

PRZEGLĄD RADJOTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA RADJOTECHNIKÓW POLSKICH

pod naczelnym kierunkiem prof. M. POŻARYSKIEGO.

Rok VI.

1 Kwietnia 1928 r.

Zeszyt 7—8

Redaktor mjr. inż. K. KRULISZ.

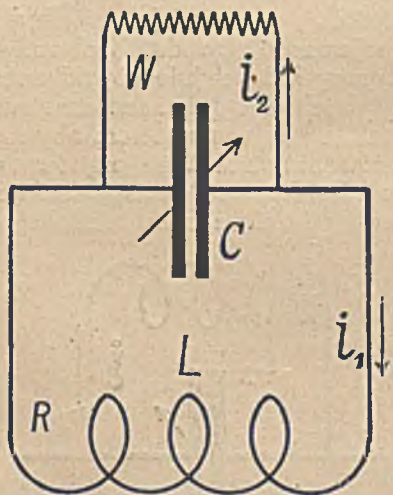
Warszawa, Marszałkowska 111, tel. 77-21.

O drganiach elektrycznych w obwodach złożonych i o sposobie mierzenia pojemności oporów i cewek przy pomocy metody rezonancyjnej¹⁾.

Prof. dr. Mieczysław Jeżewski.

§ 1. O drganiach elektrycznych w obwodzie, zaś w którym kondensator jest spięty oporem.

W pracy ogłoszonej w Przeglądzie Radiotechnicznym²⁾ zajmowałem się zagadnieniem drgań elektrycznych w obwodzie, w którym kondensator o pojemności C jest spięty oporem W i gdy w obwodzie działa siła elektromotoryczna sinusoidalna $E = E_0 \sin \omega t$ (rys. 1).



Rys. 1.

W szczególności badałem wówczas zależność amplitudy prądu i_1 płynącego w cewce L oraz znalazłem warunek jego rezonancji. Przytoczę tu w krótkości wyniki i uzupełnię je danymi dotyczącymi napięcia v na okładkach kondensatora oraz prądu i_2 płynącego przez opór W .

Równanie dla napięcia v będzie następujące:

$$\frac{d^2 v}{dt^2} + \frac{R + \frac{L}{WC}}{L} \frac{dv}{dt} + \frac{1 + \frac{R}{W}}{LC} v = -\frac{E_0}{LC} \sin \omega t \quad (1)$$

Z tego równania dla stanu stacjonarnego otrzymamy

$$v = V \sin(\omega t + \pi - \psi) \quad (2)$$

gdzie amplituda napięcia

$$V = \frac{E_0}{\omega C \sqrt{\left(R + \frac{L}{WC}\right)^2 + \left(\frac{1 + \frac{R}{W}}{\omega C} - \omega L\right)^2}} \quad (3)$$

¹⁾ Terminologia zachowana na życzenie autora

²⁾ Przegląd Radiotechniczny 5, 73, 1927.

$$\psi = \arctg \frac{R + \frac{L}{WC}}{1 + \frac{R}{W} - \omega L} \quad (4)$$

Rezonancja napięcia zachodzi przy pojemności określonej wzorem

$$C^R = \frac{L}{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (5)$$

Jak pokazuje wzór (5), pojemność przy której zachodzi rezonancja napięcia wcale nie zależy od wielkości oporu W . Wartość amplitudy przy rezonancji określa wzór:

$$V^R = \frac{E_0}{\frac{1}{W} \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} + \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}} \quad (6)$$

Stąd widać, iż amplituda V przy rezonancji będzie zależała od wielkości samoindukcji w obwodzie.

Łatwym rachunkiem można się przekonać, że wyrażenie (6) ma maximum przy następującej wartości na L :

$$L = \frac{\sqrt{RW - R^2}}{\omega} \quad (7)$$

Wysokość krzywej rezonancji napięcia jest więc zależna od wielkości samoindukcji w obwodzie. Przy wartości (7) samoindukcji krzywa ta jest najwyższa (rys. 2). W przypadku gdy opór $W = \infty$ wysokość krzywej rezonancji jest w przybliżeniu proporcjonalna do wielkości samoindukcji w obwodzie.

Prąd i_2 płynący w bezindukcyjnym oporze W związany jest z napięciem v na okładkach kondensatora prostym związkiem

$$i_2 = \frac{v}{W} \quad (8)$$

Stąd wynika natychmiast wzór

$$i_2 = J_2 \sin(\omega t + \pi - \psi) \quad (9)$$

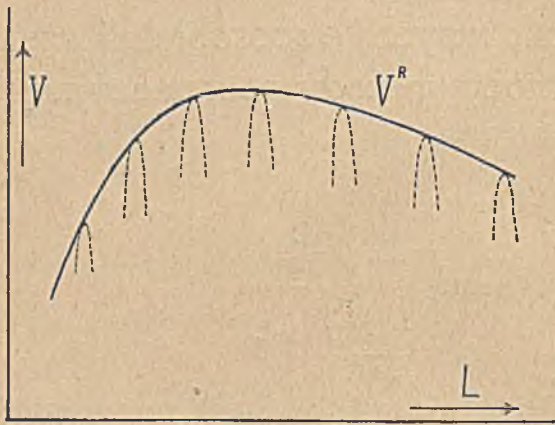
gdzie amplituda J_2 ma wartość

$$J_2 = \frac{E_0}{W \omega C \sqrt{\left(R + \frac{L}{WC}\right)^2 + \left(\frac{1 + \frac{R}{W}}{\omega C} - \omega L\right)^2}} \quad (10)$$

Rezonancja prądu i_1 zachodzi przy tej samej pojemności w obwodzie, przy której zachodzi rezonancja napięcia v . Wartość amplitudy J_2 przy rezonancji daje wzór:

$$J_2^R = \frac{E_0 \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}{RW + R^2 + \omega^2 L^2} \quad (11)$$

Dla prądu i_1 płynącego w cewce L otrzymuje się równanie¹⁾:



Rys. 2.

$$\frac{d^2 i_1}{dt^2} + \frac{R + \frac{L}{WC}}{L} \frac{di_1}{dt} + \frac{1 + \frac{R}{W}}{LC} i_1 = \frac{E_0 \omega \sqrt{1 + \frac{1}{W^2 \omega^2 C^2}}}{L} \sin(\omega t + \varphi) \quad (12)$$

gdzie

$$\varphi = \arcsin \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{W^2 \omega^2 C^2}}} \quad (13)$$

skąd dostaniemy

$$i_1 = J_1 \sin(\omega t + \varphi - \psi) \quad (14)$$

Amplituda prądu, J_1 będzie

$$J_1 = \frac{E_0 \sqrt{1 + \frac{1}{W^2 \omega^2 C^2}}}{\sqrt{\left(R + \frac{L}{WC}\right)^2 + \left(\frac{1 + \frac{R}{W}}{\omega C} - \omega L\right)^2}} \quad (15)$$

Rezonancja prądu i_1 zachodzi przy pojemności

$$C^R = \frac{1}{2} \frac{1}{\omega^2 L} \left[1 + 2 \frac{R}{W} \right] \left[1 + \sqrt{1 + 4 \left(\frac{\omega L}{W + 2R}\right)^2} \right] \quad (16)$$

Wartość amplitudy prądu i_1 przy rezonancji daje wzór:

$$J_1^R = \frac{E_0}{\frac{W}{2} \left[\sqrt{1 + 4 \frac{R}{W} + 4 \frac{R^2 + \omega^2 L^2}{W^2}} - 1 \right]} \quad (17)$$

Ze wzoru tego widać, iż krzywa rezonancji prądu i_1 caeteris paribus jest tem wyższa, im mniejsza jest wartość samoindukcji obwodu L .

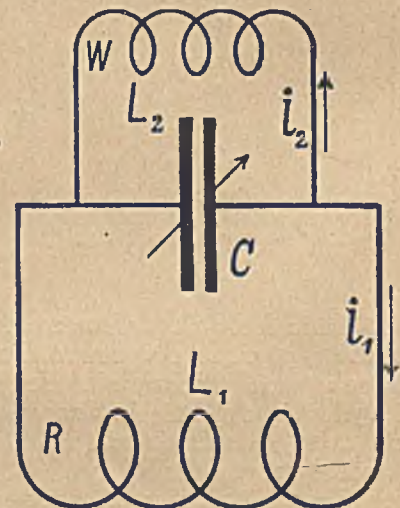
Ze wzoru (16) wynika, iż o ile opór R oraz opór samoindukcji ωL są bardzo małe wobec oporu W to pojemność, przy której zachodzi rezonancja:

$$C^R = \frac{1}{\omega^2 L}$$

to znaczy rezonancja zachodzi przy pojemności określonej wzorem Kelvina i niezależnej od wartości oporu W . Można wówczas w sposób bardzo prosty mierzyć pojemność oporów, nastawiając obwód mierniczy na rezonancję z jakimkolwiek obwodem pobudzającym, w przypadku gdy opór W jest przyłączony oraz gdy jest odłączony od obwodu mierniczego. Różnica pojemności kondensatora zmiennego w obwodzie daje od razu szukaną pojemność oporu W .

O ile oporu samoindukcji ωL nie można zaniedbać wobec oporu W , trzeba by obliczyć odpowiednią poprawkę ze wzoru (16).

Znacznie wygodniejszą i dokładniejszą metodę mierzenia pojemności oporów otrzymamy opierając się na wykazanej w poprzedniej mojej pracy własności krzywych rezonancji¹⁾. Ponieważ krzywe te otrzymane przy rozmaitych wartościach oporu W mają wspólną krzywą środków cięciw równoległych do osi odciętych, (na której odcinamy pojemności), zatem środki cięciw odpowiadające tej samej wartości J_1 przypadają na jedną i tą samą całkowitą pojemność obwodu. Z obwodem mierniczym sprzęgamy indukcyjnie obwód aperiodyczny zawierający detektor i galwanometr strunowy, lub termoelement z galwanometrem aby można było stwierdzić równość natężeń prądów płynących w obwodzie mierniczym. Po nastawieniu w przybliżeniu obwodu mierniczego na rezonancję, zmienia-



Rys. 3.

my nieco pojemność kondensatora zmiennego w obwodzie w jednym i drugim kierunku i notujemy pojemności C_1 i C_2 , przy których odchylenia galwanometru są jednakowe. Następnie przyłączamy opór W , znowuż w przybliżeniu nastawiamy obwód na rezonancję i znajdujemy takie pojemności kondensatora zmiennego C'_1 i C'_2 , przy których odchylenie galwanometru są równe poprzednim. Szukaną pojemność przyłączonego oporu W daje nam wzór

$$C = \frac{C_1 + C_2}{2} - \frac{C'_1 + C'_2}{2}$$

¹⁾ M. Jeżewski l. c. str. 74.

¹⁾ M. Jeżewski l. c. str. 76.

Jako ilustrację podaję poniżej wynik kilku próbnych pomiarów wykonanych powyżej opisaną metodą. Do pomiarów tych służyła opornica zatoryczkowa firmy „Leybold's Nachfolger“ w Kolonii.

Tablica I.

Opór 100 000 omów (50 000 + 20 000 + 20 000 + 10 000).

Ddchylenie galwanometru strunowego: 40 podziałek.

Długość fali: około 100 metrów.

Obwód mierniczy z przyłączonym oporem W		Bez oporu W	
C ₁ '	C ₂ '	C ₁	C ₂
97,5 cm	121,0 cm	114,7 cm	152,4 cm
$\frac{C_1' + C_2'}{2} = 109,2$ cm		$\frac{C_1 + C_2}{2} = 133,5$ cm	

$$C = 133,5 - 109,2 = 24,3 \text{ cm.}$$

Dla oporu 50 000 omów (20 000 + 20 000 + 10 000) znalazłem pojemność 37,5 cm. dla 20 000 omów — 78,0 cm. Jak widać są to pojemności dość znaczne. Dla porównania wykonałem jeszcze kilka doświadczeń z oporami, które, jak to już poprzednio stwierdziłem¹⁾ mają znikomą pojemność. Do doświadczeń służyła gruba nić jedwabna, która, w stanie suchym będąc, miała opór tak duży, że, praktycznie biorąc, można go było uważać za nieskończenie wielki. Przy zwilżaniu jej roztworami soli kuchennej o rozmaitej koncentracji miała ona rozmaity opór aż do mniej więcej 2 000 omów. Przy wszelkich wartościach oporów nie wykazywała żadnej dostrzegalnej pojemności.

W miarę, gdy opór W jest coraz mniejszy, krzywa rezonancji jest coraz więcej płaska, pomiar coraz trudniejszy i coraz mniej dokładny. Przy oporach mniejszych od 10 000 omów musiałem zmniejszyć samoindukcję obwodu L powiększyć zaś jego pojemność. W ten sposób można było zmniejszyć nieco tłumienie obwodu i otrzymać dostatecznie wyraźną krzywą rezonancji aby można było uskuteczyć pomiar.

§ 2. *Drgania elektryczne w obwodzie z równoległe do kondensatora przyłączoną cewką.*

Weźmy teraz pod uwagę obwód o samoindukcji L₁, oporze R i pojemności C. W obwodzie tym działa siła elektromotoryczna E. Równoległe do kondensatora C włączona jest cewka o samoindukcji L₂ oraz oporze W (rys. 3).

Oznaczmy przez i₁ natężenie prądu w obwodzie L₁C oraz przez i₂ — prąd płynący w cewce L₂. Napięcie między płytami kondensatora niech będzie v. Dla obwodu takiego przy założeniu, że prądy możemy uważać za quasi-stacjonarne możemy napisać następujące równania

$$i_1 R = v + E - L_1 \frac{di_1}{dt} \quad (18)$$

$$i_2 W = v - L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (19)$$

$$i_1 + i_2 = -C \frac{dv}{dt} \quad (20)$$

Różniczkując te trzy równania względem czasu otrzymamy równania

$$R \frac{di_1}{dt} = \frac{dv}{dt} + \frac{dE}{dt} - L_1 \frac{d^2 i_1}{dt^2} \quad (21)$$

$$W \frac{di_2}{dt} = \frac{dv}{dt} - L_2 \frac{d^2 i_2}{dt^2} \quad (22)$$

$$\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} = -C \frac{d^2 v}{dt^2} \quad (23)$$

Zróżniczkujemy jeszcze raz równanie (23)

$$\frac{d^2 i_1}{dt^2} + \frac{d^2 i_2}{dt^2} = -C \frac{d^3 v}{dt^3} \quad (24)$$

Otrzymamy wówczas siedem równań, z których po wyeliminowaniu

$$i_1, i_2, \frac{di_1}{dt}, \frac{di_2}{dt}, \frac{d^2 i_1}{dt^2}, \frac{d^2 i_2}{dt^2}$$

otrzymamy równanie:

$$L_1 L_2 C \frac{d^3 v}{dt^3} + C(RL_2 + WL_1) \frac{d^2 v}{dt^2} + (L_1 + L_2 + RWC) \frac{dv}{dt} + (R + W)v = -WE - L_2 \frac{dE}{dt} \quad (25)$$

Gdy siła elektromotoryczna E jest sinusoidalna: E = E₀ sin ωt wówczas

$$WE + L_2 \frac{dE}{dt} = \sqrt{W^2 + \omega^2 L_2^2} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (26)$$

gdzie

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L_2}{W} \quad (27)$$

Równanie (25) otrzyma wtedy kształt:

$$L_1 L_2 C \frac{d^3 v}{dt^3} + (WL_1 C + RL_2 C) \frac{d^2 v}{dt^2} + (L_1 + L_2 + RWC) \frac{dv}{dt} + (R + W)v = -E_0 \sqrt{W^2 + \omega^2 L_2^2} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (28)$$

Oznaczając współczynniki przy poszczególnych wyrazach kolejno przez α, β, γ, δ, A otrzymamy

$$\alpha \frac{d^3 v}{dt^3} + \beta \frac{d^2 v}{dt^2} + \gamma \frac{dv}{dt} + \delta v = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (29)$$

Całką ogólną tego równania będzie wyrażenie

$$C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + C_3 e^{\lambda_3 t} + v \quad (30)$$

gdzie λ₁, λ₂, λ₃ są pierwiastkami równania

$$\alpha \lambda^3 + \beta \lambda^2 + \gamma \lambda + \delta = 0 \quad (31)$$

C₁, C₂, C₃ stałe, zaś v jest całką szczególną równania (29). Aby ją znaleźć założymy:

$$v = B \sin(\omega t + \varphi - \Psi) \quad (32)$$

Podstawiając tę wartość na v do równania (29) otrzymamy

$$-\alpha \omega^3 [\cos(\omega t + \varphi) \cos \psi + \sin(\omega t + \varphi) \sin \psi] - \beta \omega^2 [\sin(\omega t + \varphi) \cos \psi - \cos(\omega t + \varphi) \sin \psi] + \gamma \omega [\cos(\omega t + \varphi) \cos \psi + \sin(\omega t + \varphi) \sin \psi] + \delta [\sin(\omega t + \varphi)$$

¹⁾ l. c. 76.

$$\cos \varphi - \cos(\omega t + \varphi) \sin \psi = \frac{A}{B} \sin(\omega t + \varphi) \quad (33)$$

Przyrównując współczynniki przy $\sin(\omega t + \varphi)$ i $\cos(\omega t + \varphi)$ do zera otrzymamy równania

$$(-\alpha \omega^3 + \gamma \omega) \cos \psi - (\delta - \beta \omega^2) \sin \psi = 0$$

$$(-\alpha \omega^3 + \gamma \omega) \sin \psi + (\delta - \beta \omega^2) \cos \psi = \frac{A}{B} \quad (34)$$

Z pierwszego z tych równań dostaniemy

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{-\alpha \omega^3 + \gamma \omega}{\delta - \beta \omega^2} \quad (35)$$

czyli

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\omega L_1 + \omega L_2 + \omega R W C - \omega^3 L_1 L_2 C}{R + W - \omega^2 W L_1 C - \omega^2 R L_2 C} \quad (36)$$

Również z równań (34) otrzymuje się

$$B = \frac{A}{\sqrt{(\delta - \beta \omega^2)^2 + (\gamma \omega - \alpha \omega^3)^2} - E_0 \sqrt{W^2 + \omega^2 L_2^2}}$$

$$= \frac{A}{\sqrt{(R + W - \omega^2 W L_1 C - \omega^2 R L_2 C)^2 + (\omega L_1 + \omega L_2 + \omega R W C - \omega^3 L_1 L_2 C)^2}} \quad (37)$$

Zatem

$$v = \frac{-E_0 \sqrt{W^2 + \omega^2 L_2^2}}{\sqrt{(R + W - \omega^2 W L_1 C - \omega^2 R L_2 C)^2 + (\omega L_1 + \omega L_2 + \omega R W C - \omega^3 L_1 L_2 C)^2}} \sin(\omega t + \pi + \varphi - \psi) \quad (38)$$

Można łatwo okazać, że każdy z pierwiastków $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ albo: 1) jest rzeczywisty ujemny; albo 2) o ile jest zespolony, to ma część rzeczywistą ujemną, a więc pierwsze trzy wyrazy całki (30) maleją z czasem. Pierwsza część twierdzenia jest oczywista, ponieważ wszystkie współczynniki równania (31) są dodatnie. Drugą część można udowodnić zakładając, iż jakikolwiek pierwiastek równania (31) ma kształt:

$$\lambda = \mu + i \nu \quad \text{gdzie } \nu > 0$$

Podstawiając wartość na λ do równania (31) otrzymujemy dwa równania. Eliminując z nich ν otrzymamy następujące równanie dla μ :

$$8\alpha^2 \mu^3 + 8\alpha\beta \mu^2 + (2\beta^2 + 3\alpha\gamma) \mu + \beta\gamma - \alpha\delta = 0 \quad (39)$$

Ponieważ wyrażenie

$\beta\gamma - \alpha\delta = W L_1^2 C + R L_1 W^2 C^2 + R L_2^2 C + R^2 C^2 L_2 W$ jest dodatnie, zatem wszystkie współczynniki równania (39) są dodatnie, a więc równanie to nie może mieć pierwiastka ani dodatniego ani zerowego, może być tylko ujemne.

Widzimy więc, że wyrazy $C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + C_3 \lambda_3 t$ całki (30) będą malejące z czasem. Po dostatecznie długim czasie wyrazy te staną się znikome wobec v i można je będzie zupełnie odrzucić. W rzeczy wistej w zwykłe używanych obwodach, w których odbywają się drgania elektryczne wymuszone, stan stacjonarny ustala się w przeciągu ułamka sekundy. Dla stanu stacjonarnego otrzymamy:

$$v = V \sin(\omega t + \pi + \varphi - \psi) \quad (40)$$

gdzie amplituda napięcia

$$V = \frac{E_0 \sqrt{W^2 + \omega^2 L_2^2}}{\sqrt{(R + W - \omega^2 W L_1 C - \omega^2 R L_2 C)^2 + (\omega L_1 + \omega L_2 + \omega R W C - \omega^3 L_1 L_2 C)^2}} \quad (41)$$

V ma maximum przy następującej wartości pojemności w obwodzie:

$$C^R = \frac{L_1}{R^2 + \omega^2 L_1^2} + \frac{L_2}{W^2 + \omega^2 L_2^2} \quad (42)$$

Wartość V przy rezonacji daje wzór:

$$V^R = \frac{E_0 \sqrt{W^2 + \omega^2 L_2^2}}{R \sqrt{\frac{W^2 + \omega^2 L_2^2}{R^2 + \omega^2 L_1^2}} + W \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 L_1^2}{W^2 + \omega^2 L_2^2}}} \quad (43)$$

Z równania (19) otrzymamy dla i_2 następujący wzór

$$i_2 = J_2 \sin(\omega t + \pi + \varphi - \psi - \Theta) \quad (44)$$

$$\text{gdzie } \Theta = \arctg \frac{\omega L_1}{W} \quad (45)$$

zaś

$$J_2 = \frac{E_0}{\sqrt{(R + W - \omega^2 W L_1 C - \omega^2 R L_2 C)^2 + (\omega L_1 + \omega L_2 + \omega R W C - \omega^3 L_1 L_2 C)^2}} \quad (46)$$

Maximum J_2 zachodzi jednocześnie z V_2 przy wartości (42) na C . Wartość J_2 przy rezonacji daje wzór:

$$J_2^R = \frac{E_0}{R \sqrt{\frac{W^2 + \omega^2 L_2^2}{R^2 + \omega^2 L_1^2}} + W \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 L_1^2}{W^2 + \omega^2 L_2^2}}} \quad (47)$$

Aby otrzymać wartość prądu i_1 , musimy wrócić do równania (18). Po prawej stronie tego równania

$$v + E = -V \sin(\omega t + \varphi - \psi) + E_0 \sin \omega t =$$

$$= [E_0 - V \cos(\varphi - \psi)] \sin \omega t - V \sin(\varphi - \psi) \cos \omega t =$$

$$= \sqrt{E_0^2 + V^2 - 2E_0 V \cos(\varphi - \psi)} \cdot \sin(\omega t - x) \quad (48)$$

$$\text{gdzie } x = \arctg \frac{V \sin(\varphi - \psi)}{E_0 - V \cos(\varphi - \psi)} \quad (49)$$

Zatem dla i_1 otrzymamy równanie

$$R i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} = \sqrt{E_0^2 + V^2 - 2E_0 V \cos(\varphi - \psi)} \cdot \sin(\omega t - x) \quad (50)$$

skąd

$$i_1 = J_1 \sin(\omega t - x - \tau) \quad (51)$$

gdzie

$$\tau = \arctg \frac{\omega L_1}{R}$$

zaś

$$J_1 = \frac{\sqrt{E_0^2 + V^2 - 2E_0 V \cos(\varphi - \psi)}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_1^2}} \quad (52)$$

Podstawiając wartość (41) na V oraz wartość $\cos \varphi, \sin \varphi, \cos \psi, \sin \psi$ obliczone z wzorów (27) i (36) otrzymamy na J_1 wyrażenie:

$$J_1 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_1^2} \sqrt{(R - \omega^2 W L_1 C - \omega^2 R L_2 C)^2 + (\omega L_1 + \omega R W C - \omega^3 L_1 L_2 C)^2 + (\omega L_1 + \omega L_2 + \omega R W C - \omega^3 L_1 L_2 C)^2}} \quad (53)$$

Przyrównując pochodną tego wyrażenia względem C do zera otrzymamy równanie:

$$C^2 - \frac{1}{\omega^2 L_1} \left[1 + 2 \frac{RW + \omega^2 L_1 L_2}{W^2 + \omega^2 L_2^2} \right] + \frac{W^2 L_1 - L_2 (W^2 + 2RW + \omega^2 L_2^2 + \omega^2 L_1 L_2)}{\omega^2 L_1 (W^2 + \omega^2 L_2^2)} = 0 \quad (54)$$

Przy wartościach C czyniących zadość temu równaniu J_1 ma extrema. Są one następujące:

$$C_1 = \frac{1}{2\omega^2 L_1} \left[1 + 2 \frac{RW + \omega^2 L_1 L_2}{W^2 + \omega^2 L_2^2} - \sqrt{1 + 4 \frac{RW}{W^2 + \omega^2 L_2^2} + 4W^2 \frac{R^2 + \omega^2 L_1^2}{(W^2 + \omega^2 L_2^2)^2}} \right] \quad (55)$$

$$C_2 = \frac{1}{2\omega^2 L_1} \left[1 + 2 \frac{RW + \omega^2 L_1 L_2}{W^2 + \omega^2 L_2^2} + \sqrt{1 + 4 \frac{RW}{W^2 + \omega^2 L_2^2} + 4W^2 \frac{R^2 + \omega^2 L_1^2}{(W^2 + \omega^2 L_2^2)^2}} \right] \quad (56)$$

O ile R i W jest do zaniedbania wobec oporów indukcyjnych ωL_1 i ωL_2 co zazwyczaj zachodzi w praktyce, gdy ma się do czynienia z prądami wielkiej częstotliwości wówczas wzory (55) i (56) przechodzą w

$$C_1 = \frac{1}{\omega^2 L_1} \quad (57)$$

$$C_2 = \frac{1}{\omega^2 L_1} + \frac{1}{\omega^2 L_2} \quad (58)$$

Różniczkując drugi raz wyrażenie (53) względem C znaleźlibyśmy, jakie znaczenie mają extrema J_1 . Pociągnęłyby to jednak za sobą bardzo skomplikowane rachunki. Przerachowując jakikolwiek przykład można się przekonać, iż przy wartości C_1 , J_1 ma minimum zaś przy wartości C_2 — maximum. Oczywiście doświadczenie łatwo to potwierdzić. Minimum J_1 jest nieznaczne, maximum bardzo wysokie (rys. 4).

Rozwiązując równanie (53) względem C otrzymujemy

$$C^2 - 2 \left[\frac{L_1}{R^2 + \omega^2 L_1^2 - \frac{E_0^2}{J_1^2}} + \frac{L_2}{W^2 + \omega^2 L_2^2} \right] C + \frac{(R+W)^2 + \omega^2 (L_1+L_2)^2 - \frac{E_0^2}{J_1^2}}{\omega^2 (W^2 + \omega^2 L_2^2) (R^2 + \omega^2 L_1^2 - \frac{E_0^2}{J_1^2})} = 0 \quad (59)$$

skąd

$$C = \frac{L_1}{R^2 + \omega^2 L_1^2 - \frac{E_0^2}{J_1^2}} + \frac{L_2}{W^2 + \omega^2 L_2^2} \pm P \quad (60)$$

Z równości tej wynika, że każdej wartości J_1 zawartej w granicach:

$$\sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 L_1^2 - \frac{2\omega^2 L_1^2 (W^2 + \omega^2 L_2^2)}{W^2 + \omega^2 L_2^2 + 2RW} + \sqrt{(W^2 + \omega^2 L_2^2 + 2RW)^2 + (2\omega WL_1)^2}}{E_0}} > J_1 > \sqrt{\frac{E_0}{R^2 + \omega^2 L_1^2}} \quad (61)$$

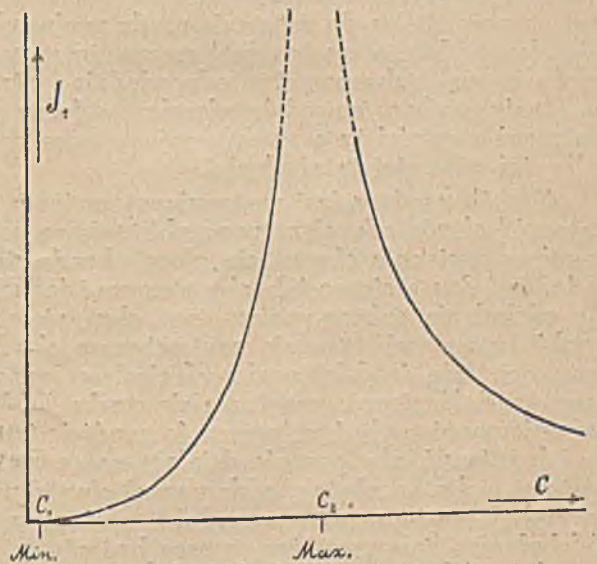
odpowiadają dwie wartości na C określone wzorem (60). Wykreślając na osi rzędnych wartości J_1 , na osi odciętych zaś wartości C otrzymamy krzywą rezonancji. Miejsce geometryczne środków cięciw tej krzywej równoległych do osi odciętych daje równie:

$$C = \frac{L_1}{R^2 + \omega^2 L_1^2 - \frac{E_0^2}{J_1^2}} + \frac{L_2}{W^2 + \omega^2 L_2^2} \quad (62)$$

W przypadku zwykłego obwodu drgającego złożonego tylko z jednej cewki L_1 i kondensatora C równanie tej krzywej ma kształt:

$$C = \frac{L_1}{R^2 + \omega^2 L_1^2 - \frac{E_0^2}{J_1^2}} \quad (63)$$

A więc, gdy równoległe do kondensatora w obwodzie dołącza się cewkę o samoindukcji L_2 i oporze W , to krzywa rezonancji przesuwana się w dodatnim



Rys. 4.

kierunku osi pojemności. Środki jej cięciw odpowiadające tym samym amplitudom prądu przesuwają się o

$$\frac{L_2}{W^2 + \omega^2 L_2^2} \quad (64)$$

zaś o $\frac{1}{\omega^2 L_2^2}$, gdy W jest małe wobec ωL_2 .

Rugując z równań (62) oraz (53) C otrzymamy na maksymalną amplitudę prądu i_1 wzór:

$$J_1^R = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_1^2 - \frac{2\omega^2 L_1^2 (W^2 + \omega^2 L_2^2)}{W^2 + \omega^2 L_2^2 + 2RW} + \sqrt{(W^2 + \omega^2 L_2^2 + 2RW)^2 + (2\omega WL_1)^2}}} \quad (65)$$

Własność wykazana powyżej, że, po przyłączeniu do obwodu cewki L_2 , rezonancja przesuwana się w stronę wzrastających pojemności, daje nam

możność prostego i dokładnego pomiaru pojemności cewki, o ile znamy jej samoindukcję L_2 oraz pulsację prądu pobudzającego ω . O ileby pojemność cewki była równa zero, to środek cięciwy krzywej rezonancji przesunąłby się o $1/\omega^2 L_2$. W rzeczywistości punkt ten przesunęła się o pewną wielkość γ mniejszą od $1/\omega^2 L_2$ (γ może być również ujemne). Różnica $1/\omega^2 L_2 - \gamma$ daje pojemność cewki.

Metoda pomiaru pojemności cewki niczem się nie różni od zwykłej rezonancyjnej metody służącej wogóle do mierzenia pojemności. Obwód, w którym prądy szybkozmienne wytwarza się przy pomocy lampy sprzęga się przez indukcyjność z obwodem mierniczym zawierającym wycechowany kondensator zmienny. Obwód mierniczy sprzęga się z trzecim obwodem aperiodycznym zawierającym jakiegokolwiek urządzenie pozwalające stwierdzać równość natężeń prądów płynących w obwodzie mierniczym.

Najczulszym zespołem jest detektor i galwanometr strunowy. Wprawdzie, gdy w obwodzie znajduje się detektor, odchylenie galwanometru nie jest proporcjonalne do natężenia prądu w obwodzie mierniczym, lecz oczywistą jest rzeczą, że *równym odchyleniom* galwanometru odpowiadają *równe natężenia* prądu w obwodzie mierniczym (przy niezmiennych częstotliwości tego prądu), zaś o stwierdzeniu tylko tej równości tutaj chodzi.

Sposób pomiaru jest następujący: nastawia się najprzód obwód mierniczy w przybliżeniu na rezonancję, następnie obraca się nieco kondensator w jedną i drugą stronę tak, aby otrzymać jednako- we odchylenia galwanometru po obu stronach punktu rezonancji. Średnia arytmetyczna obu pojemności daje środek poziomej cięciwy krzywej rezonancji. Następnie przyłącza się cewkę L_2 , której pojemność ma być zmierzona (oczywiście trzeba ją tak ustawić, aby ona nie działała na cewkę L_1 , również, żeby na nią nie oddziaływał obwód pierwotny), i powtarza się poprzednie postępowanie. Odchylenia galwanometru muszą być równe poprzednim (choć iż odchylenie galwanometru przy rezonancji jest w tym przypadku mniejsze). Tak samo poprzednio obliczamy środek cięciwy. Różnica pojemności odpowiadających obu w ten sposób znalezionym punktom daje *rzeczywiste* przesunięcie środka cięciw γ . Różnica

$$1/\omega^2 L_2 - \gamma$$

daje szukaną pojemność cewki.

Dla ilustracji przytocze parę pomiarów pojemności wzorców samoindukcji firmy Siemens i Halske.

Tablica II.

Pomiar pojemności wzorca samoindukcji 0,0001 henra przy pomocy prądu o pulsacji $\omega = 6,471 \cdot 10^6$ sek⁻¹. (długość fali 291,2 m). Wychylenie galwanometru równe 30 podziałkom skali.

Pojemności kondensatora po obu stronach punktu rezonacji, przy których odchylenia galwanometru są równe.

¹⁾ Przy prądach wielkiej częstotliwości prawie zawsze można opór W pominąć wobec ωL_2 .

Z cewką L_2		Bez cewki	
149,8°	161,8°	18,0°	39,7°
Średn. 155,8°		Średn. 28,8°	
$\frac{1}{\omega^2 L_2} = 214,9$ cm,			

Przecięcie środka cięciwy $\gamma = 155,8^\circ - 28,8^\circ = 127,0^\circ = 184,7$ cm.

Pojemność cewki $1/\omega^2 L_2 - \gamma = 214,9 - 184,7$ cm = 30,2 cm.

Aby sprawdzić wynik rachunków zrobiłem kilka pomiarów pojemności cewki przy pomocy prądów różnej częstotliwości. Przy użyciu prądów różnej częstotliwości przesunięcia punktu rezonacji a również środków cięciw krzywej rezonacji $1/\omega^2 L_2$ są oczywiście różne. Przesunięcia mierzone również będą różne, lecz powinny być takie, aby różnica $1/\omega^2 L_2 - \gamma$ była stała.

Poniższa tablica podaje wyniki pomiarów pojemności wzorca samoindukcji 0,001 henra firmy Siemens i Halske. Znak minus oznacza zmniejszenie pojemności kondensatora zmiennego.

Tablica III.

Długość fali w metrach	$\frac{1}{\omega^2 L_2}$ w cm	γ w cm	Pojemność cewki w cm ($1/\omega^2 L_2 - \gamma$)
300,0	22,8	— 22,0	44,8
238,6	14,4	— 29,7	44,1
70,9	1,3	— 41,7	43,0
57,5	0,8	— 41,6	42,5

Jeżeli zauważymy, że z powodu braku dokładnego falomierza dla krótkich fal, częstotliwości stosowanych prądów były obliczone z uprzednio zmierzonych pojemności i samoindukcyj obwodu przy pomocy wzoru Thomsona, należy uznać zgodność za zupełnie wystarczającą. Zgodność wyników przy użyciu fal różnych długości jest w tym przypadku nawet zastanawiająca, gdyż fale użyte przy pomiarze były krótsze od fali własnej cewki, zatem nie było spełnione założenie, iż prądy płynące w obwodzie rezonującym są quasi-stacjonarne, przy tem zaś założeniu zostały wykonane rachunki.

Możliwe jest również, że pojemność cewek jest zależną od częstotliwości prądu wtedy, gdy nie mamy do czynienia ze stanem quasi-stacjonarnym (por. pracę W. Lenza. Über Kapazität der Spulen, Ann. der Physik 37, 923, 1912).

Kwestję, czy pojemność cewek zależy i ewentualnie w jakiej mierze od częstotliwości prądu i czy powyżej opisaną metodę można stosować w przypadku, gdy fala użyta jest porównywalna lub krótsza od fali własnej cewki można i należałoby rozstrzygnąć doświadczalnie.

Kraków. Zakład Fizyczny Akademii Górniczej.

Bibliografja.

Błędy w Radjoodbiornikach. Praktyczny sposób odszukania i usuwania błędów. Opracowali A. Wątróbski, prezes Radjoklubu im. inż. Machcewicza i L. Gadkowski, asystent Państwowych Kursów Radjotechnicznych. Wydawnictwo Księgarni T. Ułasiński (Radio Biblioteka, Nr. 4) Warszawa, r. 1927, stron, 120.

Jak widać z tytułu, książka ta omawia jedną z najbardziej żywotnych dla każdego radioamatora spraw. Liczba nie tylko radioabonentów lecz i radioamatorów, to znaczy ludzi, których można zaliczyć do, że tak powiem, radio-konstruktorów, dla których nawet najskromniejszy aparat, zbudowany własnoręcznie jest czemś o wiele więcej interesującym, aniżeli najdoskonalsza superheterodyna, kupiona w sklepie, u nas w Polsce rokrocznie wzrasta.

„Niestety, ogromna większość tych zapalonych radiofilów, jak słusznie podkreślają autorzy, nie posiada podstawowych wiadomości z radjotechniki i elektrotechniki, nie umie poprawnie odczytywać schematu, a tem bardziej nie jest w możności zrozumieć zjawisk, jakie zachodzą w zbudowanym przez nich aparacie”.

Otóż właśnie dla tej dość licznej kategorii miłośników radja napisana jest książka. Zgodnie z celem, który postawili sobie autorzy, książka jest podzielona na dwie zasadnicze części: Ogólna i Specjalna.

W części ogólnej podane są wiadomości podstawowe o odbiorniku oraz przytoczony jest szereg najbardziej aktualnych i zasadniczych układów, poczynwszy od najprostszego schematu z detektorem kryształkowym i do ośmiolampowej superheterodyny. Na końcu omawia się sprawę błędów w schematach.

Druga część książki szczegółowo omawia sprawę najczęściej popełnianych błędów tak w budowie poszczególnych części składowych odbiorników jak też w montażu i wskazuje, jak te błędy usuwać. Dla większej wygody czytelnika na końcu książki jest dodana *tablica błędów*, w której dla odbiorników różnych typów wymienione są w pierwszej rubryce najczęściej zachodzące niedokładności w działaniu odbiornika, w drugiej zaś rubryce jest wskazana przyczyna tego, oraz strona książki, na której podane są szczegółowe wskazówki, w jaki sposób odpowiednią niedokładność usunąć.

Na końcu książki po omówieniu sprawy uruchomienia odbiornika, są omówione zakłócenia i przeszkody w odbiorze, niezależne od aparatu.

Książka jest napisana przez fachowców, treść opracowana dosyć szczegółowo i gruntownie i nie wątpię, że ten pierwszy u nas tego rodzaju podręcznik, odda duże usługi naszym radioamatorom, dlatego mogę ją polecić każdemu, kto chce osiągnąć przy użyciu swego aparatu jaknajlepsze wyniki.

D. M. Sokolcow.

Komunikaty Zarządu.

Zarząd Stowarzyszenia Radjotechników Polskich na posiedzeniu dn. 15 lutego b. r. pod przewodnictwem Wiceprezesa inż. K. Jackowskiego uchwalił regulamin wewnętrzny Zarządu w następującym brzmieniu:

§ 1. W myśl Statutu, zatwierdzonego w dn. 11 lipca 1923 r., Zarząd Stowarzyszenia składa się z 7 członków:

Prezesa, Wiceprezesa, Sekretarza, Skarbnika, Referenta odczytowego, Bibliotekarza i Referenta wydawniczego. Kandydatami do Zarządu są wg. Statutu członkowie Stow., którzy otrzymali na Ogólnem Zgromadzeniu największą ilość głosów. Pierwsi trzej kandydaci odrzucają do Zarządu i pełnią obowiązki członków narówni z innymi. W ten sposób jest możliwem obsadzenie stanowisk „referenta łącznika” z Kolami prowincjonalnemi oraz delegatów do pokrewnych stowarzyszeń, Komisji i t. p.

§ 2. W myśl brzmienia § 7 Statutu Zarząd odbywa posiedzenia przynajmniej raz na miesiąc.

§ 3. W zakresie obowiązków Prezesa wzgl. Wiceprezesa (jako Zastępcy) wchodzi reprezentowanie Stowarzyszenia nazewnątrz, czuwanie na całokształtem działalności Stow. oraz przewodniczenie na posiedzeniach Zarządu. Prezes wzgl. Wiceprezes podpisują pisma oficjalne, wychodzące nazewnątrz łącznie z Sekretarzem Zarządu.

§ 4. Zakres obowiązków Sekretarza.

A) Referent-Sekretarz czuwa nad całą korespondencją Zarządu Stow. w zakresie pism nadchodzących i odchodzących, a pozatem jest prawą ręką Prezesa i Wiceprezesa w ich działalności oficjalnej.

B) W tym celu sekretarz:

a) Odbiera korespondencję Stowarzyszenia z poczty i od osób prywatnych i załatwia ją w myśl uchwał Zarządu.

b) Podpisuje wraz z Prezesem lub Wiceprezesem oficjalną korespondencję Stowarzyszenia.

c) Prowadzi ewidencję prac i czynności Zarządu oraz dopilnowuje, by prace będące w toku wzgl. takie, których podjęli się poszczególni członkowie Zarządu, zostały na termin wykonane.

d) Rozpisuje zawiadomienia o zebraniach Zarządu i przygotowuje ich porządek dzienny w myśl instrukcji Prezesa wzgl. Wiceprezesa.

e) Prowadzi w oficjalnej książce protokoły posiedzeń Zarządu.

f) Przygotowuje materiał do sprawozdania z prac Zarządu na Walne Zebranie.

§ 5. Zakres obowiązków Skarbnika.

A) Referent-Skarbnik ma za zadanie czuwanie nad całością spraw finansowych Stowarzyszenia.

B) W tym celu Skarbnik:

a) Wydatkuje z kasy Stow. sumy w ramach budżetu.

b) Odbiera przez Sekretarza Zarządu korespondencję w sprawach swego urzędu i załatwia ją w myśl uchwał Zarządu.

c) Prowadzi spis członków placących i wykazuje na zebraniach Zarządu tych członków, którzy zalegają z wpłacaniem składek.

d) Prowadzi oficjalną książkę kasową Stow. i podęczną składek członkowskich.

e) Czuwa nad regularnem inkasowaniem wpisowego i składek miesięcznych od członków (warszawskich i kół prowincjonalnych), ewentualnie przypomina im o wysokości zaległych składek.

f) Przechowuje kasę Stow. i papiery wartościowe oraz wykaz majątku Stowarzyszenia i czuwa nad tem, by majątek ten nie poniósł szkody.

g) Przechowuje książkę czekową Stowarzyszenia.

h) Zdaje sprawozdanie i przedkłada dowody przed Komisją rewizyjną.

i) Przechowuje protokoły Kom. rewizyjnych.

j) Przyjmuje w imieniu Stow. dary i darowizny i zarządza niemi w myśl uchwał Zarządu.

k) Przygotowuje na Walne Zebranie bilans roczny i preliminarz budżetowy.

§ 6. Zakres obowiązków Referenta odczytowego.

A) Referent odczytowy ma za zadanie umożliwienie członkom Stowarzyszenia pogłębianie i wymianę myśli na tematy specjalne i ogólnoradjotechniczne.

B) W tym celu Referent odczytowy:

- Organizuje dla członków w zasadzie w odstępach dwutygodniowych odczyty naukowe i naukowo-techniczne, oraz odczyty o charakterze więcej popularnym, przeznaczone dla szerszych warstw inteligencji.
- Opracowuje programy odczytów możliwie na cały rok zgóry ze wskazaniem prelegentów i koreferentów.
- Organizuje poza tem posiedzenia dyskusyjne na zagadnienia najwięcej aktualne i wyszukuje prelegentów dla wygłoszenia odpowiednich referatów
- Podczas odczytów zastępuje z urzędu Prezesa Stow. Radjot. Polsk. i prowadzi posiedzenia dyskusyjne.
- Podaje do wiadomości ogółu członków za pomocą Przeglądu Radjotechnicznego w krótkim streszczeniu treść wygłaszanych odczytów oraz przebieg dyskusji.
- Opracowuje przed Walnem Zgromadzeniem sprawozdanie z działu odczytowego.

§ 7. Zakres obowiązków Bibliotekarza.

A) Referent bibliotekarz ma za zadanie czuwać nad wzrostem stanu posiadania biblioteki i ułatwiać członkom korzystanie z książek i czasopism.

B) W tym celu bibliotekarz:

- Przedkłada na Zarządzie wnioski co do zakupu nowych książek i nabywa je w miarę przydzielanych kredytów.
- Odpowiada za inwentarz biblioteki wg. spisu sporządzonego przy jej przyjmowaniu.
- Uskutecznia wymianę przydzielonych przez Zarząd egz. „Przeglądu Elektrotechnicznego” (w obecnej chwili 40 egz.) z redakcjami fachowych pism radjotechnicznych, zagranicznych.
- Ułatwia członkom korzystanie z biblioteki Stowarzyszenia przez wyznaczanie godzin przyjęć w lokalu biblioteki.
- Opracowuje regulamin korzystania z książek i ogłasza go do wiadomości członków.
- Systematycznie ogłasza w „Przeglądzie Radjotechnicznym” wykazy nowo nabywanych dzieł i czasopism w celu stałego informowania członków i przypominania im o egzystencji biblioteki.
- Stawia na Zarząd wnioski co do ewent. wypożyczenia książek na czas dłuższy Kołom prowincjonalnym.
- Przygotowuje sprawozdanie z prac na Doroczne Ogólne Zebranie i referuje wnioski dążące do ożywienia ruchu biblioteki.

§ 8. Zakres obowiązków Referenta wydawniczego (Redaktora).

A) Referent wydawniczy ma za zadanie redagowanie oficjalnego organu Stow. w postaci dwutygodnika „Przegląd Radjotechniczny”.

B) W tym celu redaktor:

- Zbiera materiały i wyszukuje autorów, którzyby się podjęli opracowania artykułów fachowych na

zgóry podawane przez Redakcję tematy.

b) Dbą, aby poziom artykułów odpowiadał tradycjom, jakie posiada „Przegl. Radjotechn.”.

c) Czuwa, aby niezależnie od artykułów fachowych znajdowały swój wyraz na łamach „Przeglądu Radjotechn.” wszystkie aktualne sprawy, związane z rozwojem całości radjotechniki w Polsce.

d) Jako członek Zarządu opracowuje i ogłasza wzmianki o ważniejszych pracach Zarządu i przez to daje możność wszystkim członkom Stowarzyszenia i Kołom prowincjonalnym orientowania się co do prac Zarządu.

e) Czuwa nad ekspedjowaniem „Przegl. Radjot.” do użytku członków Stowarzyszenia.

f) Za specjalny charakter wykonywanych prac (korekta i t. d.) referent wydawniczy pobiera od Zarządu stałą miesięczną gażę.

§ 9. Zakres obowiązków Referenta „łącznika” z Kołami prowincjonalnymi.

A) Referent-łącznik ma za zadanie podtrzymywać ścisły kontakt Centrali z Kołami prowincjonalnymi i jest referentem wszystkich spraw, dotyczących tych Kół.

B) W tym celu referent-łącznik:

- Wysyła do Kół prowincjonalnych zaproszenia na posiedzenia odczytowe oraz dyskusyjne.
- Na życzenie Kół prowincjonalnych współdziała przy organizowaniu odczytów.
- Wysyła do Kół sprawozdania o działalności S. R. P.
- Pilnuje, ażeby Kola prowincjonalne przysyłały periodyczne sprawozdania o swojej działalności i jest referentem tych sprawozdań na posiedzeniach Zarządu S. R. P.
- Podaje do „Przegl. Radjot.” informacje o działalności Kół prowincjonalnych.
- Winien w granicach możliwości podtrzymywać z Kołami prowincjonalnymi kontakt osobisty — najlepiej zapomocą wyjazdu chociażby raz na rok do każdego z Kół, o ile pozwalają na to środki finansowe Centrali wzgl. Kół prowincjonalnych

§ 10. Zakres obowiązków delegatów do pokrewnych Stowarzyszeń, Komisji i t. p. będzie regulowany drogą specjalnych uchwał Zarządu.

Informacje.

POSIEDZENIE KOMITETU ORGANIZACYJNEGO INSTYTUTU RADJOTECHNICZNEGO.

Na posiedzeniu w dniu 27 lutego omówiono przede wszystkim kwestję statutu przyszłego Instytutu. Pomimo opinii delegata Centr. Kom. Radjotechn. mjr. inż. K. Jackowskiego, by Instytut był jednostką, wchodzącą w skład Centralnego Komitetu, większość zebranych była zdania, by stanowił on niezależną osobę prawną. Ze względu na to, że delegat C. K. R. nie posiadał odpowiednich pełnomocnictw, zastrzegł on sobie zreferowanie sprawy po porozumieniu się z C. K. R.

Pozatem uchwalono uruchomić tymczasowo dział naukowy Instytutu w lokalu Politechniki, zaś działu probierczego w lokalu Państw. Szkoł. B. M. i E. Nazwę Instytutu zmieniono na „Badawczy Instytut Radjotechniczny”.