

Kondensatory elektryczne Mościckiego i ich zastosowanie.

I. Uwagi ogólne o kondenzatorach.

Zastosowanie kondenzatorów w praktyce zależy od trzech czynników: wytrzymałości, pojemności i ceny; musi więc być:

1. wytrzymałość na przebicie dostatecznie wielka, aby można je było używać także do bardzo wysokich napięć;

2. pojemność jednostkowa znaczna, aby uniknąć potrzeby łączenia równoległego wielkiej liczby ogniw i aby moc pozorna, jaką mogą przepuścić kondensatory była wielka; i

3. cena przystępna.

Warunek pierwszy jest najważniejszy; od niego są w znacznym stopniu oba inne zależne.

Wytrzymałość na przebicie zależy w pierwszym rzędzie od materiału dielektryku kondensatora, a także — jak to wykazał Mościcki — od miejsca styku obłóżeń z dielektrykiem. Ze względu na to, że pojemność kondensatora jest odwrotnie proporcjonalna do grubości dielektryku, musi być on możliwie cienki: materiał więc z jakiego jest zrobiony, dostatecznie odporny na przyłożone napięcie. Z natury rzeczy wynika, że ten materiał musi być izolatorem i to jak najlepszym, aby straty wskutek przepuszczenia prądu były jak najmniejsze. Na wybór materiału jeszcze jedna rzecz wpływa. Ponieważ kondensatorów technicznych używa się prawie wyłącznie przy prądach przemien-nych, wystawione są one na ładowanie i wyładowanie za każdym okresem i im większa jest częstość okresów prądu tem częściej mu-

szą „pracować“, a więc przyjmować i wydawać pewną ilość energii, co połączone jest z ogrzewaniem kondensatora. Ponieważ jednak ze wzrostem temperatury odporność izolatorów na przebicie spada, musi być to ogrzewanie jak najmniejsze i ciepło jak najprędzej odprowadzone; to prowadzi do nadania odpowiednich kształtów kondensatorowi i do umieszczenia go w środowisku łatwo przewodzącym ciepło. Ten wzgląd wyklucza wprost budowanie kondensatorów technicznych na wzór precyzyjnych, laboratoryjnych, które składają się najczęściej z wielu płaskich warstw n. p. miki przekładanej cynfolią.

Co się tyczy pojemności kondensatorów, to ta zależy — jak to już wyżej wspomniano — od grubości dielektryku a także od jego powierzchni i materiału jego, czyli od tak zw. stałej dielektrycznej.

Cena kondensatora zawisła jest głównie od sposobu fabrykacyi, a więc znów od materiału, od tego, czy on się trudniej czy łatwiej obrabiać daje.

Z licznych izolatorów najlepiej nadają się do wyrobu kondensatorów: mika, ebonit, papier, szkło, jakkolwiek i z innymi materiałami nieźle doświadczenia poczyniono.

Z mnóstwa prób nad budową kondensatorów na wysokie napięcie, warto następujące wymienić:

Kondensatory ebonitowe Hutin'a i Leblanc'a¹⁾ (płytki ebonitowe 0,2 ^{mm} gruba

¹⁾ Lumière électrique, 1891, tom XL, 260.

pokryta cynfolią) wytrzymały 10.000 V. Główną ich wadą było psucie się z czasem ebonitu i nadmierne ogrzewanie się.

Kondensatory parafinowe Lombardi'ego¹⁾ wytrzymują przy 1 mm grubości 5000 V; do napięcia 10000 V idą dwa w szeregu. Wada: ogrzewanie się niedopuszczalne przy dłuższym pracowaniu. Koszt około 900 K za 1 μ F.

Kondensatory rycynowe Boas'a²⁾ (stała dielektryczna ok. 5; cienkie płyty cynkowe izolowane kauczukiem, wewnątrz olej rycynowy; odstęp płyt 0,6 mm) wytrzymowały 10000 V.

Kondensatory o zgęszczonym powietrzu Fessenden'a³⁾ (11–12 atm.; odstęp płyt 2 mm) pracowały pod napięciem 27.000 V; ze względu na bardzo małą pojemność nadają się tylko do telegrafii bez drutu.

Znacznie lepsze od poprzednich i można powiedzieć najlepsze do napięć niżej 10000 V. są kondensatory papierowe Meirowski'ego⁴⁾, który początkowo wyrabiał kondensatory z papieru parafinowego, a później zastąpił parafinę stalszą od niej żywicą. Papier dlatego nadaje się do średnich napięć, gdyż można go dostatecznie cienkim otrzymać, cieńszym niż n. p. szkło — a więc zwiększyć pojemność; wyższe napięcie wymaga już grubszej warstwy.

Do bardzo wysokich napięć nadaje się szkło, które było materiałem pierwszych kondensatorów (butelka lejdejska, tablica Franklina). Próbowano też niejednokrotnie budować techniczne kondensatory ze szkła, ale natrafiano na trudność otrzymania jednolitej tafli szklanej, dostatecznie cienkiej, która by wytrzymała wysokie napięcie.

Szkło jest też materiałem kondensatorów Mościckiego.

II. Badania Mościckiego nad wytrzymałością dielektryków i nad stratami w kondensatorze.

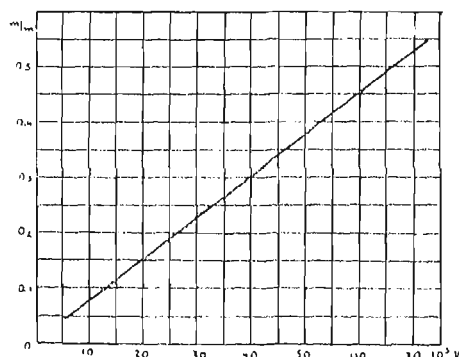
Pierwsze doświadczenia Mościckiego z kondensatorami płaskimi ze szkła wykazały dwie zasadnicze ich wady:

1. przebicie następowało prawie zawsze na kraju obłożenia, i

2. aby zwiększyć pojemność kondensatora trzeba składać kilka płyt razem, których brzegi należy potem zalać masą izolującą celem uniknięcia wyładowań krawędziowych; skutkiem tego ochładzanie było bardzo trudne i straty znaczne oraz zmniejszała się wytrzymałość na przebicie.

Stwierdzenie tych dwóch faktów doprowadziło do zasadniczej zmiany kształtu kondensatorów: zamiast płaskich obrót Mościcki rurkowe, co pozwoliło z łatwością wykonać brzeg kondensatora grubszy w miejscu, gdzie kończyło się obłożenie oraz osiągnąć jak najlepsze chłodzenie. To jest zasadniczą cechą wynalazku Mościckiego. Kondensatory jego mają pojemność odpowiadającą grubości ścianki, a wytrzymują napięcie odpowiadające grubości krawędzi.

Fig. 1.



Przy sposobności doświadczeń i prób z nowym typem kondensatora — dzięki zastosowaniu nowych metod pomiarowych — wykonał Mościcki cały szereg ciekawych spostrzeżeń nad wytrzymałością dielektryków na przebicie i stratach w kondensatorach, o których tu w krótkich słowach wspomnę.

1. Szkło i ebonit mają tę własność, że na kraju obłożenia następuje przebicie pod niższym napięciem niż w środku powierzchni obłożonych o równej grubości. To można sobie tem wytłumaczyć, że na kraju obłożenia powstaje zgęszczenie linii sił.

2. Napięcie przebijające wewnątrz obłożeń jest proporcjonalne do grubości dielektryku (fig. 1. dla szkła zwyczajnego). Napięcie przebijające szkło zwyczajne można wyrazić

¹⁾ Lumière électrique 1900, str. 1080.

²⁾ ET Z, 1905, str. 383.

³⁾ ET Z, 1905, str. 980.

⁴⁾ ET Z, 1909, str. 601.

w formie $\frac{E}{d} = 1,300.000 \text{ V/cm}$, gdzie E = napięcie w Voltach, a d = grubość szkła w cm.

3. Kwadrat napięcia przebijającego jest proporcjonalny do grubości dielektryku (fig. 2).

4. Częstota okresów wpływa na wysokość napięcia przebijającego: przy większej częstocie napięcie przebijające jest mniejsze dla tej samej grubości, n. p. przy częstoci 8—9000 wysokość napięcia spada o połowę wobec częstoci 50.

5. Straty energii, jaką dielektryk ze szkła przepuszcza, są tylko w nieznacznej części (ok. 20%) spowodowane przewodzeniem prądu; główne ich źródło leży w przekształceniach, jakim poddawany on jest w obwodzie prądu przemienego, zależą więc one od liczby tych przekształceń w sekundzie czyli od częstoci okresów.

6. Straty energii rosną z rosnącym napięciem (E) a maleją z rosnącą grubością dielektryku (d) czyli zależą od spadku napięcia ($\frac{E}{d}$). Dla szkła czeskiego wynosiły przy $\frac{E}{d} = 250.000 \text{ V/cm}$ mniej niż 10% przepuszczanej energii (według Lombardiego 80%). Straty procentowe można wyrazić następującym wzorem

$$100 \cos \varphi = k \cdot \left(\frac{E}{d}\right)^{\alpha} \cdot n^{\beta}$$

gdzie k = stała, E = napięcie w Voltach, d = grubość dielektryku w cm. n = częstota okresów, α i β wykładniki bliżej nieokreślone a zawarte między 0 a 1. Jeżeli to podstawimy we wzorze na straty w kondensatorze

$$p = 2 \pi n E^2 C \cos \varphi \text{ gdzie } C = \frac{c S}{4 \pi d}$$

to otrzymamy

$$p = K \cdot d \left(\frac{E}{d}\right)^{2+\alpha} \cdot n^{1+\beta}$$

gdzie $K = \frac{k \cdot c \cdot S}{200}$ a $0 < \alpha < 1$ i $0 < \beta < 1$.

Ten wzór jest poprawionym wzorem Steinmetza $p = K \cdot E^2 \cdot n$, który powiada,

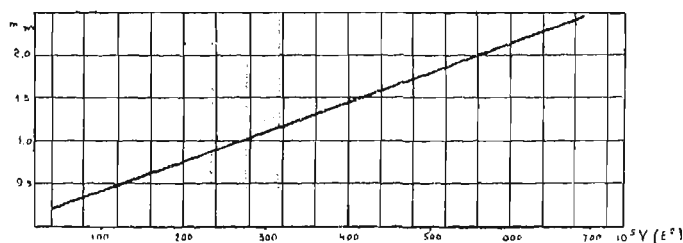
że straty procentowe dla tego samego dielektryku są stałe bez względu na zmiany w napięciu i częstoci. Badania Mościckiego wykazały, że dla szkła rosną z rosnącym spadkiem napięcia i częstocią.

III. Opis kondensatorów Mościckiego.

Właściwy kondensator stanowi rurka szklana 40 lub 60 mm średnicy, zatopiona na jednym końcu, a na drugim wydłużona w szyjkę; grubość ścianki wynosi 1,5—2,2 mm , u szyjki 7—10 mm ; długość rurki bez szyjki 400, 800 i 1200 mm . Wewnątrz i zewnątrz jest rurka powleczone galwanoplastycznie cie-

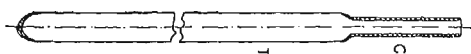
niutką warstewką srebra, które stanowi obłożenie kondensatora; a żeby uchronić obłożenie zewnętrzne od przetarcia, powleka się je warstwą miedzi.

Fig. 2.



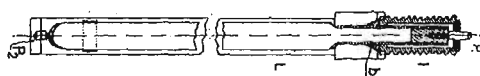
Tak przygotowany kondensator (fig. 3.) wstawia się w rurkę z blachy mosiężnej lub żelaznej, napełnionej wodą zmieszaną z gliceryną (dla zapobieżania zamarzaniu). W ten sposób chłodzenie jest doskonałe: płyn pochłania szybko ciepło wywiązujące się —

Fig. 3.



tak, że nie następuje szkodliwe ogrzewanie się jednego miejsca — i przewodzi do blachy, która dla ułatwienia promieniowania jest poczerniona. Rurka kondensatora (fig. 4.) jest uszczelniona względem osłony za po-

Fig. 4.



mocą wkładki kauczukowej b. Końcówkę obłożenia wewnętrznego stanowi kontakt P, a zewnętrznego P₂, stykający się bezpośrednio z osłoną. Izolację między obłożeniami tworzy izolator porcelanowy I.

Fig. 5. przedstawia sam kondensator, a fig. 6. kondensator w osłonie czyli całe jedno ogniwko; kilka lub kilkanaście (6—16)

lekkich ogniw, połączonych równolegle i osadzonych w odpowiednich ramach metalowych na izolatorach, stanowi baterię kondensatorów (fig. 7.) Obłożenia wewnętrzne baterii są połączone między sobą,

Fig. 5.



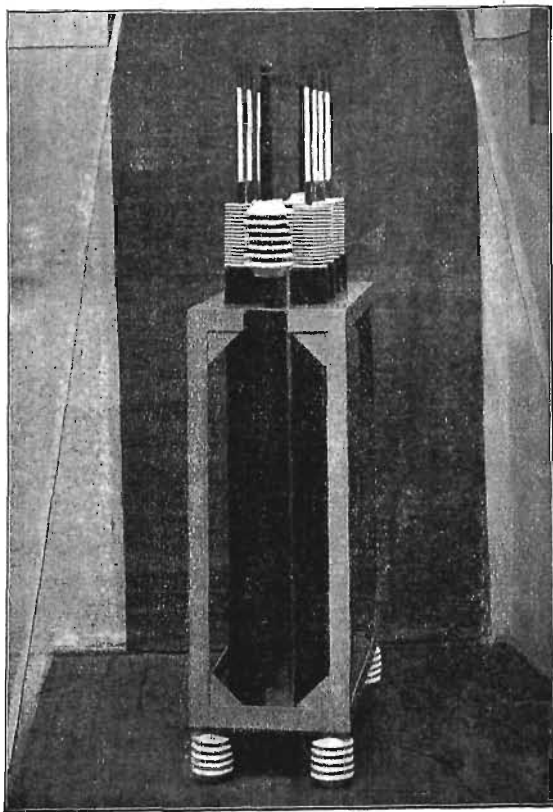
zewewnętrzne zaś łączą się za pośrednictwem osłon i ramy. Każde ogniwo opatrzone jest bezpiecznikiem (drucik srebrny w rurce szklanej) do ochrony przed nadmiernym prądem.

Fig. 6.



Kondensatory systemu Mościckiego wyrabia Fabryka kondensatorów w Fryburgu (Szwajcarya) założona w r. 1904 przez Modzelewskiego a zamie-

Fig. 7.



niona następnie na towarzystwo akcyjne (Société générale des condensateurs électriques). Towarzystwo posiada obe-

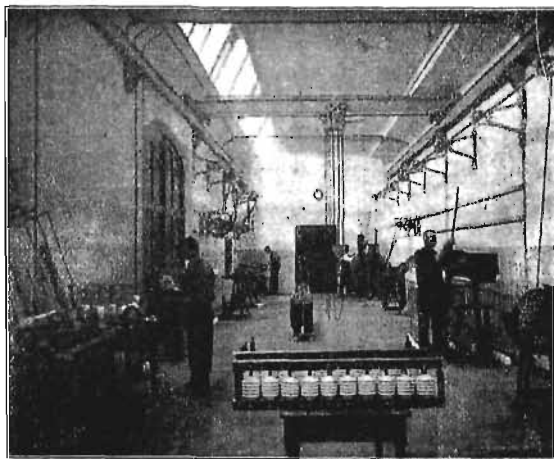
cnie własny budynek i zatrudnia kilkudziesięciu robotników; prócz kondensatorów systemu Mościckiego wyrabiają tam przyrządy pomocnicze do ochrony linii jak cewki indukcyjne i statyczne, wyłączniki, t. zw. wentyle elektryczne, o których będzie później

Fig. 8.



mowa, przyrządy do wytworzenia promieni Roentgena (przy zastosowaniu kondensatorów) i t. p. Fig. 8. przedstawia salę do galvanoplastyki, a fig. 9. montownię baterii kondensatorów.

Fig. 9.



Fabryka wyrabia obecnie głównie dwa typy kondensatorów: jeden do 18.000 V napięcia skutecznego przy zwykłej częstotliwości okresów i do 25.000 V napięcia maksymalnego przy wielkiej częstotliwości (ochrona linii, telegrafia bez drutu); średnica rurki wynosi 40 mm a grubość ścianki 1,5 mm . Drugi typ jest przeznaczony do napięć 35.000 lub 50.000 V

(zależnie od częstotliwości); średnica rurki wynosi 60 $\frac{mm}{m}$, a grubość ścianki 2,2 $\frac{mm}{m}$.

Do wyższych napięć należy łączyć kondensatory w szereg.

Co się tyczy pojemności i ceny zwykłych ogniów może dać orientację następująca tabelka:

typ	napięcie	pojemność w μF .	cena w K	moc w watach	koszt 1 K V A w K
$\frac{400}{40}$	18000	0,0015—18	24	170	ok. 140
$\frac{800}{40}$	18000	0,0030—36	30	340	ok. 90
$\frac{1200}{40}$	18000	0,0040—50	42	460	ok. 85
$\frac{800}{60}$	35000	0,0030—35	70	1250	ok. 75

Z równania $P = 2 \pi n E^2 C 10^{-6}$ widać, że moc P , do jakiej mogą służyć kondensatory, będzie tem większa, im większe napięcie E i częstota okresów n . Widać stąd — a i tabelka powyższa to wskazuje — że ze względu na cenę nadają się one przede wszystkim tam, gdzie się ma do czynienia z wielkimi napięciami i wielką częstotliwością okresów. Wyrównywanie przesunięcia fazy w sieciach o wysokim napięciu, telegrafia bez drutu i — jak to Mościcki w ostatnich latach zainicjował — ochrona sieci przed wyładowaniami elektryczności atmosferycznej i przepięciami — oto najważniejsze zastosowania kondensatorów Mościckiego.

IV. Wyrównywanie przesunięcia fazy.

Przeglądając literaturę fachową nieraz można spotkać się ze zdaniem¹⁾, że tylko wskutek braku odpowiednich kondensatorów nie można na większą skalę przedsięwziąć wyrównywania przesunięcia fazy, spowodowanego prądami bezwrotnymi. Motor synchroniczny, ustawiony n. p. w podstacyi, może — wzbudzony nadmiernie — wpływać wyrównawczo tylko na tę część sieci, która znajduje się między nim a centralą; na inne

zaś tylko pośrednio, przez zmniejszenie spadku napięcia. W razie jeżeli się go ustawi w centrali, wpływa tylko na generatora nie na sieć; główni sprawcy przesunięcia fazy: motory indukcyjne i transformatory leżą po za sferą jego działania. Chcąc więc ujemny wpływ każdego odbiorcy indukcyjnego osłabić, należałoby przy każdym z nich ustawić motor synchroniczny. Jest to wprost wykluczone ze względu na koszty, jakie pociąga za sobą nieustanna jego obsługa. Kondensatory, nie wymagające tej obsługi, mogą więc skutecznie zastąpić motory synchroniczne, o ileby koszt ich założenia i ruchu nie był zbyt wielki, a one same mogłyby bez nadmiernego ogrzewania się pracować.

Takimi są właśnie kondensatory Mościckiego. Ponieważ jednak są to kondensatory tylko na wysokie napięcie nie można ich w sieciach niskiego napięcia używać, chyba tylko za pośrednictwem transformatorów. W tej części referatu chcę właśnie zbadać przy jakich napięciach przedstawiają kondensatory Mościckiego lepsze korzyści niż motory synchroniczne.

Ponieważ — jak wyżej wspominałem — motory synchroniczne wymagają stałej obsługi, można je używać tylko dla większych mocy, gdzie koszty jednostkowe obsługi nie grają wielkiej roli; jako granice przyjmuje stacje rozdzielcze o mocy 500—2000 K W. Z porównania wykluczone są podstacje przetwórcze, gdzie motory synchroniczne z natury rzeczy mogą być ustawione; wypadek taki (brak podstacyi) nie należy do rzadkości w sieciach elektrowni okręgowych. Ze względu, że kondensatory Mościckiego nadają się tylko do wysokich napięć uwzględniłem napięcia 5, 10, 15, 20 i 30000 V; za to motory synchroniczne trudno budować do napięć wyższych niż 10000 V, dlatego wziąłem dla nich tylko 5 i 10000 V. Wielkość przesunięcia fazy przyjąłem dla $\cos \varphi = 0,9$ i $0,7$.

Przy badaniu wpływu wyrównywania przesunięcia fazy można wziąć pod uwagę następujące korzyści z tego wynikające:

Dla nowych instalacji

1. można tę samą energię przesyłać z mniejszą stratą na tę samą odległość, albo na dalszą odległość przesyłać przy tej samej stracie większą energię,

¹⁾ n. p. Herzog i Feldmann: Berechnung elektrischer Leitungsnetze.

a to z tego powodu, że strata energii w przewodach przy przenoszeniu prądów przemiennych jest odwrotnie proporcjonalnie do współczynnika mocy;

2. przy tej samej mocy, napięciu i odaleniu można uzyskać zmniejszenie wydatku na miedź,

gdyż stosunek przekroju przewodów przy przesunięciu faz f_p do przekroju bez przesunięcia f_s (prąd stały) wynosi przy tym samym procentowym spadku napięcia $\frac{1}{\cos \varphi}$, a przy tej samej procentowej stracie mocy $\frac{1}{\cos^2 \varphi}$.

Dla starych instalacji:

Może się zdarzyć, że elektrownia, pracująca ze znacznym $\cos \varphi$, jest już u kresu swej wydajności i zachodzi potrzeba jej rozszerzenia. Przez odpowiednie zastosowanie jednak wyrównywania przesunięcia faz, można odzyskać znaczną część energii, straconą wskutek prądów bezwzględnych, jak to się okazuje z niżej zamieszczonej tabeli. Moc użyteczna, jaką wtedy generator wyprodukować może, będzie równa mocy doprowadzonej od motoru popędowego, zmniejszonej o straty w generatorze, będzie to jak gdyby ten sam generator w tych samych warunkach wytwarzał większą ilość energii. Można więc mówić niejako o „wytwarzaniu” odzyskiwaniu, nowej energii i o kosztach „wytwarzania”. Te koszty składają się

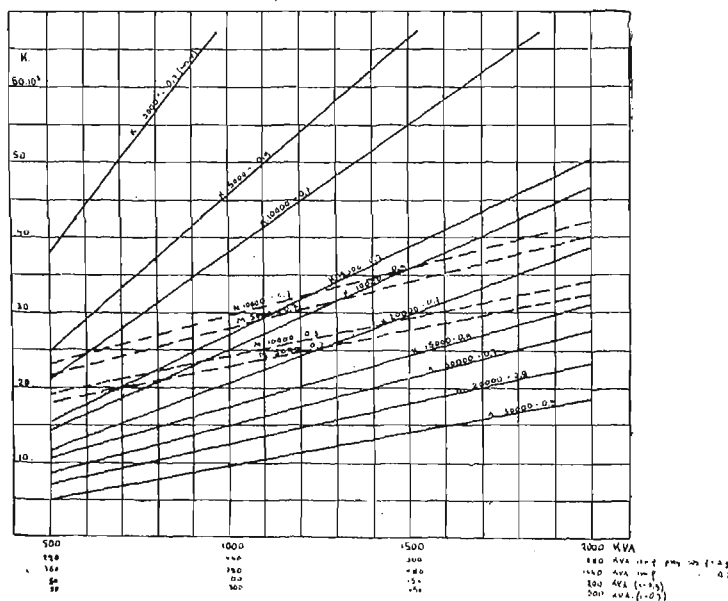
z kosztów ruchu i amortyzacji i oprocentowania kosztów zakładowych motoru synchronicznego czy kondensatorów.

Za podstawę do obliczeń następujących wykresów służyła poniższa tabelka:

Moc pozorna w KVA	500	1000	1500	2000
Moc rzeczywista w KW				
przy $\cos \varphi = 0,9$	450	900	1350	1800
przy $\cos \varphi = 0,7$	350	700	1050	1400
Moc stracona w KW				
przy $\cos \varphi = 0,9$	50	100	150	200
przy $\cos \varphi = 0,7$	150	300	450	600
Moc dodatkowa w KVA				
przy $\cos \varphi = 0,9$	220	440	660	880
(aby $\cos \varphi = 1$) $\cos \varphi = 0,7$	360	720	1080	1440

Fig. 10. przedstawia koszty zakładowe motoru synchronicznego M lub baterii kondensatorów K o mocy odpowiadającej każdorazowo $\sin \varphi$ KVA, potrzebnej do całkowitego wyrównania przesunięcia faz. Instalacja kondensatorów jest bardzo prosta; wielkość baterii dobiera się przez połączenie równoległe odpowiedniej liczby baterii; koszty instalacji kosztują ok. 12% ceny baterii. Motor synchroniczny wymaga wielkich kosztów instalacyjnych i osobnej rozdzielnicy; te koszty dodatkowe liczyłem ok. 5000 K na motor.

Fig. 10.



Z wykresu (fig. 10.) widać od razu przewagę motorów nad kondensatorami przy instalacjach o napięciu 5000 V. Przy 10000 V. przewaga ta zaczyna się dla $\cos \varphi = 0,9$ od 900 KVA, a dla $\cos \varphi = 0,7$ od 600 KVA. Zresztą są kondensatory tańsze.

Jeszcze wyraźniej widać to na fig. 11, na której są przed-

stawione koszty zakładowe 1 KVA odzyskanego za pomocą motorów lub kondensatorów.

Za to fig. 12., podająca koszty „produkcyj” 1 KVA/godz. odzyskanej, pokazuje bezwzględną wyższość kondensatorów nad motorami

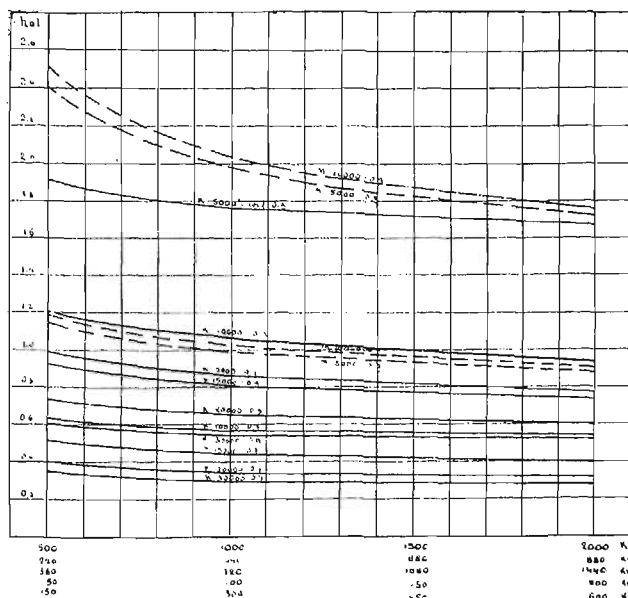
synchronicznymi. Kondensatory, zużywające tylko co najwyżej 1% energii, do jakiej są przeznaczone, i nie wymagające osobnej stałej obsługi, muszą mieć przewagę nad motorami, które przy biegu jałowym pochłaniają co najmniej kilka procentów energii i muszą być stale obsługiwane. Wykres (fig. 12.) został sporządzony dla następujących danych: amortyzacja i oporcentowanie 10% (dla kondensatorów może być mniej) koszt własny 1 KW/godz. 5 hal., motor i kondensatory 3000 godzin rocznie w ruchu przy pełnym obciążeniu, albo przez cały rok obciążone średnio 35%. Wtedy koszt „produkcji” 1 KVA/godz. odzyskanej będzie

$$\frac{5 p P}{P'} + \frac{0,1 P}{3000} \text{ halerzy}$$

gdzie P = moc zainstalowana,
 P' = moc odzyskana, $p = 0,01$ dla kondensatorów, $p = 0,06$ dla motorów, (wzięto za mała — dla uwydatnienia!).

Widzimy z wykresu (fig. 12.) że w granicach powyższych — opłaci się zainstalować

Fig. 12.

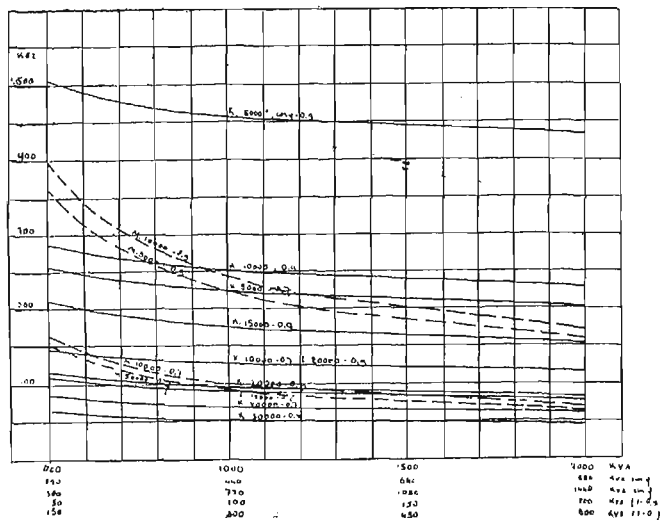


kondensatory zamiast motorów nawet przy napięciu 5000 V. Same koszty odzyskanej KVA/godz. nie dochodzą nawet połowy własnych kosztów ruchu. Dalej widać z wykresu jak korzystne są kondensatory przy napię-

ciach powyżej 15000 V. Koszta 1 KVA/godz. są przeszło 5 razy mniejsze niż wytworzone w zwykły sposób.

Wykres fig. 13. podaje jako przykład

Fig. 11.



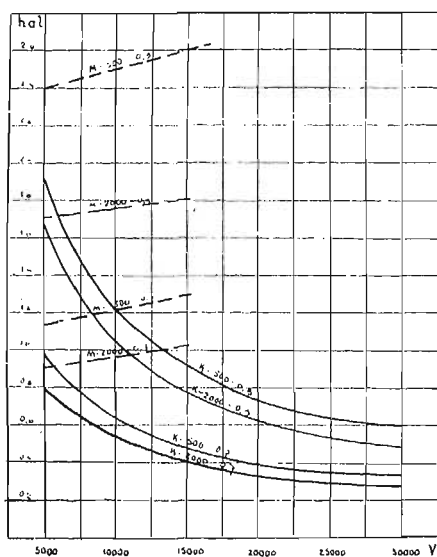
jak koszt odzyskanej KVA/godz. przy stacjach o mocy 500 KVA z rosnącym napięciem rosną przy zastosowaniu motorów synchronicznych, a maleją przy kondensatorach.

Reasumując te wyniki, dochodzimy do wniosku, że kondensatory Mościckiego oddać mogą wielkie usługi przy wyrównywaniu przysunięcia faz już od napięć 5000 V to nie tylko dla małych stacji, lecz i dla dużych, gdzie mogą wchodzić w grę i motory synchroniczne wyjąwszy wypadki, gdzie te motory do innych celów są już zainstalowane; szczególne zaś korzyści występują przy napięciach powyżej 15000 V.

Kondensatory używane w tym celu mają grubość ścianki cieńszą (o ile nie są wystawione na znaczne przepięcia), skutkiem czego pojemność ich się zwiększa. Ażebymy spełniały swe czynności należy, winny być o ile możliwości jak najbardziej porozrzucane w sieci, a więc zainstalowane przy każdym większym transformatorze. O zupełnym wyrównaniu przesunięcia faz

nie może być mowy, gdyż w takim razie należałoby przystosowywać wielkość baterii kondensatorów do każdorazowego $\cos \varphi$, co bez wielkich kosztów nie da się wykonać; baterie kondensatorów należy obliczać od wypadku do wypadku dla średniego $\cos \varphi$ według wzorów na moc $P_1 = P \sin \varphi$ KVA i na pojemność $C = \frac{P \cdot 10^6 \cdot \cos \varphi}{2 \pi n E^2} \mu F$, gdzie P = moc pozorna w KVA. — Z tego też względu wykresy powyższe mogą tylko służyć do ogólnego zorientowania się w zachodzących stosunkach.

Fig. 13.



Kondensatory przeznaczone do wyrównywania przesunięcia faz zaleca się łączyć według następującego układu (fig. 14.). W takim wypadku można mieć jeszcze następujące korzyści:

1. Wyrównanie krzywej napięcia generatora popsutej drganiami pochodnymi, które

mają tem łatwiejsze przejście przez kondensator im są wyższe; skutkiem tego część linii leżąca po za baterią

jest ich pozbawiona, przez co chód motorów staje się równomierniejszy i unika się zjawisk rezonansu, które mogą być dla sieci niebezpieczne¹⁾.

¹⁾ p. K. Drewnowski: O zastosowaniu kondensatorów Mościckiego, Czasop. techn. 1907. Nr. 10. (zdjęcia oscylograficzne przebiegu krzywej napięcia).

2. Przez podzielenie zaś baterii na dwie części i uziemienie środka mogą być wszystkie prądy o większej częstotliwości niż normalna tem łatwiej odprowadzane do ziemi, im ich częstota jest większa. Uzyskuje się w ten sposób ochronę przed przepięciami i wyładowaniami elektryczności atmosferycznej, bez użycia osobnych ochronników.

V. Ochrona przed przepięciami.

Praktyczne rozwiązanie kwestii ochrony linii przed przepięciami należy jeszcze do przyszłości; przyrządy ochronne, dzisiaj używane, można nważać tylko za próby mniej lub więcej szczęśliwe. Przyczynia się do tego głównie to, że same zjawiska przepięć nie są jeszcze dostatecznie zbadane, a tem mniej działanie przyrządów ochronnych, tak że mamy tylko w tym względzie hipotezy, czekające na potwierdzenie w praktyce. Omawianie tych hipotez wyprowadziłoby po za ramy niniejszego referatu; pozwolę sobie to uczynić innym razem, a dziś muszę się powołać na odpowiednią literaturę, głównie na artykuły w ETZ z r. 1908 i 1910, spowodowane odczytami na Zjeździe elektrotechników niemieckich w Essen 1908. Obecnie zastanowię się tylko pokrótce na tem, jaką rolę mogą odegrać kondensatory w poszczególnych przypadkach zaburzeń w przewodach, spowodowanych przepięciami.

1. Rezonans elektryczny.

Zjawisko rezonansu elektrycznego może powstać wtedy, jeżeli wartości samoindukcji i pojemności linii są takie, że się równoważą ze względu na podstawową częstotliwość okresów lub na które z drgań pochodnych; w pierwszym wypadku napięcie na idealnym kondensatorze (utworzonym przez linię) może wzrosnąć (teoretycznie) kilkanaście razy i przebić n. p. kabel; na szczęście zjawisko to dla normalnych częstotliwości jest bardzo rzadkie (powstać w razie jeżeli $l \cdot L \cdot C \approx 10$, gdzie l = długość linii w km., L = samoindukcja 1 km. linii w Henry, a C także pojemność w μF ; widać, że przedewszystkiem bardzo długie linie są na to narażone). Częstszym może być drugi wypadek, a mianowicie rezonans ze względu na pochodne drgania, słabszy wprawdzie, ale zawsze mogący spowodować uszkodzenia linii.

Kondensatory załączone do linii (równoległe) wprowadzić zwiększają pojemność a więc i możliwość rezonansu, ale z drugiej strony stanowią — jak o tem była wzmianka w rozdziale 4 — niejako zwarcie dla wyższych pochodnych i oczyszczają krzywą napięcia generatora.

2. Załączanie i wyłączanie.

Przy załączaniu i wyłączaniu linii powstaje przepięcie, którego wielkość przy załączaniu nie przekracza — nawet w najlepszych warunkach — podwójnej wielkości napięcia sieci; za to przy wyłączaniu prądu i powstaje przepięcie w wielkości

$$e = i \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

W liniach mających duże L a małe C (przewody dalekonośne) mogą więc powstać znaczne przepięcia, w sieciach kablowych mniejsze. Widzimy stąd, że załączenie kondensatorów może zmniejszyć przepięcie przy wyłączaniu. To tłumaczy się tem, że kondensator przyjmuje w sobie część energii odłączonej, która sprawia uderzenie. Jeżeli uwzględnimy tłumienie, to, gdy

$R < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$, mamy wyładowanie energii oscylacyjne i kondensator może ją przepuścić do ziemi.

3. Zwarcie dwu przewodów.

Przy przerwaniu zwarcia zachodzą te same zjawiska, co przy wyłączaniu prądu, tylko w znacznie wzmożonej formie, gdyż i energia zwarcia jest największą dla danego systemu $\left(\frac{1}{2} i^2 L\right)$. Działanie kondensatora jest więc podobne jak poprzednio; przepięcie jakie przy tem powstaje jest mniejsze, gdyż kondensator przyjmuje pewną część energii, ale za to, w razie, gdy drgania nie są oscylacyjne i kondensator nie przepuścił ich do ziemi, może nastąpić tem silniejsze wyładowanie energii potencjalnej kondensatora.

4. Zwarcie z ziemią.

Zwarcie z ziemią, w razie nieuziemionego punktu zerowego, powoduje trwały nadmiar prądu i łuk względem ziemi, który ma tendencję do gaśnięcia i zapalania się z energią $\frac{1}{2} C E^2$. Przy tem powstaje wędrująca fala napięcia, która częściowo zostaje odrzu-

cona przez indukcję transformatorów i generatorów, a częściowo przepuszczona przez kondensator, załączony między przewodami a ziemią. Taka wędrująca fala napięcia wywołuje fale stojące, a te powodują drgania o wielkiej częstotliwości; te drgania mogą sprawić przebicie izolacji i zwarcie z ziemią, a więc znowu drgania o mniejszej częstotliwości.

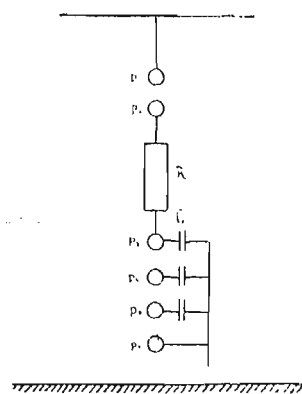
Kondensator spełnia więc tutaj rolę podwójną: zmniejsza wprowadzić przepięcia przez przepuszczenie części energii do ziemi, ale za to zwiększa energię potencjalną wyładowań. Przepuszczenie energii jest tem sprawniejsze, im częstotliwość drgań jest większa, ta wynosi zwykle kilka tysięcy; nie jest to cyfra dostatecznie duża, przeto wynikająca z tego pojemność kondensatora musi być znaczna.

Z tego też względu kondensatorów nie używa się wprost jako ochronników przed przepięciami, tylko pośrednio jako część składową t. zw. wentyli elektrycznych systemu Giles'a (dyrektora fabryki kondensatorów w Fryburgu).

Wentyle elektryczne.

Zasada wentyla elektrycznego jest następująca (fig. 15.): p_1, p_2, \dots są to płytki two-

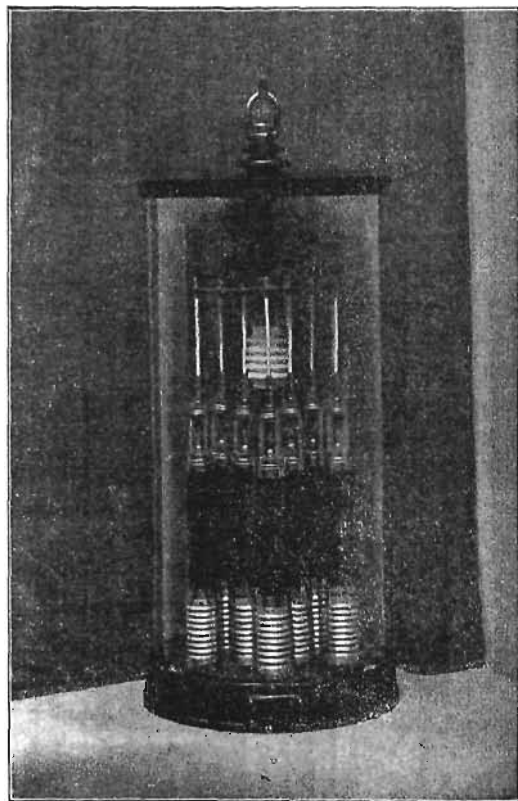
Fig. 15.



zące przeskoki iskier, R — opór odpowiednio dobrany (1000—2500 omów). p_1 ma stałe potencjał linii, a $p_3—p_6$ potencjał ziemi, p_6 jest wprost z ziemią połączona, a inne za pośrednictwem małych kondensatorów C . Przeskok $p_1—p_2$ da się regulować odpowiednio do napięcia linii, tak aby już nieznaczny nadmiar

napięcia spowodował iskrę; inne przeskoki są stałe. W razie przepięcia powstaje iskra między p_1 a p_2 , wtedy p_2 ma ten sam potencjał co p_1 , zmniejszony o spadek napięcia w iskrze. Podobnie powstaje spadek napięcia na oporze R , spadek niewielki, bo i prąd idący przez kondensatorek jest niewielki. Ponieważ p_3 ma teraz potencjał trochę tylko mniejszy od p_2 , a p_4 ma potencjał 0, przeto powstanie iskra i t. d. aż do p_6 wtedy prąd może spłynąć do ziemi, wolny od przecięcia.

Fig. 16.



Jak widać, wentyl elektryczny jest to ulepszony ochronnik krążkowy wielokrotny (walce Würtza) przez dodanie kondensatorów, skutkiem czego między poszczególnymi płytkami panuje prawie całe napięcie doziemne. Znalaziono, że przez dodanie kondensatorów zmniejsza się potrzebne napięcie do przebycia wszystkich przeskoków n. p. z 50000 V. na 10000 V.

Takie wentyle, zestawione po kilka razem równolegle, skutkiem czego opór zastępczy jest mały, tworzą baterię, przedstawioną na fig. 16. Widać tam tylko pierwszy

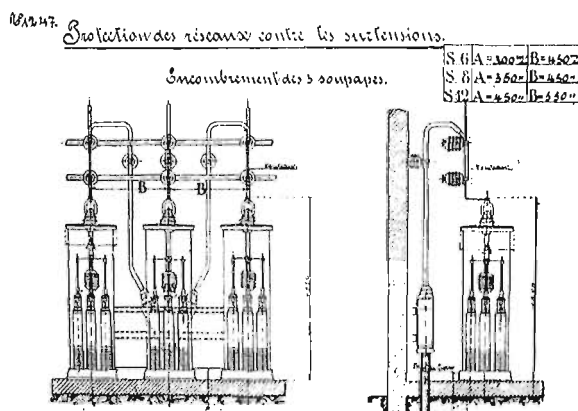
przeskok w każdym ogniwie; opór, inne przeskoki i kondensatorki są osłonięte płaszczem cylindrycznym. Całość zamknięta jest w osłonie szklanej, aby przeskoki uczynić czulszymi.

Taki wentyl ma w przeciągu jednego pół okresu prądu generatora przerwać iskrę powstałą skutkiem przepięcia, a to właśnie przez działanie wentylowe płytek mosiężnych, podobnie jak przy ochronnikach krążkowych.

Fabryka kondensatorów wyrabia baterie wentyli do napięć 6—18000 V. i to dla prądów generatora do 70 A. w cenie od 270—480 K, dla 90 A: 350—630 K i dla 135 A: 520—940 K.

Projekt gotowej instalacji baterii wentyli dla linii trójfazowej podaje fig. 17.

Fig. 17.



Jakkolwiek co do dobroci i użyteczności wentyli zdania są bardzo podzielone ¹⁾ znajdują one coraz większe zastosowanie, głównie w miejskich elektrowniach w Niemczech (Lipsk, Essen, Dortmund, Differdingen, Saarbrücken i i.).

¹⁾ Przed niedawnym czasem pojawił się w ETZ Nr. 18. i 19. artykuł inżyniera Siemens-Schuckert Werke F. Schrottke'go, w którym tenże w tonie niepraktykowanym w poważnej literaturze technicznej, występuje przeciw ochronie linii za pomocą kondensatorów i wentyli, zalecając rozłuki Siemens'a. Z powodu braku miejsca nie mogę poddać krytyce wspomniany artykuł, zwłaszcza, że bez doświadczeń byłoby to bezcelowe. Mając jednak nadzieję otrzymać w krótkim czasie baterię wentyli elektrycznych, będę mógł konieczne w tym wypadku doświadczenia przerobić i zająć się bliżej zarzutami Schrottke'go.

VI. Ochrona przed wyładowaniami atmosferycznymi.

Jeszcze mniej zbadaną dziedziną niż poprzednie, jest sprawa wyładowań elektryczności atmosferycznej na przewody daleko-
nośne. Co do przyczyn, istoty i skutków tych zjawisk istnieją różne przypuszczenia i zapa-
trywania. Zgodność jest tylko co do bez-
pośrednich ładunków statycznych, jakie oddają chmury naładowane elektrycznością i przeciągające nad przewodami elektrycznymi. Kondensator załączony między linię a ziemię, może w tym wypadku przyjąć część ładunku i zmniejszyć skutkiem tego przepięcie; właściwą ochroną są jednak — powszechnie używane — opory z wody tryskającej i cewki do wyładowań statycznych.

Wpływ wyładowań elektryczności atmosferycznej między chmurami a ziemią, lub między dwiema chmurami może być przypisywany albo indukcji elektrycznej (influeneyi) albo indukcji elektromagnetycznej.

W pierwszym wypadku — indukcja elektrostatyczna — elektryczność chmury odpycha taką samą elektryczność ziemi i przewodów; ponieważ przewody są dobrze izolowane od ziemi, zachowują się, jako naładowane względem ziemi elektrycznością o tym samym znaku, co chmury; jeżeli ładunek przekroczy granice wytrzymałości izolacji, następuje przebicie i zwarcie, co powoduje drgania o średniej częstotliwości i przepięcia.

W drugim wypadku — indukcja elektromagnetyczna — rozchodzi się o oscylacyjne wyładowania pioruna w pobliżu, tak że część wyładowania dostaje się do przewodów i tu powoduje drgania zależne od stanu linii (od jej pojemności, samoindukcji...). Wtedy mamy w linii dwa drgania: jedno o wielkiej częstotliwości — nieswobodne i drugie o średniej częstotliwości — swobodne, które rozchodzą się wzdłuż przewodów z chy-
żością światła i mogą spowodować rezonans, przepięcia, przebicie izolacji i inne zaburzenia.

Właśnie co do częstotliwości tych dwóch wpływów istnieją różne zapastrywania: jedni twierdzą, że pierwsze są najczęstsze, drudzy przeciwnie starają się udowodnić, że drgania o wielkiej częstotliwości są przeważnie skutkiem

wyładowań pioruna i jako ochronniki proponują kondensatory, a zarzucają ochronniki z przeskokiem iskier, popierane przez zwolenników pierwszej hipotezy.

Doświadczenia z praktyki uczą, że kondensatory, używane jako ochronniki, bardzo dobre wyniki okazują, a teoretycznie są w wypadkach o wielkiej częstotliwości wprost idealne. Załączone między przewód prądu przemiennego a ziemię tylko w minimalnym stopniu przepuszczają te prądy — o zwykłej częstotliwości — do ziemi; za to energia doprowadzona z zewnątrz skutkiem wyładowań atmosferycznych, indukcyjnych, znajduje jak najprostszemu odpływ. Weźmy przykład: W budce transformatorowej jednofazowej o mocy ok. 100 KVA i napięciu 20000 V względem ziemi, zainstalowana jest na każdym przewodzie bateria kondensatorów A_6 , złożona z 6 elementów o łącznej pojemności ok. $0,02 \mu F$. Wtedy prąd o 50 okresach przepływający przez nią wynosi $0,125 A$. Jeżeli wyładowania będą miały częstotliwość tylko 100.000 — w rzeczywistości bywa znacznie więcej — to bateria jest w stanie przepuścić prąd 2000 razy większy t. j. 250 A. Jeżeli opór kondensatorów, doprowadzeń i uziemienia przyjmiemy 50 Ω , to odpowiada to spadkowi napięcia 12.500 V., co kondensator może łatwo wytrzymać. Moc przy tem pochłonięta wynosiłaby 3125 KW, co stanowi prawie, że zwarcie, a mimo to sieć nie odczuwałaby tego ubytku. Ażeby odprowadzić te same energii za pomocą różków Siemens'a, którym zwykle daje się w szereg opór 600 Ω , trzeba by spadku napięcia 150000 V.!

Kondensatory, służące do tego celu, muszą być doskonale chłodzone i mieć wielką pojemność cieplną, aby mogły bez uszkodzenia przewodzić tak wielką energię. Opory połączeń i uziemienia muszą być jak najmniejsze, a same przewody łączące, prowadzone bez ostrych zakrzywień, ze względu, że się ma do czynienia z wielką częstotliwością drgań. Zaleca się ustawianie kondensatorów tuż przy ziemi, — przeciwnie jak to się obecnie dzieje — aby prądy oscylacyjne miały jak najkrótszą drogę do ziemi.

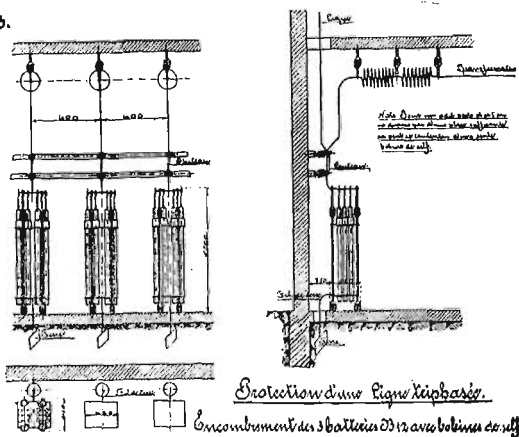
Jako ochronniki, nadają się szczególnie kondensatory Mościckiego. Fabryka kondensatorów instaluje baterie według następującej tabelki:

typ	liczba ogniw	moc stacyi	cena K
$\frac{400}{40}$	6	100 KW	240
"	8	300	300
"	12	ponad 300	430
$\frac{800}{40}$	12	"	430
"	12	"	550
$\frac{1200}{60}$	6	200	440
"	8	500	700
"	12	ponad 500	1030
"	16	"	1350

Plan instalacji ochronników dla stacyi transformatorowej trójfazowej wskazuje fig. 18. Widać tam cewki spiralne, dławiące, stanowiące zaporę dla prądów oscylacyjnych do transformatora; przed cewkami, od strony linii, odgałęzione są — przez wyłączniki on-żowe — 3 baterie kondenzatorów, połączone nakrótkiej drogą z ziemią.

Fig. 18.

N° 1266.

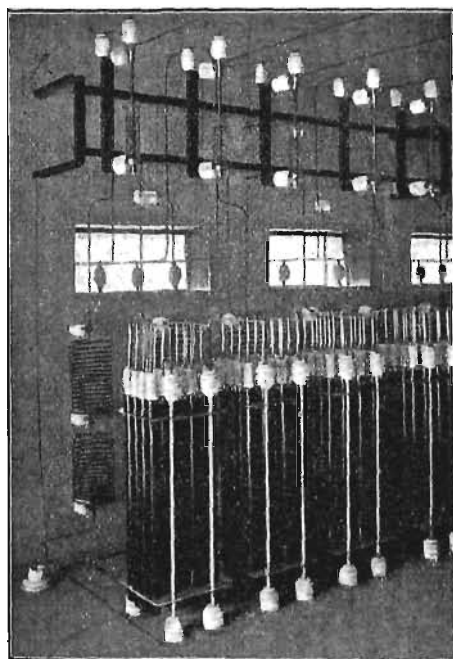


Ochronniki kondenzatorowe wprowadzone przez Mościckiego przed laty 6, wydały na niektórych liniach tak pomyślne rezultaty, że obecnie instalują je tam we wszystkich nowych budkach transformatorowych. Najwięcej używają je centrale Haute-rive pod Fryburgiem (8—32000 V.), Compagnie Vandoie des forces Motrices des lacs de Joux et de l'Orbe (13000 V.),

Elektricitätswerke Beznan - Lönlisch (8—27000 V.). Z innych warto wymienić Bergamo w północnych Włoszech (45000 V.), Montbeliard (50000 V.) we Francji, Societat espagnola w Madrycie (50000 V.), Kladno 5500, V. i Gmunden (10000 V.) w Austrii, i t. d.

Fig. 19. przedstawia instalację baterii ochronników kondenzatorowych w centrali La Dernier w Szwajcaryi na 13000 V. Wszystkie szczegóły instalacji są tam do-rze widoczne.

Fig. 19.



VII. Wytwarzanie prądów oscylacyjnych.

W rzędzie, gdzie chodzi o wytwarzanie prądów o wielkiej częstości, mogą oddać kondensatory Mościckiego wielkie usługi, dzięki swej wytrzymałości i wydajności.

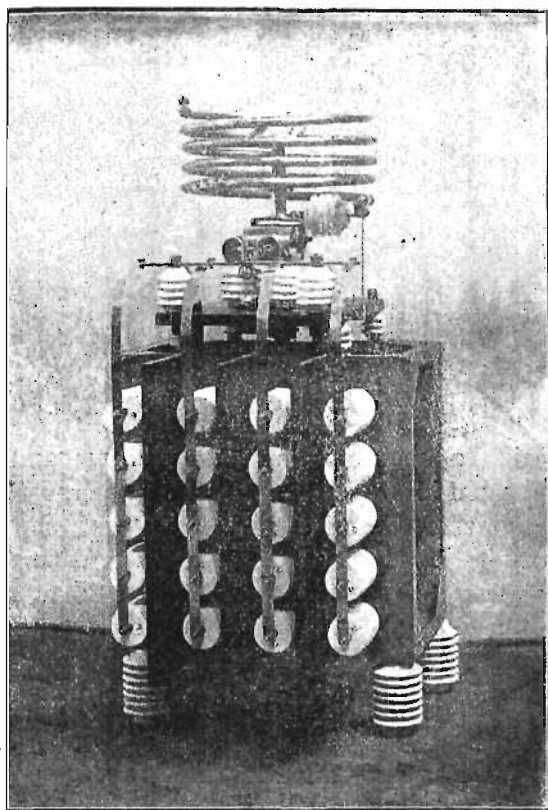
1. Telegrafia bez drutu.

Kondensatory, używane do telegrafii bez drutu, różnią się od ochronnikowych tem, że mają obłożenia grubsze, tak, że pomimo wielkiej energii, jaka krąży w obłożeniach podczas wysłania fal elektrycznych, nie ogrzewają się ponad miarę. Jedną taką baterię przedstawia fig. 20.

Obecnie są używane najwięcej w państwowych i prywatnych stacyach telegrafii bez drutu w Francji, Anglii, Włoszech, Szwaj-

caryi. W zeszłym roku dostarczyła fabryka kondenzatorów baterię dla wieży Eiffa, o po-

Fig. 20.

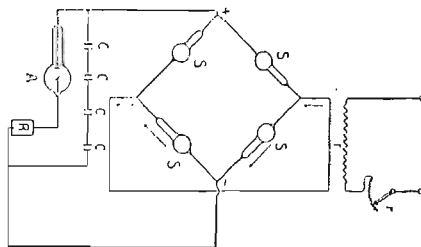


emności $0,6 \mu F$, do napięcia 120000 V. Do pokonania tak wielkiego napięcia łączą dwa ogniwa w szereg.

2. Promienie Röntgena.

Tutaj kondensatory mogą zastąpić induktry Runkorffa, które dają nierównomierne fale. Pracują one w połączeniu z przełącznikami, które dają prąd stały przy zastosowaniu następującego układu połączeń (fig. 21): T jest to transformator na wysokie napięcie, S,S przełączniki, C,C kondensatory,

Fig. 21.



A rurka dająca promienie Röntgena. Za pomocą oporu r można regulować napięcie transformatora, a więc i energię promieni. Pojemność baterii kondenzatorów wynosi $0,005 \mu F$, do napięcia 20—40000 V.

Na zakończenie poczuwam się do obowiązku złożenia wyrazów podziękowania p. G. Gilesowi, dyrektorowi Société gen. des condensateurs électriques w Fryburgu, za uczynne udzielenie mi potrzebnych uwag, objaśnień i zdjęć fotograficznych.

Literatura:

Mościcki: Badania nad wytrzymałością dielektryków (*Roczn. Ak. Um. Krak. 1904*).
 Mościcki i Altenberg: O zatratach dielektrycznych w kondenzatorach pod wpływem działania prądów zmiennych (*Roczn. Ak. Um. Krak. 1904*).
 Mościcki: Über Hochspannungs-kondensatoren (*ETZ, 1904, Nr. 25. i 26.*).
 Mościcki: Les condensateurs a haute tension (*Eclairage électrique 1904, IV, str. 14, 65 i 99*).
 Mościcki: Beseitigung der durch atmosphärische Elektrizität verursachten Betriebsstörungen (*Schweiz. ETZ. 1906, Nr. 14, 15 i 16*).
 Guilbert: Nouveau type des condensateurs industriels (*Eclair. électr. 1906 IV, str. 208*).
 Drewnowski: O zastosowaniach kondenzatorów Mościckiego w elektrotechnice (*Czas techn. 1907, Nr. 8. i 10*).

Feldmann: Ursache, Wirkung und Bekämpfung der Überspannungen (*ETZ, 1908, Nr. 25—29*).
 Kuhlmann: Schutz und Sicherheit gegen Überspannungen (*ETZ, 1908, Nr. 46—48*).
 Dyskusja nad odczytami Feldmanna i Kuhlmann na zjeździe elektrotechników niemieckich w Essen (*ETZ, 1908, Nr. 33*).
 Knauer: Überspannungssicherungen nach dem System Soc. gen. condens. Fribourg. (*Elektr. u. Masch. 1908, str. 1019*).
 Wohlleben u. Giles: Schutz der Netze gegen atmosphärische Entladungen und Überspannungen (*ETZ, 1910, Nr. 18 i 19*).
 Schrottko: Schützen elektrische Ventile und Schutzkondensatoren wirklich gegen Überspannungen (*ETZ, 1910, Nr. 18 i 19*).
 Cenniki fabryki kondenzatorów.