

CZASOPISMO TECHNICZNE

ORGAN TOWARZYSTWA POLITECHNICZNEGO WE LWOWIE.

Rocznik XXV.

Lwów, dnia 25 kwietnia 1907.

Nr. 8.

TREŚĆ: Inż. Kazimierz Drewnowski: O zastosowaniach kondensatorów Mościckiego w elektrotechnice. — Wincenty Barczewski: Rektyfikacja ksiąg gruntowych. — K. Straszewski: Z postępu elektrotechniki w Ameryce w r. 1906. — Sprawozdania z literatury technicznej. — Krytyka. — Wiadomości osobiste. — Rozmaitości. — Sprawy Towarzystwa.

O zastosowaniach kondensatorów Mościckiego w elektrotechnice.

Kondensatory znano już przed laty kilkudziesięciu, jednakowoż dopiero niedawno wpadnięto na myśl, która mogła je wyprowadzić z laboratoriów na szerszą arenę elektrotechniki praktycznej — gdzie też znajdowano z czasem coraz to nowsze dla nich zastosowania. Fizyk amerykański Stanley był pierwszym, który — w roku 1891 w Chicago — użył kondensatorów do zniweczenia działania samoindukcji w kole elektrycznym. Zjawisko to mogło przedewszystkiem oddać wielkie usługi przy przenoszeniu energii elektrycznej, gdzie motory dla prądów zmiennych i transformatory powodują przesunięcie fazy, i co za tem idzie, odpowiednie zmniejszenie sprawności centrali. Był to jednak okres czasu, kiedy zaczęto dopiero budować motory dla prądów zmiennych, a przenoszenie energii elektrycznej było dopiero w stadium prób. Nie więc dziwnego, że kondensatory nie znalazły na razie zastosowania w praktyce; nie przestano jednak zajmować się nimi jako ciekawem zjawiskiem i nadal w laboratoriach, a wszyscy prawie, którzy teoretycznie je badali, próbowali zbudować technicznie pewne kondensatory. Literatura elektrotechniczna ostatnich lat kilkunastu wykazuje mnóstwo pomysłów, więcej lub mniej udatnych, co najlepiej może świadczyć, jaką wagę przywiązywano do tych aparatów.

Wszystkie te kondensatory wspólną posiadały wadę, którą daremnie starano się usunąć: małą odporność na przebicie, a co za tem szło — niemożliwość użycia ich dla wielkich napięć, jakie właśnie są używane w tych dziedzinach, gdzie kondensatory mogą znaleźć zastosowanie (przenoszenie energii na wielkie odległości, telegrafii bez drutu). Wyjątek stanowiły kondensatory Lombardiego z r. 1900, które wytrzymywały, co prawda, 10—12000 woltów, ale tylko przez krótki czas, zaś stale obciążonymi być nie mogły.

Dopiero kiedy przed blisko 5 laty udało się inż. Ignacemu Mościckiemu we Fryburgu zbudować kondensatory, wytrzymujące 50000 woltów i więcej, sprawa ich technicznego zastosowania zdaje się być rozwiązana, a fabryka założona we Fryburgu dla eksploataowania wynalazków Mościckiego w tym kierunku, potrafiła już stanąć na pewnych nogach i zdobywa sobie klientelę w całej Europie.

Ponieważ w kraju naszym sprawa ta prawie że nie jest znana, a kwestya przenoszenia energii elektrycznej na znaczne odległości, — a więc w dziedzinie, w której kondensatory największe mogą oddać usługi, — nie schodzi z porządku dziennego

naszych kół elektrotechnicznych i przemysłowych i blizką wydaje się urzeczywistnienia, wobec liczących sił wodnych, jakie mamy do dyspozycji, — pragnąłbym w szkicu niniejszym przedstawić pokrótce wyniki badań naszego rodaka, a interesujących się bliżej tą sprawą odsyłam do publikacji w czasopismach¹⁾.

I. Nowy typ kondensatorów.

Przy pracach nad otrzymaniem kwasu azotowego z powietrza, natrafił Mościcki na zupełny brak technicznie pewnych kondensatorów, dla napięć powyżej 10000 woltów. To spowodowało go do samodzielnych badań w tym kierunku, rezultatem których było odkrycie następującego, nadzwyczaj ciekawego zjawiska: Okazało się mianowicie, że przebicie płyty kondensatora — dotąd używano tylko kondensatorów płytowych — następuje o wiele prędzej na samym kraju obłożenia, niż we środku, to znaczy, że kondensator jest w stanie tylko pewną część tego napięcia wytrzymać, jakieby zniósł przy tej samej grubości dielektrikum, ale przy konstrukcyi, starającej się zapobiedz złym skutkom powyższego zjawiska. Zgrubienie dielektrikum pociąga za sobą zmniejszenie pojemności, względnie konieczność łączenia równoległego wielkiej liczby płyt, co też uskuteczniają zwykle przez układanie ich warstwami. Ażeby teraz uniknąć bocznych wyładowań między obłożeniami, musiano brzegi płyt zalewać masą izolującą. Pominąwszy już znaczne koszty takiej procedury — zużywano bowiem dużo materiału — powodowało to inną jeszcze niedogodność: utrudnienie, a prawie że niemożliwość dostatecznego chłodzenia, co też nie pozwalało kondensatorom stale obciążać.

Tymczasem cały szereg doświadczeń Mościckiego pokazał, że możliwem jest uniknięcie tych wszystkich niedogodności po prostu przez zgrubienie dielektrikum na samym tylko kraju obłożenia, a najdogodniejszą formą dla podobnej konstrukcyi okazała się rurka o zgrubionej szyjce i takim dnem (fig. 1).

Fig. 2 wskazuje zależność wysokości napięcia potrzebnego do przebicia dielektrikum na kraju (krzywa A) i w środku (B) obłożenia od grubości

¹⁾ Artykuły Mościckiego: Roczniki Akademii Umiejętności w Krakowie — styczeń 1904; *ETZ* 1904, Nr. 25 i 26; *L'éclairage électrique* 1904, Nr. z 1, 8 i 15/X 1904; *Schweiz. ETZ* 1905, Nr. 7 i 9; *Schweiz. ETZ* 1906, Nr. 14, 15 i 16; Artykuł Guilberta w *L'éclairage électrique* 1906 IV; — *Catologue de la Société générale des Condensateurs électriques*, Fribourg 1906.

tegoż dielektrykum w m/m ; n. p.: Szkło 0.5 m/m grube zostaje przebite na kraju pod działaniem 11 700 woltów, a w środku 67 100 woltów, czyli wy-



Fig. 1.

trzymać jest zdolne 5 razy większe napięcie, jeżeli użyjemy konstrukcji, wskazanej przez Mościckiego. W ogóle: kondensatory Mościckiego w takiej mierze opierają się przebiciu, jak gdyby ściany rurki były wzdłuż tej grubości co ściany szyjki, podczas gdy ich pojemność określona jest grubością ściany rurki.

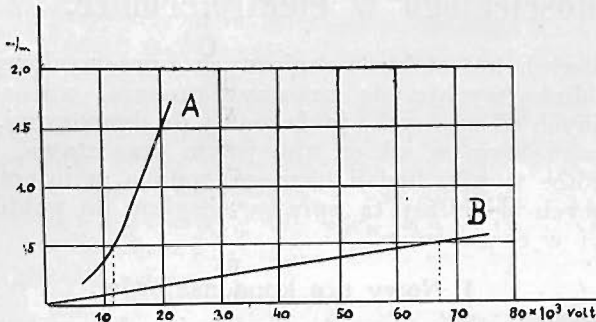


Fig. 2.

Kondensatory rurkowe mają jeszcze inną, ważną zaletę, a tą jest ogromna łatwość ochładzania ich. Dalej można przez odpowiednią, bardzo prostą izolację uniknąć wyładowań powierzchniowych między obu obłożeniami, co też znacznie powiększa dzielność kondensatora. Straty energii, przepływającej prądami, nie przekraczają 1%, co czyni, że kondensator jest najbardziej ekonomicznym aparatem w elektrotechnice.

Kondensatory Mościckiego są to rurki szklane (fig. 3) o długości zwykle 550 lub 950 m/m ,

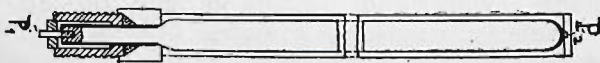


Fig. 3.

średnicy 40 m/m , a grubości ścianek rurki 0.5 m/m , przyczem grubość szyjki — dokąd sięgają obłożenia — jest 3-4 razy większe niż samej rurki. Rurka jest wewnątrz i zewnątrz chemicznie powleczona cieniutką warstwą srebra, które stanowi właściwe obłożenie kondensatora; dla ochrony tej warstewki jest ona pokryta grubszą już warstwą miedzi. Obłożenie wewnętrzne jest połączone z kontaktem P_1 , a zewnętrzne z P_2 . Cała rurka jest umieszczona w pochwie metalowej z blachy żelaznej lub mosiężnej, która jest metalicznie połączona z kontaktem P_2 . Przestrzeń między rurką a pochwą wypełniona jest wodą destylowaną z dodatkiem gliceryny, celem zapobieżenia zamarzeniu. W ten sposób właściwa powierzchnia ochładzania obłożenia przenosi się przez pośrednictwo tego płynu na zewnętrzną powierzchnię rurki, która dla ułatwienia jeszcze promieniowania ciepła jest pocerniona.

Fabryka wyrabia poszczególne elementy dla napięć 10, 15, 20 i 30 tysięcy woltów, każdy przed oddaniem go do użytku, próbowany jest pod napięciem kilka razy silniejszym.

Pojemności tych elementów wynoszą normalnie:

	dla 10 000	15 000	20 000	30 000 woltów
typ $\frac{550}{40}$	0.00325,	0.0022,	0.0008,	0.00055 mikrofaradów
typ $\frac{950}{40}$	0.0065,	0.0045,	0.002,	0.001 „

Dla uzyskania możności pracowania pod większymi napięciami łączy się elementy w szereg tak, że z łatwością można otrzymać baterie na 100 i więcej tysięcy woltów. Fabryka dostarcza gotowe już baterie o różnych pojemnościach, dla napięć 10-30 tysięcy woltów, po kilka i kilkanaście elementów. Każdy element jest zaopatrzony w bezpiecznik (spłonkę), który w razie zepsucia się elementu topi się i wyłącza go z koła, co umożliwia prawidłowe funkcjonowanie reszty. Elementy, tworzące jedną baterię, ujęte są w rodzaj ramy metalowej, a ta jest osadzona na izolatorach porcelanowych (fig. 4). U tych baterii rama jest metalicznie połączona z zewnętrznym obłożeniem każdego elementu, podczas gdy ich wewnętrzne obłożenia są znowu między sobą złączone. Całość jest nader zgrabnie i celowo urządzona.

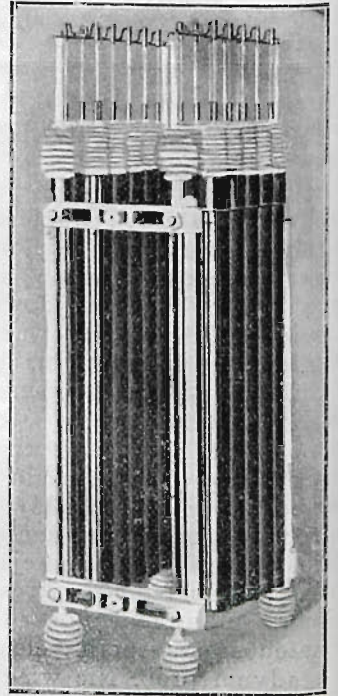


Fig. 4.

Kondensatory tego typu mogą znaleźć i znajdują zastosowanie w najrozmaitszych dziedzinach elektrotechniki i fizyki, zwłaszcza tam, gdzie się ma do czynienia z prądami o wysokiej częstotliwości, przede wszystkim zaś przy przenoszeniu energii elektrycznej:

1. Do ochrony linii przed wyładowaniami elektryczności atmosferycznej;
2. Do ochrony aparatów przed nadmiernymi napięciami wewnętrznymi;
3. Do zniweczenia przesunięcia fazy;
4. Przy popędzie motorów trójfazowych prądem jednofazowym;
5. a dalej przy wytwarzaniu prądów o wysokiej częstotliwości n. p. w telegrafii bez drutu itp.

Zauważyć też należy, że w roku ubiegłym po raz pierwszy wystawione zostały kondensatory Mościckiego na wystawie światowej w Medyolanie, gdzie spotkały się z ogólnym uznaniem kół fachowych i uzyskały dyplom honorowy wraz ze złotym medalem.

II. Ochrona linii elektrycznej przed wyładowaniami atmosferycznymi.

Uszkodzenie linii elektrycznej, względnie maszyn i aparatów, w nią włączonych, przez

szkodliwe działanie elektryczności atmosferycznej, spowodowanem być może przez:

1. Uderzenie piorunu w przewody lub słupy;
2. Prądy indukowane o wysokiej częstotliwości;
3. Wyładowanie elektryczności statycznej;
4. Ciemne wyładowania.

Uderzenia piorunu są na szczęście zjawiskiem bardzo rzadkiem a prawie że nie można się przed nimi uchronić. Powodują one zwykle uszkodzenie izolatorów i słupa. Ochrona słupów i przewodów w sposób praktykowany zwykle przy budynkach (gromochrony) nie może, — z powodu ogromnych kosztów z tem związanych, — wchodzić tu w rachubę, względnie znaleźć zastosowania w praktyce.

O wiele częstsze są przypadki, że gwałtowne wyładowanie elektryczności między chmurą a ziemią następuje gdzieś w pobliżu, skutkiem czego powstają w przewodach prądy indukowane o bardzo wysokiej częstotliwości, które szukają sobie ujścia, możliwie wolnego od oporu indukcyjnego, a jeżeli takiego nie ma, dostają się aż do maszyn i aparatów, co pociąga za sobą spalenie izolacji a nawet całych części tychże.

Jeżeli w pobliżu linii przeciąga chmura, naładowana elektrycznie, lub tuman mgły, śniegu, piasku i t. p., to może się zdarzyć, że odda część swego ładunku przewodom elektrycznym w formie wyładowania influencyjnego, a więc prądu stałego, który stara się w kierunku najmniejszego oporu odpłynąć do ziemi.

Wyładowania ciemne są tylko wtedy niebezpieczne, jeżeli działają przez dłuższy czas, co jednak rzadko się zdarza.

Jak widzimy, dwa tylko rodzaje wyładowań atmosferycznych można tu brać w rachubę: indukowane i statyczne.

Te ostatnie z łatwością odprowadzić się dadzą przez łączenie przewodów z ziemią za pomocą odpowiednich cewek dławikowych. Cewki te muszą mieć znaczną samoindukcję jako zaporę dla prądu generatorowego (zmiennego), a bardzo mały opór ohmowy, dla ułatwienia odpłynięcia prądów stałych, influencyjnych. Fabryka kondensatorów wyrabia również takie cewki dla napięć liniowych o 2000 do 52000 woltach i 50 peryodach.

Nie tak jednak prosto przedstawia się sprawa z wyładowaniami drugiego gatunku t. j. indukowanymi. Ich to szkodliwemu działaniu mają zapobiegać chronniki¹⁾, dziś powszechnie używane.

Chronniki te — a jest ich wiele systemów — podzielić można na dwie grupy według tego, czy łączą bezpośrednio przewody z ziemią, czy też przez szczelinę powietrzną.

Do pierwszych należą wszelkiego rodzaju oporniki wodne lub grafitowe, wzgl. węglowe; do drugich wszystkie inne, z których największe zastosowanie znalazły t. zw. rogi Siemensa i walce Würtsa. Działanie tych chronników jest następujące: Aparat, łączący przewód elektryczny z ziemią, posiada szczelinę, której wielkość zależna jest od napięcia liniowego, a mianowicie tak dobrana,

¹⁾ Zdaje mi się, że wyraz chronnik może być użyty na oznaczenie aparatu, mającego na celu ochronę linii elektrycznej przed nadmiernym wzrostem napięcia, czy to pochodzącym z zewnątrz z wyładowań elektryczności atmosferycznej, czy też powstającym w jakikolwiek sposób w samych aparatach i maszynach (po niem. *Blitzableiter*, *Überspannungssicherung*, po franc. *parafoudre*). Wyraz bezpiecznik, spłonka (n. *Schmelzsicherung*; fr. *coup circuit*) pozostałby dla oznaczenia osłony przed wzmożeniem się natężenia prądu.

aby przy normalnym ruchu nie mogła powstać w tej szczelinie iskra elektryczna, co by spowodowało odpływ prądu liniowego do ziemi. W razie jednak wyładowania elektryczności atmosferycznej, powstają tak znaczne napięcia w linii, że powodują momentalnie łuk elektryczny w szczelinie, prądy indukowane odpływają do ziemi i gdy napięcie znów spadnie do pierwotnej wysokości, łuk się przerywa; to przerwanie ułatwiają pewne specjalne urządzenia chronników, w których opis nie miejsce tu wchodzić.

Zdawałoby się, że taki system zupełnie może odpowiadać swemu zadaniu. Badania jednakowoż i doświadczenia Mościckiego wykazały co innego.

Wychodzi on z następującego rozumowania:

Ażeby wszelkie nadmierne zwiększenia napięcia w sieci uczynić nieszkodliwymi, należy je równie prędko odprowadzić do ziemi, jak powstały, a to po przewodach, wolnych od oporu indukcyjnego, ponieważ chodzi tu o prądy zmienne o bardzo wysokiej częstotliwości. Jednakowoż i opór ohmowy musi być ograniczony do minimum, a to ze względu na wysokie natężenia prądu, jakie powstają przy tem wyrównaniu, właśnie skutkiem tego, że przewód ziemny posiada pewien, czasami dość znaczny opór ohmowy, który to opór odgrywa nawet główną rolę w drugiej kategorii chronników (patrz wyżej), a często jest załączony w szereg ze szczeliną.

Również i szczelina powietrzna, która takim uznaniem cieszy się przy dzisiejszych chronnikach, powinna być usunięta, albowiem nie tylko posiada znaczny opór ohmowy, ale także powoduje oscylacyjne wyładowanie prądu liniowego, o mniejszej wprawdzie częstotliwości niż atmosferyczne, ale zawsze szkodliwe.

Szereg doświadczeń, jakie Mościcki wykonał na kongresie szwajcarskich elektrotechników w r. 1905 we Fryburgu, potwierdził te przypuszczenia i wykazał naocznie, że jak ogromnymi nie tylko napięciami ale i natężeniami ma się do czynienia przy podobnych wyładowaniach. Oto niektóre z nich¹⁾.

Procesy, jakie rozgrywają się podczas wyładowań elektryczności atmosferycznej — przedstawiających się naszemu oku jako błyskawice, nie będąc nieczem innym, jak tylko olbrzymimi iskrami elektrycznymi — można przedstawić i w laboratorium — w zmniejszonym, rozumie się, zakresie — zapomocą kondensatorów. W przyrodzie owymi obłożeniami kondensatora są właśnie dwie chmury, naładowane elektrycznie, lub też chmura i ziemia, względnie linia elektryczna, o co nam właśnie w danym przypadku chodzi. Jeżeli dalej uwzględnimy, że najczęściej tylko z pewną „gałęzią“ błyskawicy mamy do czynienia, przyjęcie nasze nie będzie zbyt daleko odbiegało od rzeczywistości. Jeżeli więc kondensatory załączymy w kole elektrycznym podług schematu fig. 5, otrzymamy w razie zamknięcia prądu w przewodach a i b — w danym

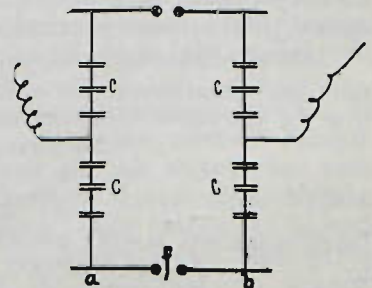


Fig. 5.

¹⁾ Blizszy opis znaleźć można w *Schweiz. ETZ* 1906, Nr. 14, 15 i 16.

przypadku 60 000 woltów i 50 peryodów — iskry elektryczne między elektrodami e i t . Elektrody te miały kształt kuli o 20 m/m średnicy. Do szczeliny powietrznej f załączony był równolegle (fig. 6) drut manganinowy, prosty, o średnicy 0.2 m/m i długości 51 cm , zamknięty w rurce szklanej, napełnionej wodą destylowaną, celem chłodzenia. Opór tego drutu wynosił 7 ohmów. Przez odpowiednie nastawienie elektrod f otrzymano tę odległość, przy której zaczynała powstawać iskra elektryczna. Wynosiła ona 4.5 m/m , co odpowiadało spadkowi napięcia 15 700 woltów. Jasnym jest, że taki sam spadek napięcia musiał być na drucie manganinowym.



Fig. 6.

Następnie w to samo kolo włączono w miejsce oporu ohmowego, — indukcyjny, otrzymany zapomocą drutu miedzianego, 5 m/m grubego, zwiniętego jak na fig. 7. Wtedy oddalenie elektrod f wynosić musiało minimum 16 m/m aby powstała iskra elektryczna; odpowiadało to spadkowi napięcia 40 000 volt.

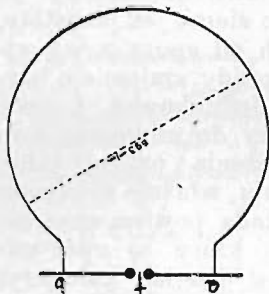


Fig. 7.

Z tych dwu pomiarów obliczyć można było frekwencję, która wyniosła około 1 350 000 w sekundzie, a maksymalne natężenie około 1 500 amp .

W końcu zastąpiono oba te opory kondensatorem o pojemności 0.03 mikrofaradów (fig. 8); wtedy trzeba było elektrody zbliżyć na 3 m/m aby powstała iskra, co wykazuje, że kondensator, o tak małej pojemności jak powyższy, przedstawia dla prądów o bardzo wielkiej frekwencji, mniejszy opór niż czysto ohmowy opór o 7 ohmach. Jeżeli zwiększymy pojemności, opór stanie się jeszcze mniejszy.



Fig. 8.

Widać z tego, że kondensatory odpowiadają tym warunkom, których żądamy od chronników. Przez proste połączenie jednego obłożenia kondensatora z przewodem elektrycznym, a drugiego z ziemią, znajdują prądy o wysokiej frekwencji prawie wolne od oporu odprowadzenia do ziemi, podczas gdy odpływ prądu liniowego będzie minimalny dla prądów zmiennych o zwykłej frekwencji, a dla stałych żaden. Ba, nawet im większą będzie frekwencja, tem łatwiej prąd może być odprowadzony, jak to prosty przykład okazuje:

W kondensatorze o pojemności k mikrofaradów, pod działaniem siły elektromotorycznej e woltów i n peryodów w sekundzie natężenie J wynosi:

$$J = 2\pi n e k$$

a opór

$$W = \frac{e}{J} = \frac{1}{2\pi n k}$$

jeżeli więc np. $n = 50$, $e = 8000 v$, $k = 0.037 \mu f$

to $J = 2\pi \cdot 50 \cdot 8000 \cdot 0.037 \cdot 10^{-6}$

czyli $J = 0.093 amp$

a $W = \frac{10^6}{2\pi \cdot 50 \cdot 0.037} = 86200 ohmów;$

a jeżeli przyjmijemy frekwencję 2000 razy większą, t. j. tyle, ile się przyjmuje przy wyładowaniach elektryczności atmosferycznej to dostaniemy

$$J = 1860 amp$$

$$W = 4.31 ohm.,$$

co właśnie przedstawia jak najdogodniejsze warunki.

Wobec tego zaleca Mościcki następujący schemat połączeń dla chronników (rys. 9) A przed-

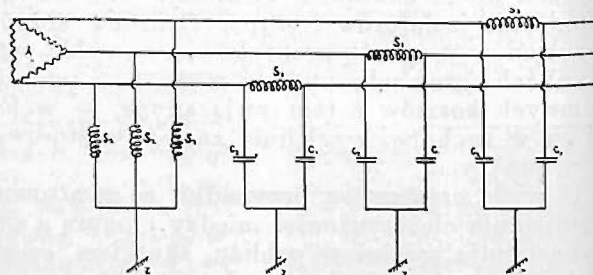


Fig. 9.

stawia jakikolwiek aparat dla prądu zmiennego (dynamo, transformator); S_1 cewkę indukcyjną, którą tworzy zwykle sam przewód główny poprowadzony w tem miejscu w spirali (10–12 zwojów o 10 cm średnicy). Spirala ta, mocą swej samoindukcji przedstawia po części zaporę dla prądów o wysokiej frekwencji. Właściwą funkcję chronnika spełniają tutaj baterie kondensatorów C_1 . Ażeby cewki S_1 mogły działać, musi przez nie przepłynąć pewien prąd o wysokiej frekwencji i dla odprowadzenia do ziemi tego prądu służą kondensatory C_2 . W razie gdyby te 2 baterie okazały się za słabe do wytrzymania zanadto silnego wzrostu napięcia, musiałby jeden z kondensatorów pęknąć i tak wskutek krótkiego spięcia obu obłożeń odprowadzić prądy do ziemi; aby jednak to krótkie spięcie uczynić nieszkodliwym t. j. aby prąd liniowy nie mógł odpływać w dalszym ciągu do ziemi, każdy element opatrzony jest spłonką, która w tejże chwili się przepala i wyłącza zupełnie dany element, podczas gdy reszta dalej prawidłowo funkcjonować może.

Prądy stałe, spowodowane wyładowaniami statycznymi, odprowadza się po cewkach indukcyjnych S_2 jak to już poprzednio o tem była mowa.

Jak widzimy, powyższy sposób zastosowania kondensatorów jest bezsprzecznie najlepszym środkiem do zlagodzenia szkodliwych wpływów elektryczności atmosferycznej na sieć elektryczną.

Centrala elektryczna Hauterive koło Fryburga — jedna z największych w Szwajcaryi — pierwsza wprowadziła u siebie tego rodzaju chronniki. Zainstalowane na próbę w r. 1903 kondensatory na 2 liniach głównych, długości kilkudziesięciu kilometrów, wykazały tak dobre rezultaty, że obecnie zaopatruje się w nie wszystkie stare i nowe domki transformatorowe. Podczas gdy inne linie ucierpiały w tym czasie liczne szkody od częstych burz, to na owych dwóch liniach czegoś podobnego nie było.

Za przykładem Hauterive idą i inne centrale jak Monbovon, Altdorf i inne w Szwajcaryi i Francji.

W następnych artykułach postaram się omówić inne zastosowania kondensatorów.

Fryburg w lutym 1907.

Inż. Kazimierz Drewnowski.