPNE-3) /próba kształtu/ i z rozkładem napięć na trzech rodzajach izolatorów: wiszącym (łańcuch), przepustowym i wsporczym.

C w i c z e n i e 1 . Znak VII/1

PRÓBA KSZTAŁTU IZOLATORA STOJĄCEGO.

1. Układ połączeń:



$$V_{B_{max}} = 1,3 \cdot V_{ps} = 1,3 \cdot 1,2 \cdot V_{pm}$$

Oznaczenia: T.R. - transformator regulacyjny.

T - transformator probierczy (150 kV). Iz -

- izolator badany. R i R' - oporniki wodne.

I.P. - iskiernik kulowy pomiarowy (Ø 125 mm, układ symetryczny). V - woltomierz w obwodzie niskiego napięcia.

1 - wyłącznik maksymalny prądowy. 2 - wyłącznik bezpieczeństwa drzwiowy.

2. Zasada pomiaru:

Próba kształtu (PPNE 8) składa się:

1. z próby przeskoku na sucho,
2. z próby przeskoku na mokro,

gdzie jako, przeskok uważać należy połączenie przewodu z trzonem łukiem świetlnym barwy żółtej o charakterystycznym huczeniu. Długość przewodnika przywiązanego na izolatorze podczas

próby ma wynosić conajmniej dwukrotną wysokość izolatora, przekrój zaś musi być też odpowiednio dobrany (stosownie do grubości linki roboczej). Napięcie probiercze o częstotliwości ok. 50 1/sek ma być mierzone iskiernikiem kulowym. W pierwszej chwili napięcie probiercze wynosić powinno 1/3 przewidywanego napięcia przeskoku, następnie należy je podnosić z szybkością 1 kV na sekundę aż do przeskoku. Powyższą próbę wykonywa się trzykrotnie i z otrzymanych trzech wielkości bierze średnią.

Przy pomiarze napięcia przeskoku na sucho powierzchnia izolatora ma być czysta i sucha.

Pomiar napięcia przeskoku na mokro odbywa się przy sztucznym deszczu o intensywności opadu ok. 5 mm na minutę i kącie padania 45°. Temperatura wody około 15°, jej oporność 7000 Ω na cm.

W razie gdyby oporność wody różniła się od tej wartości, zmierzone napięcia należy sprowadzić do oporności 7000 Ω na cm, dzieląc przez odpowiedni współczynnik (k). Przed przyłożeniem napięcia izolator ma być wystawiony na działanie sztucznego deszczu przynajmniej w ciągu 5 min. Izolator odpowiada wymaganiom, jeśli napięcie przeskoku na mokro spełnia warunek:

$$V_{sm} \geq (2 V_{nom} + 10) kV,$$

gdzie V_{nom} - napięcie nominalne w kilowoltach.

3. Pomiar:

1. Określić dla kilku izolatorów danego typu napięcie przeskoku na sucho oraz napięcie przeskoku na mokro. Przed przystąpieniem do właściwego pomiaru wyznaczyć zgrubsza napięcie przeskoku. Każdy pomiar ma on być wykonany według norm /zasada pomiaru/ - powtórzyć trzykrotnie, przyjmując jako wynik wartość średnią.

Uwagi: 1. Przekładnię transformatora probierczego określić przy pomocy iskiernika pomiarowego, dla każdego izolatora przy napięciu o 10 - 15 % niższym od średniej wartości napięcia przeskoku.

2. Oporność wody sztucznego deszczu wynosi około $3500 \Omega/\text{cm}^3$.

Pomierzyć główne wymiary izolatorów H, D, D₂ oraz drogę przeskoku na mokro $s = a + b + c$.

2. Na podstawie wyników pomiaru sprawdzić, czy izolator odpowiada przepisom polskim ($V_{sm} \geq 2V_{nom} + 10\text{kV}$), obliczyć stopień pewności $\Delta = \frac{V_{sm}}{V_{nom}}$, stosunek $\frac{V_{ss}}{V_{sm}}$ i średnie naprężenie przeskoku na mokro: $F_{sm} = \frac{V_{sm}}{s}$.

Uwaga: Napięcia i naprężenia podać tylko w wartościach skutecznych.

3. Przedstawić wykreślnie stopień pewności dla danych izolatorów $\Delta = \frac{V_{sm}}{V_{nom}}$ w funkcji napięcia nominalnego. Podać szkic izolatora z oznaczeniem głównych wymiarów i drogi przeskoku na mokro.

4. Wzór protokołu i wykresów:

$$\left. \begin{array}{l} t = \dots\dots\dots \\ b = \dots\dots\dots \end{array} \right\} \delta = \dots\dots\dots$$

Izolator stojący.

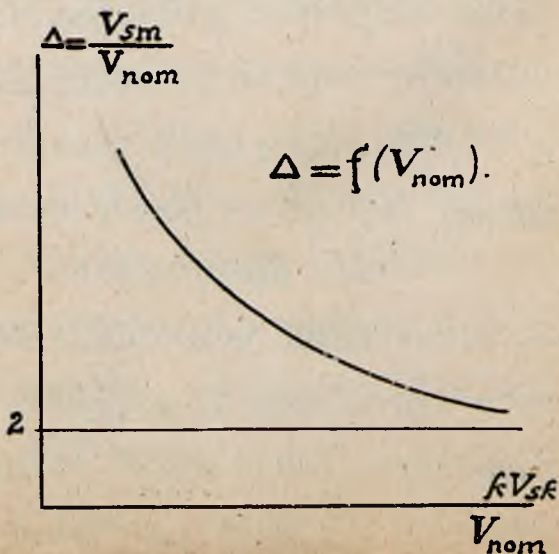
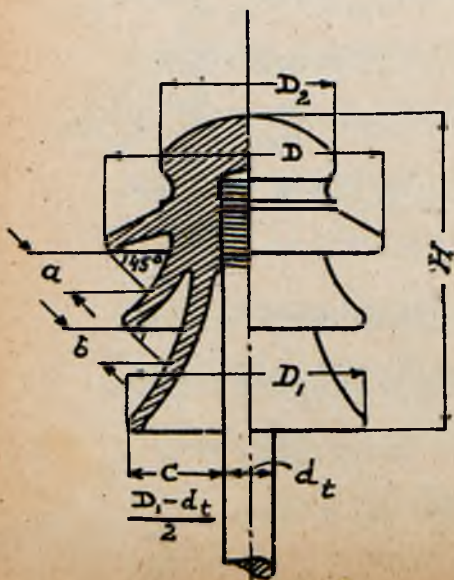
Typ izolatora:.....

Lp	V_{nom}	H	D	D_2	a	b	c	δ
		KVsk milimetry.						

Lp	V_{nom}	V_{ss}	V_{sm}	Δ	$\frac{V_{ss}}{V_{sm}}$	F_{sm}
		KVsk				

Oporność wo-
dy sztucznego
deszczu:
3500 Ω/cm^3

spółczynnik:
k =



5. Wnioski:

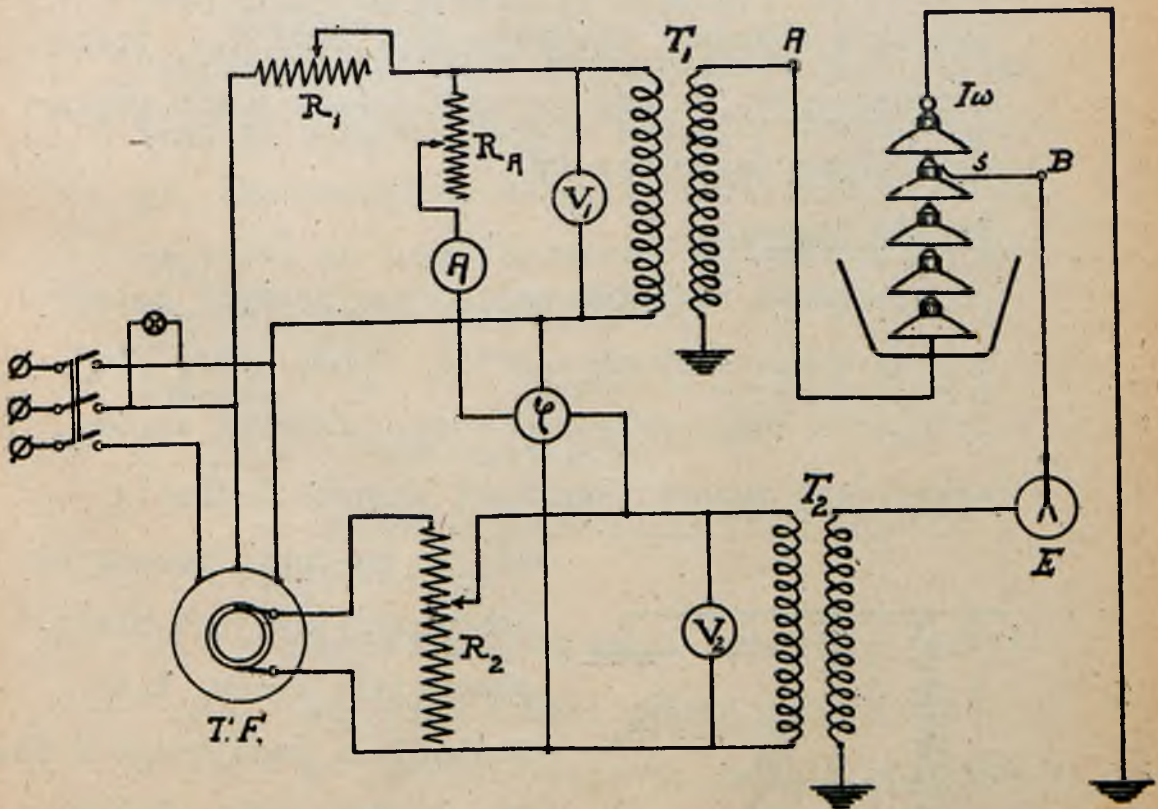
Jaki powinien być stosunek $\frac{V_{ss}}{V_{sm}}$, jeśli izolator ma być dobrze wyzyskany, a jak jest w praktyce? Podać wnioski, dotyczące kształtu izolatora.

C w i c z e n i e 2 .

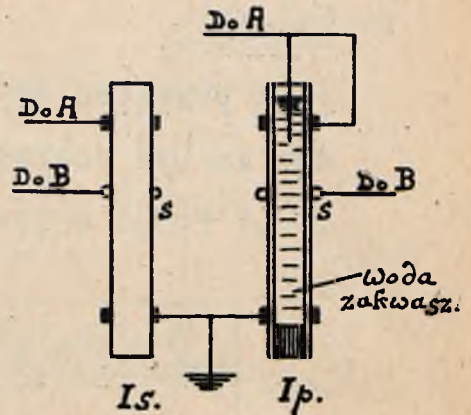
Znak VII/2

ROZKŁAD NAPIĘC.

1. Układ połączeń:

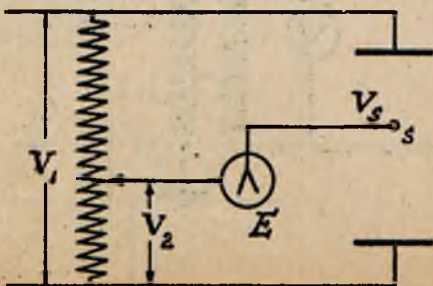


Oznaczenia: R_1 i R_2 - oporniki regulacyjne (potencjometryczne, lub szeregowe)
 T.F - przesuwacz fazowy
 T_1 i T_2 - transformatorki napięciowe 15000/110 V (po 60 VA). Układ badany stanowią: I_w - łańcuch izolatorów, I_p - model izolatora przepustowego, I_s - model izolatora wsporczego. E - elektroskop listkowy. s - ruchoma sonda. V_1 i V_2 - woltomierze w obwodach niskiego napięcia. R_A - opornik szeregowy, służy do regulowania prądu płynącego przez fazomierz (φ).



2. Zasada pomiaru:

Do mierzenia rozkładu napięć zastosowano tutaj metodę kompensacyjną z sondą. Sonda łączy się z układem kompensacyjnym przez przyrząd zerowy, wskazujący moment równowagi układu. Z chwilą



gdy to nastąpi, potencjał kompensacyjny jest miarą potencjału sondy, t.zn. potencjału panującego w danym punkcie pola. Potencjał sondy V_s (zakładamy, że jest on równy potencja-

łowi pola w danym punkcie) jest kompensowany przez przyłożony z zewnątrz potencjał t. zw. kompensujący V_2 , (który w naszym przypadku uzyskujemy z transformatora T_2). Potencjał ten dobieramy tak, aby stał się równy potencjałowi V_3 , co do wielkości i fazy (równość co do wielkości, uzyskujemy przy pomocy opornika R_2 , co do fazy zaś dzięki przesuwaczowi fazowemu).

Do wykrywania równości obydwu potencjałów: sondy i kompensującego, służy, jako przyrząd zeroowy, elektroskop listkowy. Układem odniesienia jest w naszym przypadku ziemia.

Pomiar potencjału w danym punkcie pola polega więc na takim dobraniu napięcia kompensującego, aby usunąć wychylenie elektroskopu. Wtedy napięcie na transformatorze T_2 jest miarą napięcia w danym punkcie pola.

3. Pomiar:

1. Zdjąć rozkład napięcia:

1/ na łańcuchu izolatorów wiszących

w przypadku:

- a. oddziaływanie na łańcuch pojemności względem siatki uziemionej (słupa)
- b. oddziaływanie na łańcuch pojemności względem siatki uziemionej (słupa) i dodatkowej pojemności wzgl. przewodu i róż-
ków na nim zamocowanych.

2/ na izolatorze przepustowym

3/ na izolatorze wsporczym (tego samego kształtu geometrycznego co 2).

Pomiaru dokonać, dobierając tak wielkość i fazę transformatora T_2 , aby otrzymać minimum wychylenia listków elektroskopu (co uważać należy za równowagę układu). Sondę umieszczać kolejno w punktach pola, których potencjał mamy wyznaczyć.

Uwagi: 1. Na elektrody badanego obiektu (n.p. końce łańcucha izolatorów) dajemy stałe napięcie z transformatora T_1 .

2. Amperomierz, włączony w szereg z fazomierzem, nie może wskazywać prądu większego niż 3 A.

3. W punkcie 1. oznaczyć napięcie na każdym ogniwie łańcucha. W punkcie 2 i 3 odległość elektrod wynosi 20 cm, a sondę umieszczać co 4 cm. (4, 8, 12, 16, 18 cm).

2. Na podstawie wyników pomiaru obliczyć spadek napięcia ΔV_n na poszczególnym ogniwie łańcucha izolatorów.

3. Przedstawić wykreślnie dla wypadku 1 napięcie V_n i spadek napięcia $\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$ na poszczególnym ogniwie łańcucha w funkcji kolejnej

liczby ogniw (licząc od uziemionego końca):

$$V = f_1(n),$$

$$\Delta V_n = f_2(n),$$

a dla przypadku 2 i 3 (izolatory przepustowy i wsporczy) napięcie V w poszczególnych punktach układu w funkcji odległości tych punktów od uziemionej elektrody:

$$V = f(a).$$

Uwaga: Napięcia i spadki podawać w procentach napięcia pełnego na układzie badanym, t.zn. $\frac{V_n}{V_1} 100 \%$ i $\frac{\Delta V_n}{V_1} 100 \%$.

4. Wzór protokołu i wykresów:

1. Łańcuch izolatorów wiszących:

a. Wpływ słupa. $V_1 = \dots\dots\dots \text{kV} = \text{const.}$

L.p.	n	V_n	ΔV_n	$\frac{V_n}{V_1} 100$	$\frac{\Delta V_n}{V_1} 100$
	numer kolejny ogniwa	kV		%	%

b. Wpływ słupa i przewodu wraz z rożkami (tabela jak wyżej).

2. Izolator przepustowy:

$$V_1 = \dots\dots\dots \text{kV} = \text{const.}$$

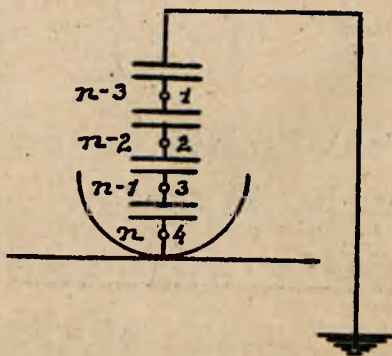
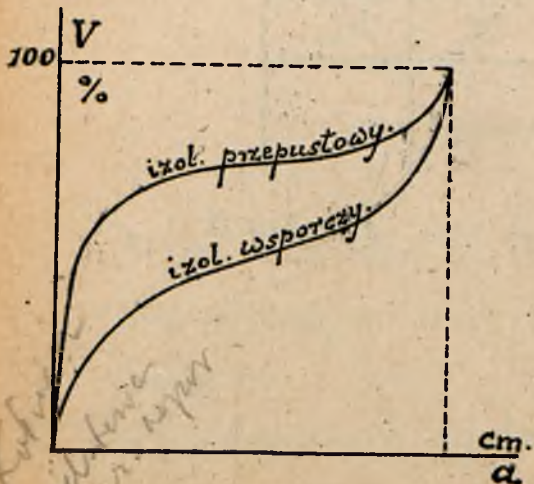
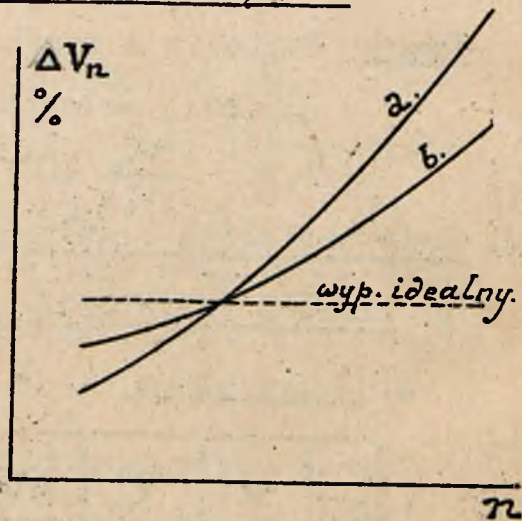
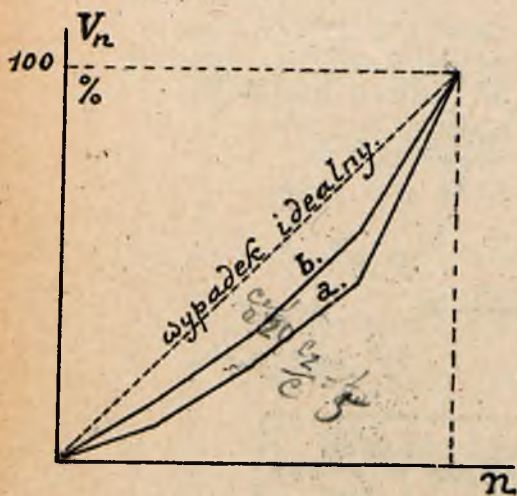
$$l = 20 \text{ cm}$$

L.p.	a	V_2	$\frac{V_2}{V_1} \cdot 100$
	cm.	kV	%

3. Izolator wsporczy:

(wzór protokołu, jak w przypadku izolatora przepustowego).

Łańcuch izolatorów wiszących.



5. Wnioski:

Omówić sprawę rozkładu pola i samej metody pomiaru.

D O D A T E K

POMIAR WYSOKIEGO NAPIĘCIA.

Kwestja pomiaru napięcia nasuwa dość znaczne trudności przy napięciach bardzo wysokich. Stosowanie transformatorów miernikowych, dogodne przy napięciach średnich i niższych, tu staje się kłopotliwe ze względu na pokaźne wymiary, jakich te przyrządy wymagają ze wzrostem napięcia roboczego. Szczególnie niedogodne byłoby stosowanie ich w urządzeniach laboratoryjnych o bardzo wysokim napięciu, gdzie się ma do czynienia zwykle z niewielką względnie mocą. To też do pomiaru tych napięć stosuje się metody pomiarowe, nie wymagające użycia transformatorów miernikowych. Jedną z takich metod polega na mierzeniu miliamperomierzem magnetycznym prądu pojemnościowego, płynącego przez kondensator o znanej pojemności, po wyprostowaniu go (n.p. za pomocą kenotronów); inna na zastosowaniu kondensatorowego dzielnika napięcia; przy innej mierzy się napięcie wprost woltomierzami elektrostatycznymi, które wykonywane są już dla napięć do 300 i więcej kilowoltów: wreszcie używa się do pomiarów wysokiego napięcia wycechowanego iskiernika kulowego.

Z wyliczonych metod do mierzenia napięć probierczych

szczególnie nadają się metody: pomiaru wyprostowanego prądu pojemnościowego (met. Haefely'ego), oraz pomiaru iskiernikiem kulowym, pozwalające określić wartość maksymalną (amplitudę) napięcia, a nie wartość skuteczną jak inne, i niezależne w pewnych granicach od kształtu krzywej. Przy próbach bowiem wytrzymałości elektrycznej materiałów izolacyjnych miarodajną jest przeważnie wartość maksymalna napięcia, ponieważ od jej wysokości zależy przebieg ośrodka badanego, a kształt krzywej i częstotliwość w dość szerokich granicach posiadają wpływ nieznaczny.

I. POMIAR NAPIĘCIA ISKIERNIKIEM KULOWYM.

1. Opis przyrządu:

a) Z a s a d a d z i a ł a n i a. Jeżeli do iskiernika utworzonego z dwóch izolowanych kul metalowych, umieszczonych w pewnym, dającym się zmierzyć odstępie, zostanie przyłożone napięcie (stałe lub zmienne) i będzie zwolna jednostajnie podnoszone, lub jeżeli kule będą powoli zbliżane, to pierwsze wyładowanie elektryczne, czyli przeskok elektryczny między kulami nastąpi przy pewnej wartości napięcia, dającej się określić dostatecznie dokładnie. Przy dostatecznie dużych

kulach wyładowanie to posiada postać łuku - o ile źródło napięcia ma dostateczną moc, lub iskry - o ile moc jest za mała.

Zależność napięcia, przy którym następuje wyładowanie, czyli napięcia przeskoku, od odstępu kul, czyli przerwy iskrowej, jest w określonych warunkach dostatecznie dokładnie wyznaczona. Dlatego iskiernik kulowy, przy zachowaniu odpowiednich warunków i uwzględnieniu wpływów postronnych, nadaje się do pomiarów wysokiego napięcia z dokładnością wystarczającą do celów technicznych.

Przy prądzie zmiennym otrzymane wyniki dotyczą wartości maksymalnych, wartość skuteczną zaś można określić - znając kształt krzywej napięcia źródła prądu - dzieląc wartość maksymalną przez spółczynnik amplitudy (n.p. w przypadku sinusoidy przez $\sqrt{2}$).

b). U s t a w i e n i e Pomieszczenie, w którym ustawiono iskiernik, ma być możliwie wolne od kurzu i dymu (n.p. z papierosów). Iskiernik należy umieszczać w miejscu praktycznie wolnym od obcych pól elektromagnetycznych i elektrostatycznych, a wszystkie części obwodu prowadzić zdala od przerwy iskrowej; szczególnie tyczy się to przewodników

o dużej powierzchni, jak n.p. oporniki. Wogóle wszystkie ciała obce, zarówno przewodniki jak izolatory, nie mogą się znajdować w mniejszej odległości od przerwy iskrowej niż dwukrotna średnica kuli; pozatem, gdy jedna z kul jest uziemiona, odległość przerwy iskrowej od ziemi, sufitu lub innej dużej powierzchni uziemionej (n.p. siatki ochronnej) nie może być mniejsza od pięciokrotnej średnicy kuli.

c). P o ł ą c z e n i e . Iskiernik może być użyty albo w układzie symetrycznym (układ A): obie kule izolowane, środek uzwojenia wysokiego napięcia transformatora uziemiony; albo w niesymetrycznym (układ B): jedna z kul, a więc i odpowiedni biegun transformatora, uziemione. Nieuziemiania wogóle uzwojenia górnego napięcia należy unikać ze względu na nieznany wówczas rozkład potencjałów.

Iskiernik łączy się równolegle do badanego przedmiotu n.p. izolatora przez oporniki bezindukcyjne o oporności 1 do 4 omów na 1 wolt nominalnego napięcia transformatora (oporniki mają na celu tłumienie przepięć, jakie przeskok na kulach wywołują na obiekcie badanym).

Przepis ten nie dotyczy oporników, włączonych w obwód wysokiego napięcia (lecz z pominięciem obwodu utworzonego przez iskiernik i przedmiot badany) w celu zmniejszenia prądu zwarcia w chwili przeskoku i zabezpieczenia uzwojeń transformatora od przepięć; oporność ich ma być tak dobrana, aby z jednej strony przeskok posiadał wyraźną postać łuku elektrycznego barwy żółto-różowej (nie iskier) i miał zdolność do utrzymania się na kulach (wzgl. izolatorze), z drugiej zaś strony, żeby prąd w chwili, przeskoku nie przekraczał znacznie mocy źródła prądu.

Przy układzie A oporniki rozmieszcza się symetrycznie w obu gałęziach iskiernika, przy układzie B opornik, o całkowitej oporności przepisanej umieszcza się w gałęzi nieuziemionej .

Przy wielkich częstotliwościach i falach uskokowych nie daje się oporników, iskiernik zaś umieszcza się możliwie blisko przedmiotu badanego.

2. Pomiary.

a) R e g u l o w a n i e n a p i ę c i a.
Napięcie należy regulować w sposób możliwie ciągły. Przy stopniach, nieprzekraczających

$\frac{1}{2}$ % mierzonego napięcia, wyniki otrzymane mogą być obarczone uchybem do 2 % (przy stopniach 1 % - uchyb do 5 %).

b). O k r e ś l a n i e p r z e k ł a d -
n i. W razie pomiaru napięcia n.p. przy próbie izolatora, ustala się najpierw przekładnię transformatora dla pewnego napięcia V_1 , około 20 % niższego od napięcia wymaganego przy próbie (n.p. napięcia przeskoku); czyni się to jednym ze sposobów niżej podanych, notując wskazania v_1 woltomierza po stronie pierwotnej transformatora. Przekładnia będzie określona stosunkiem $\mathcal{J} = v_1 / V_1$. Należy przytem uważać, aby na przedmiocie badanym nie powstawały wyładowania ślizgowe; W razie ich zjawienia się należy ustalać przekładnię przy napięciu odpowiednio niższem. Następnie kule rozsuwa się na odległość, odpowiadającą napięciu ok. 15 % wyższemu od napięcia próby, niezmieniając niczego pozatem w obwodzie, a napięcie pierwotne podnosi się do wysokości $v_2 = \mathcal{J} V_2$, gdzie V_2 jest napięciem żądanem.

c). S p o s ó b p o m i a r u. Przed pomiarem należy kule przetrzeć z kurzu i wywołać kilka przeskoków iskry w celu usunięcia cząstek kurzu z otoczenia.

Pomiar może być dokonywany w sposób dwojaki:

- utrzymując stały odstęp kul -, podnosi się zwolna napięcie do uzyskania przeskoku;
- utrzymując stałe napięcie, zbliża się zwolna kule.

Staća przerwa iskrowa. Posługując się tablicami względnie wykresami, oraz uwzględniając poprawki z punktu e), **nastawia** się kule na odległość odpowiadającą żądanemu napięciu. Napięcie przyłożone podnosi się zwolna i możliwie jednostajnie w ten sposób, by od mniej więcej 80 % przewidywanego napięcia przeskoku do chwili przeskoku, upłynęło około $\frac{1}{2}$ minuty. (Tyczy się to szczególnie napięć poniżej 30 kV przy braku sztucznego zjonizowania przerwy iskrowej). W chwili przeskoku notuje się odchylenie woltomierza (v_2), skąd określa się przekładnię transformatora według wzoru z p. b).

Staće napięcie. W tym przypadku kule należy zbliżać powoli, począwszy od odległości ok. 10 % większej od przypuszczalnej długości przeskoku; przy odstępach większych od 50 mm nie szybciej niż 1 mm/sek, przy mniejszych - odpowiednio wolniej. Zmierzywszy odstęp, przy którym nastąpił przeskok, określa się napięcie

szukane z tablic lub z wykresów z uwzględnieniem poprawek.

d). N a p i ę c i e p r z e s k o k u dla kul w powietrzu przy 25 °C, 760 mm Hg i 80 % wilgotn. wzgl. podaje następująca tablica:

Napięcie przeskoku.

Srednica kul w mm	62,5		125	
Układ	B	A	B	A
Napięcie kV skut.	Przerwa iskrowa w mm			
10	4,2	4,2	-	-
20	8,6	8,6	-	-
30	14,1	14,1	14,1	14,1
40	19,2	19,2	19,1	19,1
50	25,5	25,0	24,4	24,4
60	34,5	32,0	30,0	30,0
70	46,0	39,5	36	36
80	62,0	49,0	42	42
90	-	60,5	49	49
100	-	-	56	55
120	-	-	79,7	71
140			108	88
160			150	110
180			-	138

e). P o p r a w k i . Napięcie przeskoku zmienia się proporcjonalnie ze względną gęstością powietrza, t.j. wprost proporcjonalnie do prężności i odwrotnie proporcjonalnie do temperatury bezwzględnej; od wilgotności w granicach praktycznych nie zależy. Wobec tego, jeżeli pomiar wykonywa się w innych warunkach, niż te, dla których są podane wartości w p. d), należy uwzględnić współczynnik

poprawki:

$$\delta = \frac{b}{760} \cdot \frac{273 + 25}{273 + t} = 0,392 \frac{b}{273 + t} \dots (1)$$

gdzie b oznacza stan barometru w mm słupa rtęci, a t - temperaturę w stopniach C.

Pomiar przy stałym odstępie kul. Wartość napięcia, które pragnie się uzyskać, dzieli się przez współczynnik δ i dla otrzymanej wartości znajduje się z tablicy lub wykresu odstęp, na który kule należy nastawić.

Pomiar przy stałym napięciu. Zmierzywszy otrzymany odstęp kul, znajduje się z krzywej lub tablicy p. d), odpowiadającą mu wartość napięcia przeskoku, w warunkach normalnych; pomnożywszy ją przez współczynnik δ otrzyma się rzeczywistą wartość napięcia.

O ile wymagana jest większa dokładność, oraz wogóle dla wartości δ znacznie różniących się od jedności (praktycznie poczynając od różnicy $\pm 0,05$), poprawka powyższa nie daje wystarczającej dokładności. Należy wtedy zamiast δ stosować inną poprawkę, (współczynnik δ'), uwzględniającą i średnicę kuli. Poprawkę tę oblicza się z następującego wzoru:

$$\delta' = \delta \frac{1 + \frac{0,775}{\sqrt{D\delta}}}{1 + \frac{0,775}{\sqrt{D}}} \dots (2.)$$

gdzie D jest średnicą kuli w cm, a δ poprawką według wzoru (1).

II. POMIAR NAPIĘCIA METODĄ POMIARU PRĄDU

POJEMNOSCIOWEGO.

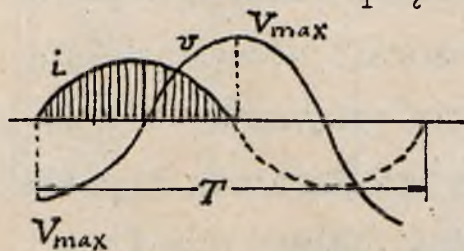
(Metoda Haefely'ego)

1. Zasada pomiaru.

Metoda polega na mierzeniu przyrządem magneto-
motorycznym (czułym miliamperomierzem lub gal-
wanometrem) prądu, płynącego pod napięciem mie-
rzonem w obwodzie złożonym z kondensatora i
lampy katodowej dwuelektrodowej.

Wobec znacznej oporności pozornej kondensatora
o niewielkiej pojemności (rzędu cm.), można po-
minąć oporność lamp i przyrządu pomiarowego i
przyjąć, że zmienne napięcie mierzone V jest
włączone bezpośrednio na pojemność C .

Wartość chwilowa prądu wyrazi się wtedy jako:



$$i = C \frac{dv}{dt},$$

a wartość wskazana
przez przyrząd, czyli
wartość średnia prądu

z jednej tylko połowy okresu będzie:

$$J = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i dt = \frac{C}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} dv = \frac{2cV'_{max}}{T} = 2f \cdot C \cdot V'_{max}$$

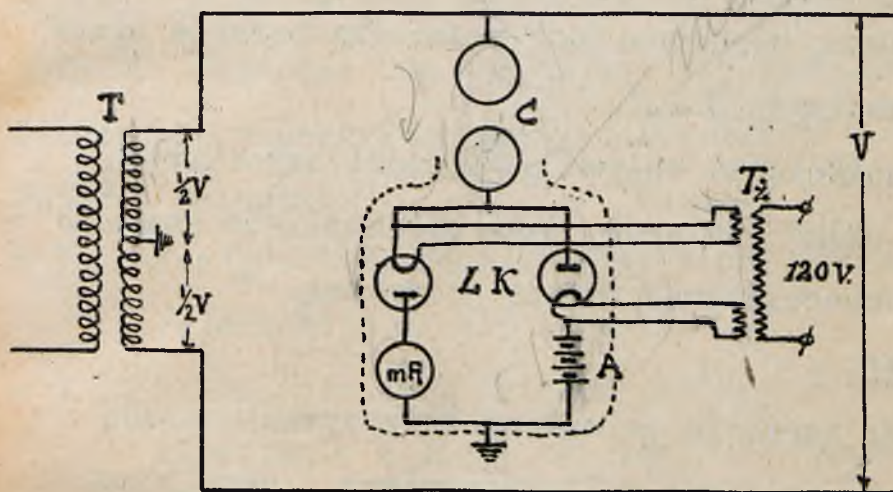
skąd:

$$V'_{max} = \frac{J}{2fc}.$$

gdzie I - prąd w A, C - pojemność w F, f -
- częstotliwość w okr/sek, a V - napięcie
maksymalne w woltach.

Metoda pozwala mierzyć wartości maksymalne krzywej napięcia, nawet przy przebiegu niesinusoidalnym, o ile krzywa nie jest zbyt odkształcona, a szczególnie o ile nie posiada więcej niż jedno maksimum.

2. Układ połączeń i przyrządy:



Oznaczenia: T - transformator probierczy wysokiego napięcia. C - iskiernik pomiarowy.

T_2 - transformator żarzenia. L.K. - lampy katodowe. A - bateria akumulatorów.

Jako kondensator służy w tym przypadku (p. rys) iskiernik kulowy o kulach 125 mm średnicy, umieszczonych w stałym odstępie.

Jedna z kul jest przyłączona do napięcia mierzonego, druga jest uziemiona przez układ pomiarowy. Z tego względu metody tej nie można używać w układzie nieziemionym. Przy układzie

z uziemionym środkiem - jak w danym przypadku-
układ łączy się na połowie napięcia, t.j. po-
między jeden z biegunów i ziemię.

Do zarzenia lamp służy transformator 120/4 V
z dwoma niezależnymi uzwojeniami wtórnego na-
pięcia. W celu skompensowania prądu emisyjnego,
któryby stale płynął w obwodzie obu lamp i
miernika, włączona jest niewielka baterja ogniwo
o przeciwnej S.E.M.

Dla uniknięcia wpływu pojemności szkodliwych
cały układ pomiarowy musi być możliwie staran-
nie zabezpieczony osłoną uziemioną.

3. Pomiar:

Pomiar napięcia polega na odczytywaniu prądu
wskazanego przez miliamperomierz i przelicze-
niu według wzoru zasadniczego. Ponieważ w na-
szym układzie $V = \frac{1}{2} V$ przeto:

$$V_{max} = \frac{J}{fC}$$

Aby otrzymać napięcie w wartościach skutecz-
nych należy wartość otrzymaną podzielić przez
 $\sqrt{2}$.

REGULAMIN ĆWICZEŃ

w

LABORATORJUM WYSOKICH NAPIĘC.

Podstawowy regulamin ćwiczeń zawarty jest w regulaminie ćwiczeń Laboratorium Miernictwa Elektrotechnicznego, zamieszczonym w skryptach p.t. "Laboratorium Miernictwa Elektrotechnicznego" z r. 1929/30. Przepisy tam znajdujące się obowiązują ćwiczących w Laboratorium Wysokich Napięć z następującymi zmianami:

w § 1. Kandydaci do laboratorium winni wykazać się rejestracją na VII semestr.

w § 6. Niezaliczenie 2 ćwiczeń pociąga za sobą skreślenie z listy ćwiczących w danym sem.

Pozatem obowiązują specjalne:

Wskazówki zachowania się
podczas ćwiczeń przy wysokim napięciu.

1. Podczas pracy przy wysokim napięciu zachowywać wszelkie środki ostrożności, pamiętając o niebezpieczeństwie grożącym życiu. Wszelkie ruchy mają być opanowane, myśl skierowana ku ćwiczeniu. Ubranie ma być opięte.
2. Przed przystąpieniem do pracy zaznajomić się dokładnie ze schematem, sprawdzić połączenia a zwłaszcza stan przewodów uziemiających.

3. Przy pracy przestrzegać, aby w miejscu roboczym nie znajdowały się niepotrzebne przedmioty (luźno leżące druty i t.d.).
4. O ile w miejscu roboczym znajdują się jednocześnie przyrządy włączone w obwody wysokiego i niskiego napięcia, uważać.
 - a). aby odstęp między temi przyrządami były takie, żeby przypadkowe ich zetknięcie było absolutnie wykluczone.
 - b). aby obwód wysokiego napięcia był należycie izolowany od stołu i innych przedmiotów uziemionych, bez względu na to czy jeden z biegunów wysokiego napięcia jest uziemiony czy nie.
5. Podział pracy w grupie z trzech ćwiczących jest w zasadzie następujący:
 - 1 ćwiczący: kierownictwo pracą i prowadzenie prot.
 - 2 " : włączanie obwodu, regulacja i odczytywanie napięcia.
 - 3 " : manipulacja przyrządami wys. nap.W czasie jednego pomiaru stanowisk zmieniać nie wolno.
6. Kierujący ćwiczeniem powinien a). dawać baczenie na przestrzeganie ostrożności przez współpracujących, w szczególności dawać polecenia włączania lub wyłączania prądu, a wogóle kierować pracą.
 - b). stanowisko zajmować takie, aby mógł objąć

okiem jednocześnie innych współwielozących; c) prowadzić protokół pomiarów wykonywać wykresy, obliczać wyniki i t.p.

7. Regulujący napięcie powinien: a) przestrzegać, aby nie włączać obwodu o ile ktokolwiek znajduje się w pobliżu przyrządów wys. nap. lub w przestrzeni zagrodzonej, jako teren wysokiego napięcia; b). zwrócić uwagę współpracujących na zamiar włączenia obwodu i włączyć dopiero po uzyskaniu potwierdzenia; c). po włączeniu być w każdej chwili gotowym do szybkiego wyłączenia prądu i nie oddalać się od wyłącznika; d). o ile ma się operować z częściami obwodu w.n. wyłączać prąd przez otwarcie dwóch wyłączników; przy powtarzaniu tego samego pomiaru bez zmiany stałych obwodu, wystarczy wyłączenie jednego; e). po wyłączeniu prądu nie może trzymać ręki na wyłączniku.

8. Manipulujący przyrządami w obwodzie wysokiego napięcia:

A. Przy manipulowaniu bez prądu powinien: a) przed zbliżeniem się do przyrządu upewnić się przez rzućnięcie okiem na wyłącznik, czy prąd jest rzeczywiście wyłączony; b). po dokonaniu odpowiedniej czynności oddalić się od przyrządu na odpowiednią odległość.

B. Przy manipulowaniu pod prądem powinien: a) dot.

kać przyrządu tylko znajdując się na podstawie izolacyjnej, w odległości zabezpieczającej od przypadkowego dotknięcia do części obwodu będących pod napięciem, nawet w częściach uziemionych; b). manipulować wyłącznie przy pomocy przeznaczonej do tego rączki lub pokrętła; c) nie dotykać przedmiotów uziemionych.

9. W czasie ćwiczeń Laboratorjum jest zamknięte dla osób nie ćwiczących.
10. W razie nieszczęśliwego wypadku należy natychmiast wyłączyć prąd i rozpocząć czynności ratownicze stosownie do "Wskazówek niesienia doraźnej pomocy w wypadku porażenia prądem elektrycznym" (PPNE - 9).

Uwaga: Studenci zapisani do Laboratorjum Wysekich Napięć zostają przed rozpoczęciem ćwiczeń zaznajomieni z powyższym regulaminem i wskazówkami. Wobec tego uważa się, że regulamin ten jest znany ćwiczącym i że oni zdają sobie sprawę z jego znaczenia i z ważności przestrzegania go.

