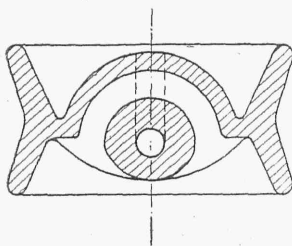
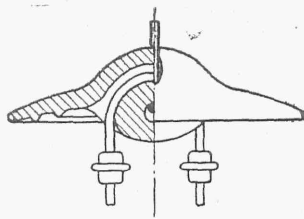


lerz, podobnie jak tamten, mający utrudnić wyładowania powierzchniowe. (Rys. 44).



Rys. 43.



Rys. 44.

Izolatory tego typu są droższe, niż talerzowe. Wyrób ich jest trudniejszy, niż izolatorów kołpakowych, które mają kształt brył obrotowych. Grubość ścianki nie może być tak jednostajna, jak tego wymagają względy na odporność termiczną. Wytrzymałość na przebicie jest też mniejsza. Mniejsza jest także ich pojemność własna, co jest niedogodne z punktu widzenia rozdziału napięć na łańcuchu izolatorów; — będzie o tem mowa poniżej.

Izolatory kołpakowe są obecnie pod wieloma względami lepsze, niż łańcuchowe. Ich fabrykacja poczyniła w ostatnich czasach bardzo duże postępy w Europie i wypiera izolatory łańcuchowe, które przyszły z Ameryki, gdzie dotąd przeważnie panują. Wykazują one wobec tamtych większą pojemność, a przez to lepszy rozkład napięcia w łańcuchu, krótszą długość poszczególnego ogniwa, a przez to i całego łańcucha, a ponadto są one łatwiejsze w wyrobie i wytrzymałsze elektrycznie i mechanicznie.

Dla większego bezpieczeństwa, np. przy przejściach ponad rzekami, drogami, linjami niskiego napięcia i t. p., stosuje się izolatory w 2 lub nawet 3 rzędach.

#### 4. Łańcuch izolatorów wiszących.

Izolatorów wiszących pojedynczo prawie się nie używa, zwykle stosuje się łańcuchy z dwóch lub więcej ogniw. Łańcuch taki ma wytrzymać całe przepisanie napięcie przeskoku. Napięcie przebicia zaś odnosi się do każdego poszczególnego izolatora, powinno być ono zawsze większe, niż jego napięcie przeskoku; jest więc uwarunkowane samą budową typu. Zależnie od obranego typu izolatora (łańcuchowe czy kołpakowe) mamy różne wartości napięcia przebicia

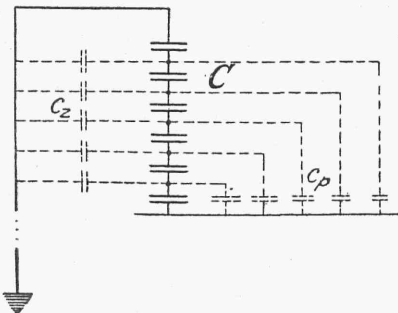
w stosunku do napięcia przeskoku na sucho lub na mokro. Izolatory łańcuchowe są gorsze pod tym względem od kołpakowych. Natomiast co do napięcia przeskoku całych łańcuchów o równej liczbie ogniów, oba rodzaje są prawie jednakowe.

Przy izolatorach stojących każdy typ ma przepisane granice napięcia używalności; stąd duża ilość typów takich izolatorów. Przy wiszących natomiast staramy się mieć do czynienia zwykle z jednym typem, z którego kombinuje się łańcuchy izolatorów, stosownie do napięcia.

Wobec tego, że każde ogniwo łańcucha bierze na siebie część ogólnego napięcia linii, przeto zwiększając napięcie, zwiększać trzeba liczbę ogniów izolatora. Napięcie linii nie rozdziela się jednak jednakowo na wszystkie izolatory, jakby tego można było się spodziewać w razie, gdy wszystkie ogniwa są tego samego typu. Praktyka zaś wykazuje, że na ogniwa bliższe przewodu przypada większe napięcie.

Niejednakowy podział napięcia na poszczególnych ogniwach łańcucha izolatorów tłumaczy się wpływem pojemności izolatorów (Rys. 45): względem siebie ( $C$ ), względem słupa czyli ziemi ( $c_z$ ), oraz względem przewodu ( $c_p$ ).

Pojemności własne izolatorów  $C$  są dla tego samego typu jednakowe; pojemności względem słupa  $c_z$  również; natomiast pojemności względem przewodu  $c_p$  są różne: im izolator jest dalej od przewodu, tem ta pojemność jest mniejsza.

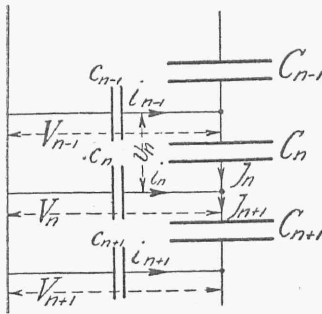


Rys. 45.

Prąd pojemnościowy, przepływający przez cały taki układ kondensatorowy, dzieli się skutkiem tego niejednakowo na poszczególne ogniwa i to jest przyczyną niejednakowego rozdziału napięć. Im większy bowiem prąd płynie przez izolator, tem większa jest różnica napięć.

Ażeby poznać bliżej prawa rozdziału napięć, weźmiemy pod uwagę część łańcucha izolatorów, sche-

matycznie przedstawioną (Rys. 46) i uwzględnimy na razie tylko pojemności własne i względem ziemi.



Rys. 46.

Kondensatory  $C_{n-1} = C_n = C_{n+1} = \dots = C$  przedstawiają pojemności poszczególnych ogniw łańcucha izolatorów, kondensatory zaś  $c_{n-1} = c_n = c_{n+1} = \dots = c$  ich pojemności (t. zn. pojemności ich okuć) względem słupa uziemionego, na którym łańcuch wisi, a więc względem ziemi. Oznaczmy prądy i napięcia w tym układzie — jak na

rysunku.

Wtedy prądy  $I_n + i_n - I_{n+1} = 0$   
 oraz  $I_n = \omega C_n v = \omega C (V_n - V_{n-1})$   
 $I_{n+1} = \omega C (V_{n+1} - V_n)$   
 $i_n = \omega c V_n$

Po podstawieniu otrzymamy

$$\frac{c}{C} V_n = V_{n+1} - 2 V_n + V_{n-1} \quad (2)$$

Równanie to przedstawia zależność napięcia na  $n$ -tym ogniwie, w zależności od napięć ogniw sąsiednich, a więc rozkład napięć na łańcuchu. Aby to równanie rozwiązać kładziemy:

$$V_n = A e^{n\alpha}, \quad V_{n+1} = A e^{(n+1)\alpha}, \quad V_{n-1} = A e^{(n-1)\alpha},$$

gdzie  $A$  jest stałą, którą później wyznaczymy.

Po podstawieniu do równania (2) otrzymamy:

$$\frac{c}{C} = \left( e^{\frac{\alpha}{2}} - e^{-\frac{\alpha}{2}} \right)^2 = (2 \sinh \frac{\alpha}{2})^2$$

$$\text{skąd} \quad \sinh \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c}{C}} \quad (3)$$

$\alpha$  jest zatem określone stosunkiem pojemności  $c/C$ ; dla tego stosunku małego  $\alpha \cong \sqrt{\frac{c}{C}}$

Ponieważ w równaniu (3)  $\alpha$  może być  $\pm$ , prze-  
 to wprowadzamy drugą stałą  $B$  do równania na  $V_n$ :

$$V_n = A e^{n\alpha} + B e^{-n\alpha}$$

Stałe  $A$  i  $B$  wyznaczymy z warunków krańcowych. Na początku łańcucha ( $n=0$ )  $V_0=0$ , bo łańcuch uziemiony. Wtedy

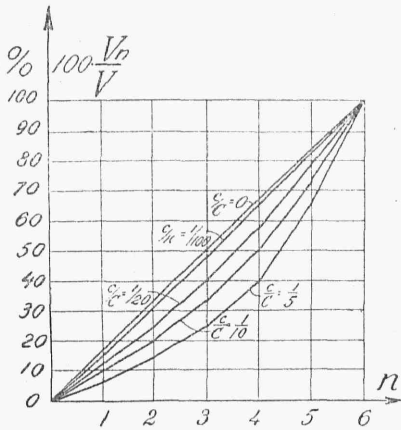
$$V_0 = A + B = 0 \quad \text{czyli} \quad A = -B,$$

a zatem  $V_n = A (e^{n\alpha} - e^{-n\alpha}) = 2A \sinh n\alpha$ .

Na końcu łańcucha ( $n=z$ ) panuje napięcie robocze  $V_z = V$ . Wtedy

$$V_z = 2A \sinh z\alpha = V, \text{ czyli } A = \frac{V}{2 \sinh z\alpha}$$

Stąd  $V_n = V \frac{\sinh n\alpha}{\sinh z\alpha} \dots \dots \dots (4)$



Rys. 47.

Według tego wzoru można obliczyć napięcie względem ziemi każdego izolatora w łańcuchu, znając  $\alpha$ , które można wyznaczyć ze stosunku  $c/C$  według wzoru (3).

Napięcie, przypadające na każde ogniwo, będzie zatem:

$$v_n = V_n - V_{n-1} = V \frac{\sinh n\alpha - \sinh (n-1)\alpha}{\sinh z\alpha} \quad (5)$$

A zatem na ostatnim izolatorze najbliżej przewodu będzie panować napięcie

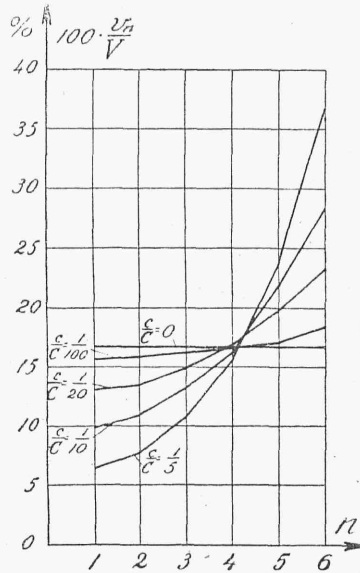
$$v_z = V \left( 1 - \frac{\sinh (z-1)\alpha}{\sinh z\alpha} \right) \quad (9)$$

Ostatnie wzory są miarodajne przy obliczaniu naprężeń izolatorów w łańcuchu. Jak widać, głównym

czynnikiem warunkującym rozdział napięć jest  $\alpha$ , czyli stosunek  $c/C$ .

Najlepiej uzmysłowi to przykład, przeliczony dla łańcucha z 7 ogni. Rys. 47 przedstawia procentowy rozdział napięć w łańcuchu, obliczony ze wzoru (4). Widać tam, jak bardzo stosunek  $c/C$  wpływa na ten rozdział. Im jest on mniejszy, tem bardziej jednostajny jest rozkład napięć. Dla  $c/C=0$  wypada jednakowe napięcie na każdym ogniwie.

Uzmysłowi to również Rys. 48, z którego widać, ile procentów napięcia przypada na każde ogniwo, stosownie do wzoru (5).



Rys. 48.

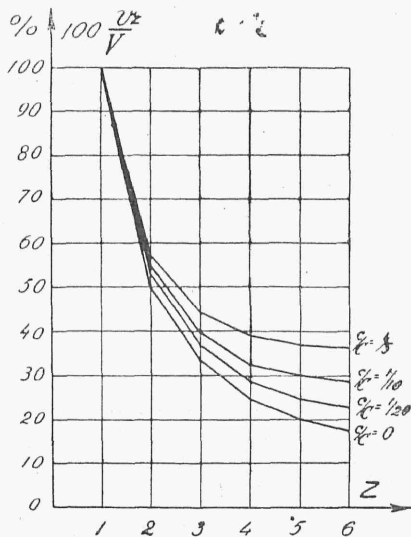
Z obu tych rysunków widzimy, że najwięcej napięzone jest ogniwo ostatnie, leżące najbliżej przewodu. Rys. 49 przedstawia właśnie napięcie na ostatnim ogniwie, obliczone według wzoru (6) dla różnej liczby ogni w łańcuchu i przy różnych stosunkach  $c/C$ . Napięcie na ostatnim ogniwie łańcucha izolatorów pewnego typu osiąga przy pewnej liczbie ogni wartość prawie stałą.

Dla łańcuchów z dużej liczby ogni można przyjąć (wzór 6)  $\sinh \alpha \approx e^{\alpha}$ ; przeto wtedy otrzymamy:  $v_z = V (1 - e^{-\alpha})$ , jako wartość graniczną napięcia, przypadającego na ostatnie ogniwo. Zależy ona tylko od  $\alpha$  czyli od  $c/C$ . Stąd łatwo obliczyć napięcie największe, jakie możnaby zastosować na

łańcuchu izolatorów o dużej liczbie ogniów, przy dopuszczalnym napięciu  $v_r = v_0$  dla danego typu izolatorów:

$$V_{\max} = \frac{v_0}{1 - e^{-\alpha}} \quad \dots \quad (7)$$

Dalsze zwiększanie liczby ogniów nie przyniosłoby (teoretycznie) żadnego polepszenia rozdziału napięcia, czyli, że — przy normalnie używanych typach — nie możnaby wyjść poza pewną granicę napięcia ro-



Rys. 49.

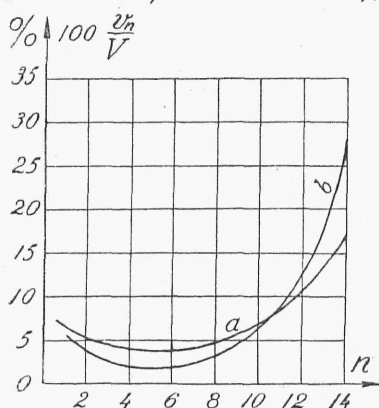
boczego, gdyż inaczej ostatni izolator zawsze znajdowałby się pod nadmiernym naprężeniem.

Sposób obliczania, podany powyżej, aczkolwiek teoretycznie słuszny, nie odtwarza jednak ściśle zachodzących w praktyce zjawisk.

Przedewszystkiem trzeba bowiem uwzględnić jeszcze wpływ pojemności izolatorów względem przewodu ( $c_p$  na Rys. 45), która, jak ze schematu wynika, działać musi przeciwnie, niż pojemność względem ziemi ( $c_z$ ). Ze względu na niejednakowe dla poszczególnych ogniów wartości tej pojemności, nie można liczbowo zastosować powyżej znalezionych wzorów na obliczanie rozdziału napięć w łańcuchu. Jakościowo da to jednak obraz, z którego widać, że wpływ ten będzie wzrastać z rosnącą liczbą ogniów. Widać to np. na Rys. 50, na którym przedstawione są wyniki pomiarów na łańcuchu z 14 izolatorów kołpakowych (a) i łańcuchowych (b). Mamy tu wyraźnie wpływ

odciążający pojemności względem przewodu, oraz większe odchylenia w rozdziale napięć przy izolatorach łańcuchowych, niż przy kołpakowych (z powodu mniejszej pojemności własnej pierwszych).

Ponadto okazuje się z doświadczeń (np. W. F. Peeka z liniami na 1000 kV), że, aczkolwiek początkowo rozdział napięcia na łańcuchu izolatorów odbywa się



Rys. 50.

według praw powyższych, to w chwili przeskoku iskry stosunki się zmieniają i na każdy izolator przypada prawie takie same napięcie. Przypisują to zwiększeniu pojemności poszczególnych izolatorów, skutkiem działania wyładowań jarzących, które wy-

stępują tem silniej, im izolator jest bliżej przewodu. Nie mniej przeto jednak trzeba liczyć się z większymi naprężeniami na ostatnim ogniwie, występującymi przed przeskokiem i mogącymi wywołać lokalne przeskoki lub nawet przebicia.

Przeto nierównomierny podział napięcia dlatego jest szkodliwy, że najbliższy do przewodu izolator może otrzymać zbyt wysokie napięcie tak, że nie będzie w stanie go wytrzymać i zostanie przeбитy; wtedy ogólny stan izolacji pogorszy się, bo to samo napięcie będzie się musiało rozdzielić na liczbę izolatorów o jeden mniejszą, co postawi te izolatory w jeszcze cięższe warunki pracy.

W normalnych warunkach, począwszy od 5—6 ogniów w łańcuchu, wypada zawsze około 30% całego napięcia na izolator najbliższy przewodu tak, że wreszcie dochodzimy do naprężenia tego izolatora powyżej dopuszczalnego stopnia pewności.

Polepszenie rozdziału napięcia na łańcuchu izolatorów wiszących może nastąpić przez zmniejszenie stosunku  $c_z/C$  lub przez zwiększenie stosunku  $c_p/C$ . Pierwsze można osiągnąć przez zwiększenie odstepu łańcucha od słupa, co zmniejsza pojemność  $c_z$ ; albo przez zwiększenie pojemności poszczególnych ogniów ( $C$ ), czy to przez ścienienie porcelany izolatora, czy przez nakładanie na izolatory płytek metalowych;

można to również osiągnąć przez stopniowanie izolatorów, stosując bliżej przewodu izolatory o pojemności większej.

Stosowanie do jednej linii izolatorów różnych typów jest dosyć kłopotliwe; raczej staramy się tego unikać. W ostatnich czasach stosuje się przeto coraz więcej kabłąki ochronne, umieszczane u spodu łańcucha i połączone z przewodem. (Rys. 51). Przez to osiąga się zwiększenie działania pojemności względem przewodu, działającej przeciwnie, niż pojemność izolatora względem ziemi. Pozatem te kabłąki stanowią ochronę od wyładowań ślizgowych, trzymając przeskok iskry zdala od izolatorów.

Wyładowania między kabłąkami odbywają się prawie bez wpływu pojemności izolatorów, to też przeskok takiego łańcucha idzie według praw wyładowań między elektrodami o małej krzywiznie. To znacznie poprawia warunki stosowalności łańcuchów o dużej liczbie ogniw, o czym była mowa poprzednio.

Przy obliczaniu łańcuchów izolatorów wiszących, t. zn. obliczaniu liczby jego ogniw przy danem napięciu roboczym, trzeba uwzględnić zarówno wytrzymałość na przebicie i na przeskok jednego izolatora, jak i całego łańcucha, a także jego pojemność własną, oraz pojemność względem ziemi, a może i względem przewodu; trzeba ponadto uwzględnić stopień pewności, rozdział napięć w łańcuchu, a głównie napięcie na ostatnim ogniwie i t. d.

Pojemność własną izolatora mierzy się zwykłymi sposobami pomiaru pojemności małych. Jest ona zwykle rzędu  $10 \div 50 \cdot 10^{-9}$  p. F., mniejsze cyfry dotyczą izolatorów łańcuchowych, większe — kołpakowych. Trudniej jest wyznaczyć pojemność względem ziemi. Na podstawie licznych pomiarów stosunek  $c_z/C$  wynosi średnio dla izolatorów łańcuchowych  $1/5$ , kołpakowych  $1/10 - 1/20$  (druga cyfra odnosi się do izolatorów z główką kulistą), a dla izolatorów z podwójnym kołpakiem jeszcze mniej.

Na podstawie wyżej podanego sposobu obliczania rozdziału napięcia w łańcuchu izolatorów można również obliczyć pojemność całego łańcucha. Przez ostatnie ogniwo przechodzi cały prąd pojemnościowy łańcucha, powodując tam spadek napięcia  $V_z$ . Pojemność zatem całego łańcucha  $C$  i pojemność ostatniego ogniw  $C_z$  mają się odwrotnie, jak napięcia na łańcuchu ( $V$ ) i na tym ogniwie ( $v_z$ ):

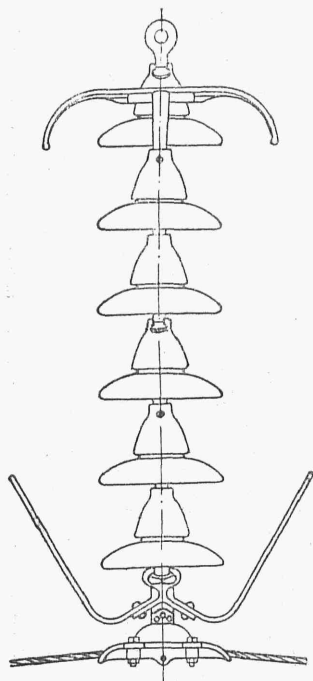
$$\frac{C}{C_z} = \frac{v_z}{V}$$



podstawiawszy za  $v_z$  wartość z równania (6) otrzymamy:

$$C = C_z \left( 1 - \frac{\sinh y (z - 1) \alpha}{\sinh y z \alpha} \right) \quad (8)$$

Napięcie przeskoku na mokro, które jest najbardziej miarodajne przy obliczaniu izolatorów, zależy od typu izolatora. Leży ono w granicach 30—34 kV dla izolatora łańcuchowego, 42—44 kV dla kołpakowego, a 80—100 kV dla izolatora o podwójnym kołpaku. Podzieliwszy te cyfry przez stopień pewności, otrzymamy wartości, których nie powinien osiągnąć ostatni izolator, jako najbardziej naprężany. Wpływ pojemności, względnie sposoby zaradcze, powinny tu być uwzględnione. W ten sposób otrzymamy 5—6 izolatorów kołpakowych przy napięciu 100 do 120 kV, 7—8 przy napięciu 150 kV, a 9—10 przy napięciu 220 kV (przy zastosowaniu stopniowania pojemności).



Rys. 51.

Izolatory z podwójnym kołpakiem typu „Motor” wytrzymują znacznie większe napięcia przeskoku,

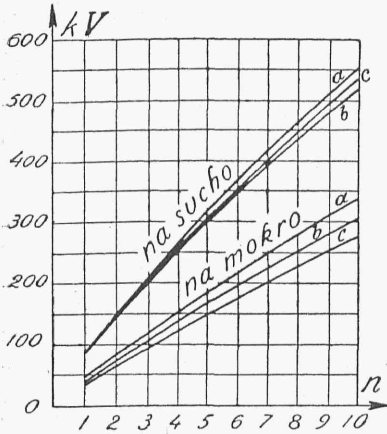
przeto stosuje się mniejszą ich liczbę, a mianowicie 1 izolator przy 50 kV, 2 przy 90 kV, a 3 przy 135 kV.

Dobłą orientację przy obliczaniu liczby ogniów w łańcuchu izolatorów dają wykresy, otrzymane doświadczalnie (Rys. 52) \*), przedstawiające napięcie przeskoku na sucho i na mokro, w zależności od liczby ogniów. — Widać z nich, że najkorzystniej wypada izolator kołpakowy (a), potem z podwójnym kołpakiem (b), wreszcie łańcuchowy (c).

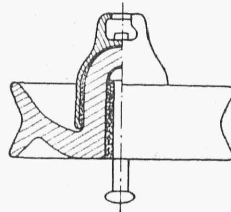
Izolatory odciągowe — są odmianą izolatorów wiszących. Stosuje się je do słupów odporowych i narożnych, gdzie przewód szczególnie napręża słup na zginanie. Pod wpływem sił ciągnących znaj-

\*) Schering, Isoliermaterialien, 1924, str. 147.

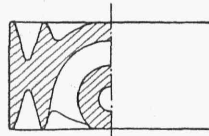
dują się one w pozycji nie pionowej, jak wiszące, lecz ukośnej lub poziomej. Z tego powodu izolatory takie są bardziej narażone na zmoczenie części spodnich, niż wiszące; wyładowania powierzchniowe powstają



Rys. 52.



Rys. 53.



Rys. 54.

u nich wcześniej. Stąd kształt ich jest tego rodzaju, aby woda łatwo z nich spływała i nie ułatwiała przeskoku iskry. Przeto liczba takich izolatorów, przypadająca na łańcuch, jest o 1—2 większa, niż wiszących przy tem samym napięciu.

Nowoczesny izolator odciągowy typu kołpakowego przedstawia Rys. 53, a typu łańcuchowego Rys. 54.

Dla większego bezpieczeństwa stosuje się też izolatory odciągowe dwu — a nawet trójrzędowe.

Typem izolatorów, zasadniczo odmiennym od przewodowych, są izolatory przepustowe, służące do przeprowadzania przewodów np. przez ścianę budynku lub pudła transformatora, oraz w s p o r c z e, służące do podtrzymywania szyn zbiorczych, przewodów i t. p., przeważnie w miejscach zamkniętych.

Przy tych izolatorach sprawa wytrzymałości na przeskok wysuwa się na pierwszy plan.

## 5. Izolatory przepustowe.

Pierwotna forma izolatorów przepustowych wysokiego napięcia powstała z formy, stosowanej przy napięciu niskim, t. j. z walca porcelanowego, w któ-