

Prace Ignacego Mościckiego z zakresu techniki wysokich napięć w świetle poglądów ówczesnych i obecnych

Prof. KAZIMIERZ DREWNOWSKI

I. PRZEGLĄD TWÓRCZOŚCI.

Bliższe zetknięcie się Ignacego Mościckiego z zagadnieniami elektrotechniki dokonało się w sposób dosyć przypadkowy. Z wykształcenia chemik, rzucony losem emigranta około 1900 roku do Fryburga szwajcarskiego, oparł się tam o uniwersytet jako asystent przy katedrze fizyki profesora Józefa Kowalskiego. Tam styka się bliżej z aktualnym naówczas tematem wiązania azotu atmosferycznego zapomocą wyładowań elektrycznych. Pierwsze metody, stosowane przez Niego w tym celu, polegały na spalaniu powietrza w łuku elektrycznym, powstającym w obwodzie oscylacyjnym. Do otrzymywania wyładowań o wielkiej częstotliwości i dużej energii potrzebne były kondensatory elektryczne na wysokie napięcia. Ówczesne kondensatory nie wytrzymywały napięcia wyższego, aniżeli mniej więcej 10 kV, co było za mało, aby otrzymać potrzebną energię w łuku. Mościcki przerywa więc chwilowo studia nad chemiczną stroną zagadnienia, która Go zasadniczo interesowała, a przeryca się w dziedzinę elektrotechniki i wysokich napięć, mało jeszcze naówczas zbadaną. Poszukiwanie kondensatorów wysokiego napięcia, technicznie pewnych, staje się punktem wyjścia Jego prac naukowych i technicznych w tej dziedzinie. Prawie wszystkie zagadnienia, jakimi się zajmował, wiążą się genetycznie ze sobą. W miarę rozwiązywania jednych problemów, nasuwały Mu się inne, które Go pociągały. I tak wszedł w dziedzinę wysokich napięć, w której, gdyby pozostał, odegrałby niewątpliwie rolę pierwszorzędą.

Aby otrzymać techniczne kondensatory wysokiego napięcia, przeprowadza gruntowne studia nad dielektrykami [I, II]¹⁾. Tłómaczy mechanizm przebicia materiałów izolacyjnych stałych, bada wytrzymałość na przebicie i na wyładowania powierzchniowe, określa ich straty dielektryczne, zajmując się głównie szkłem, które uważa za najlepszy podówczas materiał na kondensatory wysokiego napięcia. Były to pierwsze metodyczne studia tego rodzaju. Zachowały one swą wartość i są przytaczane aż do obecnej chwili w literaturze naukowo-technicznej. Na podstawie tych badań opracowywa nowy typ kondensatora szklanego wysokiego napięcia, noszącego Jego imię i przez długi czas nieprze-

ścignionego [III, IV, V]. Mając odpowiednie kondensatory, może już Mościcki zająć się sprawą wyładowań w postaci łuku elektrycznego, potrzebnego do spalania powietrza. Opracowywa w tym celu oryginalny układ oscylacyjny, złożony z kondensatorów i cewek, zasilających równolegle połączone iskierniki, pracujące jednocześnie, co jest i obecnie zagadnieniem, następczającym dużo trudności [X, XI, ryciny 4 i 5]. Nie otrzymawszy pożądanego wydajności pieca, na takich wyładowaniach opartego, porzuca ideę łuku o wielkiej częstotliwości i przechodzi na techniczną. Łuk otrzymany między elektrodami, rozciąga zapomocą działania kominowego [X, XI, rycina 9]. W pierwszym przypadku łuk ma postać wstęgi, w drugim — elipsoidu.

Badając działanie pola magnetycznego na łuk elektryczny, wpada na pomysł zastosowania tego działania do wywołania ruchu obrotowego łuku, podobnie, jak to występuje w silniku. Łuk zapalony między elektrodami spółśrodkowymi w polu magnetycznym, skierowanym wzdłuż osi elektrod, wiruje, tworząc niejako tarczę płomienną, przez którą przepuszcza się powietrze. W ten sposób powstał oryginalny typ pieca elektrycznego, służący Mościckiemu do dalszych prac nad wiązaniem azotu [X, XI, ryciny 11, 12, 13]²⁾.

Do zapalania łuku, pracującego przy napięciu paru tysięcy woltów, obmyślił Mościcki oryginalne urządzenie zapłonowe wysokiego napięcia przy pomocy wyładowań oscylacyjnych, podtrzymujące łuk za każdym półokresem prądu [X, XI, rycina 15].

Do dziedziny wyładowań elektrycznych, którą się Mościcki zajmował, zaliczyć należy również pomysł prostownika iskrowego wysokiego napięcia³⁾. Prostownik ten polegał na wytwarzaniu wyładowania iskrowego między płytką a ostrzem, umieszczonym w rurce, przez którą wdmuchiwane jest powietrze [37]. Działanie prostownikowe takiego urządzenia miało służyć do wytwarzania prądu stałego o wysokim napięciu, potrzebnego Mu przy studiach nad strącaniem pyłu i t. d. z powietrza.

Idea oczyszczania powietrza zapomocą wyładowań elektrycznych skryształizowała się

²⁾ Zasada płomienia wirującego w polu magnetycznym została już podana nieco wcześniej, co Mościckiemu nie było wówczas znane.

³⁾ Na pomysł ten wpadł I. M. niezależnie od podobnego rozwiązania przez Wolcott'a i Ericksona w 1917 r. (por. [37] oraz M. Wolfke. Przegl. Elektr., 1926). Obecnie prostowniki na tej zasadzie oparte, systemu Marxa [39], wytwarzają prąd stały o 150 kV i 100 A.

¹⁾ Liczby rzymskie w nawiasach [] odnoszą się do bibliografii prac I. M., podanej w rozdziale V niniejszego artykułu (p. str. 154). Liczby arabskie w nawiasach [] odnoszą się do wykazu literatury w rozdziale VI

u Mościckiego w ostatnich latach, kiedy to — jak powszechnie wiadomo — opracował On i ogłosił techniczną metodę wytwarzania t. zw. powietrza górskiego.

Przeprowadzając studia nad wyładowaniami w obwodzie oscylacyjnym, znajduje Mościcki pewne analogie z wyładowaniami atmosferycznymi, wywołującymi przepięcia w sieciach elektrycznych. To naprowadziło Go na myśl zastosowania kondensatorów wysokiego napięcia do celów ochrony przeciwprzepięciowej.

Opracowywa więc układ ochronny, złożony z kondensatorów i cewek, dających szczególne wskazówki co do roli i wielkości elementów układu [VI, VII, VIII, IX]. Zwraca szczególną uwagę na korzyści, jakie daje mała oporność uziemienia, co nie było wówczas przestregane. Obok kondensatorów, które stosuje jako ochronniki przy przepięciach o wielkiej częstotliwości, obmyśla zasadę i budowę zaworu przepięciowego, który zaleca przy zjawiskach o mniejszej częstotliwości [XII]. Studując różne systemy ochrony przeciwprzepięciowej, zajmuje się przede wszystkim ochronnikami różkowymi, powszechnie wówczas stosowanymi, i występuje stanowczo przeciw temu sposobowi, wykazując, że nie spełniają one roli, jakiej się od nich spodziewano [VIII].

O ile pierwsza dziedzina Jego prac, dotycząca budowy kondensatorów, zyskała od razu uznanie całego świata elektrotechnicznego, o tyle zastosowanie ich oraz zaworów do ochrony przeciwprzepięciowej spotkało się z oporem przede wszystkim ze strony firm, zainteresowanych w budowie ochronników innych systemów, bardzo rozpowszechnionych (patrz

rozdział III). Trzeba było kilkunastu lat, aby przekonano się, jak słuszne było wystąpienie Mościckiego przeciw ówczesnym systemom ochrony przepięciowej.

Oprócz tych dziedzin, w których twórczość Ignacego Mościckiego na polu elektrotechniki szczególnie się zaznaczyła i zapewniła Mu wybitne miejsce w historii tej gałęzi techniki, zajmował się On innymi zagadnieniami, wynikającymi najczęściej z głównych Jego zainteresowań. Niektóre z nich pozostały w po-

myśle, gdyż nie miał On czasu na głębsze ich opracowanie, inne tworzyły elementy Jego prac z zakresu technologii chemicznej, inne wreszcie stanowiły przedmiot studiów Jego uczniów i współpracowników (porównaj wykaz prac rozdziale VI).

Prac naukowe Mościckiego tylko w małym stopniu zostały utrwalone w piśmiennictwie elektrotechnicznym. Studja swoje niechętnie opracowywał w postaci gotowej do opublikowania. Wydaje mi się, że przyczyną tego było zjawienie się u Niego coraz to nowych zagadnień, których

nastęrczał niemało ówczesny, niski jeszcze stan techniki wysokich napięć. To też liczba ogłoszonych prac Mościckiego jest niewielka. Z pośród prac wymienionych w rozdz. V, niniejszego artykułu, które udało mi się zebrać, trzy można uznać, jako podstawowe dla Jego działalności. Są to prace o dielektrykach [I, II] (1904 r.), o kondensatorach [III, IV] (1904 r.) oraz o ochronie przeciwprzepięciowej [VIII] (1906 r.). Pierwsza z tych prac, referowana przez profesora Witkowskiego na posiedzeniu Wydziału matematyczno-przyrodniczego Akademii Umiejętności w Krakowie dnia 11 stycznia 1904

Badania nad wytrzymałością dielektryków

przez

Ignacego Mościckiego.

(Z 9 rycinami).

Rzecz przedstawiona na posiedzeniu Wydziału mat.-przr. d. 11 stycznia 1904 r.; ref. czł. Witkowski.

Na początku 1902 roku, kiedy ukończyłem pracę odnoszącą się do technicznego wytwarzania kwasu azotowego z powietrza za pomocą elektryczności, okazało się, że nie ma kondensatorów technicznych o wysokim napięciu do tego potrzebnych. Fakt ten zmusił mnie do zabrania się do studiów nad kondensatorami.

Po długich usiłowaniach, trwających półtora roku, udało mi się nareszcie szczęśliwie zadanie to rozwiązać. Podczas żmudnej pracy nad tym przedmiotem, zebrałem sporo różnych spostrzeżeń, których część odnoszącą się do wytrzymałości dielektryków podaję w niniejszej rozprawie.

Poddając rozmaite dielektryki próbom pod względem ich wytrzymałości, przekonałem się, że płyty szklane, grubości 0,2 cm. zwyczajnego szkła, obłożone z obu stron staniolem tak, że naokoło okładki zostawał brzeg 5 cm. szeroki, zanurzone w oleju izolacyjnym zawsze zostawały przebite na brzegu okładki, chociaż nieraz szkło w środku było trochę cieńsze, jak na brzegu. W innych doświadczeniach używałem rurek szklanych, zatopionych w jednym końcu, o ściankach 0,03 cm. grubości; wewnątrz były one wypeł-

Rycina 1.

roku i ogłoszona w rocznikach Akademii z 1904 roku, stanowi pierwszą w ogóle publikację naukową Ignacego Mościckiego (rycina 1⁴). Rok ukazania się jej w druku można zatem uznać za początek Jego kariery naukowej, której trzydziestolecie święcimy właśnie w 1934 roku.

Początek pracy twórczej Mościckiego przypada więc na pierwsze lata bieżącego stulecia. Działem elektrotechniki, przez Niego szczególnie umiłowanym, była technika wysokich napięć, która wówczas stawiała pierwsze kroki. Jeżeli sobie uprzytomnimy, że najwyższe napięcie, stosowane podówczas przy przesyłaniu energii elektrycznej, zaledwie przekraczało 30 000 woltów, że zjawiska, zachodzące w praktyce przy tem napięciu, nie były jeszcze tak jak dziś zbadane, to na tem tle dopiero uwypukli się znaczenie Jego prac.

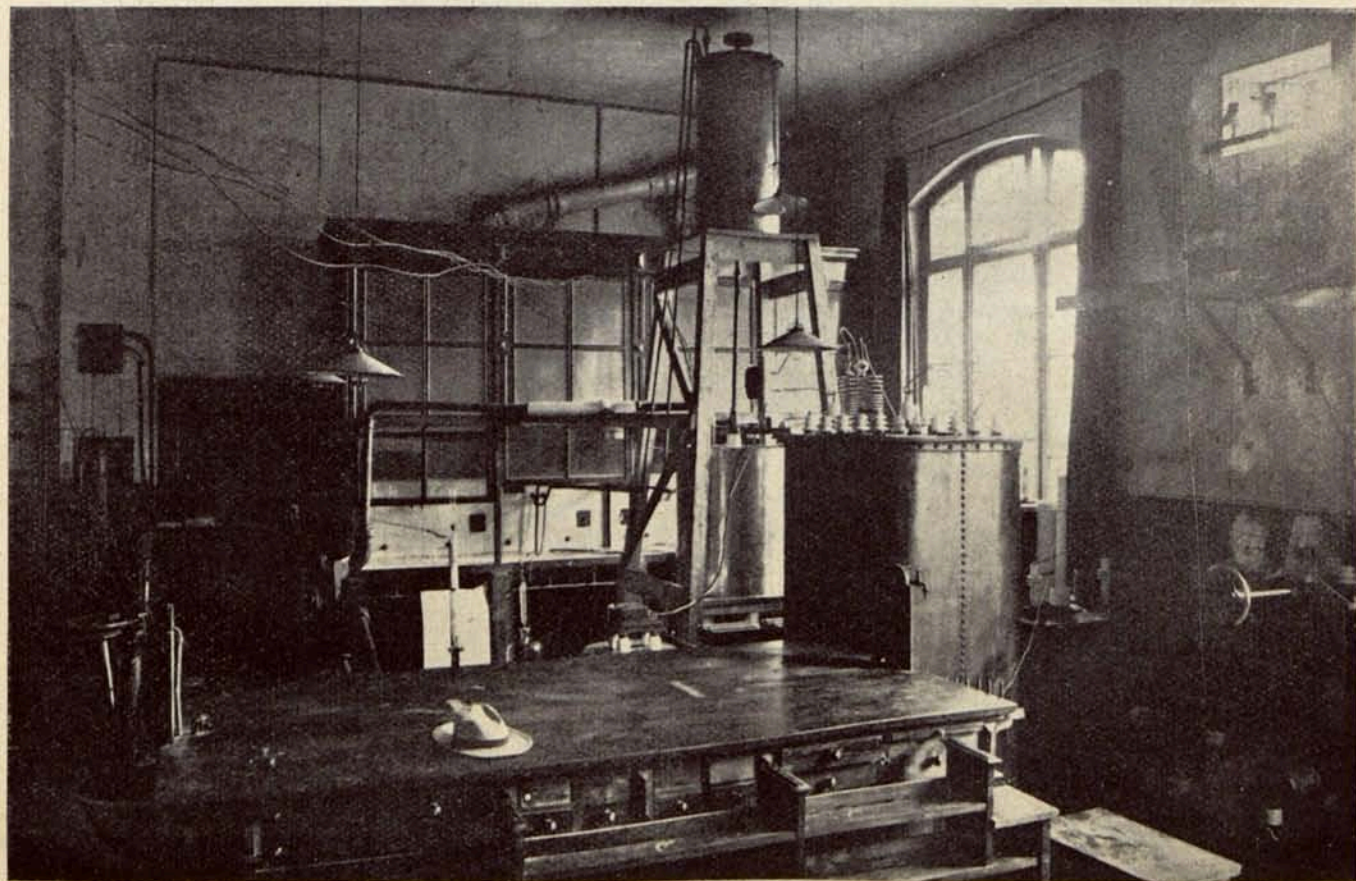
W polskiej literaturze elektrotechnicznej mamy tylko skąpe wiadomości o pracach Mościckiego. Są to krótkie referaty o Jego kondensatorach i ich zastosowaniu [7, 11, 18], wzmianki biograficzne⁵), a zaledwie

jeden Jego oryginalny artykuł o zaworze przepięciowym znajduje się w polskim czasopiśmie elektrotechnicznym [XII]. Główne Jego publikacje datują się z okresu Jego pobytu w Szwajcarii, gdzie przejawiała się cała Jego twórczość na polu elektrotechniki. Studja przeprowadzał głównie w laboratorium Uniwersytetu fryburskiego, oddanem Mu do dyspozycji przez władze uniwersyteckie, które wysoko ceniły Jego wiedzę. Ryciny 2 i 3 przedstawiają wnętrze tego laboratorium. Dla eksploatacji Jego pomysłów zostały utworzone specjalnie: *Fabrique des Condensateurs électriques* i *Société de l'Acide nitrique*.

Prace Mościckiego były ogłaszane w pismach zagranicznych, naogół mało dostępnych dla elektryków polskich, zwłaszcza obecnej generacji. Chciałbym przeło w niniejszym referacie zająć się bliżej najważniejszymi Jego pracami, opierając się głównie na Jego oryginalnych publikacjach, z których pozwalam sobie przytoczyć ważniejsze ustępy dosłownie lub w tłumaczeniu. Również wspomnienia z osobistej współpracy z Ignacym Mościckim, głównie z Fryburga, były tutaj pomocne. Rysunki w niniejszym artykule są odbitkami ze znajdujących się

⁴) Pierwsza strona w publikacji [I, str. 34].

⁵) Przegląd Elektrotechn. 1925, str.



Rycina 2.

Laboratorium Ignacego Mościckiego we Fryburgu (pracownia elektrochemiczna).

w odpowiednich publikacjach, wydawnictwach lub też ze zdjęć z natury. Pragnąłbym tą drogą zapoznać elektryków polskich nie tylko z zakresem i znaczeniem Jego prac, ale i ze sposobem ujmowania przez Niego zagadnień. Chcę przy tem spojrzeć na nie z punktu

terjałów, mogących wchodzić w rachubę jako dielektryk kondensatorów na takie napięcie, jakie mu było potrzebne (kilkadziesiąt tysięcy woltów), rozpoczął systematyczne studia przede wszystkim nad wytrzymałością szkła, które uważał jako najodpowiedniejszy wówczas materiał do wyrobu kondensatorów.

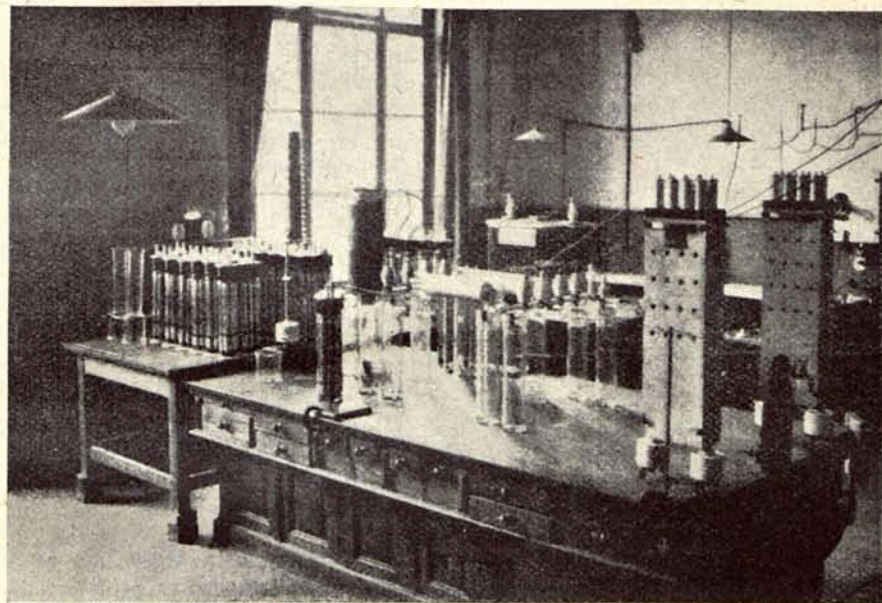
Wyniki Jego prac zostały ogłoszone w Rocznikach Akademii Umiejętności w Krakowie [I, II], a następnie w pismach obcych [III, IV], jako prace o kondensatorach wysokiego napięcia. Dotyczą one głównie dwóch kwestyj: wytrzymałości dielektryków i strat w nich. Są one pierwszymi tego rodzaju i najgruntowniejszymi w swoim czasie studjami nad wytrzymałością dielektryków i stratami w nich zachodzącymi. Ze względu na to, że prace te zachowały do dzisiejszego dnia swą wartość i znaczenie, a są polskim elektrykom mało znane,

podam je tutaj w obszerniejszym streszczeniu, przytaczając ważniejsze ustępy w brzmieniu dosłownem, przy zachowaniu stosowanej tam terminologii i znakownictwa.

1. Wytrzymałość dielektryków.

Cel i rodzaj badań. Podczas prób z płytkami o okładzinach stanjolinowych, mającymi służyć jako dielektryk kondensatora, Mościcki zauważył, że przebicie ich następowało z reguły na krawędzi okładzin i to przy napięciu znacznie niższym, niż pośrodku między nimi. To skłoniło go do bliższego zbadania tego zjawiska głównie pod względem zależności napięcia przebicia od grubości dielektryka, ażeby w ten sposób otrzymać pewne dane co do wytrzymałości kondensatorów, jakie zamierzał budować. Oto, jak pisze o tych badaniach [I, str. 34 — 36]:

„Poddając rozmaite dielektryki próbom pod względem ich wytrzymałości, przekonałem się, że płyty szklane, grubości 0,2 cm zwyczajnego szkła, obłożone z obu stron staniolem, tak, że naokoło okładki zostawał brzeg 5 cm szeroki, zanurzone w oleju izolacyjnym, zawsze zostawały przebite na brzegu okładki, chociaż nieraz szkło w środku było trochę cieńsze, jak na brzegu. W innych doświadczeniach używałem rurek szklanych, zatopionych w jednym końcu, o ściankach



Rycina 3.

Laboratorium Ignacego Mościckiego we Fryburgu (kondensatory).

widzenia ówczesnej epoki, porównując równocześnie poglądy i wyniki Jego prac z dzisiejszym stanem wiedzy.

Prace Mościckiego z techniki wysokich napięć zgrupujemy w 3 działy: 1. Dielektryki, 2. Kondensatory, 3. Przecięcia i ochronniki⁶⁾.

II. DIELEKTRYKI.

W czasie, kiedy Ignacy Mościcki rozpoczął studia nad kondensatorami wysokiego napięcia, sprawą wytrzymałości elektrycznej materiałów izolacyjnych zajmowano się niewiele. W periodycznej literaturze technicznej nie spotykamy się z systematycznymi badaniami w tej dziedzinie, ani też z wytłumaczeniem mechanizmu przebicia dielektryka pod działaniem pola elektrycznego. Praktyka elektrotechniczna posługiwała się wówczas napięciami sporadycznie tylko przekraczającymi kilkanaście tysięcy woltów, a więc granicą napięcie, przy której, naogół, zjawiska, zachodzące w materiale izolacyjnym pod wpływem znacznego naprężenia elektrycznego, zaczynają wpływać na wytrzymałość układu, w którym ten materiał pracuje.

Mościcki, nie ufając — zresztą słusznie — skąpom danym co do wytrzymałości ma-

⁶⁾ Inne prace z zakresu elektrotechniki będą przedmiotem późniejszego studjum.

0,03 cm grubości; wewnątrz były one wypełnione rtęcią a zewnątrz obłożone staniolem, tak, że pozostawał 20 cm szeroki pas między obłożeniem a brzegiem rurki. Rurki te, poddane działaniu prądów zmiennych o wysokim napięciu w powietrzu, okazywały naokoło zewnętrznej okładki świecący krąg, szczególnie świetnie występujący, gdy się pokój ściemniło. Przytem napięcia 24 000 Voltów jeszcze rurki takiej nie przebijały, podczas, gdy płyty szklane, wyżej wymienione, w oleju pękały, przy stosunkowo bardzo niskich napięciach.

Dwa te pozornie sprzeczne zjawiska tłómaczyłem sobie w sposób następujący: W pierwszym przypadku szyb zanurzonych w oleju, brzeg okładki jest dzięki dobrze izolującemu wpływowi oleju ostro ograniczony; na brzegu tym następuje zgęszczenie linii sił i powoduje przebicie właśnie tam, a nie w środku.

W drugim przypadku rurki znajdujące się w powietrzu, brzeg staniolu nie graniczy z warstwą izolacyjną, przeciwnie, około wolnej części rurki osadza się warstewka wilgoci, na którą rozszerza się wyładowanie elektryczne i wskutek braku wybitnego brzegu omija się owo niebezpieczne zgęszczenie linii sił. Na warstwie wilgoci następuje z powodu wielkiego oporu ohmicznego znaczny spadek napięcia, a tem samem zmniejszenie gęstości linii sił. Powolne to przejście tłómaczy zarazem, dlaczego rurka w powietrzu wytrzymywała tak wysokie napięcie. Dla stwierdzenia takiego, niedwuznacznego przypuszczenia poddawano te same rurki próbom w oleju izolacyjnym i wówczas pękały one już przy 8 000 i to zawsze na brzegu okładki.

W dalszym ciągu robiłem cały szereg doświadczeń z rurkami w formie próbek, przyczem jako wewnętrzną okładkę używałem zawsze rtęci. Nazewnątrz rurki obłożone były staniolem, ale brzeg był wzmocniony w ten sposób, że nawijano na szkło bardzo cienki pasek z miki i to stopniowo przechodząc do brzegu, powiększano grubość miki przez kilkakrotne nawijanie paska, tak, że najgrubsze miejsce znajdowało się na samym brzegu i przekraczało nawet trochę brzeg okładki. Sam brzeg był o 6 cm oddalony od otwartego końca rurki. Równocześnie wziąłem kilka rurek bez wzmocnienia mikowego i wszystkie, zanurzone w oleju izolacyjnym, kolejno próbowałem. Wynik był taki, jak przewidywałem: rurki bez wzmocnienia o ściankach grubości 0,03 cm pękały przy 8 000 Voltów na brzegu, a rurki tej samej grubości wzmocnione pękały przy 17 000 Voltów, ale również na brzegu, przyczem przebicie następowało przez mikę i szkło razem. Kiedy po kilkunastu próbach olej izolacyjny zanieczyścił się i zaczął trochę przewodzić, prze-

bicia następowały na górnym brzegu opaski mikowej przez samo szkło, a to ze względu na niedokładną izolację oleju, a z drugiej strony ze względu na to, że dielektryk w miejscu tem był znacznie słabszy, jak na brzegu staniolu.

Używając do wzmocnienia brzegów innych materiałów, jak miki, znalazłem, że materiał, który się używa do wzmocnienia, nie powinien mieć stałej dielektrycznej znacznie mniejszej od szkła, gdyż w przeciwnym razie tworzy się przejście zanadto ostre i wpływ brzegu znowu daje się odczuwać na początku zgrubienia pod okładką, gdzie też następuje przebicie w tym razie.

Do dalszych doświadczeń używałem rurek szklanych, które na przeważnej części swej długości miały ścianki bardzo cienkie, tylko końce górne były uformowane jako rurki węższe, ale o znacznie grubszych ściankach. W ten sposób można było zrobić bardzo powolne przejście zgrubienia, materiał zgrubienia zatrzymać ten sam co i rurki, a wreszcie wielkość zgrubienia mogła być dowolna. Dolne końce rurek były też wzmocnione i zatopione. Okładka sięgała brzegiem swym aż na część zgrubioną. Wynik doświadczeń z tymi rurkami był zupełnie zgodny z poprzednimi: podczas gdy rurkę o ściance 0,03 cm bez zgrubienia przebijało napięcie około 8 000 Voltów na brzegu okładki, to rurka o tej samej grubości ścianki, odpowiednio zgrubiona tak, żeby przebicie nastąpiło w środku, a nie na brzegu, wytrzymywała do 40 000 Voltów i dopiero przy tem napięciu pękała⁷⁾.

Celem bliższego zbadania tych zjawisk wykonano 2 serie pomiarów, które miały na celu ustalenie zależności napięcia przebicia od grubości dielektryka: 1) na krawędzi okładziny, 2) pośrodku okładzin. Pomiarów dokonano na trzech gatunkach szkła i na ebonicie. Jako szkła użyto: szkło czeskie, używane do próbek, szkło niealkaliczne fabryki Schotta w Jenie Nr. 477 III i szkło termometrowe barowo-krzemowe tej samej fabryki Nr. 59 III. Rurki szklane miały ścianki o grubości 0,20 do 2,70 mm stopniowane co parę setnych mm. Średnica rurek wahała się od kilku do dwudziestu kilku mm.

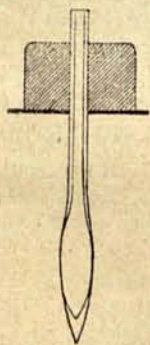
Napięcie probiercze zmieniano od 4 do 80 tysięcy woltów, zapomocą 2 transformatorów o mocy 10 i 3,5 KW⁷⁾, regulowanych opornikiem plynowym w sposób ciągły, bez skoków. Napięcie mierzono po stronie niskiego napięcia, co ze względu na bardzo małe obciążenie transformatora można uznać za dostatecznie dokładne, tembardziej, że wów-

⁷⁾ Naówczas oznaczano moc transformatora w KW, a nie w KVA.

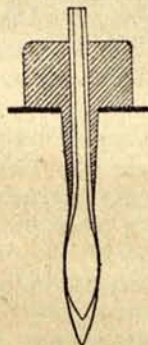
czas nie znano jeszcze dokładnych sposobów mierzenia napięcia wysokiego⁸⁾.

Przebiecie krawędziowe. „Do doświadczeń nad przebijaniem rur na brzegach okładek używano rurek szklanych z jednej strony zatopionych i ebonitowych, które przyrządzano przez wywiercenie sztab ebonitowych. Rurki szklane zewnątrz srebrzono mniej więcej na 1/3 długości, wewnątrz napełniano rtęcią. Rurka badana znajdowała się wewnątrz szerszego cylindra szklanego, napełnionego olejem izolacyjnym: u dołu walec był zatkany korkiem kauczukowym, przez który przechodził drut, doprowadzający prąd do zewnętrznej okładki; drut ten był przylutowany do opaski z cienkiej blaszki miedzianej, nasuniętej na posrebrzoną okładkę. U góry cylinder był przykryty płytką ebonitową, przez którą wystawał koniec rurki badanej; doprowadzenie prądu do wewnętrznej okładki rurki odbywało się przez proste zanurzenie drucika miedzianego w rtęć.

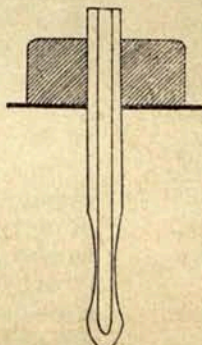
Same doświadczenia odbywały się w sposób następujący: zanim się zamknęło koło łącznikowe, powiększano opór w kole niskiego napięcia za pomocą reostatu i elektrolitu tak dalece, aby początkowe napięcie nie mogło przebić dielektryku; następnie zamykano koło i odczytywano napięcie. Natychmiast po odczytaniu przerywano prąd, zmniejszało się nieznacznie opór elektrolityczny, aby trochę podnieść napięcie i wówczas znowu zamykano koło, poczem odczytywano napięcia i natychmiastowo znów prąd przerywano



Rycina 4a.



Rycina 4b.

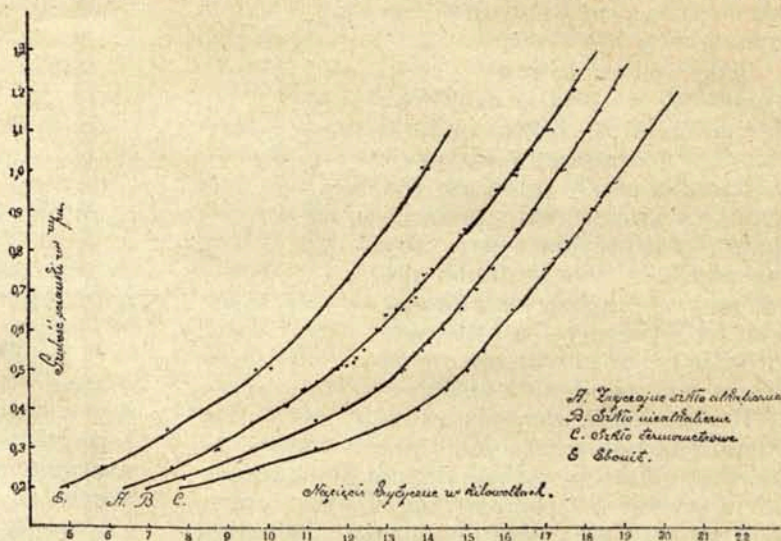


Rycina 4c.

i t. d. aż do przebicia. Im bardziej zbliżaliśmy się do napięcia krytycznego, przy któ-

⁸⁾ W pracy [I] czytamy: „Napięcie mierzono w kole niskiego napięcia dla uniknięcia niebezpieczeństwa, wynikającego ze zbyt wielkiego zbliżenia się do aparatów poddanych napięciom bardzo wysokim, dochodzącym do 80 000 V”.

rem można się było spodziewać przebicia, tem mniejsze zmiany braliśmy w oporze następujących doświadczeń, aby możliwie dokładnie chwycić napięcie szukane. Koło łącznikowe było zamknięte każdym razem tylko przez czas potrzebny do odczytania napięcia



Rycina 5.

aby zbyt długim działaniem prądu nie ogrzać rurki badanej i tym sposobem nie wpłynąć na jej wytrzymałość. Jako napięcie, odpowiadające przebicciu, notowaliśmy zawsze ostatnie odczytanie na woltometrze, gdyż podczas samego przebicia odczytywanie na aparacie było niemożliwe.

Po przebiciu mierzono grubość ścianki w miejscach sąsiadujących z punktem przebicia, przyczem jako grubość notowano najcieńsze, znalezione miejsce”.

Przebiecie wewnętrzne. „Dalszy szereg doświadczeń odnosi się do przebijania powierzchni na środku okładki. Rurki szklane, których używano do tych prób, sporządzono z rurek o grubszych ściankach, w jednym końcu zatopionych; rurki te ogrzewano w jednym miejscu i formowano w nich przez wydmuchiwanie i ciągnięcie sferyczne rozszerzenia o ściankach bardzo cienkich w porównaniu ze ściankami reszty rurki. Okładka zewnętrzna, polegająca znowu na srebrzeniu metodą Böttgera, sięgała aż na część rurki o grubszej ściance, aby sprowadzić przebiecie w środku, w miejscu, gdzie dielektryk był znacznie cieńszy. Przy wyższych napięciach stosunek grubości ścianek części górnej i środkowej był jeszcze niedostateczny, aby zapobiec przebicciu brzeżnemu i w tych wypadkach trzeba było szkło jeszcze wzmacniać masą izolacyjną z wosku ziemnego, kałafonium i wazeliny. Wzmocnienie to musiało być bardzo starannie wykonane, aby przejście

od szkła do masy było bardzo łagodne i powolne. Część okładki na masie izolacyjnej była wykonana ze staniolu. Doprowadzono prąd, jak przy poprzednich doświadczeniach, zapomocą opaski z blachy miedzianej, umieszczonej na zgrubionej części rurki z przyłutowanym drucikiem miedzianym.

Tak przygotowane rurki wsadzono w płytkę izolitową 15 cm^2 tak, że brzeg okładki wchodził dokładnie w otwór w izolicie. Na płycie zalewano występujący koniec rurki pierścieniem z masy izolacyjnej, aby uniemożliwić wyrównanie potencjałów między okładkami. Ryc. 6 i 7 (ryciny 4 a i 4b) wyobrażają rurki bez wzmocnienia i ze wzmocnieniem z masy.

Rurki ebonitowe były robione jak w poprzednich doświadczeniach przez wywiercanie sztab ebonitowych; następnie przez toczenie nazewnątrz tworzone zagłębienie, przez co formowało się znacznie cieńszą ściankę w środku rurki, jak to widać na ryc. 8 (rycina 4c). Okładki rurek ebonitowych były z rtęci.

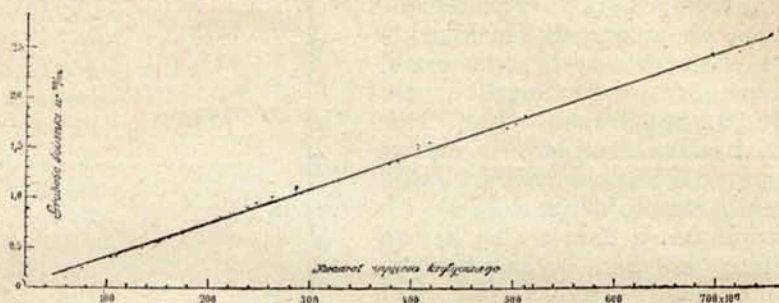
Wyniki pomiarów podane są na Ryc. 5, 6, 7.

Próby przy wielkiej częstotliwości. „Po wykonaniu doświadczeń z prądem przemiennym o 50 okresach na sekundę, ciekawem było, jak się dielektryki zachowują wobec znaczniejszej częstotliwości. Do badań tych była do dyspozycji maszyna Thuryego równobiegunowa, która przy 3 000 obrotów dawała 10 000 okresów na sekundę. Regulując odpowiednio liczbę obrotów motoru, można było otrzymywać odpowiednią częstość. Zbroja i induktory maszyny były stałe, a ruchomą tylko tarcza w formie dzwonu o 200 zębach. Zbroja miała 2 nawinięcia, które łączono w szereg aby równolegle mogły dawać prąd 8 Amperów przy 200 Voltach, względnie 16 Amperów przy 100 Voltach. Ponieważ do przebijania dielektryków musieliśmy używać napięć znacznie wyższych, więc trzeba było transformować prąd. Do tego celu służył nam transformator 2 KW 3-fazowy, który jako jednofazowy mógł dawać następujące stosunki przenośne: 180 : 1 200, 180 : 3 600 i 180 : 10 800.

Napięcie mierzono woltomierzem Hartmanna i Brauna w kole niskiego napięcia; regulowano napięcie reostatem korbowym Dra P. Mayera z Berlina. Do regulowania ilości obrotów motoru zmieniano prąd wzbudzący przez wstawianie w szereg z induktorem oporów dodatkowych.

Próby wykonywano z rurami urządzoneymi jak w poprzednich doświadczeniach do przebijań brzeżnych.

Doświadczenia te połączone z licznymi trudnościami i bardzo żmudne, bo trzeba było ciągle, oprócz odczytywania napięcia, regulować ilość obrotów, wykonaliśmy tylko w niewielkiej ilości tak, aby można było wyciągnąć jakieś wnioski. Zresztą i z tego wzglę-



Rycina 6.

du nastęrczały te pomiary niebezpieczeństwo, że przebicie izolacji w transformatorze mogło nastąpić przy wysokich napięciach w połączeniu ze znacznymi częstościami”.

Wyniki pomiarów podane są w następującej tabeli:

Grubość mm	Napięcie 50 p/s	8 — 9000 p/s
0,2	6 400	2 520
0,53	12 150	3 600
0,55	12 380	4 800
0,67	13 600	5 520

Inne próby. „Oprócz powyższych szeregów doświadczeń, wykonano jeszcze kilka odosobnionych eksperymentów, które rzucają dużo światła na całą kwestję badań.

a) Na rurce urządzonej zupełnie jak na ryc. 6 (rycina 4a) dobrze nazewnątrz posrebrzonej, zrobiono delikatną rysę na okładce; następnie umaczano ją w roztopionej masie izolacyjnej, przez co pokryła się cienką warstwą izolacyjną. Poddana próbie przebicia pękła przy 8 743 Voltach (50 okresów na sekundę) i to na brzegu rysy, gdzie szkło miało grubość 0,3 mm.

b) Taka sama rurka dobrze posrebrzona i również powleczone warstwą masy izolacyjnej, ale bez rysy na okładce, pękła przy napięciu 2 470 Voltów na środku obłożenia wobec grubości 0,175 mm.

c) Do rurki urządzonej jak na ryc. 6 (rycina 4a) ale nie posrebrzonej, przylepiono kroplę masy izolacyjnej na środek sferycznie rozszerzonej zewnętrznej powierzchni. Rurkę zanurzono w elektrolit, który stanowił zewnętrzną okładkę. Podczas próby rurka pękła przy napięciu 7 000 V na brzegu przylepionej kropli, gdzie grubość ścianki wynosiła 0,25 mm.

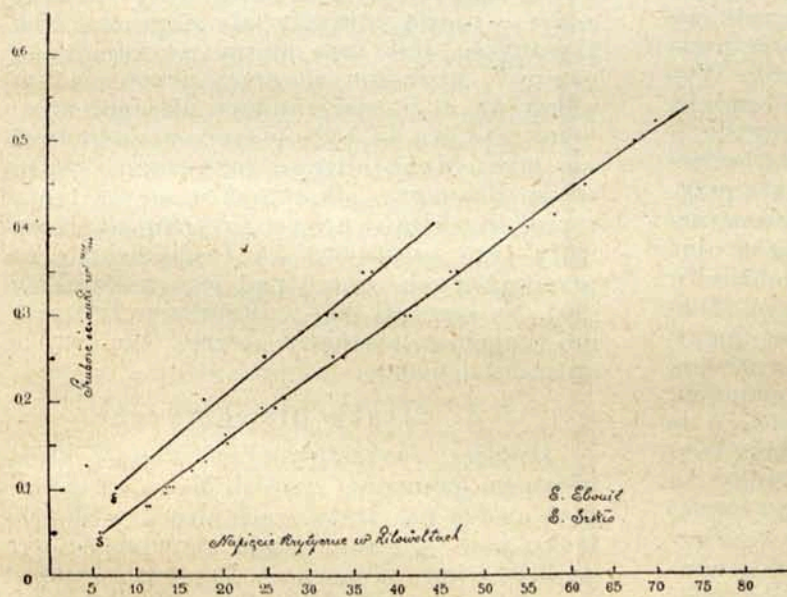
Wyniki pomiarów. Zestawmy jeszcze raz główne wnioski, do jakich doprowadziły nas doświadczenia.

1. Doświadczenie wykazało, że istnieją dwa odrębne rodzaje przebicia dielektryków: przebicie brzeżne i przebicie na środku okładki. Można obydwie te rodzaje przebicia badać oddzielnie i niezależnie.

2. Udowodniono doświadczalnie co do szkła i ebonitu, że przebicie na brzegu obłożenia następuje przy znacznie niższym napięciu, aniżeli na środku przy tej samej grubości dielektryku, o ile nie wchodzi w grę inne okoliczności, np. przewodnictwo powierzchni, które przedłuża okładkę poza oznaczony brzeg. Taki przypadek zachodzi w doświadczeniu, zaraz na początku wzmiankowanym, z próbą na wolnym powietrzu.

3. Z liczb, odpowiadających przebicciu na środku okładki w szkło i ebonicie, widzimy dokładną proporcjonalność między grubością dielektryku a napięciem krytycznym, co jeszcze lepiej uwidocznionem jest na diagramie prawie prostoliniowym.

4. W brzeżnych przebicjach dielektryków różnej grubości wzrasta grubość znacznie szybciej, aniżeli napięcie przebijające. Z diagramu przedstawionego na rycinie 5 poznajemy, że natomiast istnieje proporcjonalność między grubością dielektryku, a kwadratem napięcia krytycznego (rycina 7).



Rycina 7.

5. Doświadczenia z prądem przemienicznym o wysokiej częstotliwości 8 000 do 9 000 okresów na sekundę wykazały, przez porównanie z wynikami odnoszącymi się do tego samego gatunku szkła poddanego działaniu prądu przemennego o 50 okresach na sekundę, że napięcie potrzebne do przebiccia (w obu razach brzeżnego) dielektryku było znacznie niższe w razie wielkiej częstotliwości.

Wnioski zawarte w punktach 1 i 2 można

wytłómaczyć w ten sposób, używając znane metody przedstawiania zjawisk w polu elektrycznym zapomocą linii sił, że na brzegu okładki następuje znaczniejsze zgęszczenie linii sił, które ułatwia przebicie.

Również wyżej pod a) i c) przytoczone oddzielnie doświadczenia można wytłómaczyć działaniem ostrego brzegu na powierzchni okładki.

Wykazano doświadczeniem, że dielektryk można zawsze odpowiednio wzmocnić bez niebezpieczeństwa, aby przebicie nastąpiło na brzegu wzmocnienia, jeżeli wzmocnienie jest tak wykonane, że omija się utworzenia ostrego brzegu. Można to zawsze osiągnąć przez nieznaczne przejście od dielektryku zasadniczego do materiału wzmacniającego. Stopień delikatności takiego przejścia zależy od grubości dielektryku zasadniczego w danym miejscu i od stosunku stałej dielektrycznej materiału, mającego się wzmocnić, do stałej materiału wzmacniającego, a mianowicie im grubszy jest zasadniczy dielektryk w danym miejscu i im mniejszy jest stosunek stałych dielektrycznych, tem mniejszej delikatności potrzeba w przejściu, aby zadość uczynić wyżej wymienionym warunkom.

Jeżeli inni badacze przypuszczają, że stałe dielektryki w zetknięciu z olejami izolacyjnymi pogarszają swe własności dielektryczne, bo łatwiej podlegają przebicciu, to zjawisko należałoby raczej wytłómaczyć tworzeniem się ostrych brzegów okładek przy zetknięciu z olejem izolacyjnym, co ułatwia przebicie.

Wniosek wyprowadzony w punkcie 3, daje nam możliwość oznaczenia współczynnika wytrzymałości pewnego dielektryku niezależnie od jego grubości, przy warunkach ściśle zdefiniowanych. Powiadamy, przy „warunkach ściśle zdefiniowanych”, gdyż przebicie odbywa się w polu elektrycznym jednorodnym o równoległych liniach sił, więc wyniki zależą jedynie od częstotliwości prądu ładującego i od kształtu krzywej napięcia.

Z kolumny 4, tabl. V⁹⁾ co do zwyczajnego szkła widzimy np., że w tym gatunku szkła, przy użyciu prądów przemennych o 50 okresach na sekundę i formie krzywej napięcia, zbliżonej do sinusoidy, następuje przebicie wobec spadku potencjału, wynoszącego mniej więcej 130×10^4 V/cm.

Aby wytłómaczyć zjawisko stwierdzone w punkcie 4 naszych wniosków, że grubość

⁹⁾ P. oryg. [I].

dielektryku szybciej rośnie, aniżeli napięcie potrzebne do przebicia brzeźnego, rozważmy, co się dzieje z polem elektrycznym na brzegu okładki. Na brzegu pole nie jest już jednorodne, linie sił zbiegają od kierunku równoległego, a również powierzchnie ekwipotencjalne nie przebiegają równoległe do powierzchni okładek, ale ściągają się ku ostrym krawędziom, tworzącym brzeg okładki. Podczas kiedy w polu jednorodnym na środku okładki komórki energii, powstające przez przecięcie się linii sił z systemem powierzchni równego potencjału, nie zmieniają objętości w razie równej energii, jeżeli napięcie i grubość dielektryku zwiększymy proporcjonalnie w jednakowym stosunku, to całkiem inaczej ma się rzecz na brzegu okładki, gdzie powierzchnie ekwipotencjalne ściągają się ku brzegowi, przez co wzrasta spadek potencjału w częściach dielektryku, sąsiadujących z brzegiem okładki,

Wreszcie z punktu 5 widać, że przebicie zależy nie tylko od wielkości spadku potencjału, ale również od szybkości przesunięcia dielektrycznego¹⁰⁾.

Potwierdzenie wyników. Wnioski, wyciągnięte przez Ignacego Mościckiego z Jego prac nad wytrzymałością dielektryków, mają pierwszorzędne znaczenie zarówno dla konstrukcji układów izolacyjnych wysokiego napięcia, jak i dla studiów nad teorią przebicia materiałów izolacyjnych stałych. Wyniki, otrzymane przez Niego doświadczalnie, oraz wnioski, wysnute z nich często intuicyjnie, znalazły dopiero niedawno potwierdzenie ze strony teoretycznej. Ostatnie lata przyniosły kilka prób teoretycznego wytłumaczenia mechanizmu przebicia, które można ująć w 3 grupy zależnie od natury przebicia¹⁰⁾. Teoria przebicia czysto elektrycznego (Rogowski, Joffe) prowadzi do proporcjonalności między napięciem przebicia a grubością dielektryka. Przy przebicu czysto cieplnym zachodzi również taka proporcjonalność, o ile dielektryk jest zupełnie niejednorodny (Wagner); jeżeli zaś jest zupełnie jednorodny, to mamy paraboliczną zależność między napięciem a grubością, która przechodzi w zależność kwadratową przy bardzo małych grubościach (Rogowski). Wreszcie przejście między temi dwiema formami przebicia stanowi przebicie cieplno-elektryczne, gdzie zależność napięcia i grubości jest również pośrednia (Rogowski). Wszystkie te przypadki zostały dokładnie zbadane i znaleziono zgodność między teorią a doświadczeniem. Jako materiał doświadczalny dla pierwszej teorii służyły badania Mościckiego nad szkłem przy usunięciu działania krawędziowego. Ustanowione przez Niego prawa „proporcjonalności” zostały przez innych badaczy potwierdzone

co do szkła i ebonitu, a rozszerzone na porcelanę i mikę i przytoczone jako przykład czysto elektrycznego przebicia [29, 31, 32].

Wyjaśnienie zjawiska krawędziowego, rozróżnienie przebicia krawędziowego i wewnętrznego, stwierdzenie wpływu stałej dielektrycznej na to zjawisko, złagodzenie przebicia krawędziowego przez zwiększenie przewodności środowiska, otaczającego krawędź elektrody — wszystko to zawdzięczamy również Mościckiemu [28, 36, 38].

Zjawiskiem krawędziowym zajmowano się obszernie zwłaszcza w ostatnich latach, z uwagi na ważność tego zagadnienia przy konstrukcji układów izolacyjnych. Jedne z bardziej gruntownych prac teoretycznych i doświadczalnych w tej dziedzinie były studia prowadzone w Instytucie fizyczno-technicznym w Leningradzie pod kierunkiem prof. Joffego [31]. Na podstawie teorii jonizacyjnej Semenoff i Walther znajdują, że zależność między napięciem a grubością jest przy przebicu krawędziowym paraboliczna, co — jak piszą — „zostało już dawniej potwierdzone doświadczalnie przez różnych badaczy” (Mościcki) [32]. Przebicie zaś samo uważają jako przebieg czysto elektryczny.

W omawianej tutaj pracy Mościckiego [I] znajdujemy po raz pierwszy — jak się zdaje — ujęcie energetyczne naprężeń elektrycznych. Jest tam mowa o „komórkach energii”, utworzonych przez przecięcie linii polowych z powierzchniami ekwipotencjalnymi. Sprawa ta była później niejednokrotnie przez Mościckiego rozważana i wysuwana. Rozmowy, jakie miał on na ten temat z prof. Kuhlmannem z Zurychu, naprowadziły tego ostatniego na teorię izolatorów przepustowych, znaną pod jego nazwiskiem [26]. Na szczegól ten, w literaturze technicznej zupełnie nieznaną, warto tu zwrócić szczególną uwagę.

2. Straty dielektryczne.

Badając wszechstronnie kondensatory własnego pomysłu, zwrócił Mościcki również uwagę na straty, zachodzące w dielektryku pod wpływem prądu zmiennego i powodujące jego ogrzewanie. Ponieważ dane co do wielkości tych strat dla szkła były niepewne i, zdaniem Jego, za duże¹¹⁾ — przeprowadził systematyczne studia nad tem i ogłosił, wspólnie z inż. M. Altenbergiem, ich rezultaty w Rocznikach Akademii Umiejętności 1904 r. w pracy p. t. „O stratach dielektrycznych w kondensatorach pod wpływem prądów przemiennych”. [II].

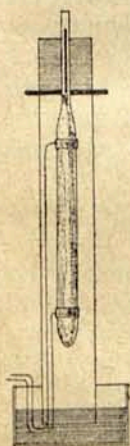
W tej pracy zwrócono — bodaj po raz pierwszy — uwagę na konieczność badania stratności dielektryka w warunkach jego nor-

¹⁰⁾ Por. m. in. [29, 32, 33].

¹¹⁾ Np. Lombardi podawał je na 8% (ETZ. 1899, str. 714).

malnej pracy, t. j., w tym przypadku, przy dużym napięciu elektrycznym, jakiemu poddawane są zwykle kondensatory. Umożliwione to zostało przez zastosowanie odpowiednio wysokiego napięcia oraz obiektów, wytrzymujących takie napięcie. Do prób używane były mianowicie kondensatory walcowe ze szkła pomysłu Mościckiego o zgrubionych ściankach przy brzegu okładziny. Napięcie podczas prób dochodziło do 380 kV na cm.

Metoda pomiaru. Metody, stosowane podówczas do pomiaru strat dielektrycznych przy wysokim napięciu, były dosyć prymitywne i stosunkowo mało dokładne. Główna trudność leżała w braku odpowiednich mierników mocy rzeczywistej przy bardzo dużych przesunięciach fazy, jakie występują właśnie w dielektrykach. Metody, którymi się dziś przy takich pomiarach posługujemy, bardzo dokładnie i wygodnie (Scheringa, Barbagelaty i Emanuelego i in.), nie były wtedy jeszcze znane. Autorzy zastosowali metodę oryginalną, którą możnaby nazwać „metodą podstawienia”, przy której w bardzo pomysłowy sposób wyzyskano rurowy kształt kondensatora systemu Mościckiego, służącego jako obiekt badany. Metoda polegała na pomiarze podwójnym: raz mocy pozornej w obwodzie prądu zmiennego, zasilającego kondensator, a następnie — mocy (rzeczywistej) w obwodzie prądu stałego, przepływającego przez okładzinę tego samego kondensatora i wytwarzającego taką samą ilość ciepła, jaka została wytworzona w jego dielektryku przez prąd zmienny. Moc pozorną, doprowadzoną do kondensatora, mierzono woltomierzem po stronie niskiego napięcia transformatora zasilającego kondensator i amperomierzem w obwodzie wysokiego napięcia. Aby wyznaczyć moc rzeczywistą, zużytą w dielektryku, włączano okładzinę zewnętrzną kondensatora w obwód prądu stałego i mierzono odpowiedni prąd i spadek napięcia na niej. Można to było uskutecznić właśnie dzięki temu, że okładzina zewnętrzna kondensatora (powłoka srebrna) tworzy niejako opornik w kształcie rurki o cienkich ściankach. Temperaturę mierzono termometrem, umieszczonym w rtęci, stanowiącej okładzinę wewnętrzną kondensatora. Cały kondensator umieszczony był w rurce szklanej, zamkniętej z obu stron (ryc. 8). Pod prądem zmiennym pozostawał on przez kilka minut.



Rycina 8.

Ten sposób zastosowano w przypuszczeniu, że „ciepło, wytwarzające się w szkłe, prawie całe udzielało się rtęci, zwłaszcza wobec

krótkiego czasu trwania spostrzeżenia i małej zwyczajnej temperatury”¹²⁾.

W pracy położono duży nacisk na usunięcie wpływów postronnych, mogących zepsuć wyniki pomiarów. Przedewszystkiem dzięki charakterystycznej budowie kondensatora można było wyeliminować wpływ naokoło dielektryku tak, że pomiar dawał jedynie straty dielektryczne.

Pomiary wykonano: 1) prądem zmiennym 50 p/s, przy napięciu od 2 do 12 kV; 2) prądem średniej częstotliwości z prądnicy do 10 000 p/s przy 500 do 1 500 V; 3) prądem o dużej częstotliwości w obwodzie oscylacyjnym; 4) prądem stałym celem wyznaczenia strat z przewodności skrośnej dielektryku, za pomocą maszyny elektrostatycznej, przy napięciu ok. 25 000 V. Pomiary przeprowadzono na trzech kondensatorach walcowych o czynnej długości 300 mm, grubości ścianki 0,29, 0,32, 0,48 mm i średnicy 15, 14, 17 mm.

Wyniki pomiarów. Praca kończy się następującymi wnioskami, wyciągniętymi z wyników, podanych w formie tabel:

„Porównyując wyniki pomiarów, któreśmy wyżej podali, możemy wyciągnąć z nich następujących pięć wniosków:

1) Zestawiając straty procentowe w stosunku do pozornej energii (mocy) ($2\pi f V^2 C$), przepuszczonej przez kondensator, znajdujemy, że straty te wobec stałej częstości i pewnej grubości szkła nie są jednakowe przy wzrastającym napięciu, przeciwnie wzrastają one razem z napięciem. Z tego wynika, że całkowite straty ($2\pi f V^2 C \cos \varphi$) w danym kondensatorze nie mogą być proporcjonalne ani do kwadratu napięcia, jak przyjmuje Steinmetz, ani do żadnej potęgi o wykładniku mniejszym od 2, jak przyjmuje Arno (1,6), Threfall (1,5—1,96), ale tylko do napięcia w potęgze o wykładniku większym niż 2.

2) Wobec tego samego gatunku szkła, przy stałym napięciu i stałej częstości, a rozmaitej grubości dielektryku, straty procentowe maleją wobec wzrastającej grubości, według prawa narazie nieznanego. Łącząc dwa te punkty, możemy powiedzieć, że przy rosnącym spadku potencjału V straty procentowe również wzrastają.

3) Przy stałym napięciu i pewnej grubości szkła wzrastają procentowe straty z rosnącą częstością.

4) Wykazano, że całkowite straty dielektryczne w szkłe czeskim, gatunku używanego na probówki, przy prądzie przemienym o częstości 50 okresów na sekundę i przy spadku potencjału mniejszym od 250 000, są mniejsze niż 1% pozornej energii przepuszczonej przez kondensator.

¹²⁾ [II] str. 58.

5) Stwierdzonem zostało, że straty w dielektrykach szklanych pochodzą tylko w bardzo małej mierze z przewodnictwa tak, że z całkowitych strat tylko około 2% pochodzi z tego źródła.

Za główne źródło strat trzeba uważać deformacje, zachodzące wewnątrz dielektryku przy zmiennem polu elektrycznem.

Z 3-go wniosku wyżej postawionego wiadać, że straty zależą nie tylko od spadku potencjału, ale również od częstości, a więc od szybkości, z jaką odbywają się w polu przesunięcia dielektryczne.

Biorąc na uwagę wyniki, do których doszliśmy, i przypuszczenia wyżej sformułowane, że straty procentowe są stałe wobec stałego $\frac{V}{\delta}$, moglibyśmy ustawić następującą ogólną formułę matematyczną procentowych strat:

$$100 \cos \varphi = k \left(\frac{V}{\delta} \right)^{\alpha} \cdot f^{\beta} \quad (1)$$

W tej formule k jest współczynnikiem proporcjonalności; V , δ , f mają to samo znaczenie co dotychczas; α i β są to wykładniki, co do których nie możemy na podstawie naszych doświadczeń nawet powiedzieć, czy są stałe przy różnych wartościach $\left(\frac{V}{\delta} \right)$; tyle tylko napewno można twierdzić, że są większe od zera, a mniejsze od jedności¹³⁾.

Z tego wzoru otrzymamy, po podstawieniu do wzoru $W = 2 \pi f C V^2 \cos \varphi$ wartości na C i $\cos \varphi$, wzór na całkowite straty w dielektryku w postaci:

$$W = K \delta \left(\frac{V}{\delta} \right)^{2+\alpha} \cdot f^{1+\beta} \quad (3)$$

gdzie $K = \frac{k_1 k S}{200}$ jest nowym współczynnikiem proporcjonalności, a α i β mają zupełnie to samo znaczenie, co w formule (1).

Formuła (3) jest trochę odmienna od ustalonej przez Steinmetza¹³⁾, który przyjmuje

$$W = K V^2 f \quad (4)$$

Z czegoby wynikało, że procentowe straty w jednym i tym samym dielektryku są stałe, bez względu na zmianę potencjału i częstości. Tymczasem na podstawie naszych doświadczeń, dzięki metodzie dokładniejszej, można przynajmniej co do szkła twierdzić, że straty te rosną przy zwiększającym się spadku potencjału V i przy zwiększającej się częstotliwości¹⁴⁾.

Uwagi. Praca Mościckiego i Altenberga o stratach dielektrycznych, jakkolwiek umieszczona równocześnie z pracą o wy-

trzymałości dielektryku zarówno w polskim języku [II], jak w obcych [III, IV], jest mniej znana i mniej przytaczana [6, 33]. Straty w dielektrykach interesowały oddawna i interesują obecnie zarówno fizyków, jak elektryków. Wśród elektryków Mościcki był jednym z pierwszych, który doświadczalnie wykazał, że wzór Steinmetza na straty, powszechnie wówczas stosowany, wymaga poprawek, że straty dielektryczne, nawet dla materiału tak jednolitego, jak szkło, rosną prędzej, niż kwadrat napięcia. Wiemy obecnie, jak wielkie znaczenie dla oceny dobroci kabla ma to zjawisko w odniesieniu do izolacji kablowej.

Kwestja zależności strat od natężenia pola interesuje przede wszystkim fizyków, szukających potwierdzenia doświadczalnego dla teorii strat, które przypisywane są dzisiaj zjawisku absorpcji dielektrycznej. Teoria absorpcji prowadzi — według L. B. Whiteheada — do zależności strat od kwadratu natężenia pola. Tymczasem różni obserwatorzy znajdują, że wykładnik potęgowy natężenia pola waha się w granicach 1,3 do 2,7; największa liczba obserwacji zmierza ku wartości 2. Według Whiteheada trudno jest objaśnić wykładniki mniejsze od 2, natomiast łatwiej jest to uczynić dla większych od 2. Do tych właśnie obserwacji należą wyniki prac Mościckiego i Altenberga, którzy straty dielektryczne przypisują „deformacji” (absorpcji?) dielektryka, nie wypowiadając się za pojęciem histerezy dielektrycznej, wtedy naogół wysuwanej, a dzisiaj już zarzuconej [por. 38].

Prace Ignacego Mościckiego nad dielektrykami, które tutaj przytoczyliśmy w obszerniejszych wyjątkach, zachowały znaczenie do dnia dzisiejszego. Świadczy o tem fakt, że w literaturze naukowej ostatnich lat spotykamy się często z powoływaniem się na te prace.

Z licznych artykułów i książek, w których można znaleźć potwierdzenie tego, przytoczone są niektóre z odpowiedniami cytatami w rozdz. VI.

III. KONDENSATORY.

Brak technicznie pewnych kondensatorów wytrzymujących napięcie wyższe, niż 10 000 woltów, spowodował Ignacego Mościckiego do bliższego zajęcia się budową tych przyrządów. Uważane za najlepsze wówczas kondensatory parafinowe systemu Lombardiego¹⁴⁾, nie mogły pracować trwale nawet pod napięciem kilku tysięcy woltów. Pierwsze próby materiałów na kondensatory skierowały Mościckiego do wyboru szkła, jako dielektryka. Podczas metodycznych badań nad wytrzy-

¹³⁾ C. P. Steinmetz. Theorie u. Berechnung der Wechselstromerscheinungen (przekł. z angielsk. str. 161).

¹⁴⁾ ETZ, 1899, str. 714

małością i stratami szkła, o których była mowa powyżej, stwierdził On, że przebicie płyty szklanej następuje prawie zawsze na kraju okładziny i że ochłodzenie takiej płyty, nagrzananej skutkiem strat dielektrycznych, jest trudne. To naprowadziło Go na myśl, aby pogrubić dielektryk w miejscu, gdzie jest krawędź okładziny, i przez to otrzymać znacznie większą wytrzymałość kondensatora na przebicie.

Ze względów technicznych były trudności, z zastosowaniem tego do płyt, wybrał przeto kształt rurowy — jako najodpowiedniejszy do budowy kondensatorów na wysokie napięcie. Kondensatory Jego pomysłu są przeto w postaci rury o cienkiej ściance, zatopionej u dołu, a zaopatrzonej u góry szyjką o ściance grubszej. Okładziny kondensatora sięgają aż do szyjki. Kondensatory takie mają więc wytrzymałość wszędzie taką, jaka byłaby, gdyby ścianki rurki były tak grube, jak ścianka szyjki, pojemność ich zaś jest uwarunkowana grubością ścianki rury. Ponieważ tę grubość można doprowadzić do możliwie małych wymiarów, pojemność kondensatora jest stosunkowo znaczna. Okładzina musi przylegać ściśle do szkła, nie może być między nimi bąbli, obcych ciał i t. d., które — jak wykazuje Mościcki — mogą spowodować nadmierne naprężenia lokalne dielektryka. Osiąga on to zapomocą osadzenia drogą chemiczną na szkło srebra jako okładziny. Kształt rurowy właśnie nadaje się do tego bardzo dobrze.

Budowa. Kondensator Mościckiego jest to więc rura szklana, 40 lub 60 mm średnicy, na jednym końcu zatopiona, a na drugim wydłużona w szyję o mniejszej średnicy, niż sama rura (rycina 9). Grubość ścianki rury — 1,5 lub 2,2 mm, a ścianki szyjki — 7 lub 10 mm. Długość czynna rury — 400, 800

lub 1 200 mm; długość szyjki — kilkanaście cm. Wewnątrz i zewnątrz rura powleczone jest chemicznie (spos. Böttgera) cieniutką warstwą srebra. Okładzina zewnętrzna pokryta jest ponadto warstwą miedzi, aby ją ochronić od skażenia. Najmniejsza bowiem rysa — jak to było wzmiankowane w rozdziale I — wywołać może działanie krawędziowe i w konsekwencji wcześniejsze przebicie. Rura szklana wstawiona jest do osłony miedzianej lub żelaznej (rycina 10), nieco szerszej od niej i napelnionej wodą, zmieszaną z gliceryną, aby zapobiec zamarzaniu. W ten sposób kondensator jest doskonale chłodzony: płyn pochłania ciepło wywiązujące się i przewodzi do blachy, która jest poczerniona celem ułatwienia promieniowania. Uszczelnienie rury szklanej względem osłony — za pomocą pierścienia kauczukowego. Okładzina wewnętrzna wyprowadzona jest do zacisku, umieszczonego w górnej części rury, zewnętrzna zaś — do zacisku dolnego, połączonego z osłoną. Izolację między obiema okładzinami stanowi karbowany izolator przepustowy. Rycina 11 przedstawia gotowe ogniwo kondensatorowe.

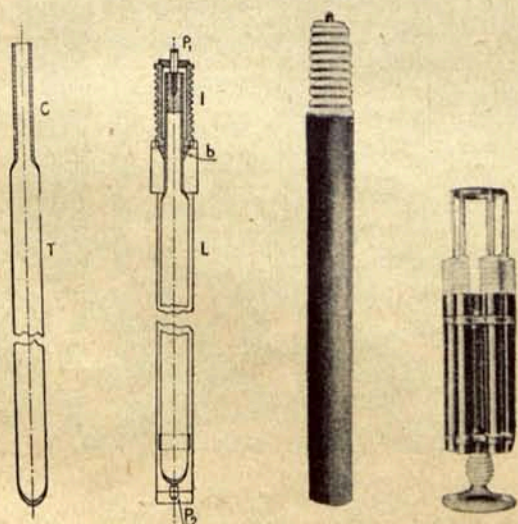
Kilka lub więcej takich ogniw, osadzonych w ramie metalowej i połączonych równolegle, stanowią baterję kondensatorów (ryciny 12 i 13). Okładziny zewnętrzne są połączone ze sobą zapomocą pasków metalowych lub kabłąków, osadzonych na bezpiecznikach topikowych w kształcie rurki. Każde ogniwo posiada taki bezpiecznik, mający je ochraniać w razie nadmiernych prądów. Okładziny zewnętrzne łączą się między sobą zapomocą ramy, na której spoczywają osłony kondensatorów.

Ogniwa kondensatorowe wyrabiane były początkowo na napięcie 10 lub 15 kV i próbowane napięciem 2,5 do 3 razy większym. Następnie — po udoskonaleniu fabrykacji — podwyższono napięcie nominalne jednego ogniwa i jako takie przyjęto 12, 18 25 i 35 kV (skut.). Pierwsze dwa typy miały średnicę 40 mm, a grubość ścianki 1,5 mm, drugie dwa — 60 mm i 2,2 mm. Kondensatory, używane do prądów szybkozmiennych, mają napięcia nominalne 25 i 50 kV (maks.). Pojemność jednego ogniwa zależna jest oczywiście od wymiarów okładziny i grubości ścianki. Wynosi ona np.

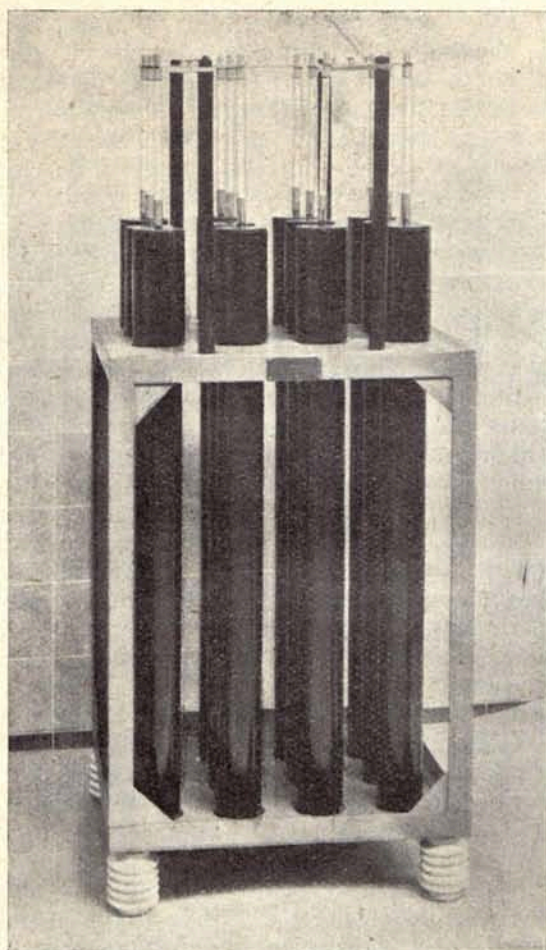
dla typu 400/40, 18 kV — 0,0015 do 0,0018 pF
dla typu 800/60, 35 kV — 0,0030 do 0,0035 pF

Baterje kondensatorów budowano w pięciu typach: laboratoryjne (rycina 12), przemysłowe małe, przemysłowe wielkie (rycina 13), do wielkiej częstotliwości (ryciny 14 i 15) i do wyrównywania fazowego.

W ten sposób powstał typ kondensatora Mościckiego, charakterystyczny zarówno co do wyglądu ogniwa, jak całej baterji. Sko-



Rycina 9. Rycina 10. Rycina 11. Rycina 12.



Rycina 13.

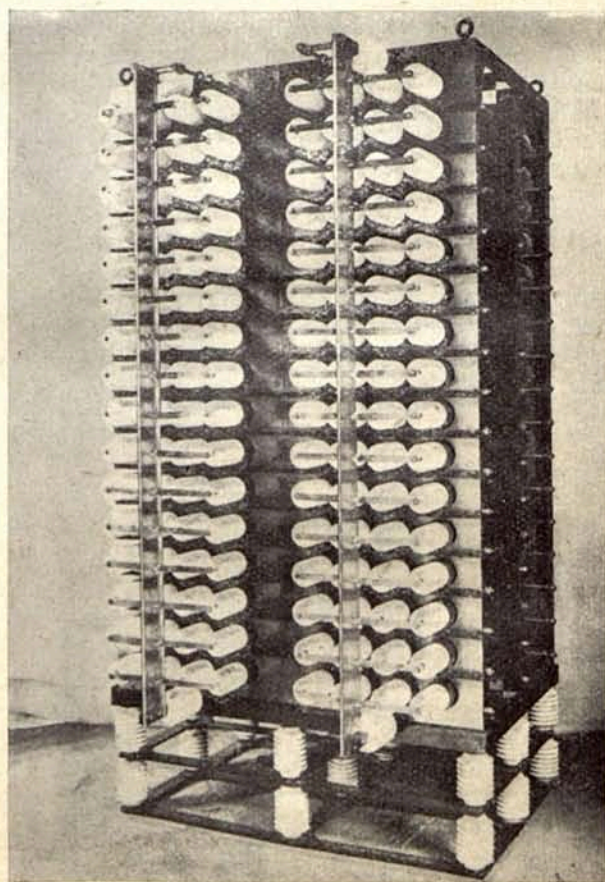
Bateria kondensatorów przemysłowych.

ro pierwsze próby z temi kondensatorami dały jaknajlepsze wyniki, powstała we Fryburgu (1904 r.) fabryka założona przez Dr. Jana Modzelewskiego¹⁵⁾, wychowanka Uniwersytetu Fryburskiego, który uzyskał doktorat z fizyki na tymże Uniwersytecie, na podstawie pracy, wykonanej pod kierunkiem Mościckiego [8]. Fabryka ta nazwana początkowo nazwą „Fabrique des Condensateurs I. de Modzelewski, Fribourg”, została zamieniona następnie na spółkę akcyjną p. f. „Société Générale des Condensateurs électriques, Fribourg”. Oprócz kondensatorów wyrabiała ona różne przyrządy elektrotechniczne, głównie do celów ochrony sieci od przepięć. Istnieje ona do dzisiejszego dnia, zajmując się głównie wytwarzaniem podobnych przyrządów i urządzeń jak dawniej. Jako kondensatory wyrabia się obecnie przeważnie kondensatory papierowe i cellonowe.

Pierwsze wiadomości o kondensatorze Mościckiego podał On sam we wzmiankowanych wyżej publikacjach [I, II, III, IV]. W literaturze obcej zwłaszcza publikacja w

Elektrot. Zeitschrift [III] jest dobrze znana i zwykle podawana jako źródłowa. Niemal wszędzie, gdzie jest mowa o kondensatorach, jest powołanie się na tę pracę (por. wykaz literatury w rozdz. VI). W polskiej literaturze technicznej pisał o nich autor niniejszego referatu w Czasopiśmie Technicznym (1907) [7], i referował na V Zjeździe Techników polskich we Lwowie (1910 r.) [11].

Zastosowanie. Kondensatory Mościckiego znalazły wkrótce uznanie świata elektrotechnicznego i były uważane, jako najlepsze tam, gdzie urządzenie, w skład którego wchodzi, pracuje trwale pod wysokim napięciem. Jeżeli zważymy, że w okresie, kiedy te kondensatory się pojawiły, największe napięcie robocze urządzenia elektrycznego nie przekraczało 40 kV, a one właśnie mogły pracować przy napięciach tego rzędu i że w ciągu kilkunastu lat potrafiły zachować przodujące stanowisko wśród innych rodzajów kondensatorów, to w całej pełni okaże się doniosłość pomysłu Mościckiego. Słusznie więc, że te kondensatory noszą imię tego, który dzięki systematycznym badaniom i intuicji naukowej potrafił rozwiązać problem budowy kondensatora wysokiego napięcia.



Rycina 14.

Bateria kondensatorów do stacji radiotelegraficznej na wieży Eiffla w Paryżu.

¹⁵⁾ Obecnie Poseł R. P. w Bernie Szwajcarskiem.

Dzięki oczywistym zaletom, kondensatory znalazły w krótkim czasie szerokie zastosowanie i rozpowszechnienie, zwłaszcza w dziedzinie ochrony sieci elektrycznych od przepięć i w radjotelegrafji. Poza tem stosowano je do wyrównywania przesunięcia fazy w sieciach o dużym obciążeniu indukcyjnym, do stwarzania sztucznej fazy przy rozruchu silników jednofazowych, do wygładzania wyprostowanych prądów w urządzeniach rentgenowskich i t. d.

Wszystkie te zastosowania, ich działanie, potrzebne urządzenia i t. d. zostały przemysłane przez samego wynalazcę lub pod Jego kierunkiem. Niejedno z tych zagadnień zostało umożliwione na większą skalę dopiero dzięki tym kondensatorom, które — jedyne w swoim czasie — wytrzymały tak wyso-

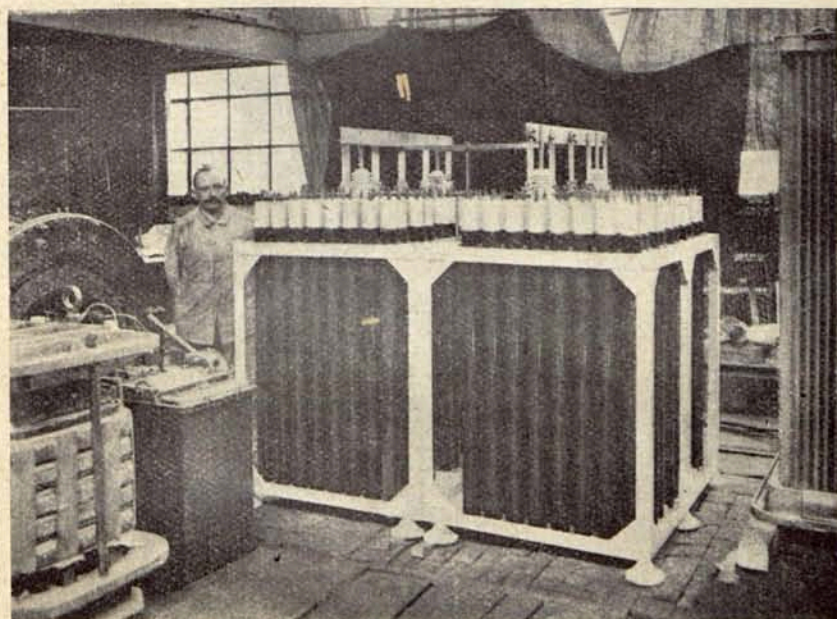
do ich wynalezienia, t. j. szkło, a więc materiał łatwo tłukący się. Skoro więc wyrób kondensatorów papierowych¹⁶⁾ doszedł do dużego stopnia doskonałości, musiały one, jako bardziej odporne mechanicznie, osiągnąć przewagę nad szklanymi.

IV. PRZEPIĘCIA I OCHRONNIKI.

Podczas studiów nad zastosowaniem wyładowań elektrycznych w obwodzie oscylacyjnym do wytwarzania kwasu azotowego z powietrza, zwrócił Mościcki uwagę na pewne analogie zjawisk, zachodzących w takim obwodzie, i wyładowań atmosferycznych w postaci piorunów.

Według poglądów, powszechnie panujących podówczas, piorun miał być zjawiskiem wyładowania o bardzo wielkiej częstotliwości i bardzo wysokim napięciu. Skutkiem tego wyładowania powstaje w przewodach elektrycznych, przebiegających w pobliżu, prąd indukowany o takiej samej częstotliwości i odpowiednio wysokim napięciu. Czas trwania wyładowania piorunowego jest bardzo krótki, wynoszący ułamek sekundy, skutkiem tego prąd, indukowany w przewodach, trwa również bardzo krótko tak, że natężenie jego, aczkolwiek bardzo wielkie, nie sprawia skutków cieplnych. Wysokie napięcie, towarzyszące temu zjawisku, powoduje przepięcia zagrażające izolacji urządzenia elektrycznego.

Były to więc — podług dzisiejszych poglądów — przepięcia piorunowe pośrednie, które zjawiają się na przewodach skutkiem uderzenia pioruna w ich pobliżu. Przeciwno takim wyładowaniom skierowane były wysiłki ówczesnej techniki wysokich napięć. Wobec uderzeń bezpośrednich stała ona jeszcze bezradnie. Wyładowania atmosferyczne statyczne, pojawiające się również w sieciach, były mniej groźne; odprowadzano je do ziemi najchętniej zapomocą oporników z wody tryskającej. Jako ochrona od przepięć atmosferycznych stosowane były powszechnie ochronniki iskrowe, pojedyncze (różki) lub



Rycina 15.
Bateria kondensatorów do radjotelegrafji.

kie napięcie, jakie było potrzebne. Zwłaszcza sprawa, dotycząca ochrony sieci elektrycznych, była przedmiotem szczególnego zainteresowania się i specjalnych studiów Mościckiego. O tem będzie obszerniej mowa w następnym rozdziale.

Zastosowanie kondensatorów Mościckiego w radjotelegrafji zostało — rzecz można — uwieńczone na radjostacji w wieży Eifla w Paryżu, gdzie zainstalowano baterję kondensatorów o pojemności 0,8 μ F, pracującą pod napięciem 110 kV (rycina 14). Bateria ta służyła przez cały czas wojny światowej. Piszący te słowa oglądał ją tam jeszcze po wojnie.

Obecnie kondensatory Mościckiego nie mają już tego znaczenia, co w ciągu 1905 do 1920. Niestety ich słabą stroną jest właśnie dielektryk, nad którym studja doprowadziły

¹⁶⁾ W niedługim czasie po kondensatorach szklanych Mościckiego pojawiły się kondensatory papierowe Fischera, wyrabiane przez Meirowsky'ego w Porz (Niemcy) (ETZ, 1909, str. 601). Papier nasycony żywicą, ustępował narazie szklui. Po zastosowaniu bakelitu do nasycania papieru (ok. 1925 r.), kondensatory tego rodzaju mogą pracować przy napięciu ponad 100 KV, czego kondensatory szklane nie osiągnęły.

wielokrotne (krażki). Z tych zwłaszcza pierwsze były najwięcej rozpowszechnione. Dopóki napięcia linii przesyłowych nie przekraczały kilku czy kilkunastu tysięcy voltów, powyższe ochronniki naogół wystarczały. Przy napięciach wyższych zaczęły się pojawiać jednak coraz częściej uszkodzenia, mimo istnienia w nich ochronników. To spowodowało zarówno sfery naukowe jak techniczne do studiów nad zjawiskami przebieg i nad ochroną przed nimi.

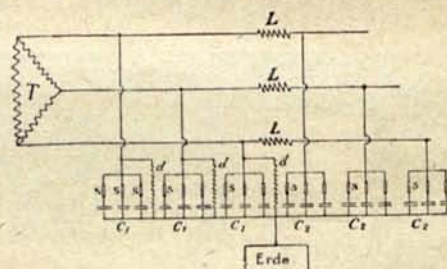
Jest rzeczą charakterystyczną dla ówczesnego stanu techniki wysokich napięć, że poprawy ochrony przeciwprzebiegowej szukano w ulepszaniu starych systemów, a nie sięgnięto do nowych. Przyczynił się do tego w dużym stopniu brak przyrządów i urządzeń, zapomocą których można byłoby badać przyczynę i istotę zjawisk przebiegowych, oraz brak naukowego oświetlenia przebiegów, rozgrywających się w liniach elektrycznych, skutkiem zakłócenia ich stanu ustalonego czy to z przyczyn zewnętrznych, np. atmosferycznych, czy też wewnętrznych, np. łączeniowych. Pewną rolę odegrały również względy praktyczne, mające źródło w nastawieniu większych fabryk na produkcję ochronników własnego systemu.

Kondensatory jako ochronniki.

Pierwszym bodaj, który zwrócił uwagę w innym kierunku, aniżeli ten, w jaki szła ówczesna technika przeciwprzebiegowa, był Mościcki. Zetknąwszy się na miejscu, t. j. we Fryburgu, z troskami, jakie miała elektrownia wodna w Hauterive, zasilająca miasto (i laboratorium, w którym pracował), z sieci 8 000 V, i pracując jednocześnie nad kondensatorami i wyładowaniami elektrycznymi, Mościcki, dzięki wrodzonej intuicji technicznej, szybko zorientował się w nowym problemie i powiązał go — nader szczęśliwie — z tamtymi. Tak powstała nowa dziedzina. Jego zainteresowań, w której okazał się pierwszorzędnym mistrzem. Do wiadomości świata technicznego Mościcki podał wyniki swych prac na zjeździe elektryków szwajcarskich we Fryburgu we wrześniu 1905 r., a więc w rok po publikacji w ETZ o kondensatorach, a następnie ogłosił drukiem w Schweiz. ETZ, w 1905 i 1906 r. [VI, VIII], w Lumière électr. 1905 [VII], oraz w wydawnictwach technicznych fabryki kondensatorów [IX]. Zanim doszedł On do skrytalizowania wyników, niżej podanych, oparł się na doświadczeniach, które miały imitować przebiegi atmosferyczne i indukowane w przewodach i pozwoliły zbadać wpływ kondensatorów na nie. Z pośród licznych doświadczeń przytoczymy tu jedno (por. [VIII]). Polegało ono na wytwarzaniu prądów oscylacyjnych o napięciu ok. 60 KV w przewodach o napięciu (roboczym) 9 KV

i normalnej częstotliwości. Jako ochronę stosował cewki, włączone w przewody, i kondensatory, włączone między przewody i ziemię [VIII, ryc. 9]. Przez odpowiedni dobór tych elementów, a zwłaszcza kondensatorów otrzymywał On w przewodach stan tego rodzaju, że poza tym układem ochronnym napięcie prawie nie przekraczało wartości roboczej. Miało to świadczyć o skuteczności działania takiego układu wobec prądów szybkozmiennych, zagrażających izolacji urządzenia.

Układ ochronny Mościckiego. Na podstawie tych doświadczeń opracował Mościcki układ ochronny, którego zasada przedstawiona jest na rycinie 16. Oto co czytamy o tem w publikacji [VIII]:



Rycina 16.

„T przedstawia jakiekolwiek urządzenie trójfazowe (elektrownia, silnik, transformator), mające być ochraniane przed zaburzeniami atmosferycznymi, nadechodzącymi z linii napowietrznej.

W każdym z trzech przewodów włączona jest odpowiednia cewka indukcyjna L. Te cewki, które mają mieć możliwie małą pojemność, wykonywać najlepiej w postaci solenoidów z gołego drutu miedzianego lub żelaznego. Ich indukcyjność wystarcza, aby dla prądów szybkozmiennych o wysokiem napięciu wytworzyć silną przeszkodę przy przejściu do urządzenia ochranianego. W ten sposób działanie przebiega atmosferycznego o wielkiej częstotliwości zostaje co najmniej znacznie osłabione tak, że w każdym razie bateria kondensatorów C_1 , umieszczona między cewką L i urządzeniem T, a przyłączona do każdego przewodu i ziemi, odprowadzi całkowicie do ziemi prądy szybkozmiennne tam przenikające. Oba te przyrządy L i C razem zapewniają urządzeniu całkowitą ochronę przed wszelkimi umiarkowanymi zaburzeniami atmosferycznymi natury elektrodynamicznej.

Aby się jednak uchronić w każdym przypadku przed najsilniejszymi przebiegami o dużej częstotliwości, przyłącza się przed cewką L, między ziemię a każdy przewód, drugą baterję kondensatorów C_2 , która przyjmuje najsilniejsze przebiegi i odprowadza je do ziemi. Gdyby pojemność obu baterji

C_1 i C_2 była niewystarczająca, to bateria C_2 działa w ten sposób, że jedno z jej ogniów pęka i umożliwia wyrównanie z ziemią. Okoliczność, że bateria C_2 może bez niebezpieczeństwa dla urządzenia odprowadzać do ziemi odpowiednio większą ilość energii zaburzenia, czyni jej zastosowanie tembardziej wartościowem.

„Wytrzymałość dielektryka każdego ogniwa jest naogół tak dobrana, że dzięki włączonej cewce L napięcie, które powoduje przebiecie jednego ogniwa baterji C_2 , nie może wystarczyć, aby uszkodzić ogniwa baterji C_1 .

Skoro baterje kondensatorów umożliwiającą odprowadzenie do ziemi wszystkich prądów o zwiększonej częstotliwości, to należy dać jeszcze możność upływu dla prądu stałego pochodzącego od ładunków statycznych. Najlepiej do tego celu nadają się dławiki, które włącza się między ziemię i przewód równolegle do baterji kondensatorów C_1 . Te cewki indukcyjne opatrzone rdzeniem żelaznym oblicza się w ten sposób, aby przedstawiały możliwie dużą oporność dla prądu zmiennego (pozorną), aby więc odprowadzały do ziemi jaknajmniejszą ilość prądu roboczego, podczas gdy ich oporność omowa (rzeczywista) jest możliwie mała, aby uniemożliwić wszelkie nagromadzenie ładunków statycznych w sieci. Jest to tem łatwiejsze, że statyczne przebiegi potencjałów odbywają się powoli, jak np. przepięcia w przewodach, spowodowane przez zbliżanie lub oddalanie chmur naładowanych elektrycznością i t. d., bezpośrednie oddawanie elektryczności przez burze śniegowe i t. p.

Skoro wyniki osiągnięte z doświadczeń zabraniają do tego celu wszystkiego, co przedstawia oporność omową, a więc z góry wykluczają zastosowanie oporników wodnych, to należy szczególnie spełnić te warunki pod każdym względem, a więc unikać oporników w przewodach uziemiających. Cóż bowiem pomoże dobór najlepszego przewodnika, skoro w szereg z nim włączy się dużą oporność omową lub też indukcyjną.

Największym błędem, który się zresztą najczęściej popełniało, była mała troska o to jak się wykonywało urządzenie uziemiające. Możliwie mała oporność uziemienia jest głównym warunkiem, na który rzadko zwraca się dostateczną uwagę. W rzeczywistości każdy pojmie łatwo na podstawie podanych tu faktów, że warto zadać sobie trudu, aby uziemienie nie tylko dobrze założyć, ale także, aby je od czasu do czasu sprawdzać celem dokonania odpowiednich poprawek.

Często stanowi to dużą trudność, aby płyty uziemienia tak zakładać, żeby trwale zapewnić dobre przejście do ziemi. W takich razach, aby móc doprowadzić do płyty wodę lub elektrolit, zaleca się stosowanie rur, któ-

re prowadzą od płyty do powierzchni ziemi i przez które wlewa się od czasu do czasu wodę lub elektrolit. Ażeby ponadto ograniczyć do minimum indukcyjność w przewodach łączących kondensator z przewodami i z ziemią, należy te połączenia wykonywać możliwie prosto i krótko; jako takie przewody łączeniowe stosuje się z korzyścią wstęgi miedziane zamiast okrągłych drutów, ponieważ współczynniki indukcyjności własnej tych wstęg są mniejsze niż okrągłych drutów.

„Według naszego zapatrywania” — czytamy dalej — „przez zastosowanie wyżej wymienionej grupy przyrządów, dostaniemy całkowitą ochronę urządzenia przed skutkami zaburzeń atmosferycznych, oczywiście z wyjątkiem bezpośredniego uderzenia piorunowego. Obok zaburzeń atmosferycznych mamy jednak w każdym urządzeniu bardzo częste przepięcia, które zostają spowodowane samym prądem roboczym. Są one spowodowane głównie przez prądy, powstające przy nagłych silnych zmianach obciążenia, jak np. przy nagłym przerwaniu dużych ilości energii przy spalaniu się bezpieczników, albo przez zwykłe wyłączniki.

W urządzeniach, gdzie zastosowane są ochronniki różkowe bez szeregowych oporników wodnych, każde przepięcie, które te różki wprawia w działanie, pociąga za sobą jeszcze drugie zaburzenie, spowodowane przez prąd roboczy, który właśnie znajduje ujście także przez te różki i to jako prąd oscylacyjny o wzmożonej lecz niezbyt wielkiej częstotliwości. Ochronniki różkowe należy przeto, jak poprzednio powiedziano, zarzucić, skoro są połączone z szeregowymi opornikami wodnymi, są one również niebezpieczne i nieskuteczne, jeżeli pracują bez tych oporników.

Dla przepięć, spowodowanych prądem roboczym, których częstotliwość jest naogół niższego rzędu, niż wyładowań atmosferycznych, potrzebaby za dużej pojemności, aby aby je zupełnie nieszkodliwie odprowadzić, dlatego dla tych warunków trzeba dobrać inne odpowiednie ochronniki, co pozwolimy sobie przedstawić w innem studjum¹⁷⁾”.

Istota ochrony kondensatorowej. W powyższych wywodach, które przytoczyliśmy tutaj w dosłownem tłumaczeniu, zasługują, z dzisiejszego punktu widzenia, na uwagę następujące punkty:

Po raz pierwszy została tu wysunięta w zdecydowany sposób sprawa użycia kondensatorów jako ochronników. Wprawdzie przypisywano im, zgodnie zresztą z ówczesnymi poglądami, inną rolę, niż to się czyni obecnie. Nowsze badania wykazały bowiem, że wyładowanie piorunowe jest zjawiskiem aperiodycznem i tylko w pewnych przypadkach oscylacyjnem silnie tłumionem. Wyładowa-

¹⁷⁾ Por. [XIII].

nia te, zarówno pośrednie jak bezpośrednie, powodują powstawanie fal wędrownych o stromem czole, niebezpiecznych dla izolacji urządzenia elektrycznego. Dzisiaj wiemy, że kondensatory, przyłączone do przewodów, przyjmują na siebie część ładunku, odpowiadającą fali przepięciowej, a samą falę przepuszczają łagodząc jej przebieg. Przepięcia oscylacyjne o średniej częstotliwości, powstające skutkiem lokalnych zjawisk rezonansowych, nie są naogół zbyt groźne. Umieemy im zresztą zapobiegać przez stosowanie oporników tłumiących lub w inny sposób. Używanie kondensatorów do tego celu jest zbyt techniczne.

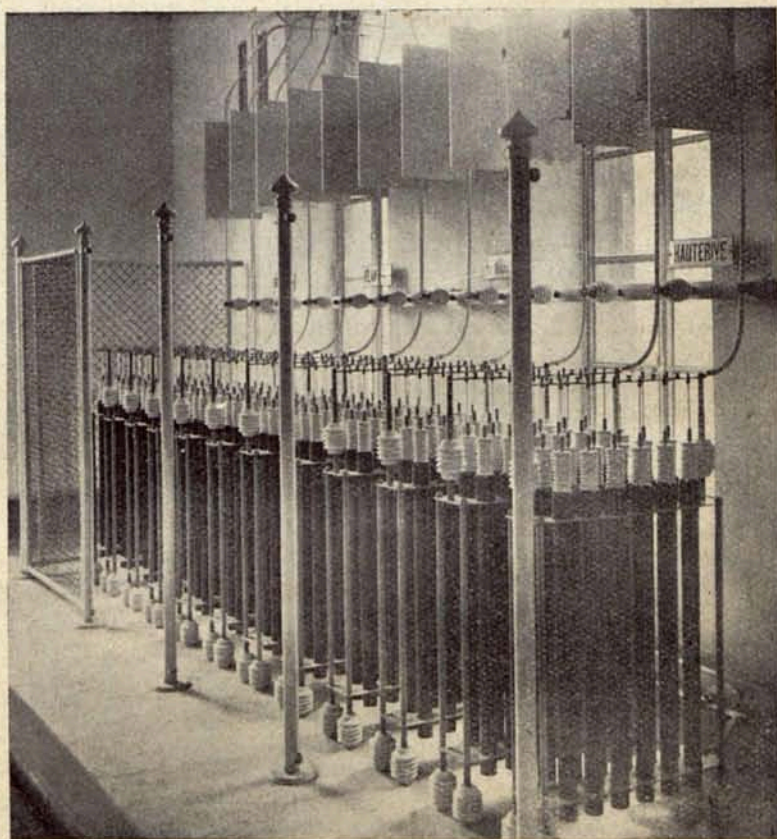
Połączenie kondensatorów z cewkami, przy odpowiednim doborze ich wielkości, stwarza, jak wiemy, punkt węzłowy dla fal wędrownych napięcia i prądu. Na tem polega znany układ ochronny Rüdenberga¹⁸⁾, osłaniający obiekty za nim leżące, od działania fal wędrownych. U Mościckiego spotykamy — na 10 lat przed tem — układ podobny. Z publikacji Jego nie wynika wyraźnie, czy układ Jego miał na celu stworzenie podobnych warunków.

Zwrócenie silnej uwagi na wpływ oporności w przewodach, łączących ochronniki z ziemią, oraz oporności uziemienia, oraz żądanie, aby była ona jaknajmniejsza, wyprzedziło również znacznie ówczesne poglądy na ochronę przeciwprzepięciową. Dopiero później, przy stosowaniu większych napięć przesyłowych, a zwłaszcza w ostatnich kilku latach, kładzie się jaknajbardziej nacisk na dobre uziemienie miejsc, wystawionych na uderzenia piorunowe. Oporników wodnych, tak bardzo rozpowszechnionych dawniej, dzisiaj się już nie spotyka; ładunki statyczne odprowadza się naturalną drogą do ziemi przez uziemiony punkt zerowy, lub — jak to propagował Mościcki — za pomocą dławików, o ile tego potrzeba.

Największą zasługą Mościckiego w dziedzinie ochrony przeciwprzepięciowej jest jednak rozpoczęcie kampanji przeciw ochronnikom rozkowym. Wystąpienie osobiste Jego w tej sprawie, a następnie Jego współpracowników, spotykały się z jednej strony ze zrozumieniem i uznaniem Jego poglądów na

niecelowość a nawet szkodliwość takich przyrządów, z drugiej zaś — z gwałtownymi atakami w niektórych sferach elektrotechnicznych. Na zjeździe elektrotechników niemieckich w Erfurcie i w prasie technicznej znajdujemy odbicie tej kampanji przeciw kondensatorom jako ochronnikom [9]. Głównym oponentem był Schrottker, inżynier Siemens-Schuckert Werke w Berlinie, wynalazca ochronników rozkowych, który wystąpił bardzo namiętnie przeciw kondensatorom i wentylom Giles'a [15]¹⁹⁾ jako ochronnikom. Jak wykazano następnie ze strony fryburskiej fabryki kondensatorów [16], posługiwano się przy zwalczaniu ochrony przeciwprzepięciowej, przez nią stosowanej, doświadczeniami, w których celowo dobierano błędnie elementy ochronne, aby uzyskać ujemny wynik ich działania [23]²⁰⁾.

Mimo tych ataków kondensatory cieszyły się coraz większym powodzeniem i zastosowaniem. Spotykamy je w elektrowniach i sie-



Rycina 17.

Ochronniki kondensatorowe 8 kV, w Hauterive.

ciach o różnych napięciach od kilku do 50 tysięcy woltów, głównie w Szwajcarii, gdzie konkurencja była łatwiejsza, gdyż był to produkt szwajcarski, jak to niejednokrotnie pod-

¹⁸⁾ Por. ETZ, 1914, str. 610.

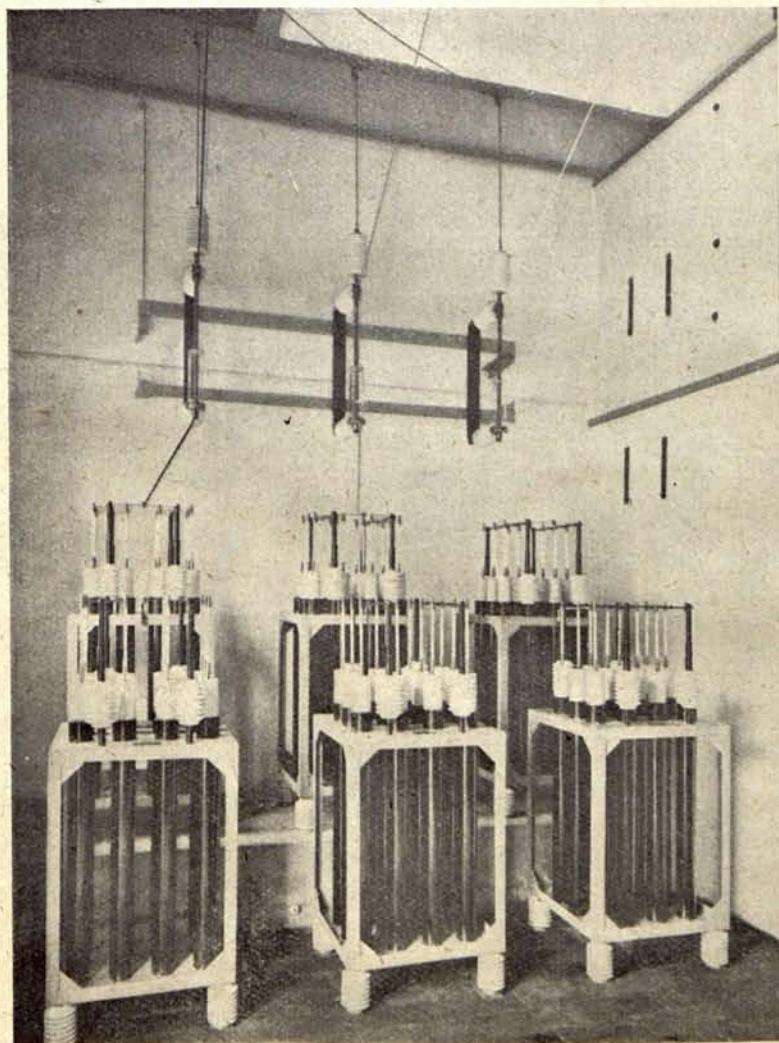
¹⁹⁾ O tych ochronnikach patrz niżej oraz [XII].

²⁰⁾ Por. również [14, 16, 17, 22].

kreślano. Ryciny 17 i 19 przedstawiają kondensatory ochronne w elektrowni Hauterrive (8 i 32 kV), a rycina 18 w elektrowni Albuli (45 kV).

Można powiedzieć, że w ciągu 10 lat od ich powstania, były to najlepsze ochronniki. Dopiero napięcia coraz wyższe, przy których już kondensatory szklane nie mogły pracować, oraz zwrócenie się techniki przeciwprzepięciowej ku zasadzie zaworowej, stało na przeszkodzie ich bardziej szerokiemu stosowaniu.

Zawór przepięciowy. Przypomnieć tutaj należy, że zasada zaworu przepięciowego, t. zw. wentyla elektrycznego Giles'a, podana została jeszcze w 1907 r. przez Mościckiego [XII]. Zawór ten niesłusznie nosi nazwę ówczesnego dyrektora fabryki kondensatorów we Fryburgu, która go zbudowała na podstawie studjów Mościckiego, o czym tenże wspominał na zjeździe elektryków szwajcarskich w 1905 r. [VIII].



Rycina 18.
Ochronniki kondensatorowe (45 kV) w Albuli.

Jakkolwiek ta praca Mościckiego jest może najbardziej znana polskim elektrykom, gdyż została ogłoszona w Przeglądzie Elektrotechnicznym 1925 r. [XII] z okazji Jego promocji na doktora honorowego Politechniki Warszawskiej, to jednak przytoczymy tu z niej ustępy, odnoszące się do budowy i działania zaworu.

Na pomysł takiego zaworu przepięciowego naprowadziły Mościckiego studja nad wyładowaniami powierzchniowymi, w których stwierdził, że:

„1) Odległość od brzegu okładziny, do której dochodzi wyładowanie powierzchniowe, jest proporcjonalna do stosowanego napięcia elektrycznego. 2) Zmniejszenie grubości dielektryku wpływa na zwiększenie odległości wyładowania. 3) Dielektryki o wyższej stałej dielektrycznej powodują również zwiększenie odległości w wyładowaniu.

Bliższe wniknięcie w warunki wyładowań elektrycznych na powierzchniach dielektryków pozwoliło mi — czytamy tam — na zbudowanie modelu, odtwarzającego w sposób bardziej przejrzysty mechanizm omawianego zjawiska”.

Na podstawie tego modelu opracowany został pomysł ochronnika, którego schemat przedstawia rycina 20, a przyrząd gotowy rycina 21. Działanie tego ochronnika zaworowego przedstawia, wynalazca jak następuje:

„Iskierniki i_1, i_2, i_3, \dots wraz z kondensatorami c stanowią urządzenie wielokrotnego iskiernika poprzednio omawianego, pozbawionego w ten sam szereg włączony jest iskiernik I i opór R . Opór ma za zadanie ograniczenie natężenia prądu w chwili przebiecia wszystkich iskierników. W iskierniku I nastawia się elektrody na taką odległość, żeby normalne napięcie nie było w stanie przebić, natomiast powinno go przebić napięcie podwyższone, np. o 10 lub 20%.

Gdyby iskiernika I nie stosowano, a jedynie iskiernikami i_1, i_2, i_3, \dots chciano zabezpieczyć dane miejsce sieci elektrycznej, to i przy normalnym spadku napięcia pomiędzy przewodem prądu a ziemią następowałyby w części iskierników ciągłe wyładowania, powodujące szkodliwe rozgrzewanie elektrod.

Dla dobrego funkcjonowania ochronnika, zbudowanego według omawianych zasad, muszą być zachowane następujące warunki:

Pojemność kondensatorów, które tworzą z sobą same elektrody iskierników i_1, i_2, i_3, \dots , powinny być bardzo małe w stosunku do pojemności kondensatorków c . Jedynie w tym przypadku można włączyć dla danego napięcia odpowiednią ilość iskierników — gwarantujących, że natychmiast po przeminieciu przepięcia wyładowanie iskierników będzie przerwane.

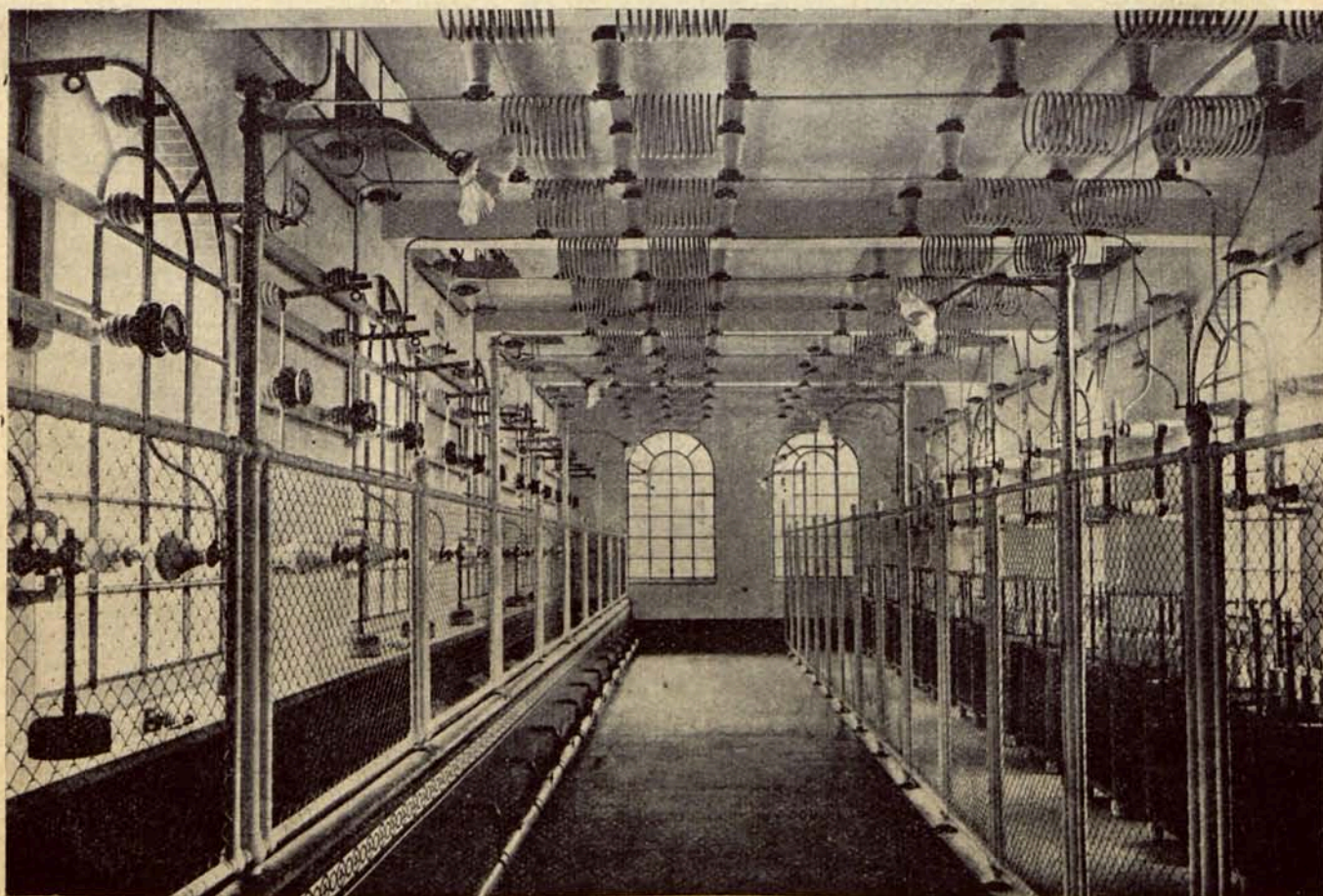
Dalszy warunek stanowi wielkość omowego oporu R dostosowana do napięcia sieci oraz pojemności kondensatorowej ochronnika. Opór R powinien tak ograniczyć natężenie prądu przy całkowitem przebiegu iskierników, żeby normalne napięcie nie było w stanie podtrzymywać wyładowania podczas trwania przepięcia. W tym celu nie tylko odpowiednia ilość iskierników powinna być dla danego napięcia włączoną, ale i natężenie prądu nie powinno przekraczać pewnej granicy. Oprócz tego wielkość oporu R nie powinna pozwolić na oscylacyjne wyładowania iskiernika.

Utrzymanie wymienionych warunków jest nadzwyczajnie ważne dla budowy technicznych aparatów.

Jedynie ograniczenie czasu każdego wyładowania w ochronnikach do czasu trwania półokresu prądu zmiennego, t. j. normalnie do 1/100 części sekundy, pozwala na racjonalną i ekonomiczną budowę aparatu. W tym przypadku opór R może mieć bardzo małe wymiary, a tem samem może być tani, również i elektrody iskierników mogą posiadać małe wymiary i małą pojemność cieplną.

Rycina 22 przedstawia przekrój szeregu iskierników modelu technicznego ochronnika opracowanego przez fabrykę i znanego pod nazwą wentyla Giles'a. Elektrody, oznaczone literą e stanowią krążki cynkowe, izolowane od rdzenia żelaznego, przeprowadzonego przez środek krążków w mikanitowej izolacji a i b . Izolacja b izoluje jednocześnie elektrody pomiędzy sobą. W tym przykładzie kondensatorki c tworzą krążki cynkowe ze wspólnym rdzeniem żelaznym.

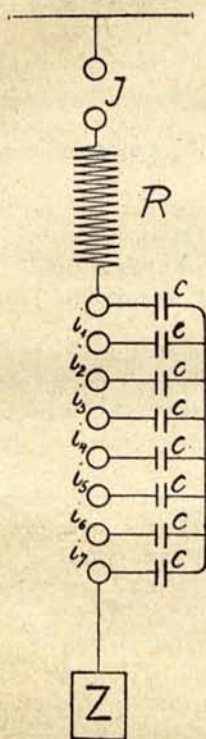
Rycina 23 przedstawia model fabryczny całego ochronnika, składającego się z 6 wentyli Giles'a. Na dole widzimy kolumny iskierników cynkowych, wyżej — opory omowe o jednej warstwie nawinięcia z bardzo cienkiego drutu manganinowego, jeszcze wyżej iskierniki.



Rycina 19.

Ochronniki kondensatorowe 32 kV w Hauterive.

niki, analogiczne do oznaczonych na rysunku 3 literą T. Oprócz tego każdy element jest zaopatrzony w bezpiecznik na wysokie napięcie, który składa się z cieniutkiego srebrnego drucika, umieszczonego w osi rurki szklanej, wypełnionej suchym proszkiem azbestowym.



Rycina 20.



Rycina 21.

Spotykałem się ze zdaniem, pisze dalej Mościcki, że wentyle Giles'a nie przedstawiają nic nowego w porównaniu z ochronnikami krążkowymi Würtz'a, które również składają się z wielu iskierników, włączonych w szereg. Mniemanie to jest niewłaściwe. Iskierniki Würtz'a nie posiadają charakterystycznych dla wentyli Giles'a kondensatorów, oznaczonych na powyższych schematach literą c. Wprawdzie można tu mówić o pojemności poszczególnych elektrod iskierników względem ziemi, lecz należy jednocześnie stwierdzić, że te pojemności są nadzwyczaj małe w stosunku do tych, jakie tworzą same elektrody między sobą. Panują tu zatem warunki zupełnie odwrotne do tych, które, jak to zostało wyjaśnione, są potrzebne do dobrego działania ochronników.

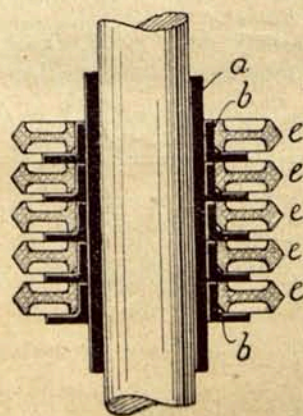
Dopiero po dłuższym już stosowaniu w praktyce wentyli Giles'a, różne firmy starały się w iskiernikach Würtz'a zwiększać pojemność elektrod względem ziemi przez ustawienie w bliskości iskierników uziemionych płytek metalowych. Na podstawie jednak różnych notatek w literaturze doznaję wrażenia, że jeszcze do tej pory ulepszenia iskierników Würtz'a nie doszły do takiej doskonałości,

izby każdorazowy czas ich działania można było ograniczyć do czasu trwania jednej zmiany prądu zmiennego. Wystarczy tu przytoczyć różne przykłady instalacji, w których załączone są w szereg z iskiernikami Würtz'a różki Siemens'a, służące do każdorazowego przerywania wyładowania do ziemi. Powolne działanie różków Siemens'a, trwające całe sekundy, jest powszechnie znane".

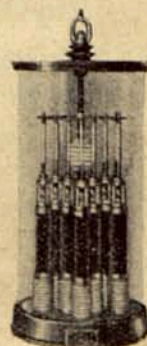
Z przytoczonych ustępów pracy Mościckiego widać, jaką wagę przykładał On do działania zaworowego ochronnika i do doboru oporności jego w zależności od napięcia. Najdobitniej wyraził to w zakończeniu pracy [XII]: „Wszystkie te daty” — czytamy tam — „należy rozpatrywać z punktu widzenia najważniejszego warunku działania ochronnika, t. j. zapewnienia mu takiego funkcjonowania, żeby natychmiast po przeminięciu przepięcia wyładowanie do ziemi zostało przerwane”.

W Jego zaworze całe zjawisko odprowadzenia ładunku do ziemi odbywa się normalnie w czasie półokresu.

Potrzeba było prawie 20 lat, aby rolę ochronników różkowych sprowadzić do właściwej miary i ograniczyć ich stosowanie do napięć rzędu kilku tysięcy woltów. Obecnie dzięki możliwości odtwarzania wyładowań piorunowych na przewodach, prawie tej samej wielkości co naturalne, oraz rejestrowania ich zapomocą oscylografu katodowego, znamy już przyczynę i przebiegi przepięć atmosferycznych i zachowanie się różnych urządzeń ochronnych. Wiemy, jak działają kondensatory i cewki, i kiedy je stosować należy; wiemy też, że najlepsze rozwiązanie budowy ochronnika idzie w kierunku zasady zaworowej, t. j. przyrządu, który samoczynnie za-



Rycina 22.



Rycina 23.

czyna działać, skoro tylko zjawi się przepięcie o pewnej wysokości, powoduje upływ ładunku do ziemi i samoczynnie przerywa ten upływ, skoro napięcie spadnie do określonej wysokości. Ochronniki o oporności zależnej od napięcia narazie najlepiej tę rolę spełniają.



V. BIBLOGRAFJA WAŻNIEJSZYCH PRAC IGNACEGO MOŚCICKIEGO Z ZAKRESU TECHNIKI WYSOKICH NAPIĘĆ.

- I. Badania nad wytrzymałością dielektryków. Rzecz, przedstawiona na posiedzeniu Wydziału Mat.-Przyr. dn. 11 stycznia 1904 r.; ref. czł. Witkowski. Rozprawy Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego Akademii Umiejętności. Serja III. Tom 4. Dział A. Kraków, 1904, str. 34 do 53.
- II. O stratach dielektrycznych w kondensatorach pod wpływem działania prądów przemiennych, Rzecz, wniesiona po posiedzeniu Wydz. Mat.-Przyr. dn. 11 stycznia 1904 r.; referent czł. Witkowski. Rozprawy i t. d. jak pod I — str. 54 do 75.
- III. Über Hochspannungs-Kondensatoren, Elektr. Z., 1904, zesz. 25 i 26. Odbitka, stron 25.
- IV. Les Condensateurs à haute tension. L'Eclairage électrique, 1904, IV, str. 14, 65 i 99. Odbitka stron 27.
- V. Elektrische Kondensatoren für die höchsten Spannungen und für Dauerbetrieb. Wyd. Fabrique des Condensateurs I. de Modzelewski, Fribourg (Suisse) (1904), — stron 15.
- VI. Bemerkungen und Vorschläge betreffend Überspannungssicherungen. Schweiz. Elektr. Z. 1905, Nr. 7 i 9. Odbitka stron 16.
- VII. Sur l'installation des parafoudres. L'Eclairage électrique, 1905.
- VIII. Beseitigung der durch atmosphärische Elektrizität in den elektrischen Anlagen verursachten Betriebsstörungen. Schweiz. Elektr. Z., 1906, Nr. 14, 15, 16. Odbitka, stron 8.
- IX. Über den Schutz der Leitungsnetze gegen die atmosphärischen Entladungen. Société Gén. d. Condensateurs électr., Fribourg, 1906, str. 5 — 19.
- X. Gewinnung von Salpetersäure aus Luft bei deren Behandlung mittels elektrischer Flamme. ETZ, 1907, Nr. 42, 43, 44. Odbitka stron 20.
- XI. La production de l'acide azotique au moyen de l'air. Revue électrique, 1907, t. VIII, 30.X, 15.XI, 30.XII 1907. Odbitka stron 15.
Uwaga: W pracach X i XI traktowane są obszernie wyładowania elektryczne.
- XII. Wentyle Giles'a. Przegl. Elektrot., 1925, str. 18 do 20.

VI. LITERATURA.

W wykazie poniższym podano w chronologicznym porządku publikacje (książki, broszury, artykuły), odnoszące się do twórczości i prac Ignacego Mościckiego, wraz z odpowiednimi cytatami, lub traktujące o zagadnieniach, nad którymi On pracował. Oczywiście nie jest on kompletny. Pożądane jest jego uzupełnienie.

1. Kasperowicz: Studien über die Festigkeit der Dielektrika, Fribourg, 1904 (Rozprawa doktorska). Por. [I].

2. R. Wybranowski. Étude sur la charge des condensateurs. Fribourg. 1904 (Rozpr. doktorska).
Metoda pomiaru oporności izolatorów płynnych przy pomocy kondensatora.
3. B. Zdanowski: Nouvelle méthode pour la mesure des resistances liquides. Fribourg, 1904. (Rozpr. dokt.).
Zastosowanie przerywaka wahadłowego Helmholtza do badania wyładowań elektrycznych.
4. Allg. Gesellsch. für elektrische Kondensatoren: Industrielle Kondensatoren für Hochspannung. Fribourg, 1906.
Pierwsza broszura techniczna o kondensatorach Mościckiego.
5. Guilbert: Nouveau type des condensateurs industrielles. Eclair. électr., Paris, 1906. IV.
Artykuł o kondensatorach Mościckiego.
6. Zickler: Lehrbuch der allgemeinen Elektrotechnik, Lipsk, 1906.
Wzór Mościckiego na straty dielektryczne (str. 163).
7. K. Drewnowski: O zastosowaniach kondensatorów Mościckiego w elektrotechnice. Czas. techn. Lwów. 1907.
Krótki przegląd prac Mościckiego nad dielektrykami i kondensatorami.
8. I. Modzelewski: Étude sur l'emploi, comme condensateur, d'éléments électrolytiques à électrodes d'aluminium. Fribourg, 1908 (Rozpr. dokt.).
Nowy typ kondensatora elektrolitycznego o bardzo dużej pojemności.
9. Sprawozdanie ze zjazdu elektryków niemieckich w Erfurcie. 1908. ETZ, Berlin, 1908, Nr. 33.
Dyskusja nad ochroną przeciwprzepięciową. Głosy Feldmanna i Kuhlmann'a za, a Schrottkego przeciw kondensatorom.
10. Knauer u. Giles. Überspannungssicherungen nach dem System Soc. Gén. Condens. électr. Fribourg. Elektr. u. Masch., Wiedeń, 1908, str. 1019 i n.
Ochrona kondensatorowa i zaworowa.
11. K. Drewnowski: Kondensatory elektryczne Mościckiego i ich zastosowanie. Spraw. V Zjazdu Techn. Polsk., Lwów, 1910.
Krótki przegląd prac Mościckiego. Kondensatory jako przesuwniki fazowe.
12. G. Giles. Schutz gegen Störungen in den Verteilungsnetzen. Kondensatoren für drahtlose Telegraphie und verschiedene Zwecke. Fabr. des Cond. El., Fribourg, 1910 (?).
Broszura techniczna fabryki.
13. Wohlleben u. Giles: Schutz der Netze gegen atmosphärische Entladungen und Überspannungen. Mitteil. Dresdner Ver. deutsch. Ing., Drezno, 1910.
Referat na posiedzeniu technicznym. Zasady ochrony przeciwprzepięciowej. Kondensatory. Zawory. Dyskusja nad referatem.
14. Wohlleben-Giles: — to samo. ETZ, 1910, str. 461 i n.
15. Schrottke: Schützen elektrische Ventile und Schutzkondensatoren wirklich gegen Überspannungen? ETZ, 1910, str. 443 i n.
Ostra krytyka tych ochronników. Opis doświadczeń, mających wykazać ich ujemne strony.
16. Giles u. Wohlleben: Praktische Untersuchungen der Überspannungstheorie. ETZ, 1910, str. 958 i n.
Odpowiedź na poprzedni artykuł Schrottkego.

17. Frank: Erfahrungen mit Überspannungsschutzapparaten verschiedener Systeme. ETZ, 1911, str. 1244 i n. Odczyt i dyskusja na Zjeździe Elektr. Ver. Niederrhein, Porównawcze doświadczenia z ochronnikami w praktyce. Głosy za i przeciw.
18. K. Drewnowski: O wytwarzaniu kwasu azotowego z powietrza sposobem Mościckiego. Czas. techn., Lwów, 1911, str. 81 i n. Krótki przegląd prac z uwzględnieniem głównie strony elektrycznej.
19. Giles: Surintensions, surintensités et destructions des isolants par l'ozone. Bull. Soc. Intern. Electr. Paris. 1911. Teoria ochrony przepięciowej.
20. Petersen: Hochspannungstechnik, Berlin, 1911: „Eine glänzende theoretisch richtige Lösung des Kondensatorproblems stellt der Kondensator von Mościcki vor“ (str. 74).
21. Rüdhardt: Les isolants, 1912. Obszerne streszczenie prac Ignacego Mościckiego oraz tabele wyników (str. 67 — 89).
22. Gierlich: Überspannungsschutzapparate..., ETZ, 1913, str. 423 i n. Odczyt i dyskusja w Elektr. Ver. Niederrhein. Demonstracje z ochronnikami zaworowymi i różkowymi, mające wykazać wyższość ostatnich.
23. Giles: Zur Frage der Überspannungsschutzapparate. ETZ, 1913, str. 1420 i n. Odpowiedź na artykuł poprzedni. Niekorzystne doświadczenia przypisywać należy niewłaściwie dobranym elementom.
24. Petersen: Überspannungen und Überspannungsschutz. ETZ, str. 167 i n. Pierwsze naukowe uzasadnienie ochrony kondensatorowej z punktu widzenia nowej teorii przepięć.
25. Kuhlmann: Grundzüge des Überspannungsschutzes in Theorie und Praxis. Berlin, 1914. Rozszerzony odczyt w szwajc. stow. elektr. Temat podobny jak u Petersena. [24].
26. Kuhlmann: Hochspannungsisolatoren. Arch. f. Elektr. 1915, T. 3, zes. 8. Teoria izolatora przepustowego. Wykreślne przedstawienie obrazu pola elektrycznego izolatora za pomocą jednostkowych komórek energii.
27. Capart: La protection des réseaux contre les surtensions. Paris. 1920. Obszerne monografia przepięć i ochrony przepięciowej. Teoria i praktyka. Ujęcie tematu według poglądów fabryki kondens. we Fryburgu.
28. Günther-Schultze: Über die elektrische Festigkeit. Berlin, 1924. „Die richtigen Konsequenzen aus diesen Erscheinungen (działanie krawędziowe) sind zuerst von Mościcki gezogen. Leider hat er seine wertvolle Untersuchung über die dielektrische Festigkeit von Glas recht versteckt veröffentlicht, denn sie findet sich in einer Arbeit über Hochspannungskondensatoren“ (str. 121, 122).
29. Schwaiger: Elektrische Festigkeitslehre, Berlin, 1925. „In wie weit ist nun Proportionalitätsgesetz bei festen Isolierstoffen bestätigt? Es seien hier unter anderen die Versuche von Mościcki, die Versuche von K. H. Wagner und endlich die Versuche von W. Weicker hervorgehoben (str. 35 i 36).
30. Retzow: Eigenschaften elektrotechnischer Isoliermaterialien in graphischen Darstellungen. Berlin, 1928. Wykresy zależności napięcia przebicia od grubości dielektryka, według Ignacego Mościckiego, jako jedyne dane co do szkła. Ryc. 34 i 35 (str. 21 i 22).
31. Inge und Walther: Durchschlag von Glas in homogenen und nicht homogenen elektrischen Feldern (Arch. f. El. 1928, str. 257 — 274). „Die Frage über die Abhängigkeit von der Schichtdicke ist eigentlich schon seit langem von Mościcki gelöst worden“ (str. 257).
32. Semenoff u. Walther: Die physikalischen Grundlagen der elektrischen Festigkeitslehre. Berlin, 1928. „Wie als erster Mościcki gezeigt hat, widersprechen sich diese beiden Gesetze [Proportionalitäts und Potenzgesetz der Durchschlagspannung einander keineswegs“. Diese Behauptung ist von Mościcki durch folgende Versuche bestätigt worden:...” [Tu przytoczony jest opis i wyniki pomiarów Mościckiego].
33. I. B. Whitehead: (John Hopkins University, Baltimore). Diélectriques et isolants. Paris, 1928. Wykłady paryskie, w których cytuję prace Mościckiego o stratach dielektrycznych. (str. 169).
34. Gemant: Elektrophysik der Isolierstoffe (1930: „Mościcki misst an Glas bei deutlichem Randeffect folgende Werte“. [Tabela wyników] (str. 203). — „Ein Beispiel für den elektrischen Durchschlag liefern z. B. Versuche von Mościcki an Glas mit Wechselspannung von 50 Per“. [Tabela wyników].
35. Handbuch der Experimentalphysik Bd. X, Schumann. Hochspannungstechnik (1930): „Betreffend Hochspannungskondensatoren s. Mościcki, ETZ 1904...” (str. 433).
36. L. Lombardi: Principii scientifici di Elettrotecnica, 1928. Nei condensatori ordinari, ad armature equidistanti, la sollecitazione massima del dielettrico si manifesta nella contiguità degli orli, ove è massima la pressione elettrostatica, onde con un concetto rationale Mościcki introdusse nella costruzione dei condensatori cilindrici,...” (str. 156).
37. J. Skowronski: Prostownik iskrowy wysokiego napięcia. Przegl. Elektr., 1930, str. 101 i n. Badania nad własnościami i warunkami pracy iskiernika, zbudowanego w instytucie „Metan” według wskazówek Mościckiego, przeprowadzone w 1925 r.
38. S. Whitehead: (Londyn). Electric Phenomena. II. Breakdown of Solid Dielectrics (1932): „If the edge effect is eliminated or reduced there it is a tendency for the electric strength to be constant, ... (Mościcki, ETZ—1904; Semenoff and Walther — Festigkeitslehre) (str. 75).
39. Marx: Lichtbogenstromrichter. Berlin, 1932. Studja nad prostownikami iskrowymi z wdmuchiwanym powietrzem, wielkiej mocy (do 150 kV i 100 A). Zastosowanie ich do przesyłania energii elektrycznej za pomocą prądu stałego. Jeden z najaktualniejszych problemów techniki wysokich napięć dzisiejszej doby.
40. Littleton-Morey: Electr. Properties of Glass. New York, London, 1933. Wytrzymałość elektryczna szkła według Mościckiego.