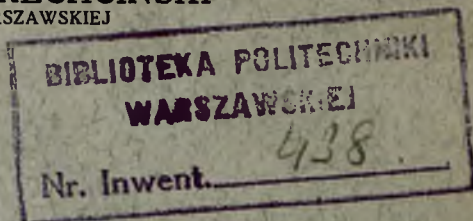


Ć
Nr. 20291.
Politechnika Warszawska

INŻYNIER-ELEKTRYK ROMAN TRECHCIŃSKI
PROFESOR POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ



OBLICZENIE TELEFONU

WEDŁUG WYKŁADÓW DLA ODDZIAŁU PRĄDÓW SŁABYCH WYDZIAŁU
ELEKTRYCZNEGO POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

WYDANO Z ZASIŁKIEM
POLSKIEJ AKC. SPÓŁKI
TELEFONICZNEJ

WARSZAWA 1934

NAKŁADEM KOŁA ELEKTRYKÓW STUDENTÓW POLITECHNIKI WARSZ.
SKŁAD GŁÓWNY W KOMISJI WYDAWNICZEJ TOW. BRATNIEJ POMOCY
STUDENTÓW POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ, WARSZAWA, UL. POLNA 3

INŻYNIER-ELEKTRYK ROMAN TRECHCIŃSKI
PROFESOR POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

BIBLIOTEKA POLITECHNIKI
WARSZAWSKIEJ
Nr. Inwent. 438

OBLICZENIE TELEFONU

WEDŁUG WYKŁADÓW DLA ODDZIAŁU PRĄDÓW SŁABYCH WYDZIAŁU
ELEKTRYCZNEGO POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

WYDANO Z ZASIŁKIEM
POLSKIEJ AKC. SPÓŁKI
TELEFONICZNEJ

WARSZAWA 1934

NAKŁADEM KOŁA ELEKTRYKÓW STUDENTÓW POLITECHNIKI WARSZ.
SKŁAD GŁÓWNY W KOMISJI WYDAWNICZEJ TOW. BRATNIEJ POMOCY
STUDENTÓW POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ, WARSZAWA, UL. POLNA 3

6.2.3755



~~5.291~~

C. 20291

Szybkość rozchodzenia się głosu w powietrzu określa się według wzoru:

$$c = \sqrt{\frac{1,41 D}{\rho}} \quad \text{cm s}^{-1} \quad \dots 1$$

gdzie: D — oznacza średnią wartość ciśnienia powietrza w dynach na kwadratowy centymetr (mikrobarach);

ρ — gęstość powietrza w gramach na centymetr sześcienny.

Przy ciśnieniu jednej atmosfery:

$$\begin{aligned} D &= 1\,033 \times 981 \text{ g cm s}^{-2} \cdot \text{cm}^{-2} = 1\,014\,000 \text{ g cm}^{-1} \text{ s}^{-2} = \\ &= 1\,014\,000 \text{ } \mu\text{Barów.} \end{aligned}$$

Dla 1 Atm i 0°C :

$$\rho = 1,29 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}.$$

Dla 1 Atm i 20°C :

$$\rho = 1,20 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}.$$

Na podstawie powyższych danych:

$$c = 3,33 \times 10^4 \text{ cm s}^{-1} \quad \text{przy } 0^{\circ}\text{C}.$$

$$c = 3,44 \times 10^4 \text{ cm s}^{-1} \quad \text{przy } 20^{\circ}\text{C}.$$

Oznaczając przez:

h i h_m — chwilową i maksymalną odległość od położenia środkowego cząstek powietrza fali akustycznej (dźwięczącej powierzchni);

v i v_m — chwilową i maksymalną szybkość cząstek powietrza;

d i d_m — chwilową i maksymalną różnicę ciśnień akustycznych;

f — częstotliwość aktualnego prostego (pojedynczego) dźwięku w okresach na sekundę;

otrzymuje się dla 1 Atm, 0°C i sinusoidalnego procesu:

1) oporność falowa powietrza:

$$Z = \frac{d_m}{v_m} = 42,9 \frac{\mu\text{Barów}}{\text{cm s}^{-1}}; \quad \dots 2$$

2) $d_m = 270 \cdot f \cdot h_m \mu\text{Barów}. \quad \dots 3$

Dla powierzchni $Q \text{ cm}^2$ płaskiej fali:

3) opór promieniowania:

$$R_a = Z Q \frac{\mu\text{Barów}}{\text{cm s}^{-1}} \text{cm}^2 = Z Q \text{ g s}^{-1}; \quad \dots 4$$

4) maksymalna siła:

$$F_{a,m} = R_a \cdot v_m \text{ g cm s}^{-2} = R_a \cdot v_m \text{ dyn}; \quad \dots 5$$

5) maksymalna moc akustyczna:

$$\begin{aligned} M_{a,m} &= F_{a,m} \cdot v_m = R_a (v_m)^2 \text{ g cm}^2 \text{ s}^{-3} = \\ &= R_a (v_m)^2 \text{ ergów, s}^{-1}; \end{aligned} \quad \dots 6$$

6) efektywna moc akustyczna:

$$M_a = 0,5 \cdot R_a (v_m)^2 \text{ ergów, s}^{-1} = 0,05 R_a (v_m)^2 \mu\text{W}; \quad \dots 7$$

7) maksymalne natężenie dźwięku, to jest maksymalna moc akustyczna na 1 cm^2 :

$$N_m = Z \cdot (v_m)^2 \text{ g s}^{-3} = Z \cdot (v_m)^2 \frac{\text{ergów s}^{-1}}{\text{cm}^2} \quad \dots 8$$

8) efektywne natężenie dźwięku:

$$N = 0,05 \cdot Z \cdot (v_m)^2 \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2}. \quad \dots 9$$

Orientacyjne wartości ciśnień akustycznych dla kilku częstotliwości i amplitud, leżących w paśmie stosowań technicznych, są podane w tablicy I,

Oporność falowa powietrza może być wyrażona według wzoru:

$$Z = \sqrt{1,41 \times \rho \times D} \frac{\mu\text{Barów}}{\text{cm s}^{-1}}, \quad \dots 10$$

a efektywne natężenie dźwięku:

$$N = 0,05 \frac{(d_m)^2}{C \cdot \rho} \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2}. \quad \dots 11$$

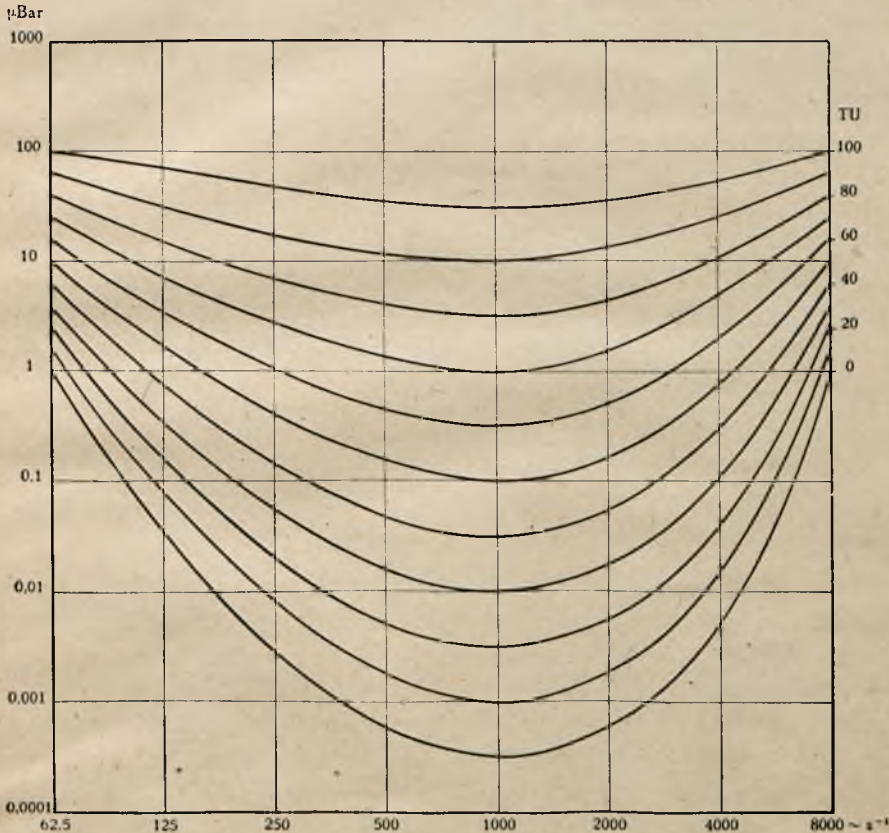
co dla 1 Atm i 0°C daje:

$$N = 0,00116 (d_m)^2 \frac{\mu W}{\text{cm}^2} \quad \text{i} \quad \dots 12$$

$$d_m = 29,4 \sqrt{N} \mu\text{Barów}. \quad \dots 13$$

Na rysunku 1 uwidoczniło zależność wrażenia akustycznych od częstotliwości i ciśnień akustycznych w TU (transmission unit);

$$1 \text{ TU} = 1 \text{ decybel} = 1 \text{ Fon} = 10 \log_{10} \frac{N}{N_0} = 20 \log_{10} \frac{d_m}{d_{m,0}}. \quad \dots 14$$



Rys. 1.

Krzywa zerowa oznacza, że przy danym ciśnieniu i częstotliwości wrażenie dźwięku zanika; następne krzywe oznaczają, jakie tłumienie w decybelach spowoduje zanik dźwięku i jednocześnie służą jako miara wrażenia: na przykład dwa dźwięki przy 1000 s^{-1} , pierwszy o $d_m = 0,01 \mu\text{Bara}$ (30 TU) i drugi o $d_m = 0,001 \mu\text{Bara}$ (10 TU); ten ostatni zrobi wrażenie 3 razy ($30:10=3$) słabszego.

Krzywa 100 TU oznacza wyższą granicę słyszalności; przy wyższych ciśnieniach zatraça się możliwość rozpoznawania tonów, wrażenia dźwiękowe ustają i rozpoczynają się wrażenia bólu. Zakres częstotliwości akustycznych leży w granicach od ca $30 \sim s^{-1}$ do ca $15000 \sim s^{-1}$. Dla telefonów wystarczają granice od $200 \sim s^{-1}$ do $3000 \sim s^{-1}$, dostatecznie gwarantujące zrozumiałość komunikacji; dla tych granic uskutecznia się obliczanie telefonów.

Dla celów orientacyjnych można konwencyjnie przyjąć, że przy $1000 \sim s^{-1}$ słyszalność zanika przy ca $1,16 \cdot 10^{-10} \frac{\mu W}{cm^2}$, co odpowiada $d_{m,0} = ca 0,000316 \mu Barów$.

Membrana telefonu pod wpływem siły, działającej na jej środek, wygnie się, wywołując równoważną siłę wskutek elastycznej deformacji materiału membrany.

Siłę powyższą można określić ze wzoru:

$$F_s = C \cdot h \text{ dyn} \quad \dots 15$$

gdzie C — elastyczność membrany i
 h — wychylenie środka w cm.

$$C = \frac{8 \pi}{3} \cdot \frac{\delta^3}{r^2} \cdot \frac{E}{1 - \sigma^2} = 8,4 \cdot \frac{\delta^3}{r^2} \cdot \frac{E}{1 - \sigma^2} \text{ g s}^{-2}; \quad \dots 16$$

δ — grubość membrany w cm,

r — promień membrany w cm,

E — moduł elastyczności,

σ — liczba Poisson'a = ca 0,31.

Dla membran z białej blachy angielskiej:

$$E = 20\,000 \text{ kg mm}^{-2} = 2 \cdot 10^6 \text{ kg cm}^{-2} = 2 \cdot 10^9 \text{ g cm}^2,$$

co odpowiada

$$1,96 \cdot 10^{12} \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} = 1,96 \cdot 10^{12} \text{ g cm}^{-1} \text{s}^{-2} = ca 2 \cdot 10^{12} \text{ g cm}^{-1} \text{s}^{-2}$$

Dla membramy o wymiarach:

$\delta = 0,022 \text{ cm}$ i $r = 2,65 \text{ cm}$, elastyczność będzie:

$$C = 28,2 \cdot 10^6 \text{ g s}^{-2},$$

a siła konieczna dla odkształcenia o $0,001 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$ będzie 2820 dyn , co odpowiada $2,86 \text{ grama}$,

Wzór 15 można napisać w formie:

$$h = \frac{F_s}{C}, \quad \dots 17$$

co dla membran z białej blachy daje:

$$h = 0,54 \cdot F_s \frac{r^2}{\sigma^3} \cdot 10^{-13} \text{ cm} \quad \dots 18$$

Według wzoru 18, tytułem przykładu, są przytoczone w tabelicy II wartości odkształceń dla siły 981 dyn, odpowiadającej sile przyciągania 1 grama, dla kilku wymiarów membran. Grubość membran, stosowanych dla zwykłych telefonów, często bywa wybierana tak, aby dla 1 grama odkształcenie (przesunięcie środka) równało się $0,35 \cdot 10^{-1}$ cm.

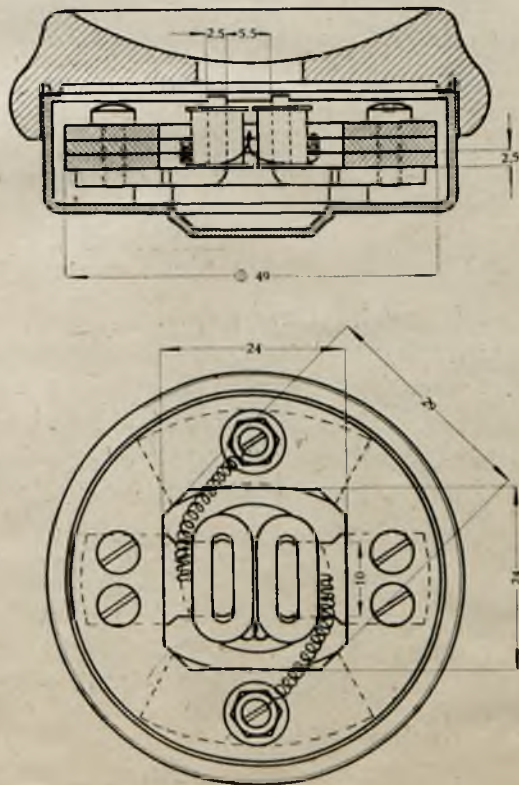
Pod wpływem strumienia magnetycznego stalowego magnesu membrana zostaje przyciągnięta do rdzeni cewek telefonicznych. Dla konstrukcji z 2 cewkami siła ta może być określona według wzoru:

$$F = 2 \cdot \frac{B^2 Q}{8\pi} \text{ dyn}, \quad \dots 19$$

gdzie: B — indukcja magnetyczna rdzeni cewek w gausach,

Q — przekrój jednego rdzenia w cm^2 .

Dla konstrukcji, przedstawionej na rysunku 2, długość półkola stalowego magnesu (średnia) wynosi ca 6,5 cm. Siła koercyjna dla obrączek telefonu ze stali wolframowej wynosi ca 30 erstedów. Siła magnetomotoryczna będzie ca 200 gilbertów. Przekrój półkola magnesu z 3 obrączek wynosi $0,25 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 3 = 0,75 \text{ cm}^2$. Przenikalność magne-



Rys. 2.

tyczna wolframowej stali jest ca 100; ponieważ dwa półpierścienie są tak namagnesowane, że tworzą obwody równoległe, to oporność magnetyczna stalowego magnesu będzie wynosiła:

$$\frac{6,5}{100 \cdot 0,75 \cdot 2} = 0,043 \text{ Jo (jednostek oporności)}.$$

Z konfiguracji pola magnetycznego można obliczyć, jaka część strumienia, wytwarzanego przez stalowy magnes wychodzi ze rdzeni cewek do membrany; dla omawianej konstrukcji i odległości membrany od rdzeni, równej 0,22 mm = 0,022 cm, otrzymuje się ten stosunek, równy ca 0,6. Ponieważ rozproszenie magnetyczne występuje na całej drodze strumienia, to niezupełnie słusznym byłoby traktowanie, że aktualny strumień na całej przestrzeni swej drogi w stalowym magnecie przebiega przez 0,6 przekroju, co dałoby zwiększenie oporności magnetycznej w stali do 0,072 Jo; w rzeczywistości oporność ta wyniesie ca 0,065 Jo. Dalszą drogę strumienia magnetycznego będą stanowił żelazny rdzeń cewek o przekroju 0,25 cm × 1 cm = 0,25 cm² i długości 2 cm każdy. Przenikalność magnetyczna materiału jest ca 2000; oporność magnetyczna wynosi $\frac{2 \cdot 2}{2000 \cdot 0,25} = 0,008 \text{ Jo}$; z powodu rozproszenia magnetycznego oporność ta zwiększy się do ca 0,010 Jo. Oporność przestrzeni powietrznej między rdzeniami i membraną będzie:

$$\frac{2 \cdot 0,022 \text{ cm}}{0,25 \text{ cm}^2} = 0,175 \text{ Jo}.$$

Z powodu rozproszenia oporność aktualnego strumienia wzrośnie; ponieważ jednak strumień w przestrzeni tej nieco się rozchodzi i przy wejściu do membrany przechodzi przez większy przekrój, niż 0,25 cm², co zmniejsza oporność, a zatem dla omawianej odległości ostateczna wartość będzie bliską do już otrzymanej 0,175 Jo. Oporność magnetyczna membrany wynosi:

$$\frac{0,9}{500 \cdot 0,022 \text{ cm}^2} = \text{ca } 0,080 \text{ Jo}$$

Pełna oporność będzie:

$$0,065 + 0,010 + 0,175 + 0,080 = 0,350 \text{ Jo}$$

Wartość strumienia:

$$\Phi_s = \frac{200}{0,350} = 570 \text{ maksweili}.$$

Indukcja w rdzeniach:

$$B_s = \frac{570}{0,25} = 2280 \text{ gausów.}$$

Według wzoru 19:

$$F_s = 2 \cdot \frac{2280^2 \cdot 0,25}{25} = 104000 \text{ dyn,}$$

co odpowiada 106 gramom. Pod wpływem tej siły membrana wygnie się o

$$0,35 \cdot 10^{-4} \cdot 106 = 0,0037 \text{ cm} = 0,037 \text{ mm.}$$

Prąd, przepływający przez cewki telefonu, wywoła siłę magnetomotoryczną; powstanie strumień magnetyczny, nakładający się na strumień stalowego magnesu. Oporność magnetyczna dla tego strumienia, w tej części jego drogi, która przebiega przez membranę i szczelinę powietrzną, będzie taka sama, jak i dla strumienia magnesu; oporność w rdzeniach cewek i obrączce stalowej będzie mniejsza, wskutek rozproszenia i wyniesie: w rdzeniach ca 0,008 Jo i obrączce ca 0,037 Jo; sumaryczna oporność będzie:

$$0,080 + 0,175 + 0,008 + 0,037 = \text{ca } 0,300 \text{ Jo.}$$

Cewki omawianego telefonu posiadają 2×600 zwojów o oporności $2 \times 60 \Omega$. Od prądu o wartości 1 mA powstanie strumień magnetyczny:

$$\Phi_i = \frac{0,4 \pi \cdot 1200 \cdot 0,001}{0,300} = \text{ca } 5 \text{ makswelei,}$$

$$B_i = \frac{5}{0,25} = 20 \text{ gausów.}$$

Pewien kierunek prądu będzie wzmacniał działanie Φ_s , przeciwny osłabiał. W warunkach technicznych wartość prądu w telefonie będzie ca 1 mA i niżej; Φ_s będzie znacznie większe, niż Φ_i i przez to zarówno siłę, zwiększającą przyciąganie, jak i zmniejszającą (przy odwrotnym kierunku prądu) można określić według wzoru:

$$F_i = 2 \cdot \frac{B_s \cdot B_i \cdot Q}{4 \pi} = 2 \cdot \frac{2280 \cdot 20 \cdot 0,25}{12,57} = 1840 \text{ dyn;}$$

a zatem prąd o wartości 1 mA przesunie dodatkowo membranę od tego położenia, które zajęła pod wpływem stałego magnesu o;

$$0,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,88 = 0,66 \cdot 10^{-4} \text{ cm} = 0,000066 \text{ cm} = 0,00066 \text{ mm},$$

Indukcyjność telefonu, mierzona prądem jednokierunkowym, będzie:

$$L = \frac{4 \pi Z^2}{S} \cdot 10^{-9} \text{ H} = \frac{12,57 \cdot 1200^2}{0,300} \cdot 10^{-9} = 0,06 \text{ H} = 60 \text{ mH}.$$

Jeżeli przez cewki telefonu będzie przepływał sinusoidalny prąd zmienny, to pod wpływem zmiennych sił, działających na membranę, zacznie się ona przybliżać i oddalać od rdzeni (wibrować, drgać).

Ruchy membrany wywołują pewne siły, które będą podporządkowane równaniu:

$$M \frac{d^2 h}{dt^2} + R \frac{dh}{dt} + \mathcal{C} h = k \cdot I_m \sin 2 \pi f t \quad \dots 20$$

gdzie: h — chwilowa wartość wychylenia środka (centru) membrany,

M — konwencyjna masa membrany,

R — opór promieniowania i wewnętrznych tarć,

\mathcal{C} — elastyczność membrany,

k — współczynnik,

I_m — maksymalna wartość prądu,

t — czas

$M \frac{d^2 h}{dt^2}$ — będą to siły bezwładności membrany; ponieważ nie

cała rzeczywista masa membrany wibruje, więc pod M rozumiana jest pewna umowna masa o takiej wartości, która przy tej samej wartości wibracji (h , h_m) wwołałaby takie siły bezwładności, jakie faktycznie realizuje rozpatrywana membrana.

Wartość współczynnika k , w myśl powyższego, określi się $1840 \frac{\text{dyn}}{\text{mA}}$.

Dla formy wygięć odpowiadającej pasmu pierwszego rezonansu to jest z jedną nieruchomą obręczką na obwodzie, umowna masa membrany może być przyjęta równą ca 0,31 faktycznej. Faktyczna masa dla membrany omawianego przykładu równa się ca 3,9 g, skąd $M = 0,31 \cdot 3,9 = 1,21 \text{ g}$.

Jeżeli wartość R jest względnie nieznaczną w porównaniu do

M i \mathcal{E} , to dla określenia własnych wahań membrany (częstotliwości rezonansowej) w formie pierwszej można stosować wzór:

$$f_{r_1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mathcal{E}}{M}} \quad \dots 21$$

Dla omawianego przykładu:

$$f_{r_1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{28,2 \cdot 10^6}{1,21} \frac{\text{g}^{-2}}{\text{g}}} = 770 \sim \text{s}^{-1}.$$

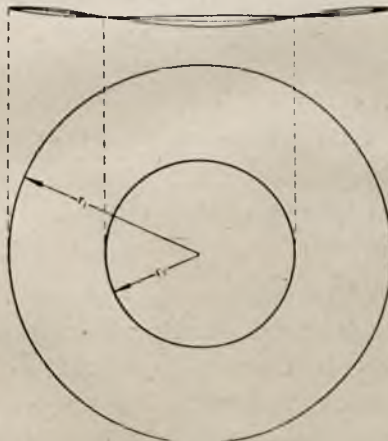
Biorąc pod uwagę R , wzór dla f_{r_1} będzie:

$$f_{r_1} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4\mathcal{E}M - R^2}{4M^2}}. \quad \dots 22$$

Na rysunku 3 uwidoczniło w przekroju formę wahań membrany w paśmie pierwszego rezonansu; to samo na rysunku 4 dla



Rys. 3.



Rys. 4.

pasma drugiego rezonansu. Częstotliwość drugiego rezonansu będzie ca 4 razy większą, to jest $f_{r_2} = \text{ca } 4 f_{r_1}$. Prócz właściwej formy drugiego rezonansu obserwować się dają jeszcze pewne pseudoformy, szczególnie forma odpowiadająca $f_{r_2a} = \text{ca } 2,5 f_{r_1}$; inne formy, odpowiadające ca $5 f_{r_1}$ i ca $6 f_{r_1}$, są trudne do obserwowania.

Zjawisko polega na tem, że promień drugiej obrączki (r_2 na rysunku 4) nie jest zbyt stabilny i pod wpływem zewnętrznych

przyczyn, naprzykład reakcji stojących fal akustycznych, tworzy się obręczka o innym promieniu.

Formy $2a$, odpowiadająca $f_{r2a} = \text{ca } 2,5 f_{r1}$ i $2b$, odpowiadająca $f_{r2b} = \text{ca } 4 f_{r1}$, mogą być obserwowane bez trudności.

Dla częstotliwości od bardzo małej aż do rezonansowej w równaniu 20 wartość siły $M \frac{d^2h}{dt^2}$ jest mniejszą od $\mathcal{E} h$; przy rezonansie — stają się one sobie równe; ponad rezonansem — $M \frac{d^2h}{dt^2}$ jest większe od $\mathcal{E} h$. Druga obręczka nieruchoma zaczyna się tworzyć przy częstotliwości $\text{ca } 2 f_{r1}$; konwencyjna masa i elastyczność zmieniają swe wartości tak, że znowu siły inercji masy będą mniejsze, niż siły elastyczności i tak aż do następnego rezonansu, kiedy znowu zrównają się między sobą. W myśl powyższego określa się reakcję membrany do rezonansu, jako reakcję elastyczności i za rezonansem, jako reakcję inercji.

Gdyby w telefonie nie było strat na histerezę i prądy Foucault'a, to można byłoby amplitudę wahań przy różnych częstotliwościach w paśmie jednego rezonansu określić według wzoru:

$$h_m = \frac{k I_m}{\sqrt{(2 \pi f R)^2 + \{\mathcal{E} - (2 \pi f)^2 M\}^2}} \quad \dots 23$$

Dla każdego pasma rezonansu wielkości R , \mathcal{E} i M będą posiadały inne wartości.

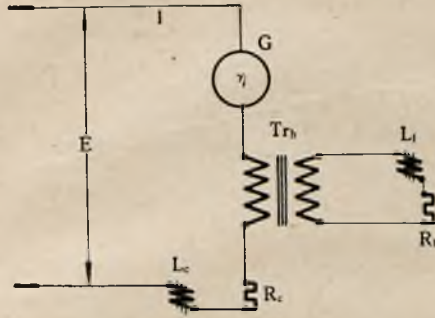
Straty mocy na wewnętrzne tarcia są proporcjonalne do drugiej potęgi częstotliwości.

Straty mocy na histerezę i prądy wirowe, z pewnem przybliżeniem, można traktować, jako proporcjonalne do drugiej potęgi indukcji i pierwszej potęgi częstotliwości; prócz tego faza, to jest osiągnięcie maksymalnych wartości chwilowych strat (przy procesie sinusoidalnym), nie będzie jednakową, szczególnie przy reakcji elastyczności w membranie. Jeżeli znaleźć prąd I_h , który odtwarzałby rozmagnesowujące działanie prądów wirowych i ten fikcyjny prąd (geometrycznie) odjąć od I_m , to wzór 23 można napisać:

$$h_m = \frac{k (I_m \triangle I_h)}{\sqrt{(2 \pi f R)^2 + \{\mathcal{E} - (2 \pi f)^2 M\}^2}} \quad \dots 24$$

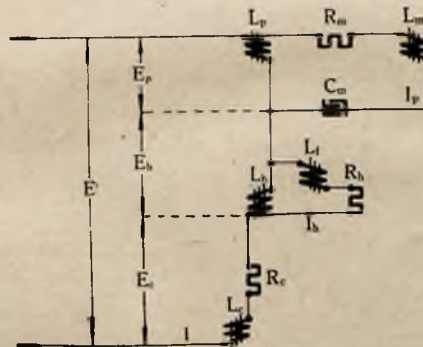
Określenie wartości i fazy prądu I_h nie jest łatwe; dogodniej jest obliczać telefon za pomocą ekwiwalentnego (zastępczego) schematu,

uwidocznionego na rysunku 5. Tr_h — oznacza transformator, imitujący straty na histerezę i prądy wirowe; G — oznacza fikcyjny generator elektromotorycznych sił, równych w swej wartości i fazie elektromotorycznym siłom, wywołanym przez ruchy membrany.



Rys. 5.

Schemat ten można przekształcić w schemat według rysunku 6, w którym zamiast transformatora zastosowano ekwiwalentny układ



Rys. 6.

z L_h , R_h i L_i i zamiast generatora — układ z L_p , R_m , C_m , i L_m , który od prądu I daje spadki napięć, które w swej wartości i fazie są równe elektromotorycznym siłom, wywołanym przez ruchy membrany. Przez transfigurację schemat 6 przekształca się w schemat rysunku 7, który pozwala na dogodne obliczanie.

Reakcja elastyczności membrany jest imitowaną przez reakcję pojemnościową; reakcja inercji — przez reakcję indukcyjną; w myśl tego schemat rysunku 7, dający wyłącznie reakcję indukcyjną, staje się niezrozumiałym. Wyjaśnienie jest następujące: siły elektro-

motoryczne, wywołane przez ruchy membrany są względnie nieduże w porównaniu do indukcyjnych spadków napięcia w uzwojeniu



Rys. 7.

telefonu i przez to reakcja telefonu, jako całości, jest zawsze indukcyjna. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby właściwą indukcyjność telefonu rozdzielić tak, aby ogólna pozorna oporność telefonu równała się obliczonej, co realizuje schemat rysunku 7. Zagadnienia, związane z wpływami ruchów membrany przy różnych częstotliwościach, są imitowane przez schemat rysunku 6; wystąpienie rezonansu między L_m i C_m imituje mechaniczny rezonans

w membranie między $M \frac{d^2 h}{dt^2}$ i $\mathcal{E} h$; przez równoległe włączenie in-

dukcyjności L_p można osiągnąć przybliżenie stałą wartość poszczególnych obiektów, co byłoby nieco trudne bez tego, szczególnie przy małych częstotliwościach. Wielkości ρ_p i ρ_b są funkcjami częstotliwości; przy bardzo małej częstotliwości są bardzo małe; ρ_b przybliżenie wzrasta z częstotliwością; ρ_p wykazuje bardziej złożoną zależność, z powodu wpływów poszczególnych rezonansów.

Dla omawianego telefonu i częstotliwości rezonansowej ($f_{r_1} = \text{ca } 770 \sim \text{s}^{-1}$) straty mocy na ogrzewanie uzwojenia, histerezę i prądy wirowe wynoszą ca 84% mocy elektrycznej, pochłanianej przez telefon. Z pozostałych 16%, ca 1,0% wyniosą straty na wewnętrzne tarcie membrany i prądy wirowe w niej.

Efektywna wartość mocy akustycznej, generowanej przez membranę, będzie ca $15 \mu W$; konwencyjna, powierzchnia:

$$0,31 \cdot \pi \cdot 2,65^2 = 6,83 \text{ cm}^2;$$

$$\text{moc na cm}^2 = 2,2 \frac{\mu W}{\text{cm}^2};$$

$$d_{m,m} = 29,4 \cdot \sqrt{2,2} = 43,6 \mu \text{ Bar};$$

$$h_{m,m} = \frac{d_{m,m}}{270 \cdot f} = 0,00021 \text{ cm};$$

$$v_{m,m} = \frac{d_{m,m}}{42,9} = 1,01 \text{ cm s}^{-1};$$

$$R_a = 43,6 \cdot 6,83 = 295 \text{ g s}^{-1};$$

$$F_{a,m} = 297 \text{ g cm s}^{-2} \text{ (dyn)};$$

$$M_{a,m} = 300 \text{ erg s}^{-1}.$$

Straty w membranie w omawianym wypadku wynoszą ca $1 \mu W$; z tego straty na wewnętrzne tarcie $0,72 \mu W$; wartość R_r , oporu tarć wewnętrznych, określi się:

$$R_r = 295 \text{ g s}^{-1} \cdot \frac{0,72}{15} = \text{ca } 14,2 \text{ g s}^{-1}.$$

Straty elektryczne wyniosły ca $84 \mu W$; z tego $84 \frac{120}{206} = \text{ca } 49 \mu W$ na ogrzewanie uzwojenia i $35 \mu W$ na histerezę i prądy wirowe. Wartość prądu (efektywna) w uzwojeniu telefonu będzie $0,64 \text{ mA}$. Siły elastyczności = siłom bezwładności = 5950 dyn ; siły wewnętrznych tarć = $14,2 \text{ g s}^{-1} = 14,3 \text{ dyn}$; siły, pochłaniane przez elektromagnetyczne straty w membranie = $14,3 \frac{0,28}{0,72}$ ca $5,5 \text{ dyn}$; razem, siły proporcjonalne do szybkości ruchów membrany, będą:

$$14,3 + 5,5 + 297 = \text{ca } 317 \text{ dyn};$$

suma oporów wewnętrznych tarć (mechanicznych i elektromagnetycznych) i oporu promieniowania będzie:

$$R = 14,2 + 5,4 + 295 = 314,6 \text{ g s}^{-1}.$$

Względna wartość R jest niewielką i dlatego wzór 21 może być stosowany do określenia f_{r1}

Po określeniu wyżej przytoczonych danych można dla orientacyjnych obliczeń stosować wzór 23 w następującej formie:

$$I_m = 0,64 \text{ mA} \times 1,41 = 0,90 \text{ mA};$$

gdyby strat na histerezę i prądy wirowe nie było, to maksymalna amplituda byłaby:

$$\frac{1840 \cdot 0,9}{2\pi \cdot 770 \cdot 314,6} = 0,00109 \text{ cm};$$

faktycznie $h_m = 0,00021 \text{ cm}$; zmniejszając I_m w tym stosunku, otrzymuje się:

$$h_m = \frac{k \cdot I_m \cdot \frac{21}{109}}{\sqrt{(2\pi f R)^2 + \{C - (2\pi f)^2 M\}^2}}$$

skąd można określić h_m dla innych częstotliwości w granicach pasma pierwszego rezonansu, z zastrzeżeniem niestosowania go dla zbyt małych częstotliwości, na przykład mniejszych od $0,3 f_{r1}$.

Analogiczną metodą można określić h_m dla pasma drugiego i następnych rezonansów. Dla orientacji przytoczone są dane ekwiwalentnego schematu według rysunku 6 dla:

1) pasma pierwszego rezonansu:

$$L_c = 2 \text{ mH}; \quad R_c = 120 \Omega; \quad L_h = 45 \text{ mH}; \quad R_h = 450 \Omega;$$

$$L_p = 23 \text{ mH}; \quad R_m = 300 \Omega; \quad L_m = 400 \text{ mH};$$

$$C_m = 0,1 \mu F; \quad L_f = 6 \text{ mH};$$

2) pasma pierwszej formy drugiego rezonansu:

$$L_c = 14 \text{ mH}; \quad R_c = 120 \Omega; \quad L_h = 45 \text{ mH}; \quad R_h = 450 \Omega;$$

$$L_p = 9 \text{ mH}; \quad R_m = 380 \Omega; \quad L_m = 160 \text{ mH};$$

$$C_m = 0,04 \mu F; \quad L_f = 6 \text{ mH};$$

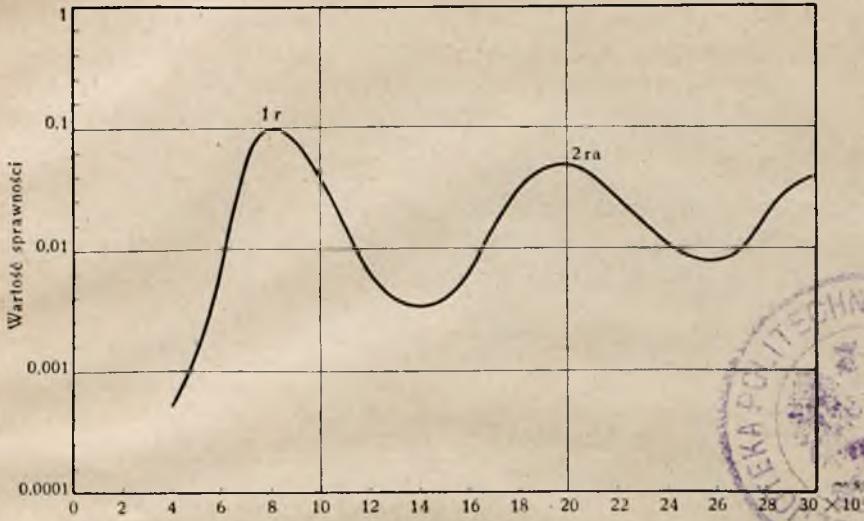
3) pasma drugiej formy drugiego rezonansu:

$$L_c = 15,2 \text{ mH}; \quad R_c = 120 \Omega; \quad L_h = 45 \text{ mH}; \quad R_h = 450 \Omega;$$

$$L_p = 6 \text{ mH}; \quad R_m = 425 \Omega; \quad L_m = 100 \text{ mH};$$

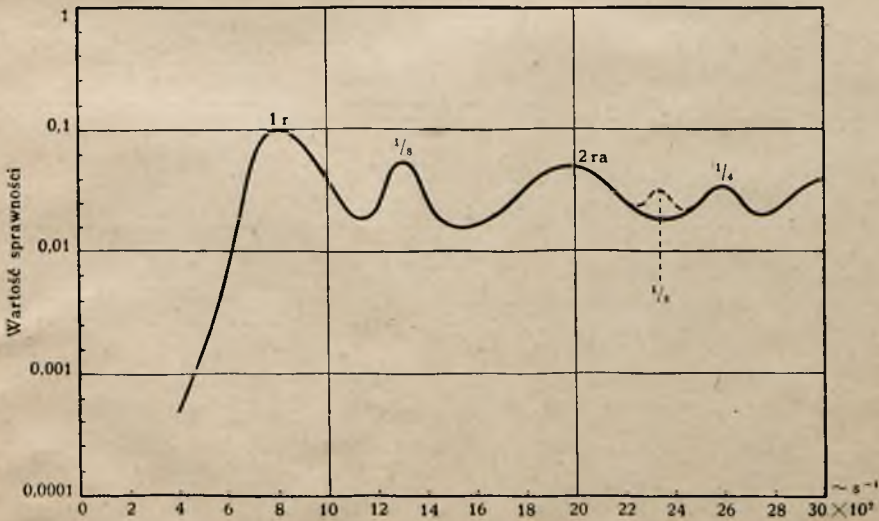
$$C_m = 0,025 \mu F; \quad L_f = 6 \text{ mH}.$$

Na rysunku 8 pokazana jest wartość sprawności omawianego telefonu przy eliminacji wpływu stojących fal akustycznych przed-



Rys. 8.

niej (przed membraną) i tylnej (między membraną i ścianą oprawy); na rysunku 9—to samo z wpływem $1/8$ i $1/4$ fali przedniej, przy



Rys. 9.

odległości między membraną telefonu i membraną odbiorczą (ucha)

32 mm, a także z wpływem $\frac{1}{8}$ fali tylnej przy odległości między membraną telefonu i ścianą oprawy 18 mm; wpływ fali tylnej uwidocznił się zapomocą linii przerywanej. Porównanie wartości sprawności wskazuje korzystny wpływ tylnych fal akustycznych na wartość sprawności, która staje się bardziej równomierna, co dodatnio wpływa na jakość komunikacji telefonicznej.

Tablica III zawiera długość fal akustycznych dla różnych częstotliwości w powietrzu przy 0° C. Amplituda wahań własnych membrany zanika w czasie według zależności: $e^{-\frac{R}{2M} \cdot t}$; dla omawianego telefonu, stała czasu, to jest czas podczas którego wahania zmniejszą się do 0,37 początkowej wartości (czyli o 1 Np) będzie:

$$\frac{R}{2M} = \frac{314,6 \text{ g s}^{-1}}{2 \cdot 1,21 \text{ g}} = 0,013 \text{ s} = 13 \text{ m s.}$$

Tablica I.						
Ciśnienia d_m w μ Barach						
$\sim \text{s}^{-1}$	=	250	500	1000	2000	4000
$h_m = 10^{-3} \text{ cm}$		67,5	135	270		
10^{-4}		6,75	13,5	27	54	108
10^{-5}		0,675	1,35	2,7	5,4	10,8
10^{-6}		0,0675	0,135	0,27	0,54	1,08
10^{-7}		0,00675	0,0135	0,027	0,054	0,108
10^{-8}		0,0007	0,00135	0,0027	0,0054	0,0108
10^{-9}			0,00013	0,00027	0,00054	

Tablica II.						
Odkształcenie membran w 0,001 mm na 1 g						
$h = n \times 10^{-4} \text{ cm}$ (n z tablicy).						
grubość w milimetrach	średnica w milimetrach					
	40	50	53	55	60	70
0,16	0,52					
0,18	0,37	0,56	0,64			
0,20	0,26	0,41	0,46	0,49	0,60	
0,22	0,20	0,31	0,35	0,37	0,45	0,61
0,24		0,24	0,27	0,28	0,35	0,47
0,26			0,21	0,22	0,27	0,36
0,28					0,22	0,30
0,30						0,24

Tablica III.

Długość fali w milimetrach.

$\sim s^{-1}$	mm	$\sim s^{-1}$	mm
100	3330	2100	160
200	1665	2200	152
300	1110	2300	145
400	840	2400	139
500	670	2500	133
600	555	2600	128
700	477	2700	123
800	417	2800	119
900	370	2900	115
1000	333	3000	111
1100	303	3100	107
1200	278	3200	104
1300	257	3300	101
1400	238	3400	98
1500	222	3500	95
1600	208	3600	93
1700	196	3700	90
1800	187	3800	88
1900	177	3900	85
2000	167	4000	83

E R R A T A .

Na str. 4 wiersz 9-ty od dołu wydrukowano:

$$N = 0,05 \cdot 2 \cdot (v_m)^2 \left(\frac{\mu \cdot W}{\text{cm}^2} \right) \dots\dots 9$$

Winno być.

$$N = 0,05 \cdot Z \cdot (v_m)^2 \left(\frac{\mu \cdot W}{\text{cm}^2} \right) \dots\dots 9$$

