PRZEGLĄD RADJOTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA RADJOTECHNIKÓW POLSKICH.

WYCHODZI ŁĄCZNIE Z „PRZEGLĄDEM ELEKTROTECHNICZNYM" 15-go KAŻDEGO MIESIĄCA.

SPRAWY REDAKCYJNE: Z RAMIENIA KOMITETU REDAKCYJNEGO S. R. P. MJR. K. KRULISZ WARSZAWA, OFIC. SZK. INŻ. NOWOWIEJSKA 54, BUD. H. ZAKŁ. BADANIA, TEL. 232-76, OD GODZ. 11—2.

SPRAWY ADMINISTRACYJNE: „PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY", WARSZAWA, ULICA CZACKIEGO № 5. TELEFON № 99-23

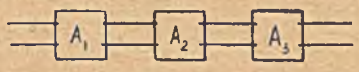
Rok IV. Warszawa, 1 września 1926 r. Zeszyt 14—16

FILTRY ELEKTRYCZNE.

Napisał, mjr. inż. **K. Dobrski.**

1. Typowe postacie filtrów elektrycznych i ich zastosowania.

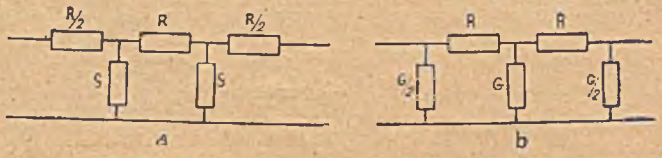
Filtry elektryczne są to układy utworzone z oporów, pojemności i indukcyjności, które schematycznie możnaby przedstawić, jak na rys. 1-szym. A_1, A_2, A_3 są to poszczególne ogniwa, utworzone najczęściej w sposób jednakowy. Ogniwa A_1, A_2, A_3 możnaby



Rys. 1.

tworzyć z indukcyjności i pojemności w rozmaity sposób, lecz najczęściej nadaje im się kształty, jak na rys. 2-im a) i b). R i G są to dowolne układy złożone z oporów, pojemności i indukcyjności.

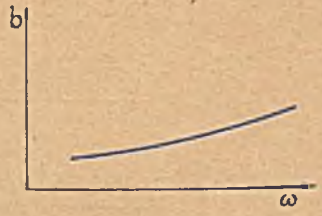
Filtry elektryczne znalazły szerokie zastosowanie dzięki swym specjalnym właściwościom. A mianowicie zachowują się one w sposób charakterystyczny względem prądów zmiennych o różnej pulsacji. Jedne prądy przepuszczają niemal bez tłumienia, inne natomiast niemal całkowicie odrzucają.



Rys. 2.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę zwykłą linję jednorodną, to krzywa, wyrażająca tłumienie w zależności od pulsacji, będzie posiadała przebieg prawidłowy, łagodnie wznosząc się wraz z częstotliwością prądów (rys. 3).

Zwykłe linje jednorodne zatem zachowują się również rozmaicie względem prądów o różnej pulsacji, tłumiąc naogół silniej prądy o większej częstotliwości,



Rys. 3.

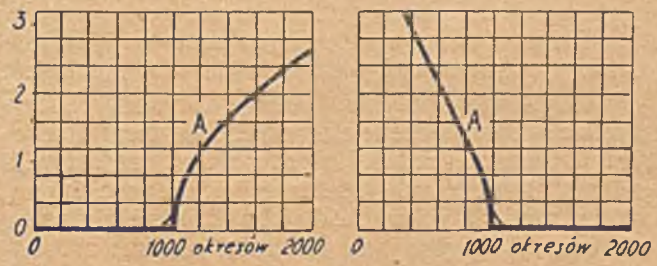
lecz tłumienie to zmienia się w sposób powolny bez nagłych załamań. Tymczasem analogiczne krzywe dla filtrów elektrycznych posiadają przebieg najrozmaitszy, wznosząc się dla pewnych pulsacji szybko w górę, dla innych znów opadając niemal do zera. Dzięki tym właśnie swym właściwościom filtry znalazły szerokie zastosowanie, zwłaszcza w teletechnice i radjotechnice.

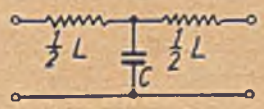
A oto niektóre typowe filtry elektryczne oraz ich charakterystyki.

Rys. 4-y przedstawia jedno ogniwo tak zwanego filtru dławikowego. Gałęzie szeregowe są utworzone z cewek dławikowych, których opór pominięto, gałęzie poprzeczne z kondensatorów. Na tym samym rysunku przedstawiona jest charakterystyka tego filtru, wyrażająca zależność pomiędzy jego równoważnikiem tłumienia odkładanym wzdłuż osi rzędnych, a pulsacją odkładaną wzdłuż osi odciętych. Charakterystyka ta wskazuje, iż filtry dławikowe przepuszczają prądy zmienne o małej pulsacji, aż do pewnej granicznej bez tłumienia, natomiast prądy o dużej pulsacji silnie tłumią i przytem tym silniej, im częstotliwość bardziej odbiega od granicznej.

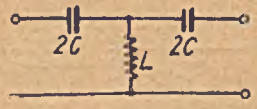
Krzywa narysowana linją grubą odnosi się do filtru złożonego tylko z pojemności i indukcyjności, a więc bez strat. Opory wpływają na złagodzenie ostrych załamań charakterystyki, czyniąc zachowanie się filtru mniej ostrym.

Rys. 5-y przedstawia filtr kondensatorowy wraz z jego charakterystyką. Własności tego filtru są niejako





Rys. 4.

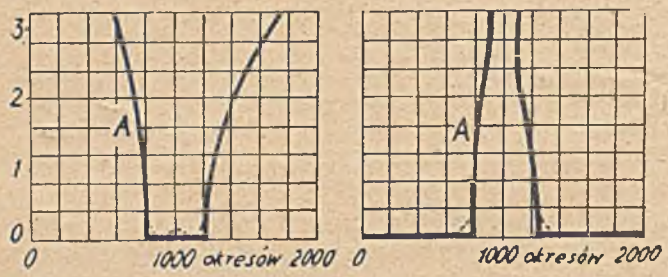


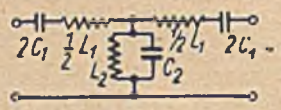
Rys. 5.

przeciwne poprzednim. Filtr kondensatorowy tłumi prądy o małej pulsacji, natomiast począwszy od pewnej granicznej pulsacji przepuszcza prądy zmienne niemal bez tłumienia.

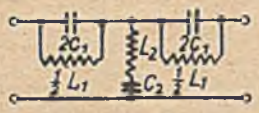
Rys. 6-y przedstawia filtr złożony również tylko z indukcyjności i pojemności, a więc bez oporów. Charakterystyka tego filtru wskazuje, iż tłumi on prądy o małej i dużej pulsacji, natomiast przepuszcza bez tłumienia prądy zmienne o pulsacjach zawartych pomiędzy dwiema granicznemi. Filtr taki zatem z całego widma prądów zmiennych zdolny jest przepuszczać dalej tylko pewien określony zakres pulsacji, inne natomiast odbija.

Przeciwnie zachowuje się filtr, którego jedno ogniwo przedstawione jest na rys. 7-ym. Filtr ten przepuszcza małe i duże pulsacje, natomiast tłumi zakres prądów zmiennych, określonych dwiema pulsacjami granicznemi.





Rys. 6.



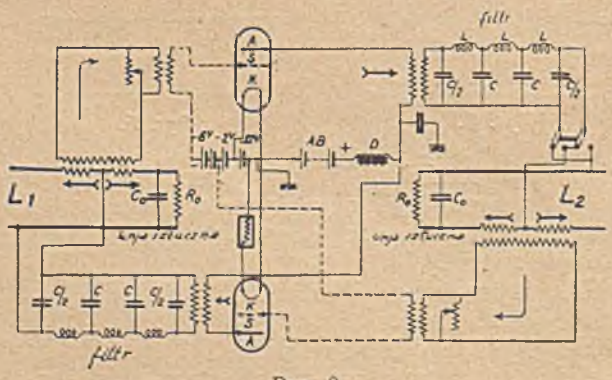
Rys. 7.

Charakterystycznym jest we wszystkich rozpatrywanych przykładach brak oporów w filtrach, Oczywiście, jest to niemożliwe do osiągnięcia, gdyż nie można wprowadzić indukcyjności, nie wprowadzając oporów. Jednak jest zrozumiałem, iż jest pożądanem, jeżeli chcemy utrzymać charakterystyczne zachowanie się filtrów względem prądów zmiennych o różnych pulsacjach, zmniejszanie oporów cewek indukcyjnych wprowadzonych do filtrów do granic możliwie małych.

Również charakterystycznem jest, iż każdy filtr składa się zarówno z indukcyjności jak pojemności. Filtry złożone tylko z pojemności lub indukcyjności nie mogłyby wykazywać tak znacznych różnic w tłumieniu prądów o różnej częstotliwości, jak filtry wskazane.

Jak zaznaczyłem na wstępie, filtry elektryczne znalazły szerokie i bardzo różnostronne zastosowania. Dla przykładu wskażę pewne ich zastosowania w jednej gałęzi elektrotechniki, a mianowicie w teletechnice.

Jako pierwszy przykład wezmę tak dziś rozpowszechnione wzmacniacze telefoniczne. Jak wiemy, schematycznie wzmacniacz telefoniczny można przedstawić, jak na rys. 8-ym. Prądy telefoniczne, biegnąc, dajmy na to, z zachodu na wschód, zamykają się po przez linję sztuczną, odtwarzającą własności odcinka zachodniego i dzięki transformatorowi działają na siatkę gór-



Rys. 8.

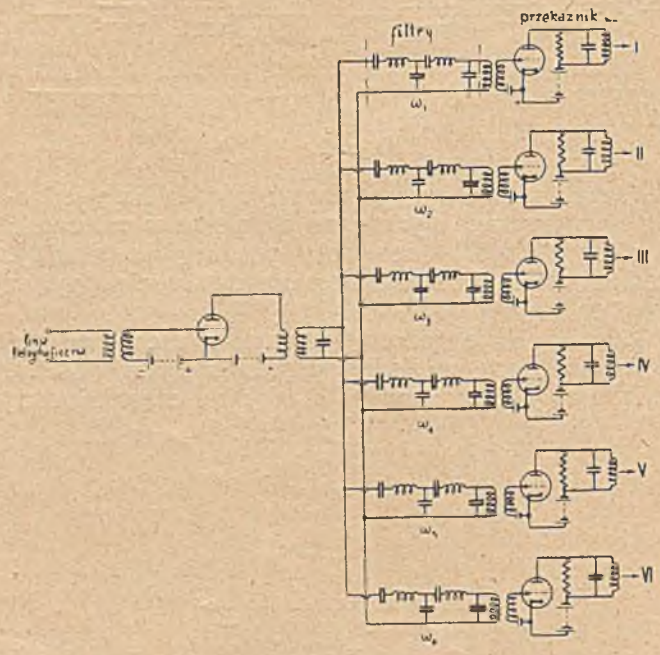
nej lampki katodowej. Dalsza ich droga po wzmocnieniu prowadzi przez filtr dławikowy do odcinka wschodniego linji. Tutaj rozgałęziają się i częściowo płyną po przez linję sztuczną, odtwarzającą własności odcinka wschodniego. Analogiczna jest droga prądów telefonicznych, płynących ze wschodu na zachód, lecz prowadzi przez drugą lampę katodową.

Otóż jeżeli linje sztuczne posiadają taki sam opór zespolony dla prądów o częstotliwościach akustycznych, jak i odpowiednie odcinki linji naturalnych, to prądy płynące np. z zachodu na wschód po dojściu do odcinka wschodniego jednakowo się rozgałęzią po przez linję naturalną i linję sztuczną i żadne prądy nie zostaną wzbudzone we wtórnem uzwojeniu transformatora,skąd doszłyby do drugiej lampki katodowej, a stąd wzmocnione po przez filtr do odcinka zachodniego.

Wzmacniacz będzie działać prawidłowo. Lecz linje sztuczne nigdy nie równoważą linji naturalnych dla wszystkich częstotliwości. Wystarcza praktycznie, jeżeli ta równowaga istnieje dla częstotliwości najważniejszych. Otóż teraz wyjaśnia się zadanie filtrów. Filtr stosowany przy wzmacniaczach jest dławikowym, a więc tłumi prądy zmienne o dużej pulsacji, dla których właśnie równowaga pomiędzy linjami sztucznemi a naturalnemi jest najmniejsz.a Bez filtru prądy te mogłyby krążyć od jednej lampki do drugiej, wzmacniacz okazywałby skłonność do gwizdów, uniemożliwiając, względnie zniekształcając rozmowę.

Również szerokie zastosowanie filtry znajdują w telegrafji i telefonji wielokrotnej.

W telegrafji prądami zmiennemi o częstotliwości akustycznej aparaty nadawcze wysyłają impulsy na wspólną linję telegraficzną przy pomocy prądów zmiennych o różnej częstotliwości. Każdy aparat posiłkuje się prądami o określonej pulsacji. Tym sposobem do stacji odbiorczej napływają wzdłuż danej linji telegraficznej prądy zmienne o różnej częstotliwości. Otóż każdy aparat odbiorczy musi z mieszaniny tych prądów wydzielić dla siebie te prądy, które są dlań przeznaczone. Rozumiemy, iż jest to możliwe przy pomocy filtrów elektrycznych. Schematycznie urządzenie stacji odbiorczej przedstawia się np., jak na rys. 9-ym.



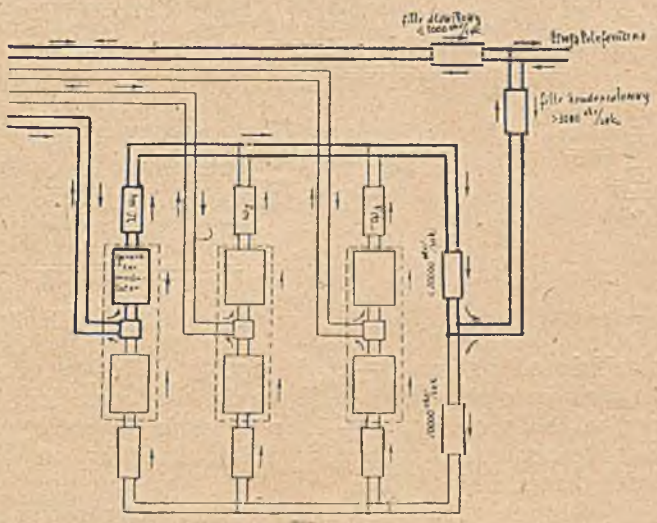
Rys. 9.

Nadchodzące prądy telegraficzne wysyłane przez różne aparaty telegraficzne zostają najpierw wzmocnione, a potem przedostają się do właściwych aparatów dzięki

filtrom elektrycznym. Filtry umieszczone przed każdym aparatem posiadają charakterystyki podobne do przedstawionych na rys. 6-tym, dzięki czemu właśnie wydzielają z mieszaniny prądów zmiennych, te, które przeznaczone są dla danego aparatu.

Stacje nadawcze i odbiorcze, telefoniczne i telegraficzne prądami wielkiej częstotliwości t. j. prądami do 30 000 okresów na sek., praktycznie bowiem nie osiągnięto zadawalniających rezultatów z przesyłaniem rozmów prądami ponad 30 000 okresów na sek., są przedstawione schematycznie z zaznaczeniem filtrów na rys. 10-ym i 11-ym.

Na rysunkach tych przyjęto, iż wzdłuż danej linji telefonicznej prowadzi się jedną rozmowę prądami zwykłemi, oraz trzy rozmowy prądami dużej częstotliwości. Przytem rozmowy w jednym kierunku prowadzi się przy pomocy fal nośnych o częstotliwości od 20 000 do 30 000 okresów na sek., zaś w drugim kierunku od 10 000 do 20 000 okresów na sek., Rozpatrzmy teraz poszczególne drogi prądów (rys. 10-ty).



Rys. 10.

Przedewszystkiem drogi prądów o częstotliwości małej i dużej są od siebie oddzielone przy pomocy filtrów dławikowego i kondensatorowego, umieszczonych przy rozgałęzieniu linji telefonicznej. Zatem prądy o częstotliwości akustycznej będą miały zamkniętą dla siebie drogę do urządzeń wielkiej częstotliwości i popłyną tak, jak gdyby tych urządzeń nie było. Również prądy o wielkiej pulsacji będą odrzucane przez filtr dławikowy od aparatu zwykłego.

Prądy telefoniczne, idące od aparatu, który ma prowadzić rozmowę na fali nośnej, są doprowadzane (grube linje) do generatora prądów szybkozmiennych, których amplitudę modulują odpowiednio do swego przebiegu. Fala nośna modulowana przechodzi następnie przez filtr, przepuszczający wązki zakres pulsacji w pobliżu pulsacji danej fali nośnej. Prądy te nie przenikną do następnych kanałów, gdyż kanały te zamknięte są filtrami, przepuszczającemi tylko wąskie zakresy pulsacji, odpowiadających innym falom nośnym. A więc przejdą dopiero przez filtr, przepuszczający prądy o częstotliwościach poniżej 20.000 okr. na sek., zakładając, iż rozmowę z danej stacji do następnej prowadzi się przy pomocy prądów o częstotliwościach poniżej 20.000 okr. na sek., a dalej przez filtr kondensatorowy do linji telefonicznej. Natomiast prądy, przychodzące do stacji, a więc o częstotliwościach powyżej 20.000 okr. na sek. będą przebiegały drogę zaznaczoną grubszą linją na rys. 11-ym.

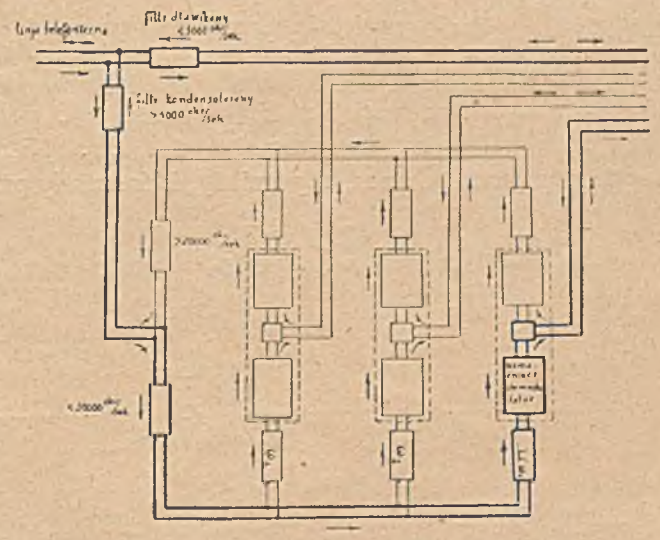
Tym sposobem dzięki selekcyjnemu działaniu filtrów można daną linję naturalną wykorzystać dla przewodzenia kilku rozmow telefonicznych i telegraficznych jednocześnie.

Obecnie — zgodnie z wynikami otrzymanemi w Ameryce — istnieje możność następującego wykorzystania prądów zmiennych do 30 000 okr. na sek. dla jednoczesnego prowadzenia rozmów telefonicznych i telegraficznych wzdłuż tych samych przewodów. A mianowicie prądy o częstotliwości do 100 okresów na sek. służą do przesyłania telegramów. Przez zastosowanie duplextelegrafji można przesyłać dwa różne telegramy w przeciwnych kierunkach. Prądy o częstotliwościach zawartych w granicach od 300 do 2 800 okr. na sek. są zarezerwowane dla rozmów telefonicznych. Cały pozostały zakres prądów jest podzielony na dwie części a mianowicie do i powyżej 10 000 okr. na sek. Prądy poniżej 10 000 okr. na sek. są przeznaczone dla rozmów telegraficznych, powyżej — dla rozmów telefonicznych.

Przytem do przesyłania telegramów w jedną stronę używa się częstotliwości do 6 000 okr. na sek., zaś w drugą stronę od 6 000 do 10 000 okr, na sek. Razem tym sposobem można prowadzić 10 rozmów w jednym i 10 rozmów w drugim kierunku.

Również zakres pozostały fal nośnych jest podzielony na dwie części, a mianowicie od 10 000 do 20 000 okr. na sek. i od 20 000 do 30 000 okr. na sek. Przy pomocy pierwszych przesyła się rozmowy w jedną stronę, przy pomocy drugich—w drugą stronę. Razem można prowadzić 3 rozmowy obustronne.

Schemat całej instalacji wraz ze wzmacniaczem pośrednim dla prądów o dużej częstotliwości przedstawia się tedy, jak na rys. 12-ym. Filtry umieszczone w rozmaitych punktach rozdzielają drogi prądów o różnej pulsacji. I tak np. przed wejściem do wzmacniacza dwa filtry — jegen dławikowy z częstotliwością gra-



Rys. 11.

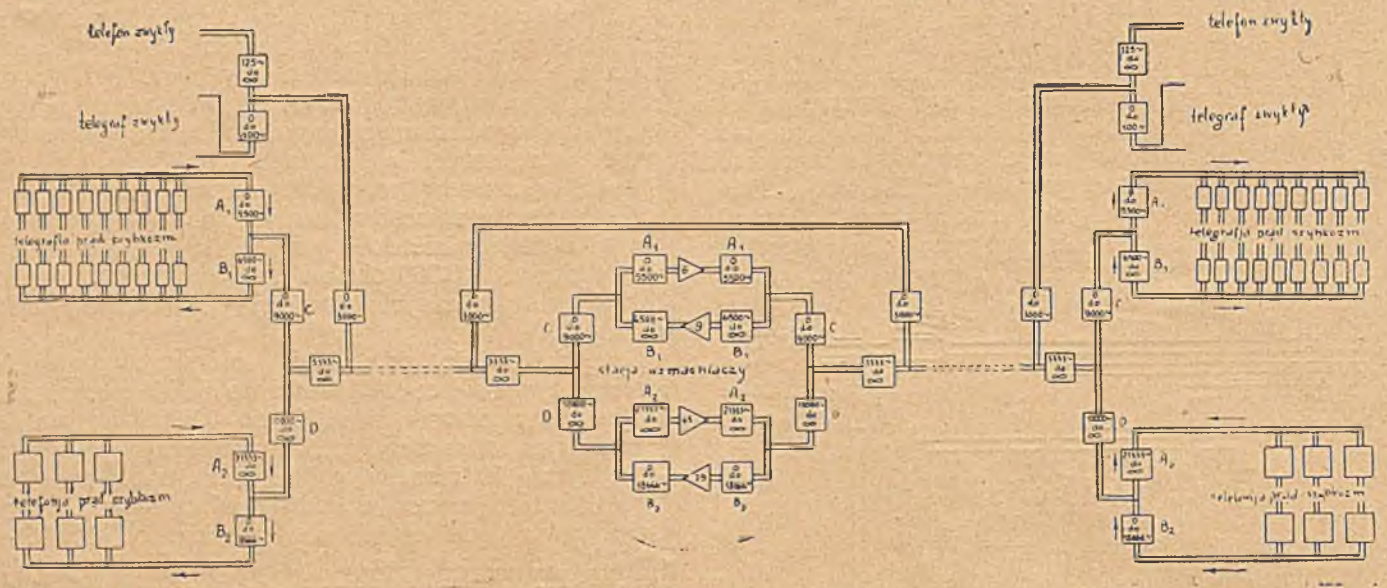
niczną 3 000 okresów na sek., drugi kondensatorowy z częstotliwością graniczną nieco powyżej 3 000 okr. na sek., rozdzielają prądy o małej i dużej pulsacji. Zwykłe prądy telegraficzne i telefoniczne omijają wzmacniacz, natomiast drgania przenoszone na falach nośnych wchodzą do wzmacniacza. Lecz tutaj dzięki znowu dwom filtrom dławikowemu o częstotliwości

granicznej 9000 okr. na sek. i kondensatorowemu o częstotliwości granicznej 10000 okr. na sek. rozdzielają się fale nośne telegraficzne od telefonicznych. Dalsze cztery filtry rozdzielają prądy, przenoszące rozmowy w jednym kierunku, od prądów, przenoszących rozmowy w kierunku drugim. Dzięki takiemu rozdziałowi możliwe jest też zastosowanie różnego stopnia wzmacniania w stosunku do prądów o różnej pulsacji, co jest koniecznem wobec silniejszego tłumienia prądów o większej pulsacji.

2. Przewodzenie prądów zmiennych wzdłuż łańcucha utworzonego z jednakowych obwodów sprzężonych ze sobą.

Weźmy pod uwagę łańcuch, utworzony z jednakowych ogniw, jak na rys. 13-tym, rozciągający się do nieskończoności.

Jeżeli na początku takiego łańcucha przyłożymy zmienne napięcie sinusoidalne E_0, to prąd i napięcie rozpatrywane w tych samych punktach poszczególnych ogniw np. w ich środku, będą się zmieniać pod-



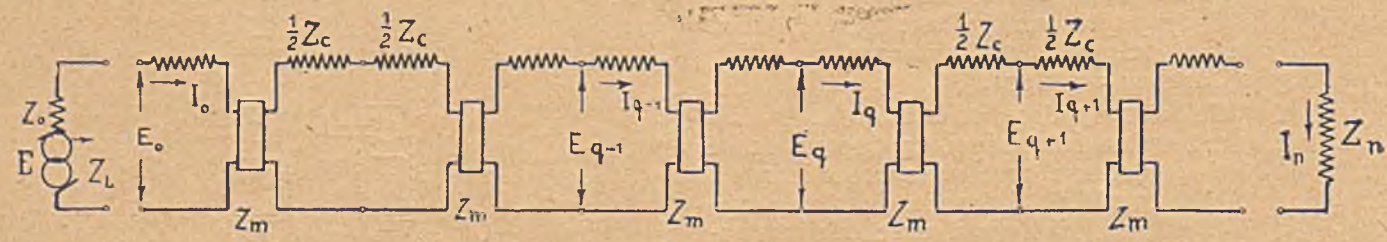
Rys. 12.

czas okresu ustalonego według tego samego prawa, jak w wypadku jednorodnej linji naturalnej o stałych rozłożonych, a więc wartości skuteczne prądu i napięcia, przechodząc od jednego ogniwa do drugiego, muszą się zmieniać według funkcji wykładniczej, zaś ich fazy muszą się zmieniać w sposób jednostajny. Istotnie, jeżeli łańcuch jest nieskończenie długi, to stosunek napięć E_q do E_{q+1} musi być taki sam, jak stosunek E_{q+1} do E_{q+2}. Również jeżeli faza napięcia E_q jest przesunięta o kąt α np. w stosunku do fazy napięcia E_{q-1}, to i faza napięcia E_{q+1} musi być przesunięta o takiż kąt w stosunku do E_q. Niema żadnego powodu bowiem, aby zmiany, które zaszły przy przejściu od ogniwa $q-1$ do ogniwa q, były w czemkolwiek inne od tych, jakie zajdą przy przejściu od ogniwa q do ogniwa $q+1$, oczywiście w założeniu, iż stałe poszczególnych obwodów nie zależą od wartości prądu lub napięcia.

W tych warunkach możemy przyjąć, iż równania, przedstawiające prąd i napięcie w dowolnych ogniwach, będą posiadały taką samą postać, jak w wypadku jednorodnych linji naturalnych.

Jak wiemy, prąd i napięcie w odległości x od początku linji w wypadku linji naturalnych, wyrażają się przy pomocy równań

$$I_x = I_0 \cosh \alpha x - V_0 / Z_0 \sinh \alpha x$$



Rys. 13.

$$V_x = V_0 \cosh ax - Z_0 I_0 \sinh ax$$

gdzie I_0 i V_0 są to prąd i napięcie na początku linji, zaś Z_x i a opór charakterystyczny, oraz stała przewodzenia.

Zatem w odniesieniu do filtrów będziemy mogli również napisać

$$I_q = I_0 \cosh q\tau - E_0 / Z_s \sinh q\tau \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$E_q = E_0 \cosh q\tau - Z_s I_0 \sinh q\tau \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

W równaniach powyższych I_q i E_q oznaczają prąd i napięcie np. w punktach środkowych ogniwa q-go, I_0 i E_0 odpowiednie wielkości na początku pierwszego ogniwa, zaś Z_s i τ są to wielkości charakterystyczne dla danego filtru niezależne ani od odbiornika, ani od źródła prądu, będące wyłącznie funkcją stałych poszczególnych ogniw. Przez analogję do Z_0 i a możnaby je nazwać oporem charakterystycznym filtru, oraz stałą przewodzenia filtru.

Wielkości te można łatwo określić w zależności od danych filtru.

A więc weźmy pod uwagę filtr jak na rys. 13-ym. Załóżmy, iż opór całkowity poszczególnego ogniwa, wyjętego ze związku z innemi wynosi Z_c, zaś współczynnik indukcyjności wzajemnej dwuch sąsiednich obwodów wynosi Z_m/ω. Z_c i Z_m przedstawiają się naogół w postaci liczb zespolonych. Załóżmy dalej dla uproszczenia sobie zadania, iż mamy do czynienia tylko z jednym ogniwem, które przytem na swym końcu jest otwarte. Wówczas w równaniu 1-ym I_q będzie równe zeru, zaś

$$Z_s = \frac{E_0}{I_0} \operatorname{tgh} \tau = Z_\sim \operatorname{tgh} \tau,$$

oznaczając przez $Z_\sim$ opór ogniwa mierzony na jego początku przy otwartym obwodzie wtórnym.

Z drugiej strony z równania 2-go mamy

$$E_q = E_0 \left(\frac{\cosh^2 \tau - \sinh^2 \tau}{\cosh \tau}\right) = \frac{E_0}{\cosh \tau},$$

a stąd

$$\cosh \tau = \frac{E_0}{E_q}$$

Lecz $E_q = -Z_m I_0$, zaś $E_0 = {}^1/_2 Z_c \cdot I_0$ zatem

$$\cosh \tau = -\frac{Z_c}{2 Z_m} \quad . \; . \; . \; . \quad (3)$$

i

$$Z_s = \frac{Z_c}{2} \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{\cosh^2 \tau}} = \sqrt{Z_c^2/_4 - Z_m^2} \quad (4)$$

Wyprowadzenie równań 1 i 2 może nastręczać wątpliwości ze względu na ścisłość rozumowania. Lecz łatwo się przekonać, iż rozumowanie dokładne prowadzi do takich samych równań. A więc weźmy pod uwagę taki sam łańcuch, jak na rys. 13-tym. Stosując prawo Kirchhoffa do obwodu q otrzymamy

$$-Z_m I_{q-1} - Z_m I_{q+1} - Z_c I_q = 0 . \quad (5)$$

oraz

$$E_q = -Z_m I_{q-1} - \frac{Z_c}{2} I_q \quad . \; . \; . \quad (6)$$

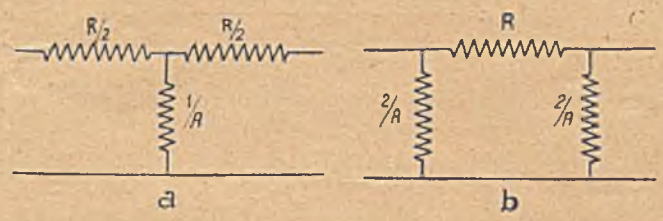
Otóż rozwiązanie równania 5-go przedstawia się w kształcie

$$I_q = Ae^{q\tau} + Be^{-q\tau} \quad . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Jest to więc rozwiązanie, które otrzymujemy w wypadku linji jednorodnych. Wskazuje ono, iż podobnie jak w wypadku tych linji prąd płynący w filtrze elektrycznym, złożonym z jednakowych ogniw, można rozważać, jako składający się z dwuch prądów, płynących w kierunkach przeciwnych i podlegających tym samym prawom tłumienia, oraz fazy. Przez określenie stałych A i B, oraz opierając się na równaniu 6-ym, znajdziemy równania 1-sze i 2-gie, oraz 3-cie i 4-te.

Filtr przedstawiony na rys. 13-ym przedstawia postać najzupełniej ogólną i dlatego równania otrzymane wyżej można stosować bezpośrednio do różnych konkretnych wypadków. Wszakże ze względu na często spotykane filtry złożone z ogniw w kształcie, jak na rys. 14-ym, wyprowadzę również charakterystyczne wielkości τ i Z_s dla tych filtrów w zależności od R i A.

A więc stosując poprzednie równanie do filtru rys. 14-y a) — otrzymamy



Rys. 14.

$$\cosh \tau = \frac{E_0}{E_q} = \frac{I_0 \left(\frac{R}{2} + \frac{1}{A}\right)}{I_0/A} = \frac{1}{2} RA + 1 \quad (8)$$

lub też

$$\sinh^2 \frac{1}{2} \tau = \frac{\cosh \tau - 1}{2} = \frac{1}{4} RA \quad . \quad (9)$$

Z drugiej strony

$$Z_s = Z_\sim \operatorname{tgh} \tau = \left(\frac{R}{2} + \frac{1}{A}\right) \operatorname{tgh} \tau = \frac{R}{2 \operatorname{tgh} \tau \, {}^1/_2} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4} R^2 + \frac{R}{A}} \quad . \; . \; . \; . \quad (10)$$

Stosując zaś te równania do filtru (rys. 14-y b), otrzymamy

$$\cosh \tau = \frac{E_0}{E_q} = \frac{I_0 \left(R + {}^2/_A\right) \cdot {}^2/_A}{R + {}^4/_A} :$$

$$: \frac{I_0 \, {}^2/_A \cdot {}^2/_A}{R + {}^4/_A} = \frac{1}{2} RA + 1 \quad . \; . \quad (11)$$

lub też

$$\sinh^2 {}^1/_2 \tau = \frac{1}{4} RA$$

podobnie jak poprzednio, zaś

$$Z_s = \left[\frac{2}{A} (RA + 2)/RA + 4\right] \cdot \operatorname{tgh} \tau =$$

$$= \left[\frac{2 \operatorname{tgh} {}^1/_2 \tau}{A}\right] \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (12)$$

Zatem równania, odnoszące się do obu rodzajów filtrów, będą się różniły jedynie przez opory charakterystyczne.

Opierając się na równaniach 1) i 2), możemy wyprowadzić dalsze zależności. A więc np. jeżeli chcemy przedstawić prąd I_0 w zależności od napięcia początkowego E_0 i oporu pozornego Z_n odbiornika, to, wiedząc, iż

$$Z_n I_n = E_n,$$

otrzymamy

$$I_0 = E_0 \frac{\cosh n\tau + Z_n / Z_s \sinh n\tau}{Z_n \cosh n\tau + Z_s \sinh n\tau} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (13)$$

W ostatniem równaniu wyraz, przez który mnożymy E_0, jest najwidoczniej odwrotnością oporu pozornego całego łańcucha z odbiornikiem, mierzonego od strony generatora. Oznaczmy opór ten przez Z_L. Zatem.

$$Z_L = \frac{Z_n \cosh n\tau + Z_s \sinh n\tau}{\cosh n\tau + \frac{Z_n}{Z_s} \sinh n\tau} \quad . \; . \; . \quad (14)$$

wówczas

$$I_0 = E_0 / Z_L \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (15)$$

Równanie 1) i 2) możemy teraz napisać, jak następuje:

$$I_q = E_0 \left(\frac{1}{Z_L} \cosh q\tau - \frac{1}{Z_s} \sinh q\tau \right) \quad . \; . \; . \; . \quad (16)$$

$$E_q = E_0 \left[\cosh q\tau - \frac{Z_s}{Z_L} \sinh q\tau \right] \quad . \; . \; . \; . \quad (17)$$

Analogję pomiędzy filtrami, a linjami naturalnemi moglibyśmy prowadzić w dalszym ciągu. A więc, np. z równania 14 widzimy, iż kiedy $Z_n = Z_s$, to jest opór załączony na końcu filtru równa się jego oporowi charakterystycznemu, to

$$I_q = I_0 e^{-q\tau} \quad \text{i} \quad E_q = E_0 e^{-q\tau}$$

3. Spółczynnik tłumienia i spółczynnik długości fali.

Stała przewodzenia filtru przedstawia się naogół w postaci liczby zespolonej. A zatem możemy napisać

$$\tau = h + jk$$

Przez analogję do odpowiednich wielkości w teorji linji naturalnych można h nazwać spółczynnikiem tłumienia, zaś k spółczynnikiem długości fali. Znaczenie tych spółczynników wyjaśni się, jeżeli prąd I_q oraz napięcie przedstawimy w postaci

$$I_q = \frac{1}{2} \left(I_0 + \frac{E_0}{Z_s} \right) e^{-hq} \left(\cos kq - j \sin kq \right) +$$

$$+ \frac{1}{2} \left(I_0 - \frac{E_0}{Z_s} \right) e^{hq} \left(\cos kq + j \sin kq \right) \quad . \; . \; . \quad (18)$$

$$E_q = \frac{1}{2} \left(E_0 + Z_s I_0 \right) e^{-hq} \left(\cos kq - j \sin kq \right) +$$

$$+ \frac{1}{2} \left(E_0 - Z_s I_0 \right) e^{hq} \left(\cos kq + j \sin kq \right) \quad . \; . \; . \quad (19)$$

Pierwszy czynnik w równaniach powyższych reprezentuje falę, biegnącą od źródła prądu do odbiornika, drugi — falę biegnącą w kierunku przeciwnym. Zatem h wpływa na amplitudę obu fal, nie wpływając na ich fazy. Natomiast czynnik k wpływa tylko na fazę. Przy przejściu od jednego ogniwa do następnego amplituda fali maleje w stopniu e^{-h}, zaś faza przesuwa się o k.

Po przejściu n ogniw faza przesunie się o nk. Otóż jeżeli $nk = 2\Pi$, to $n = \frac{2\Pi}{k}$ będzie przedstawiać równoważnik długości fali w teorji linji jednorodnych.

Obie stałe h i k możemy określić z równania

$$\cosh \tau = \cosh (h + jk) = - \frac{Z_c}{2 Z_m},$$

przyrównywując części urojone i rzeczywiste.

Załóżmy

$$\frac{Z_c}{Z_m} = n + jm = A \; (+\Theta)$$

gdzie

$$A = \sqrt{n^2 + m^2},$$

zaś

$$tg\, \Theta = \frac{m}{n}$$

Zatem

$$\cosh (h + jk) = \cosh (h) \cos (k) + j \sinh (h) \sin (k) =$$

$$= - \frac{n + jm}{2}$$

Ponieważ h i k są to liczby rzeczywiste, zatem sinh (h), cosh (h), sin (k) i cos (k) są również liczbami rzeczywistemi. Wówczas

$$\cosh (h) \cos (k) = - \frac{n}{2}$$

$$\sinh (h) \sin (k) = - \frac{m}{2}$$

a stąd

$$\cosh^2 (h) \cos^2 (k) = \frac{n^2}{4};$$

$$\sinh^2 (h) \sin^2 k = \frac{m^2}{4}; \; \left(\cosh^2 (h) - 1 \right) \left(1 - \cos^2 k \right) = \frac{m^2}{4}$$

$$\cos^2 (k) = 1 - \frac{m^2}{4 \left[\cosh^2 (k) - 1 \right]};$$

$$\cosh^2 (h) \left[1 - \frac{m^2}{\left[\cosh^2 (h) - 1 \right]} \right] = \frac{n^2}{4};$$

$$\cosh^4 (h) - \cosh^2 (h) \left[1 + \frac{n^2 + m^2}{4} \right] = - \frac{n^2}{4};$$

$$\cosh (h) = \left[\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{n^2 + m^2}{4} + 1 \right) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \sqrt{\left(\frac{n^2 + m^2}{4} + 1 \right)^2 - n^2} \right\} \right]^{1/2} \quad . \; . \quad (20)$$

lub też

$$\cosh (h) = \left[\frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{A^2}{4} + 1 \right) + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \sqrt{\left(\frac{A^2}{4} + 1 \right)^2 - A \cos^2 \Theta} \right\} \right]^{1/2} \quad . \; . \quad (21)$$

W podobny sposób otrzymamy następujące zależności

$$\cos k = \frac{-n}{\sqrt{n^2}}\left[\frac{1}{2}\left\{\left(\frac{n^2+m}{4}+1\right)-\sqrt{\left(\frac{n^2+m^2}{4}+1\right)^2-n^2}\right\}\right]^{1/2} \quad . \quad . \quad (22)$$

$$\cos k = \frac{-n}{\sqrt{n^2}}\left[\frac{1}{2}\left\{\left(\frac{A^2}{4}+1-\sqrt{\left(\frac{A^2}{4}+1\right)^2-A^2\cos^2 Q}\right\}\right]^{1/2} \quad . \quad . \quad (23)$$

Wyraz $\frac{-n}{\sqrt{n^2}}$ wprowadzony jest do równań powyższych, aby uwidocznić, że cos (k) zmienia swój znak wraz ze znakiem (n).

4. Warunek selekcyjności filtrów elektrycznych.

Selekcyjność filtrów będzie się tym silniej zaznaczać, im tłumienie prądów zmiennych o wybranych zakresach pulsacji będzie słabsza w porównaniu do tłumienia prądow innych. Filtr idealny przepuszczałby pewne wybrane zakresy pulsacji bez tłumienia, tłumiąc natomiast inne.

Zobaczmy tedy, jakie to warunki muszą być spełnione, aby spółczynnik tłumienia (h) był równy zeru.

Jak wiemy,

$$\cosh(h+jk) = \cosh(h)\cos(k) + j\sinh(h)\sin(k) = -\frac{Z_c}{2Z_m}$$

Jeżeli (h) ma być równe zeru, to musi istnieć następująca zależność

$$\cos(k) = -\frac{Z_c}{2Z_m}$$

A zatem warunki przepuszczania prądów zmiennych bez tłumienia możemy sformułować jak następuje:

a) stosunek Z_c / Z_m powinien byc liczbą rzeczywistą;

b) stosunek ten powinien zawierać się w granicach:

$$-1 < \frac{Z_c}{2Z_m} < 1$$

lub

$$-2 < \frac{Z_c}{Z_m} < 2$$

Jeżeli Z_c i Z_m są utworzone z oporów zespolonych, to ich stosunek nie będzie rzeczywistym i pierwszy warunek nie będzie spełniony przynajmniej dla szeregu pulsacji. Jeżeli Z_c i Z_m będą utworzone wyłącznie z oporów rzeczywistych, to nie będzie znów mógł być spełniony warunek drugi, gdyż Z_c będzie conajmniej równe $2Z_m$ i stosunek Z_c / Z_m będzie zawsze większy od 2-ch. Pozostaje jeszcze trzecia możliwość — zresztą tylko teoretyczna — kiedy opory Z_c i Z_m są urojone.

Przy takich oporach oba warunki mogłyby być spełnione.

Zatem filtry o wybitnej zdolności selekcyjnej muszą być utworzone z oporów zespolonych o możliwie małej części rzeczywistej.

Należy tu dodać, że filtry muszą koniecznie zawierać obok indukcyjności również pojemność, gdyż układy złożone tylko z pojemności lub tylko z indukcyjności własności selekcyjnych nie posiadałyby, bowiem dla tych układów Z_c / Z_m byłoby większe od dwuch.

Weźmy pod uwagę narazie filtry idealne, do których filtry rzeczywiste powinny jaknajbardziej się zbliżać, a więc filtry złożone wyłącznie z oporów urojonych.

Otrzymany warunek drugi selekcyjności wskazuje, iż ze względu na zachowanie się filtrów wobec prądów zmiennych należy odróżniać trzy zakresy częstotliwości. A mianowicie zakres, dla którego stosunek Z_c / Z_m jest zawarty pomiędzy -2 i $+2$, a dalej zakres dla których stosunek ten jest mniejszy od -2 i większy od $+2$.

Kiedy Z_c / Z_m jest mniejsze od -2, cosh τ jest większe od jedności i $\tau = h + jk$ posiada wartość rzeczywistą dodatnią. Zatem k musi się równać zeru. A więc prądy zmienne o częstotliwościach, dla których $Z_c / Z_m < -2$, są tłumione, przytem faza ich nie zmienia się wzdłuż łańcucha.

Kiedy Z_c / Z_m jest większe od $+2$, cosh ($h+jk$) jest więktze od -1, a więc h nie równa się zeru, zaś k jest stałe i równa się π.

Nakoniec kiedy Z_c / Z_m jest zawarte w granicach od -2 do $+2$, h równa się zeru, prądy są przewodzone bez tłumienia, zaś k zmienia się od 0 do π.

(D. c. n.)

Informacje.

Produkcja lamp katodowych we Francji: Fabryka „La Radjotechnique"

Lampa katodowa jest bezsprzecznie największem udoskonaleniem, które zostało wprowadzone w radjotechnice w ciągu ostatniego dziecięciolecia. Bez niej nie moglibyśmy korzystać ze wszystkich wygod radjofonji, która w rzeczywistości zmieniła zupełnie tryb naszego życia

Używanie lamp katodowych we Francji rozpoczęło się dopiero w 1915 r., dzięki pracom najznakomitszych uczonych i techników francuskich. I dlatego lampy te mogły oddać nieocenione wprost usługi armji francuskiej.

Zapotrzebowania wojskowe na lampy katodowe były wyłącznie pokrywane przez fabrykantów żarówek, którzy otworzyli w swych fabrykach działy lamp katodowych.

Po wojnie, wielkie towarzystwa francuskie telegrafu bez drutu poczuły odrazu potrzebę zaopatrywania się przez jednego specjalnego fabrykanta, którego wyroby byłyby bez zarzutu i zawsze na wysokim poziomie.

W tym też celu na początku 1921 r. „Compagnie Générale de T. S. F." przyjęła na siebie kontrolę nad towarzystwem „La Radiotechnique" założonem w Lyonie w 1919 r., z kapitałem za-

kładowym 350.000 frs. które to towarzystwo wyrabiało i sprzedawało lampy dla radjotelegrafji i radjologji.

Lecz fabryka w Lyonie była zbyt daleko od Paryża i kontrola nie była rzeczą łatwą. Z tego powodu w 1921 r. w czerwcu było zdecydowane ją zamknąć i wybudowano nową fabrykę koło Paryża, w Suresnes.

Od tego czasu zaczyna się znaczny wzrost „La Radiotechnique", która po krótkim czasie stała się Tow. Akc. z kapitałem zakładowym 2.500.000 frs. Tylko radiofonja pozwoliła Tow. „La Radiotechnique" na taki rozwój. Rzeczywistość wyprzedziła oczekiwania w listopadzie 1922 r., kiedy we Francji rozpoczęły się pierwsze regularne koncerty, nadawane przez Francuskie Towarzystwo Radjo-Elektryczne,

Natychmiast zapotrzebowanie wzrosło znacznie i stale wzrastało nadal. Fabryka „La Radiotechnique", która w 1921 r. zajmowała 740 m², obecnie, wskutek ciągłej rozbudowy, zajmuje 10.990 m² i może wyprodukować 10.000 lamp dziennie (odbiorczych)

Około 500 osób, zajętych w fabryce, zorganizowano według najnowszych przepisów pracy (sposób łańcuchowy), co pozwala utrzymać produkcję na najwyższym stopniu precyzyjności i taniości.(Lampa odbiorcza fabrykuje się i próbuje się w ciągu 45 minut).

Laboratorjum badań i prób, z uwzględnieniem ostatnich ulepszeń technicznych, obejmuje 1.000m² przestrzeni, a zajmuje około 50 inżynierów.

Szklarnia, której budowa nie jest jeszcze zupełnie ukończona, pozwala już obecnie na wyrób 4:800 kg. szkła. Kompletnie ukończona zajmie przeszło 2.000 m² i obliczoną jest na 9.800 kg. szkła. Biura handlowe i administracyjne, jak również magazyn sprzedaży hurtowej, znajdują się w samem centrum Paryża i zatrudniają przeszło 50 osób.

Wiadomo, że produkcja lamp katodowych jest nieskończenie więcej skomplikowaną, niż produkcja żarówek. Wymaga ona bezwzględnej i drobiazgowej kontroli używanych materjałów, wprowadza specjalne procesy dla utrzymania wysokiego stopnia próżni, stosuje urządzenia bardzo dokładne. Te urządzenia w większej części są konstruowane przez personel techniczny „La R-que". Lecz, co najwięcej ustaliło opinję wyrobów „La R-que" na największych rynkach świata — to ścisłe próby lamp, wychodzących z fabryki. Wszystkie lampy „La R-que" są skrupulatnie badane jedna po drugiej.

Stopień próżni mierzony jest prądem siatki, odpowiadającym ściśle określonym napięciom trzech obwodów. Dobry stan nici sprawdza się pomiarem napięcia żarzenia i prądu emisyjnego. Współczynnik amplifikacji i opór anodowy każdej lampy mierzy się oddzielnie sposobem Millera. Wszystkie lampy, które nie odpowiadają ściśle przyjętej charakterystyce, są bezwzględnie odrzucane.

Następnie lampy są magazynowane w ciągu 8 dni, poczem przechodzą przez nową serję badań przed sprzedażą.

Rozpowszechnianie lamp „La Radiotechnique" zagranicą jest obecnie tak znaczne, że trzeba było utworzyć specjalne biuro wyłącznie dla klijenteli zagranicznej i stosunków z agentami i korespondentami całego świata.

Komunikaty.

Uchwała jury konkursu ogłoszonego przez Ministerstwo Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego na radjoodbiornik dla użytku-szkół.

Jury w składzie pp. Gen. br. C. Rybińskiego, przewodniczącego p. Dyrektora Departamentu K. Dawidowskiego, p. prof. M. Pożaryskiego, p. prof. St. Łukasiewicza, p. mjr. inż. J. Jackowskiego, p. J. Kadecza, sekretarza uchwaliło

1. Żaden z radjoodbiorników nie odpowiada wszystkim warunkom konkursu.
2. Nagrody nie przyznano nikomu.
3. Postanowiono wyróżnić:
   a) Krakowską Wytwórnię Aparatów Radjo za to, że 96% części składowych aparatu jest pochodzenia krajowego oraz za konstrukcje aparatu zabezpieczającą przed błędnemi połączeniami.
   b) p. Markowskiego za selektywność przedstawionego aparatu i za to, że 50% części składowych jest pochodzenia krajowego,
   c) f. Polskie Zakłady Radjotechniczne za solidne wykonanie aparatu, łatwość transportu, jednak zaznacza się, że aparat zawiera zzledwie 30% części składowych pochodzenia krajowego,
   d) f. Natawis za łatwość obsługi przedstawionego aparatu, dokładny, pomysłowy montaż, czystość odbioru, jednak zaznacza się, że zaledwie 10% części składowych aparatu pochodzenia krajowego.

Warszawa, 24 czerwca 1926 roku.

Przewodniczący jury: (—) *Rybiński* generał brygady.
Sekretarz: (—) *J. Kadecz.*
Członkowie: (—) *M. Pożaryski, Dr. Karol Dawidowski, St. Łukasiewicz, K. Jackowski* mjr. inż.

Konkurs M. W. R. i O. P. na model aparatu odbiorczego.

Ministerstwo Wyznań Religijnych i oświecenia Publicznego ogłasza z okazji pierwszej Ogólno-Krajowej Wystawy Radjowej w Warszawie w związku z zainteresowaniami swemi zastosowaniem radjofonji do celów szkolnictwa i oświaty pozaszkolnej konkursu na model aparatu odbiorczego najbardziej nadającego się do użytku szkół.

Model ten powinien odpowiadać następującym warunkom:

1) Wyrób o ile możności w całości krajowy i z surowców krajowych
2) Prostota konstrukcji
3 Łatwość obsługi
4) Maksymalna ekonomja energji elektrycznej
5) Niewrażliwość na wpływy temperatury i atmosfery
6) Zakres fali od 250 do 2.000 metrów
7) Możność użycia głośnika na salę mieszczącą do 300 słuchaczy.
8) Duża stałość odbioru
9) Odbiór możliwie najsilniejszy
10) Łatwość transportu.

Modele aparatów odbiorczych wraz z dokładnym opisem i wyjaśnieniami winni konstruktorzy przesłać do dnia 25 maja 1926 r. pod adresem Sekcji Dydaktycznej Komitetu Pierwszej Ogólno-Krajowej wystawy Radjowej w Warszawie, względnie zawiadomić Komitet, że przesłane już na wystawę modele zgłaszają do konkursu.

Dla konstruktora aparatu, uznanego za najbardziej odpowiadający warunkom konkursu, wyznacza się nagrodę w wysokości 1.000 (tysiąca) złotych.

(Pismem O. Prez. 6979/26 z dn. 28. VII. 1926 M. W. R. i O. P. zamierza powtórzyć konkurs w jesieni b. r.).

Redaktor: profesor **M. Pożaryski**. Wydawca: w z. Sp. z ogr. odp. inżynier **R. Podoski**.

Druk „A. Michalski" sp. z ogr. odp., Warszawa, Chmielna 27, tel. 27-15.