

# PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTROTECHNIKÓW POLSKICH.

WYCHODZI 1-go i 15-go KAŻDEGO MIESIĄCA.

<b>PRZEDPŁATA:</b> na kwartał III-ci . . . . . Mk. 1500,— Cena zeszytu pojedynczego Mk. 250,— Sprzedaż numerów pojedynczych we wszystkich większych księgarniach. Nakład pierwszego kwartału jest całkowicie wyczerpany.	Biuro Redakcji i Administracji: Warszawa, Czackiego № 5 m. 24, I piętro, (Gmach Stowarzyszenia Techników), telefon № 90-23. Administracja otwarta codziennie od godziny 12 do 4 pp. i od 6 1/2 do 7 1/2 wieczorem. - Redaktor przyjmuje we wtorki od godziny 7-ej do 8-ej wieczorem. - Konto Nr. 363 Pocztovej Kasy Oszczędności.	<b>CENNIK OGŁOSZEŃ:</b> Ogłosz. jednoraz. na 1/1 str. Mk. 45000 " " na 1/2 " " 25000 " " na 1/4 " " 13000 " " na 1/8 " " 7000 Strona tytułowa (I) 50 proc. drożej, " okładki zewn. (II) 20% " " wewn. (II) i (III) 20% droż. Ogłoszenia strony tytułowej przyjmowane są tylko całostronicowe. Podwyżka cennika ogłoszeń obowiązuje wszystkie już złożone ogłoszenia od dnia zmiany cen bez uprzedniego zawiadom.
<b>Rok IV.</b>	<b>Warszawa, dnia 15 Września 1922 r.</b>	<b>Zeszyt 18.</b>

**TREŚĆ:** Przepięcia i urządzenia przeciwprzepięciowe, Kazimierz Drewnowski. — Normy i przepisy bezpieczeństwa. — Wiadomości techniczne. — Z gospodarki elektrycznej. — Wiadomości bieżące. — Różne. — Przemysł i handel. — Pytania i odpowiedzi.

## Przepięcia i urządzenia przeciwprzepięciowe.

Inż. pułk. **Kazimierz Drewnowski.**

Przepięciem nazywamy wszelkie wzmożenie się napięcia roboczego, przewidziane czy nieprzewidziane. Zależnie od stopnia wytrzymałości izolacji to samo przepięcie jest więcej lub mniej niebezpieczne. W każdym razie napręża ono izolację ponad normę, występującą przy napięciu roboczym, jest przez to niepożądane, tembardziej, że izolacja, jakkolwiek może wytrzymać chwilową zwykłą napięcia, to przy dłuższej trwającej—może zostać uszkodzona. Dlatego też staramy się niedopuszczać do powstawania przepięć, względnie skutki przepięć unieszkodliwiać.

Od pierwszych niemal chwil rozwoju elektrotechniki walczyliśmy z przepięciami. Zrazu przy małych napięciach i niewielkich urządzeniach przesyłania energii elektrycznej nie dawały się one bardzo we znaki, gdyż przepięcia w takich urządzeniach występujące nie były zbyt groźne. Obserwowano przeważnie wyładowania atmosferyczne o niewielkiej stosunkowo wysokości, gdyż urządzenia ówczesne w porównaniu z dzisiejszemi o bardzo wysokich napięciach były—w znaczeniu elektrycznym—prawie że uziemione tak, że powstawanie dzisiejszych groźnych przepięć atmosferycznych o dużej amplitudzie i stromym przebiegu było prawie że wykluczone. To też urządzenia ochronne dawniejsze były to zwykłe różki siemensowskie, które odprowadzały nagromadzoną energię elektryczną do ziemi, spełniały więc niejako rolę dzisiejszych piorunochronów czyli odgromników, skąd też zatrzymały tę nazwę, która dzisiaj przeniosła się bezkrytycznie na urządzenia zabezpieczające od wszelkiego innego rodzaju przepięć, często nie wspólnego z gromami nie mających.

W miarę wzrostu napięć, odległości i energii przesyłanej, sprawa ochrony od przepięć komplikowała się. Różki już nie wystarczały, często zawodziły. Zjawiają się więc różne inne pomysły, przeważnie nieudolne, które dziś należą już niepowrotnie do historii. Jedynie kondensatory, dławiki i cewki przetrwały—choć w zmienionej postaci i przy innym tłumaczeniu ich działania.

Ponieważ sprawa przepięć wysunęła się na czoło zagadnień, związanych z przesyłaniem energii na duże odległości, a brak odpowiednich urządzeń ochronnych utrudniał wielce normalną pracę elektryczną, należało wprawdzie zbadać przyczyny i istotę przepięć i potem dopiero wysnuć zasady urządzeń ochronnych.

Głównie Niemcy i Ameryka zajmowały się tą sprawą, gruntownie rzecz badając, teoretycznie i praktycznie. W Niemczech Wagner i Petersen, w Ameryce—Steinmetz i Creighton, byli temi, którzy największe zasługi położyli około oświeślenia tej kwestji i ujednostajnienia poglądów na te zjawiska.

Dziś—można powiedzieć—mamy już nietylko położone silne fundamenty, ale i gotową całą nadbudowę, potrzeba jeszcze tylko wykończyć pewne szczegóły i przybudówki, aby mieć skończoną całą teoretyczną budowę zagadnienia, które szerokie sfery elektrotechników, teoretyków i praktyków, od prawie dwudziestu lat interesowało.

W niniejszym artykule postaram się przedstawić w ogólnych rysach całokształt dzisiejszych poglądów na sprawę przepięć i ochrony przeciwprzepięciowej.

### I. Zjawiska i postać przepięć.

Wzmożenie się napięcia, które charakteryzujemy wtedy jako przepięcie, może mieć różnorodną postać, stosownie do przyczyny, która je wywołała. Naogół występować mogą przepięcia jako:

ładunki elektryczne, pochodzące od wyładowań atmosferycznych albo od szczytkowych ładunków, pozostałych po innego rodzaju przepięciach;

drgania swobodne o małej lub dużej częstotliwości, powstające skutkiem zjawisk rezonansowych, wzbudzenia bodźczego i innych;

fale wędrownne, powstające przy różnego rodzaju łączeniach, zwarcia i innych zmianach obciążenia.

Te zjawiska występować mogą zarówno w przewodach, znajdujących się pod prądem lub tylko pod napięciem albo też wogóle pozbawionych napięcia. W pierwszym przypadku nakładają się one prosto na istniejące już napięcie, tak, że wogóle możemy je same w sobie traktować. Jednakowoż nie tylko absolutna wysokość napięcia jest w tym zjawisku miarodajna, częściej bowiem sam przebieg ładunku wzgl. fali napięcia jest tu szczególnie ważny. Chociaż np. zwykły ładunek elektryczności atmosferycznej na przewodach może mieć duże napięcie, to urządzenie elektryczne, wykonane z dosyć dużym stopniem bezpieczeństwa, z łatwością napięcie wytrzyma; jeżeli natomiast nastąpi np. skutkiem tego napięcia wyładowanie przez izolator, to zjawisko się komplikuje, powstają nowe fale o wysokości napięcia takiej samej, ale zato o stromym przebiegu czoła fali, tak, że na małej długości przewodów (zwojów) mogą występować stosunkowo bardzo znaczne różnice potencjałów, którym izolacja nie sprosta.

To też zawsze, ilekroć mamy do czynienia ze zjawiskiem przepięcia lub jego skutkami, trzeba sobie uświadomić, jak cały przebieg tego zjawiska odbywał się, aby zrozumieć jego skutki lub od niego się ustrzec.

### 1. Zakłócenia w obwodzie elektrycznym.

Teoretyczne rozważanie zjawisk, których wynikiem są przepięcia, ma jako punkt wyjścia przebiegi, odbywające się w obwodzie elektrycznym w razie jakiegoś zakłócenia.

Jako obwód elektryczny uważamy całą drogę, po której prąd może przepływać. Na tej drodze spotyka prąd różne składniki obwodu, jak źródło prądu, odbiornik, przewody i t. d., z których każdy posiada trzy charakterystyczne własności: oporność, indukcyjność i pojemność, a te przy badaniu obwodu zakładamy jako niezmiennające się, czyli jako stałe obwodu.

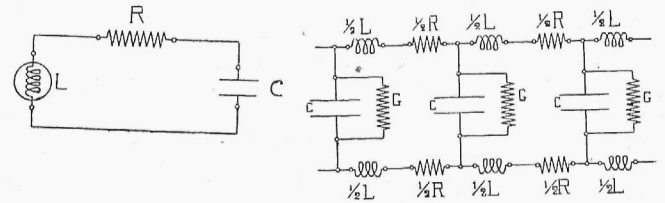
W zwykłych warunkach, w jakich obwód pracuje, można celem pobieżnego obliczenia obwodu te trzy stałe, zachodzące w każdej części obwodu, powydzielać i połączyć w grupy, jako czystą oporność ( $R$ ), czystą indukcyjność ( $L$ ) i czystą pojemność ( $C$ ), połączone szeregowo. Obwód przedstawi się wtedy w postaci, znanej pod nazwą obwodu oscylacyjnego (Thomsona).

Mamy wtedy najprostsz przypadki obwodu elektrycznego o stałych skupionych  $R$ ,  $L$  i  $C$ , który jest jednak tylko teoretycznie możliwy. Najbardziej zbliża się ku temu przypadek, gdy prądnicą (duże  $L$ , małe  $R$ ) zasila przez opór ( $R$ ) przewodów otwarty kabel (duże  $C$ ), (rys. 1).

Przy ścisłym obliczaniu obwodu nie możemy

go w ten sposób przedstawić, lecz trzeba uwzględnić, że stałe obwodu są w rzeczywistości rozłożone.

W istocie nie tylko każda część urządzenia elektrycznego z osobna, lecz wogóle każdy kawałek



Rys. 1 i 2.

obwodu posiada oporność, indukcyjność i pojemność, tak, że możemy go sobie wyobrazić (rys. 2), jako złożony z nieskończonej sumy elementarnych  $R$ ,  $L$  i  $C$ , połączonych ze sobą szeregowo, jak przy stałych skupionych.

Oprócz tych trzech własności charakterystycznych występuje jeszcze jedna, a mianowicie upływność. Opór przestrzeni między dwoma przewodami, czyli opór izolacji, nie jest nieskończenie wielki. Prąd elektryczny zawsze przez ten opór przepływa i to tem większy, im wyższe jest napięcie. Przejawia się to jako upływ elektryczny. Celem uwzględnienia tego przy badaniu obwodu, wprowadzamy odwrotność oporu izolacji czyli przewodność izolacji  $G$ , przedstawiając ją jako opór, połączony równolegle do pojemności.

Zależnie od charakteru części obwodu, jest takich ogniw na pewnej przestrzeni więcej lub mniej; mówimy wtedy, że stałe są w obwodzie nierównomiernie rozłożone. Celem zbadania takiego zagadnienia wystarczy jednak przyjąć, że stałe są rozłożone równomiernie, t. j., że każdy element długości przewodu posiada te same wielkości  $R$ ,  $L$ ,  $C$  i  $G$ . Wnioski, w ten sposób wyciągnięte, dadzą dostateczny pogląd na zjawiska, zachodzące w każdym obwodzie.

Jeżeli przez obwód płynie prąd roboczy  $i$  pod napięciem  $v$ , to każda z tych stałych jest siedzibą energii, względnie powoduje stratę energii. W polu elektrycznym znajduje się wtedy energia elektryczna  $\frac{1}{2} C v^2$ , w polu magnetycznym — energia magnetyczna  $\frac{1}{2} L i^2$ . Suma ich stanowi w każdej chwili energję elektromagnetyczną

$$W = \frac{1}{2} (C v^2 + L i^2).$$

Prąd  $i$ , płynący w obwodzie, powoduje w oporze  $R$  stratę energii  $R i^2$ , która przemienia się tam w ciepło; prócz tego, prąd upływowy, przechodzący przez izolację, powoduje tam stratę energii  $G v^2$ , również przejawiającą się jako ciepło. Cała strata energii wyniesie więc

$$w = R i^2 + G v^2.$$

Obie te energie — elektryczna i magnetyczna — zależą, jak z tego widać, od przyłożonego napięcia, od prądu i od stałych obwodu, które to czynniki występują osobno, lecz poczęści w zależności od siebie. W obwodzie zatem w każdej chwili występuje ścisły rozdział obu tych energii, zależnie od wspomnianych warunków, ale suma ich jest stała.

Obie jednak są zależne od siebie tak, że zmiana jednej powoduje w tej samej chwili zmianę drugiej.

Te zmiany mogą występować normalnie, np. skutkiem perjodycznego charakteru napięcia, albo też przejściowo — skutkiem jakiegoś zakłócenia ustalonego stanu obwodu.

Wszelkie zmiany stanu ustalonego pociągają za sobą zmiany energii, znajdującej się w polu elektrycznym czy magnetycznym. Następstwem tych zmian są nowe prądy i napięcia, występujące w obwodzie i przekraczające granice normalne, czyli przetężenia i przepięcia. Energia elektromagnetyczna obwodu występuje tu jako nowe źródło prądu, często sprawniej i szybciej działające, niż źródło normalne. Z tego względu przy wszelkich rozważaniach tych zjawisk należy mieć na widoku wielkość tych energii.

Zakłócenia stanu, ustalonego w obwodzie elektrycznym, są następstwem zmian przyłożonego napięcia lub zmian stałych obwodu. Mogą one być robocze lub przypadkowe.

Zakłócenia robocze występują normalnie podczas ruchu przy wszelkiego rodzaju włączeniach i wyłączeniach prądu, przy zmianie obciążenia i t. p. Chwilę ich występowania można z góry przewidzieć i zastosować zawczasu środki, zabezpieczające urządzenie przed ich skutkami, czyli odpowiednio przygotować urządzenie.

Natomiast zakłócenia przypadkowe pochodzą od nieprzewidzianych co do chwili wystąpienia zmian w obwodzie, jak zwarcia przewodów z sobą lub z ziemią, zjawiska rezonansu w sieciach elektrycznych, wyładowania elektryczności atmosferycznej w pobliżu przewodów i t. p. Co do nich, to trzeba być przygotowanym, że mogą w każdej chwili wystąpić, należy więc urządzenie odpowiednio obliczyć i zabezpieczyć.

Do zakłóceń przypadkowych należałoby także uderzenie pioruna w przewody, musimy je jednak z rozpatrywania naszego wyłączyć, gdyż pociąga ono zwykle za sobą zniszczenie części urządzenia, przeciwko czemu niema możliwości się ochronić.

Zakłócenia w obwodzie elektrycznym przejawiają się inaczej w obwodach o stałych skupionych, a inaczej przy stałych rozłożonych.

## 2. Ładunki statyczne.

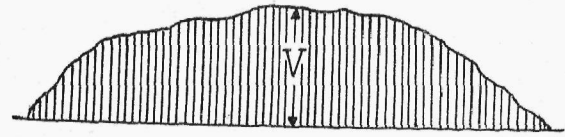
Pewną odmianę w stosunku do opisanych zjawisk stanowią tu zwykle ładunki statyczne, jakie mogą się znaleźć na przewodach, względnie w urządzeniach elektrycznych.

Ładunek taki, znalazłszy się na przewodach o pewnej pojemności, wywołuje w nich odpowiednie napięcie, dodające się do ewent. już tam egzystującego — niezależnie od tego czy zmieniającego się okresowo, czy też stałego. Przez zastosowanie odpowiednich urządzeń upływowych, można się łatwo od niego uwolnić.

Ładunki atmosferyczne pochodzą od wyładowań elektryczności atmosferycznej, o których później będzie mowa. Zależnie od ukształtowania się chmur, które przez wpływ spowodowały utworzenie się tego ładunku na przewodach, możemy go sobie przedstawić, jako więcej lub mniej foremną falę (rys. 3), rozpluwającą się po przewodach i mogącą zagrażać izolacji wysokością (amplituda  $v$ ) jej napięcia. Dłu-

gość takiej fali nie przekracza paru kilometrów, a zależna jest od wielkości chmury.

Mogą to być również ładunki szczątkowe, pozostałe po wyrównaniu innych przebiegów przepięciowych, których energia w postaci ładunku nie



Rys. 3.

została przemieniona w ciepło podczas procesów, mających na celu unieszkodliwienie tych przepięć.

Ładunki statyczne nie mogą istnieć izolowane w sieci, lecz muszą się rozpluwać po sieci i to z prędkością, odpowiadającą środowisku, w którym się znajdują, t. j.  $\frac{c}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$ , gdzie  $c$  jest prędkością

światła ( $3 \cdot 10^{10}$  cm./sek.),  $\epsilon$  stałą dielektryczną, a  $\mu$  przenikliwością środowiska.

## 3. Drgania swobodne.

a) Znany z techniki prądów zmiennych przypadek rezonansu elektrycznego powoduje częste przepięcia.

W obwodzie o oporności  $R$ , indukcyjności  $L$  i pojemności  $C$ , w którym na krańcach panuje napięcie  $V$ , osiąga prąd największą wartość  $J = \frac{V}{R}$ ,

gdy  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ , czyli, gdy  $\omega = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , t. j.

gdy częstotliwość prądu wynosi  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ . Wtedy

napięcie na cewce  $V_L = \omega L I$  i napięcie na kondensatorze  $V_C = \frac{1}{\omega C} I$  osiągają, każde dla siebie, bardzo duże i równe sobie wartości

$$\omega L I = \frac{1}{\omega C} I.$$

Podstawiawszy tu za  $\omega$  powyższą wartość, otrzymamy

$$V_L = V_C = I \sqrt{\frac{L}{C}} = Z I,$$

gdzie  $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$  jest opornością naturalną danego obwodu.

Jest to przypadek rezonansu napięć, przy którym w obwodzie prądu zmiennego natężenie prądu osiąga wartość, określoną prawem Ohma dla prądu stałego, a więc znacznie większą, niż w przypadku, kiedy rezonansu niema. Energię musi wtedy doprowadzić źródło prądu, co wywołuje (nagle) zwiększenie normalnego prądu, a więc przetężenie. Przez odprowadzenie tej zwiększonej energii z obwodu, wzgl. przemianę jej w inną postać, np. ciepło, można przepięcie zredukować.

W razie, jeżeli krzywa napięcia jest odkształcona, może nastąpić przypadek rezonansu ze względu

na którąś z wyższych harmonicznych; jakkolwiek mają one amplitudę napięcia znacznie mniejszą, niż fala główna, to jednak skutkiem rezonansu mogą napięcia osiągać wartości, niebezpieczne dla izolacji urządzenia.

W przypadku rezonansu elektrycznego mamy do czynienia z oscylacjami energii elektrycznej między pojemnością a indukcyjnością; odbywają się one w takt, określony częstotliwością niezbyt wielką lub wyższą harmoniczną.

b) Oscylacje energii elektrycznej w obwodzie o skupionej pojemności i indukcyjności, połączonych szeregowo, powstają również i w razie zakłócenia stanu ustalonego obwodu przy wszelkiego rodzaju łączeniach w takich obwodach, a więc włączaniu, wyłączaniu i wogóle zmianie stanu ustalonego obwodu.

Jak wiadomo, przejście z jednego stanu ustalonego do drugiego nie odbywa się momentalnie, jeżeli w obwodzie jest pojemność lub indukcyjność, ponieważ pola elektryczne wzgl. magnetyczne nie mogą nagle energii wydać wzgl. przyjąć. To przejście skutecznia prąd przejściowy, trwający zwykle bardzo krótki czas i skierowany — zależnie od warunków — w jedną lub w drugą stronę (względem prądu ustalonego), a dodający się algebraicznie w każdej chwili do prądu istniejącego.

Charakter prądu przejściowego — a więc i napięcia jemu odpowiadającego, maluje nam istotę i przebieg zakłócenia. Zależnie od stosunku oporności  $R$  do indukcyjności  $L$  i pojemności  $C$  obwodu, mamy trzy przypadki, zależnie od tego, czy

$$R \begin{cases} \geq \\ < \end{cases} 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Jeżeli  $R \geq 2\sqrt{\frac{L}{C}}$  mamy przebieg aperiodyczny; prąd i napięcie przechodzą według krzywych wykładniczych.

Jeżeli zaś  $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ , to przebieg jest oscylacyjny, według funkcji sinusoidalnej, o częstotliwości

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2},$$

która nazywa się częstotliwością właściwą obwodu, lub częstotliwością drgań swobodnych, — w przeciwieństwie do częstotliwości drgań wymuszonych ( $f$ ), pochodzących ze źródła prądu zmiennego.

Stosunek amplitud napięcia i prądu w tym przypadku jest  $\sqrt{\frac{L}{C}}$ , co jest właśnie opornością właściwą obwodu, określoną poprzednio.

Energja elektryczna, pozostawiona swobodnie w obwodzie o stałych  $R$ ,  $L$  i  $C$ , odpowiadających warunkowi  $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ , mieć będzie drgania o częstotliwości, określonej ostatnim wzorem, stąd nazwa — drgania własne lub swobodne. Amplituda drgań będzie tem mniejsza, im większy jest opór  $R$ ,

czyli im większe jest tłumienie. Energja oscylować będzie między pojemnością (jako energja elektryczna) a samoindukcją (jako energja magnetyczna) tak długo, dopóki cała nie przemieni się na ciepło w oporze.

Przebieg prądu przejściowego charakteryzuje nam — jak z tego widać — istotę zakłócenia. Jest on niezależny od charakteru prądu ustalonego, wzgl. nibyustalonego; jedynie początkowa wartość jego zależy od wartości chwilowej prądu ustalonego. Jeżeli częstotliwość drgań własnych jest równa częstotliwości drgań wymuszonych, co, w razie gdy  $\frac{R}{2L}$  jest bardzo małe, zachodzi przy  $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ , to występuje wtedy przypadek rezonansu między temi drganiami; prowadzi to do powstawania przepięć rezonansowych, o których wyżej była mowa.

Przebieg oscylacyjny napięcia może być szczególnie niebezpieczny dla izolacji, gdy częstotliwość drgań jego jest bardzo wielka. Nie tyle wysokość amplitudy jest wtedy groźna, ile występowanie dużych różnic potencjałów na małej długości czyli stromość przebiegu krzywej napięcia. Może się bowiem wtedy zdarzyć, że brzusiec i węzeł fali napięcia, przy małych częstotliwościach odległe od siebie o wiele kilometrów, — wypadną przy bardzo wielkiej częstotliwości na przestrzeni np. jednego zwoju transformatora, który nie ma izolacji, obliczonej na całe napięcie fali, jakie wtedy występuje, lecz tylko na tę część napięcia, jaka wypada w stosunku do całego uzwojenia.

Przypadek obwodu o stałych skupionych zachodzi w praktyce dosyć często, gdy się ma do czynienia z oporami, cewkami, kondensatorami, włączonymi w obwód elektryczny. Jako skupioną indukcyjność można uważać np. cewki transformatorów pomiarowych lub przekładników; jako skupioną pojemność — szyny zbiorcze, kawałki kabla i t. p.

Częstotliwość właściwa takich obwodów może osiągnąć bardzo duże wartości. Wystarczy wtedy, aby w jakikolwiek sposób wzbudzić te drgania np. za pomocą rezonansu z falami harmonicznymi albo z falami wędrownymi o takiej samej częstotliwości, aby powstały drgania swobodne, niebezpieczne dla izolacji, głównie z powodu stromego ich przebiegu.

#### 4. Fale wędrowne uskokowe.

Według teorii Maxwella zakłócenie elektromagnetyczne przenosi się za pośrednictwem fal elektromagnetycznych we wszystkich kierunkach środowiska. Nas interesować będzie tylko to, co się odbywa w urządzeniu elektrycznym, głównie w przewodach, a więc tylko pewna część takich fal, t. j. przebiegające w przewodach, względnie wzdłuż nich. Są to fale płaskie, t. j. takie, których elektryczne i magnetyczne linje pola przebiegają w tej samej płaszczyźnie. Przy przewodach linje magnetyczne okrążają przewód w tej samej płaszczyźnie, w której przebiegają linje elektryczne, wychodzące promieniowo z przewodu.

Badanie analityczne przypadku zakłócenia w przewodach o równomiernie rozłożonych stałych — taki przypadek przedstawiają np. t. zw. długie przewody — prowadzi do równań różniczkowych napięcia i prądu:

$$v = e^{-\frac{R}{L}t} [f_1(l - ct) + f_2(l + ct)]$$

$$i = \sqrt{\frac{C}{L}} e^{-\frac{R}{L}t} [f_1(l - ct) + f_2(l + ct)].$$

Każde z równań przedstawia dwie fale, posuwające się ze stałą prędkością  $c = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  i nie zmieniającą się postacią: fala  $f_1$  porusza się w kierunku rosnących długości  $l$ , a fala  $f_2$  — w kierunku przeciwnym.

Napięcie i natężenie przedstawione więc będzie każde dwiema falami, biegnącymi w kierunkach przeciwnych, przyczem napięcie jest sumą tych fal, a natężenie — ich różnicą. Amplitudy tych fal maleją

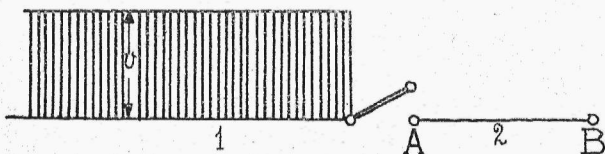
według funkcji wykładniczej  $e^{-\frac{R}{L}t}$ . Stosunek fali napięcia i fali prądu, biegnących w tym samym kierunku, jest określony przez  $\sqrt{\frac{L}{C}} = Z$ , co jest t. zw. opornością falową; jest ona równoznaczna z opornością naturalną obwodu.

Przesunięcia faz między napięciem a natężeniem u fal wędrownych niema; tem także różnią się one od fal, poprzednio poznanych.

Prędkość  $c$  jest właśnie prędkością rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w powietrzu, co zgadza się ze znanym wzorem  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$ . Jest ona zależna od natury środowiska i wynosi, jak wiadomo,  $\frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}}$ , gdzie  $\epsilon$  jest stałą dielektryczną, a  $\mu$  — przenikliwością środowiska. Przy przewodach napowietrznych prędkość ta jest prawie równa prędkości światła, w kablach — odpowiednio mniejsza. Jako środowisko uważamy przestrzeń, okalającą przewody, w niem bowiem, a nie w przewodach, odbywają się — według Faradaya i Maxwella — zjawiska tu traktowane.

Kształt fali zależy od warunków powstawania. Im zmiana stanu ustalonego występuje bardziej nagle (np. przeskok iskry przez izolator), tem przebieg fali jest na jej czole i na końcu bardziej stromy.

Jako typowy najprostsz przykład weźmy załączenie przewodu  $AB$  do źródła prądu stałego o napięciu  $V$ , które możemy wyobrazić sobie w postaci prostokąta zakreskowanego o wysokości  $V$  (rys. 4 a).



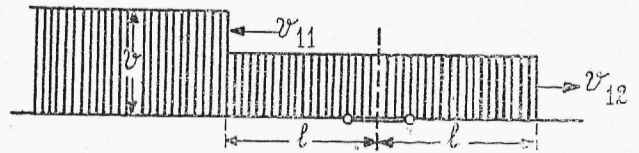
Rys. 4 a.

W razie momentalnego i bezoporowego załączenia przewodu 1 na 2, fala napięcia zatrzymuje swój stromy przebieg na czole. Nie wpływa ona jednak o całej swej amplitudzie do przewodu 2, lecz rozkłada się na dwie fale, skierowane przeciwnie: jedna  $V_{12}$  ładująca przewód 2, a druga  $V_{11}$ , wyładowująca przewód 1, przyczem  $V_{11} = V - V_{12}$ ; suma

obu tych fal daje całe napięcie  $V$ . Fale te biegną w kierunkach przeciwnych, jedna do końca przewodu, druga — do źródła prądu, z tą samą prędkością  $c$  i nie zmieniając kształtu, t. zn. zachowując — jak w tym przypadku — stromość czola wzgl. końca fali, tak, że po czasie  $t = \frac{l}{c}$  stan napięcia w takim

układzie przedstawi się jak na rys. 4 b.

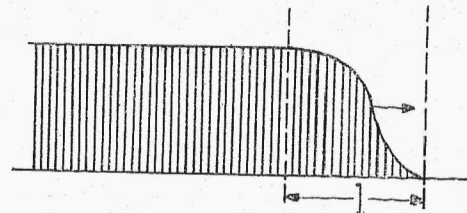
W rzeczywistości fala nie ma nigdy czola prostopadłego, lecz tylko bardziej lub mniej strome, zależ-



Rys. 4 b.

nie od warunków powstawania oraz od czynników tłumiących i łagodzących, o czem mowa będzie później.

W każdym razie liczyć musimy, że mamy do czynienia z przebiegami napięcia, znacznie odbiegającymi od sinusoidy i wykazującymi skok napięcia, więcej lub mniej stromy, powodujący właśnie przebiegi elektryczne. Fale takie nazywamy falami uskokowymi (rys. 5).



Rys. 5.

Im czoło fali jest bardziej strome, tem na mniejszej długości przewodu panuje całe napięcie fali, czyli różnica potencjałów między punktem przewodu, gdzie jest pełne napięcie, a punktem, w którym jeszcze ładunku, a więc i napięcia niema. Może się zdarzyć, że ta długość  $l$  jest właśnie długością jednego zwoju, wtedy między sąsiednimi zwojami występuje — w chwili wpływania fali — całe napięcie, mogące przekroczyć normę przepisana dla izolacji. Przy normalnym prądzie spadek napięcia między poszczególnymi zwojami jest minimalny.

Skutkiem tych zjawisk jest częste przebijanie izolacji pierwszych uzwojeń cewek, transformatorów i t. p., które z tego względu powinny być szczególnie starannie i mocno izolowane.

Fale wędrowne, powyżej opisane, mogą się zjawiać zarówno na przewodach, pozbawionych napięcia wzgl. prądu, jak pozostających pod prądem roboczym. W tym przypadku następuje superpozycja napięć i te same zjawiska.

Fale wędrowne, rozchodząc się po przewodach, podlegają podobnym prawom, jak inne fale, np. głosowe. W razie, gdy napotkają jakąś przeszkodę, zostają odbite. Taką przeszkodą jest np. otwarty koniec przewodu. Fala, biegnąca od początku przewodu, zostaje tam odbita, powraca, zostaje znowu odbita i t. d. Występują przy tem perjodycznie pewne charakterystyczne zjawiska, zależne od warunków powstawania fali; np. dla przypadku ładowania przewodu otwartego na końcu, taki przebieg

wędrowania i odbijania powtarza się po czterokrotnym przebiegnięciu przewodu. Nazywamy to okresem fali, a czas przebiegu  $T$  — czasem trwania okresu, podobnie jak przy zwykłych falach perjodycznych.

Przy załączaniu zaś np. przewodu zwartego na końcu przebieg powtarza się po przebiegnięciu przewodu tam i z powrotem. W pierwszym przypadku mamy więc długość fali swobodnej równą poczwórnej, a w drugim — podwójnej długości przewodu.

Mamy zatem do czynienia z nowym rodzajem fal wędrownych, t. zw. falami łączeniowymi, które są falami perjodycznymi, o kształcie jednak znacznie odbiegającym od sinusoidy, a zbliżającym się do prostokąta.

(C. d. n.)

## Normy i przepisy bezpieczeństwa.

### Urządzenia piorunochronów budynkowych<sup>1)</sup>.

Obowiązkowo winny być zaopatrzone w piorunochrony i powinny podlegać przepisom następujące budynki:

a) budynki, służące do wyrobu, przeróbki i przechowania w dużej ilości materiałów łatwopalnych, względnie trudnych do gaszenia lub eksplodujących, np. ogni sztucznych, zapalek, dynamitu, prochu, nafty, spirytusu, benzyny, i t. p.,

b) budynki, pokryte łatwopalnym, a nie impregnowanym materiałem, np. słomą, gontami i t. p.,

c) budynki, w których zbierają się w większej liczbie ludzie, jak kościoły, szkoły, szpitale, przytułki, koszary, więzienia, teatry, lokale, przeznaczone na zebrania i rozrywki, hotele, fabryki, większe domy handlowe i t. p.,

d) budynki, których zburzenie lub uszkodzenie odbija się bardzo ujemnie na mieszkańcach, np. stacje wodociągowe, gazownie, elektrownie i t. p.,

e) budynki, przedstawiające dużą wartość naukową, historyczną lub artystyczną i trudne przez to do odbudowania, np. muzea, biblioteki, gmachy sądowe i t. p.,

f) budynki, wystawione na działanie piorunu, czy to dla swej wysokości, czy też samotności, jak: wieże, kominy fabryczne, wiatraki, stojące pojedynczo na wzgórzach domy, nawet stogi siana i słomy,

g) budynki, nawiedzane przez piorun lub leżące w pobliżu, zwłaszcza o ile piorun uderzał w nie już częściej.

Każdy piorunochron winien posiadać urządzenie odbiorcze, uziemienie i przewody, łączące urządzenie odbiorcze z uziemieniem t. j. przewody odprowadzające.

#### 1. Urządzenia odbiorcze.

1. Każdy piorunochron musi mieć metalowe urządzenie odbiorcze, naturalne lub sztuczne.

2. Każde urządzenie odbiorcze musi mieć dostateczny przekrój (patrz przewody odprowadzające), gdyż bezpośrednio wystawione jest na najsilniejsze działanie pioruna.

3. Naturalne odbiorniki piorunu, jak chorągiewki wiatrowe, krzyże, zakończenia przewodów wentylacyjnych, siatki, nasady i okapy kominów, szyldy reklamowe na dachach i t. p., o ile przekrój ich jest niedostateczny, muszą mieć równoległe przyłączony przewodnik, jako dopełnienie przekroju.

<sup>1)</sup> Z prac Komisji Przepisowej.

4. Sztuczne urządzenia odbiorcze pod postacią bądź to większej liczby krótkich ostrzy, bądź to długich prętów, bądź też prętów z wiązką ostrzy ochronić należy od wpływów dymu i gazów kominowych przez pomalowanie lub pocementowanie (specjalnych zakończeń ze szlachetnych metali nie potrzeba).

5. Urządzenia odbiorcze winny być ustawione na najwięcej narażonych na uderzenie piorunu miejscach budynku (grzbiety, narożniki, krawędzie i skarpy dachów) i możliwie od strony wiatrów i deszczów (u nas strona zachodnia).

6. Odległość poszczególnych odbiorników piorunu między sobą lub od krańców budynku nie powinna przekraczać 15 — 20 m.

7. W razie większej liczby odbiorników należy je połączyć między sobą przewodem o dostatecznym przekroju.

#### 2. Przewody odprowadzające.

1. Każdy większy budynek i wieża ponad 10 m wysokości, powinny posiadać co najmniej 2 przewody odprowadzające, t. j. łączące urządzenie odbiorcze z masą ziemi, a wzajemna ich odległość nie powinna przekraczać 20 m.

2. Przewody odprowadzające należy układać w miejscach najwięcej narażonych na uderzenia piorunu, więc wzdłuż krawędzi dachów, przy okapie i t. p. możliwie po stronie wiatrów i deszczów (u nas strona zachodnia), aby mogły służyć zarazem jako urządzenie odbiorcze.

3. Wszystkie części metalowe na dachach i budynkach, jako to: metalowe pokrycia, rynny, rury, konstrukcje żelazne, duże okna metalowe, zbiorniki i t. p., powinny być połączone metalicznie z urządzeniem ochronnym i mogą służyć jako przewody odprowadzające, o ile przekrój ich i stan na całej długości, zapewniają nieprzerwaną drogę metalową; o ile zaś przekrój ich jest niewystarczający, należy go wzmocnić przez równoległe przyłączenie przewodu dopełniającego.

Jeżeli jednak przedmioty te nie stanowią nieprzerwanej drogi metalowej i nie mogą służyć jako przewody odprowadzające, pomimo to, powinny być z niemi połączone.

4. Wszelkiego rodzaju metalowe przewody rurowe (opadowe, wodne i ogrzewnicze), żelazne belki pionowe, schody żelazne i t. p. w budynku, kończące się w pobliżu dachu, powinny być połączone z układem odprowadzającym na dachu, jak również powinny być uziemione. Takie samo przyłączenie do przewodów piorunochronowych odprowadzających należy wykonać z sąsiadującymi ogrodzeniami metalowymi, szynami kolejowymi, urządzeniami kolejek linowych i t. p.

5. Do wystających części budynku, wykonanych z materiału nieprzewodzącego, należy doprowadzić odgałęziony przewód odprowadzający do najwyższego lub najwięcej wystającego miejsca danej części budynku; przewód ten służy jednocześnie jako urządzenie odbiorcze.

6. Pojedyncze przedmioty metalowe, zwłaszcza, o ile znajdują się głęboko wewnątrz budynku i są dobrze odizolowane od ziemi, mogą być niełączone z urządzeniem odbiorczym i nie uziemiane, lecz zato przewody odprowadzające należy prowadzić jak można najdalej od tych przedmiotów.

7. Stojące w sąsiedztwie budynku drzewa, mogące służyć odbiornikami piorunu, należy unieszkodliwić bądź przez obcięcie stykających się z budynkami gałęzi, bądź przez umyślne ułożenie przewodów odprowadzających od strony drzew, bądź też przez zastosowanie specjalnego uproszczonego piorunochronu w postaci metalowego drutu, umieszczonego na całej długości pnia.