

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTROTECHNIKÓW POLSKICH.

WYCHODZI 1-go i 15-go KAŻDEGO MIESIĄCA.

PRZEDPŁATA: na kwartał IV-ty Mk. 3000,— Cena zeszytu pojedynczego Mk. 500,— 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 do 7 wieczorem. - Redaktor przyjmuje we wtorki od godziny 7-ej do 8-ej wieczorem. - Konto № 363 Pocztovej Kasy Oszczędności.	CENNIK OGŁOSZEŃ: Ogłosz. jednoraz. na 1/1 str. Mk. 60000 " " na 1/2 " " 35000 " " na 1/4 " " 20000 " " na 1/8 " " 12000 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 zlecone ogłoszenia od dnia zmiany cen bez uprzedniego zawiadom.
Rok IV.	Warszawa, dnia 15 Października 1922 r.	Zeszyt 20.

TR E Ś Ć: Przepięcia i urządzenia przeciwprzepięciowe, Kazimierz Drewnowski. — Pierwszy Ogólno-Krajowy Zjazd Kupców i Przemysłowców Branży Elektrotechnicznej. — Z gospodarki elektrycznej. — Z gospodarki ciepłej. — Wiadomości techniczne. — Wiadomości bieżące. — Różne. — Kalendarzyk. — Stowarzysz. i organizacje. — Przemysł i handel. — Kącik językowy. — Biblijografia.

Przepięcia i urządzenia przeciwprzepięciowe.

Inż. pułk. **Kazimierz Drewnowski.**

(Ciąg dalszy).

IV. Przyrządy usuwające przepięcia.

Ażeby uniknąć przepięć, jakie powstały w sieci elektrycznej, stosujemy specjalne przyrządy, zwane ochronnikami. Polegają one przeważnie na zasadach przedstawionych w poprzednim rozdziale. Po kolei podam ich krótką charakterystykę, zalety, wady i praktyczne wskazówki ich stosowania.

1. Przyrządy upływowe i ulotowe.

A. Przyrządy upływowe.

Mają na celu odprowadzenie do ziemi ładunków atmosferycznych pozostałych po falach wędrownych oraz ładunków, pozostających na sieci w razie każdorazowego przerwania się łuku świetlnego podczas dorywczego zwarcia z ziemią.

Ażeby skutecznie działały, t. j. aby dostatecznie szybko odprowadziły te ładunki (zwłaszcza ostatnie w $\frac{1}{100}$ sek.) muszą mieć one dostatecznie małą oporność i indukcyjność. Wyklucza to z góry stosowanie oporników bezindukcyjnych, gdyż stanowiłyby one stały nadmierny odpływ energii elektrycznej w sieciach wysokiego napięcia.

Rozróżniamy 4 rodzaje ochronników upływowych:

a) Oporniki metalowe, bezindukcyjne, załączane jako uziemienie punktu zerowego generatorów lub transformatorów; niepraktyczne i niestosowane dzisiaj wobec wyżej podanych zastrzeżeń.

b) Oporniki wodne, załączane między przewody a ziemię lub do punktu zerowego; niepraktyczne z powodu dużej oporności, jaką się im daje, aby nie odprowadzały stale energii, oraz z powodu konieczności stałego dozoru i zużycia wody.

c) Dławiki upływowe, włączane między przewód a ziemię (trudna izolacja przy wysokiem napięciu!) lub do punktu zerowego. Buduje się je w kształcie transformatorów, jedno- lub trójfazowo, i to na napięcie międzyfazowe, jeżeli się je przyłącza bezpośrednio do przewodów, a na napięcie fazowe, jeżeli — do punktu zerowego. Działanie ich będzie skuteczne, jeżeli będą w stanie przepuścić pod napięciem fazowym prąd, wynoszący 40—100% prądu zwarcia z ziemią.

d) Ochronniki elektrolityczne polegają na zjawisku pokrywania się płyt aluminiowych warstwą tlenku aluminium przy przejściu prądu zmiennego między płytą aluminiową a elektrolitem (przy prądzie stałym na anodzie); ta warstwa jest izolatorem (niezupełnym), o ile napięcie nie przekroczy 320 V, poczem następuje przebicie.

Ochronniki takie składają się z odpowiedniej liczby talerzy, szeregowo połączonych i włączonych między przewód a ziemię. Ładunek, odpowiadający przepięciu, przebija izolację, odpływa do ziemi, a izolacja znowu się naprawia po opadnięciu napięcia.

Niepraktyczne, bo a) wymagają stałego dozoru i codziennego formowania, b) aby prąd stale nie uchodził, włączony jest przed nie iskiernik rozkowy, co całą wartość psuje, c) włączony iskiernik i duża pojemność ochronnika dają powód do wyładowań oscylacyjnych, d) są bardzo drogie.

W Niemczech ochronniki te są już zarzucone, we Francji coraz mniej w użyciu, w Ameryce cieszą się one powodzeniem, może dlatego, że uzwojenia maszyn i transformatorów są tam silniej izolowane, tak, że szkodliwe ich działanie nie przejawia się.

B. Urządzenia ulotowe.

Polegają na zjawisku ulotności, występującej w razie, gdy przepięcie przekroczy pewną wartość. Przewody o bardzo wysokim napięciu, pracujące już na granicy ulotności, szczególnie na tem zyskują. Jest to niejako wentyl samoczynny, wypuszczający elektryczność, skoro napięcie osiągnie pewną granicę. Wpływa to bardzo skutecznie na tłumienie fal wędrownych i odprowadzenie ładunków statycznych. Liczyć się jednak trzeba z pewnym opóźnieniem działania i małą wydajnością, zmałą, aby całą energję fal wędrownych dostatecznie w krótkim czasie odprowadzić.

Nagel proponuje zaopatrzenie przewodów przynajmniej na długości 1 km. od stacji — w kolce. Jest to niewystarczające, gdyż za ledwie w czasie $\frac{1}{300000}$ sek., potrzebnej do przebiegnięcia 1 km., następuje odprowadzenie ładunków. Byłyby bardziej skuteczne dopiero wtedy, gdyby całe przewody były wykonane jako druty kolczaste.

2. Ochronniki iskrowe.

Polegają na skombinowanym działaniu iskry wzgl. łuku świetlnego i opornika, załączonych szeregowo między przewodów a ziemię lub między jeden przewód a drugi; następuje tutaj absorpcja energii fali przez zamianę jej na ciepło w iskrze i oporniku.

Powinny odpowiadać warunkom:

a) momentalne działanie, skoro tylko fala nadbiegnie,

b) ograniczenie czasu działania do minimum, gdyż przedstawiają zwarcie z ziemią przewodu przez (nieduży) opór; działanie ich będzie tem skuteczniejsze, im mniejszy jest opór szeregowy,

c) ograniczenie prądu zwarcia, pociągającego za sobą przetężenia i nowe przepięcia w postaci odbitych fal o stromem czole; wymaga to stosunkowo znacznych oporów.

Zbliżamy się do tego przez stosowanie odpowiednich iskierników z pewnymi urządzeniami pomocniczymi i odpowiednio obliczonych wzgl. skonstruowanych oporników.

Ochronniki rozróżniamy dwójakiego rodzaju:

o iskierniku pojedynczym — ochronniki różkowe wielokrotnym „krążkowe.

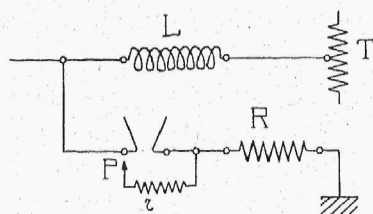
a) „Ochronniki różkowe. (Siemens) (rys. 16).

Główną ich istotą jest działanie łuku świetlnego, w którym energia elektryczna przepięcia przemienia się w ciepłą.

Łuk gaśnie, gdy rozciągnie się nadmiernie, tak, że jego opór zanadto się zwiększy.

Ze względu na warunki zewnętrzne (zanieczyszczenie, stopień się) nie daje się większych odstępów niż 3 mm, co od-

powiada ok. 7000 V napięcia skutecznego, przy którym następuje przebiecie iskrowe. Przy uwzględnieniu stopnia bezpieczeństwa ok. 2, 3500 V będzie najmniejsze napięcie, przy którym można je zastosować.



Rys. 16.

Przerwa iskrowa powoduje pewne opóźnienie działania, bo do przebiecia jej potrzeba ok. 10^{-6} do 10^{-7} sek., przez który to czas fala odbiegnie 30 do 300 m., o ile jej nie zatrzyma osobna cewka dławikowa L. Jest to główną wadą ochronników różkowych. Poza tem na oporniku następuje odbicie i fala odbita o stromem czole.

Aby zwiększyć czułość, daje się iskierniki pomocnicze (P), które przebijają wcześniej i jonizują przerwę iskrową. Iskiernik pomocniczy połączony jest przez duży opór (r) omowy.

Zależnie od potrzeby stosuje się nastawienie iskiernika:

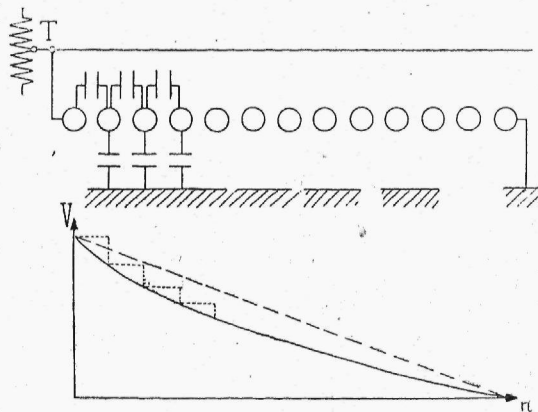
— czule (subtelne), z małym odstępem różków a dużym oporem, jeżeli jest dostateczna indukcyjność cewek ochronnych a spodziewamy się fal o małej wysokości i długości;

— wytrzymałe (ogrubne), równoległe do iskiernika nastawionego czule, mające za zadanie zniweczenie w małym oporze energii fali; duży odstęp różków i mały opór (500—600 Ω). Zwykle przyjmuje się, że są one nastawione 25—50% wyżej, niż czule.

Ochronniki różkowe stosujemy obecnie do napięć poniżej 10 kV; przy wyższych napięciach prądy przepuszczane przez nie są zbyt duże, o ile opornik został racjonalnie dobrany.

b) Ochronniki krążkowe (Würtz) (rys. 17).

Zasada: Wielokrotny przeskok iskry między elektrodami z materiału dobrze gaszącego (stopy



Rys. 17.

cynku), które poza tem mają dużą pojemność cieplną. Iskra powinna się przerywać już po pierwszym półokresie. Ażeby to się stało, nie może przypadać na każdą przerwę większy spadek napięcia, niż 250 V, przy minimalnym odstępem ok. 1 mm. W razie układu trójfazowego, o napięciu skutecznym międzyfazowym V przy załączeniu ochronnika do ziemi,

liczba potrzebnych przerw $n = \frac{V}{1,73 \cdot 250}$, czyli

$n + 1$ krążków, przeto przebiecie następowaloby dopiero przy $7.4500 = 31500$ V, t. j. znacznie zawysoko (stopień bezpieczeństwa przeszło 10!). Zapobiega temu jednak nierównomierny rozkład napięć w przerwach iskrowych, pochodzący z wpływów pojemności względem ziemi; wtedy przerwa najbliższa przewodu będzie pod dużym napięciem i zostanie przebita; to samo napięcie — zmniejszone o spadek w iskrze — znajdzie się na drugiej i t. d.

Przez sztuczne zwiększenie pojemności (płytki

dotatkowe) reguluje się rozdział napięcia. Można tu wpływać także przez zmianę odstępu.

Krażki pracują dobrze, dopóki są zimne, po nagrzaniu się skutkiem częstych wyładowań zawodzą i nie przerywają iskry już po pierwszym półokresie; może to spowodować stopienie. Występuje również opóźnienie działania.

Stosuje się je do małych urządzeń (kablowych) do napięć 2500 V.

c) Wentyle elektryczne (Giles, fabryka kondens. elektr., Fryburg) (rys. 18).

Połączenie iskiernika pojedynczego (kulkowego) A, opornika wieloomowego R i iskiernika wielokrotnego (płytkowego) K. Pierścienie iskiernika wielokrotnego mają pewną pojemność względem trzona koncentrycznego, tak, że występuje tu zwiększenie działania pojemności, jak u poprzednich przyrządów.

Wentyle takich jest kilka połączonych równolegle, nie mogą one jednak od razu razem zacząć działać, lecz po kolei, w miarę potrzeby.

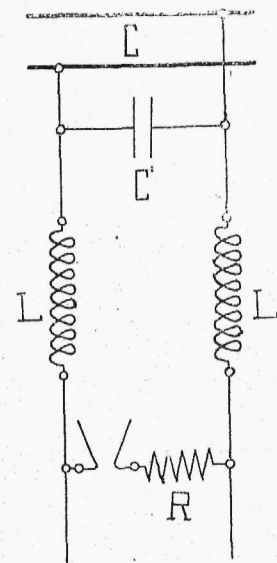
Wentyl nastawia się na 8–10% przepięcia, działa więc stosunkowo bardzo czule. Stosują je — głównie w Szwajcarii — do napięć kilka — i kilkanaście kV.

d) Oporniki ochronników iskrowych.

Z poprzedniego jasnym jest, że opornik musi być dosyć mały, aby skutecznie działał, t. j. aby energia w nim została przemieniona w ciepło.

Ze względu na przepięcia zwarciove (z ziemią) oporniki wszystkich ochronników powinny być tak dobrane, aby prąd przez nie przepuszczany był równy w sumie prądowi zwarcia sieci z ziemią. Ze względu zaś na fale atmosferyczne nie powinien być mniejszy od 500–600 Ω np. dla $Z_1 = 800$, $Z_2 = 1000$, opornik musi mieć ok. 4000 Ω, aby nie nastąpiło na nim odbicie, ale wtedy fala nienaruszona uderza o aparat Z_2 . Jeżeli zaś ma zostać zniżona np. do 0.3 V, musi być $R = \text{ok. } 165 \Omega$, co jest zamało, aby nie powstało przetężenie.

Mimo zniżenia napięcia fali, reszta zachowuje stromość czoła; do złagodzenia



Rys. 19.

tej stromości służą cewki indukcyjne lub kondensatory, o czym później. Wtedy można przyjąć większą wartość oporu.

Pozatem opór ten musi mieć własność tłumienia ewentualnych oscylacji, wzbudzonych iskrą ochron-

nika w połączeniu szeregowym indukcyjności cewki L, cewek i pojemności C szyn zbiornych (rys. 19).

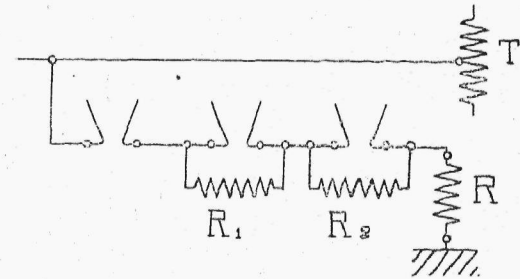
Np. dla $L = 0,1 \text{ mH}$, $C = \text{ok. } 10^{-6} \mu\text{F}$ P musi być większe od 6000 Ω, co czyni iluzoryczną jego wartość. Przez załączenie zaś kondensatora $C' = 0,02 \mu\text{F}$ równolegle do szyn, wystarczy $P = \text{ok. } 140 \Omega$.

Oporniki mogą być wodne, drutowe w oleju, karborundowe i t. p. Wodne wymagają stałego dozoru, przy olejowych może nastąpić eksplozja oleju, karborundowe mają współczynnik oporu ujemny, co wpływa niekorzystnie na gaszenie łuku; powinny one przede wszystkim posiadać dużą pojemność cieplną tak, że z tego względu najlepsze są drutowe w oleju.

Wielkość oporu podług katalogów firm wynosi:

Kilowolty . . .	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30
S.S. V drut (V) .	20	80	150	230	290	350	400	580	870	1160	
A.E.G. V karb (V)	200	400	600	600	800	1000	1200	1600	2400	3200	3600
						40	60	kV			
						6200	9400	Ω			

Zalecane jest połączenie kombinowane (rys. 20): Opornik R jest dostosowany do charakterystyki prze-



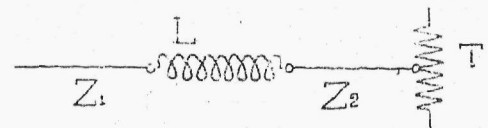
Rys. 20.

wodu; oporniki zaś R_1 i R_2 mogą być większe. Przepięcia o małej energii wyładowują się przez oporniki R_1 i R_2 , a duże przez iskierniki szeregowo, bo na opornikach R_1 , R_2 powstają duże spadki napięcia.

Przy ochronnikach, połączonych z ziemią, należy zważać na doskonałe uziemienie oporników.

3. Dławiki ochronne.

Cewka indukcyjna jest włączona (rys. 21) w sze-



Rys. 21.

reg z obiektem (transformatorem) T, który ma być ochraniaany.

Według poprzedniego (Rozdz. III), po czasie t od zjawienia się fali na cewce, fala przepuszczona

$$v_{12} = 2v_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \left(1 - e^{-\frac{Z_1 + Z_2}{L} t} \right)$$

Stąd można obliczyć wartość L, aby po czasie t napięcie na cewce przyjęło wartość v_{12} , którą może T

wytrzymać. Dla czasu t jest miarodajna długość fali; o ile ta długość jest nieskończenie wielka to

$$v_{12} = 2v_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2};$$

dla skończonych wartości wstawia się $t = \frac{\lambda_{cm}}{3 \cdot 10^{10}}$. Dla fal atmosferycznych przyjmuje się ich długość parę kilometrów. Musi być zatem dostateczna wielkość L , aby działała skutecznie, im L większe tem jest skuteczniejsze dla dłuższych fal.

Dotychczasowe cewki mają przeważnie zmałe wartości, aby działały skutecznie. Można przyjąć, że powinny być rzędu kilka do kilkunastu mH . Według norm szwajcarskich (1916) wystarczy 0,15 mH przy 10 kV , a 0,80 mH przy 100 kV . Petersen zaleca powyżej 5 mH , a ostatnio Biermanns do 30 mH . Różnice zatem bardzo znaczne.

Stosuje się je jako: a) ochronniki właściwe — większe wartości b) dodatkowe cewki do ochronników różkowych — mniejsze wartości, c) w połączeniu z kondensatorem ochronnym — mniejsze wartości potrzebne.

Powyżej 0,2 mH budowa cewek jest dosyć trudna i kosztowna; używa się je do wszelkich napięć. Aby uniknąć rezonansu stosuje się opornik obciążeniowy, równoległy do cewki.

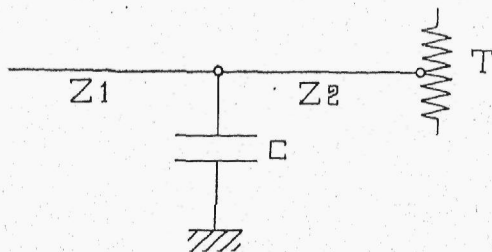
4. Kondensatory ochronne.

Polegają na działaniu pojemności skupionej, włączonej równoległe do przedmiotu ochranianego T (rys. 22).

Wielkość ich dobiera się podobnie, jak przy cewce skupionej, ze wzoru na falę przepuszczoną:

$$v_{12} = 2v_1 \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \left[1 - e^{-\frac{1}{C} \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) t} \right].$$

O ile pojemność kondensatora jest dostatecznie duża, to ładunek fali nie wystarczy, aby napięcie



Rys. 22.

kondensatora podniosło się zbyt wysoko. Wielkość jego dobiera się przeto tak, aby napięcie v_{12} nie przekroczyło określonych granic.

Fala nadbiegająca rozdziela się na gałąź transformatora i gałąź kondensatora, ta druga nie może być dłuższa, niż pierwsza, aby kondensator zaczął działać, nim fala uderzy o T . Ponieważ odbicie fali następuje na ziemi, przeto połączenia kondensatorów muszą być możliwie krótkie.

Jednak do T wpada zawsze część fali, dlatego przed T należy włączyć cewkę ochronną.

Ochrona transformatora przed falami uskokuwymi wymaga 0,01 — 0,02 μF na fazę; można ją

zastąpić kablem ochronnym o takiej samej wartości.

Aby zmniejszyć amplitudę przepięć atmosferycznych, potrzeba

dla napięcia V 10, 20, 50 kV

pojemności C 0,08, 0,06, 0,04 μF na fazę.

Aby uniknąć drgań rezonansowych, daje się w szeregu z kondensatorem oporniki 1000 Ω na 0,01 μF , co jednak zmniejsza jego skuteczność.

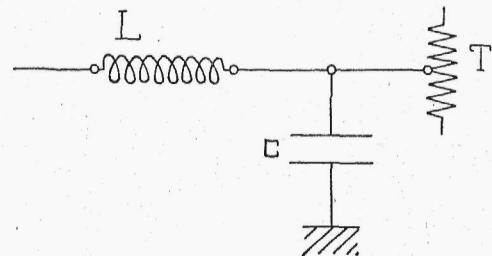
Wytrzymałość kondensatorów pozostawia jeszcze do życzenia. Wymaganem jest aby napięcie probiercze kondensatora było równe przynajmniej napięciu przeskoku iskry przez izolator. Kondensatory ochronne stosuje się teraz do napięcia ok. 50 kV .

Przeciw przepięciom zwarciovym kondensatory nie nadają się.

5. Urządzenia kombinowane (kondensator, cewka, opornik).

Są tu możliwe różne kombinacje. Najbardziej zalecane są wskazane na rys. 23 i 24.

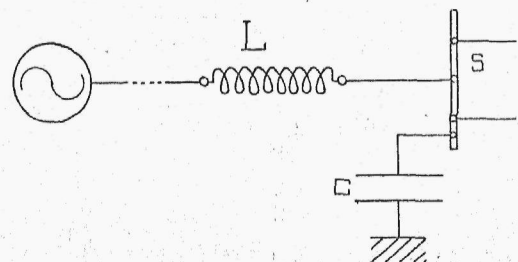
Układ rys. 23 stosuje się w czołowych stacjach transformatorów pojedynczych i na przewodach, od-



Rys. 23.

gałęziających się od głównych; ma na celu odbicie na cewce fal nadbiegających od przewodów i odrzucenie ich spowrotem do sieci. Według Petersena skuteczna ochrona będzie, jeżeli L i C będą tak dobrane, aby $LC > 0,5 \cdot 10^{-12}$. Normalnie przy 20 kV $C = \sim 0,02 \mu F$, $L = 0,2 mH$, t. j. $L \cdot C = 4 \cdot 10^{-12}$.

Układ rys. 24 stosuje się na stacjach generatorowych i dużych podstacjach; ma na celu zmniejszenie



Rys. 24.

napięcia w pobliżu kondensatora i powstrzymanie przepięcia cewką, zanim kondensator zacznie działać.

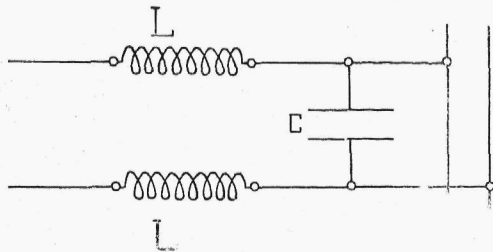
Przy 10 kV daje się $C > 0,1 \mu F$ na fazę, a $L = \sim 0,1 mH$.

Przy takich kombinacjach głównym warunkiem jest unikanie oscylacji przez odpowiedni dobór indukcyjności i pojemności, aby obwód był aperiodyczny, wzgl. przez włączenie dostatecznie dużej oporności.

Wobec tego koniecznym jest przeliczenie każ-

dorazowe urządzenia ze względu na przepięcie rezonansowe i odpowiedni dobór stałych obwodu. Włączenie np. pojemności C między cewkę a szyny zbiorcze (rys. 25) zwiększa pojemność systemu a więc zmniejsza częstotliwość własną.

Przez celowe wprowadzenie oporności do obwodu nie tylko uniknie się drgań swobodnych, ale



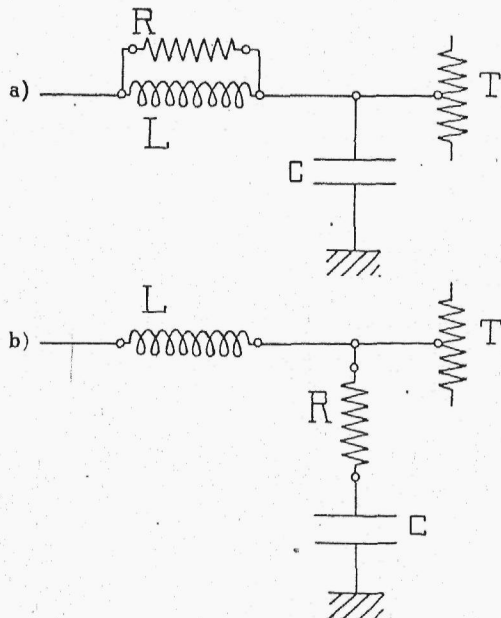
Rys. 25.

nadto spowoduje się silniejszą absorpcję energii fal. Na tem polega układ ochronny Camposa, rozszerzony przez Rüdemberga, jako kombinacja kondensatora, cewki i opornika.

Z możliwych licznych kombinacji uważa on za najlepsze dwie (rys. 26). Obie mogą łączyć zalety działania cewek i kondensatorów. Cewka odbija falę, dając im ten sam znak, kondensator również, ale o znaku przeciwnym. Przez umieszczenie obu tych przyrządów tuż koło siebie fale znoszą się w tej ich części, jaka wypada z poprzednich wywodów. Reszta zaś zostaje zniszczona w oporze R o wielkości, równej oporności falowej przewodu, skąd fala nadbiega.

Opór R może być załączony równolegle do cewki lub w szereg z kondensatorem.

W kombinacji pierwszej (rys. 26a) prąd normalny przechodzi przez cewkę i kondensator z ma-



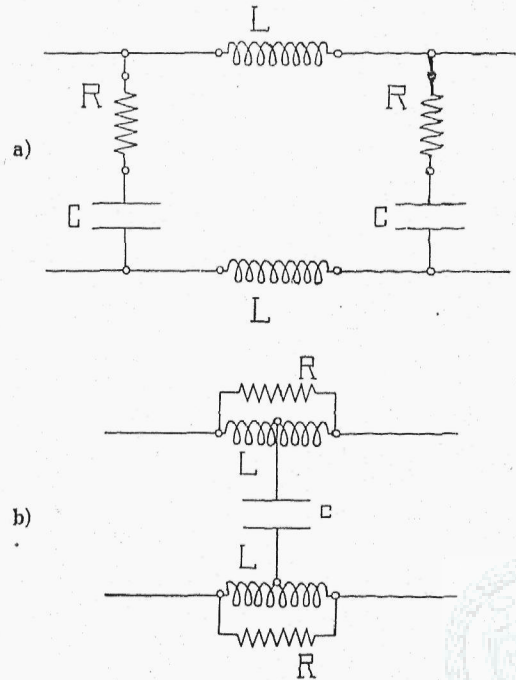
Rys. 26.

łemi stratami. Fala wędrowna nie może przejść przez cewkę i zostaje zmuszona do szukania drogi przez opór, w którym następuje jej częściowa absorbcja. Następnie zostaje odbita na kondensator

i znowu musi przejść przez opór, tak że w rezultacie tylko minimalna część zostaje odbita, wzgl. przepuszczone dalej.

Jeszcze lepiej to widać na kombinacji drugiej (rys. 26b).

Jeżeli się ma do czynienia z przewodami o różnych opornościach falowych, a oba mają być zabezpieczone przed przepięciami, to najlepszą ma być kombinacja podwójna obu systemów poprzednich (rys. 27a i 27b). Druga z tych kombinacji (rys. 27b)



Rys. 27.

ma tę jeszcze zaletę, że w razie przebicia kondensatora, prąd zwarcia jest ograniczony cewkami.

Działanie takich ochronników kombinowanych występuje wyraźnie, zwłaszcza przy dużych częstotliwościach. Wtedy na kondensatorze tworzy się węzeł napięcia (zwarcie przewodów!) a brzusiec prądu, na cewce zaś — węzeł prądu (bardzo duży opór!) a brzusiec napięcia, tak, że w obu razach obwód jest zamknięty dla fal tylko przez opór R , co powoduje właśnie skuteczną absorbcję ich energii.

Urządzenia kombinowane mimo, że na pierwszy rzut oka powinny działać w zasadzie idealnie, mają parę słabych stron, które zmniejszają ich skuteczność. Równoległe przyłączenie oporu do cewki zmniejsza zdolność cewki łagodzenia czoła fali, a przez szeregowe przyłączenie oporu do kondensatora zatracą ten ostatni własność zwarcia, na czem właśnie polega głównie jego dobroć.

Działanie cewki i kondensatora powinno być równoczesne; wszelki opór powoduje w tym względzie niejednoczesność. Cewka powinna być tak dobrana, aby powstrzymywała falę tak długo, aż fala ujemna, napływająca z kondensatora, zacznie działać. Wtedy może nastąpić wzajemne zubożenie fal.

Tego rodzaju układ ochronny, wprowadzony przed 8 laty, nie wszedł jeszcze dostatecznie w praktykę, aby można było mieć konkretne rezultaty jego działania.

(Dok. nast.)