

nkowski Samuŕ rok 1927.

C

20898

Biblioteka
Politechniki Warszawskiej

SKŁAD NIKOSI
TOWARZYSTWA WYDAWNICZEGO
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

Bratniej Pomocy Studentów Politechniki Warszawskiej

TELEFONJA

ELEKTROMAGNETYCZNE OBLICZENIE CEWKI
INDUKCYJNEJ ORAZ TELEFONU

Inżynier-Elektryk

ROMAN TRECHCIŃSKI



No Wyd. 103.

ROK 1921/22.

WARSZAWA

Skład Główny Komisji Wydawniczej: Politechnika — Polna 3. Telefon 88-60
Drukarnia i Litografja „SATURN“ Marszałkowska 91.

Dar p. Pułkownika

Inżynier Elektryk ROMAN TRECHCIŃSKI.

TELEFONJA

ELEKTROMAGNETYCZNE OBLICZENIE CEWKI
INDUKCYJNEJ ORAZ TELEFONU



WARSZAWA.

NAKŁADEM „KOMISJI WYDAWNICZEJ, TOW. BRAT. POM. STUD. POL. WARSZ.

Drukarnia i Litografia „SATURN“ Marszałkowska 91.

1921/22.

i. 2. 16499

UNIVERSITY OF ENGINEERING & TECHNOLOGY



~~9898~~

C. 20898.

STODA ELEKTROMAGNETYCZNEGO OBLICZENIA INDUKCYJNYCH CEWEK TELEFONICZNYCH.

Indukcyjna cewka telefoniczna jest przyrządem o zupełnie otwartem polu magnetycznym i normalnie posiada rdzeń prosty, złożony z cienkich drutów z miękkiego żelaza. Długość żelaznego rdzenia bywa zwykle większą od długości uzwojenia mniej więcej o dwie średnice rdzenia. Przypuszczając, że kształt pola magnetycznego tego typu elektromagnesu będzie bardzo bliską do kształtu pola stałego magnesu stałego o tej samej długości i średnicy, jak rdzeń żelazny, otrzymamy możność obliczenia strumienia magnetycznego elektromagnesu na analogicznych podstawach, jak magnesu stałego, wprowadzając zamiast współczynnika rozmagnesowania pojęcia oporów magnetycznych wewnętrznego i zewnętrznego.

Operację tę możemy uskutecznić w następujący sposób.

Obrączka stalowa, namagnesowana do nasycenia, co praktycznie odpowiada indukcji około 25000 ml.cm^2 , po ustaniu siły magneto-motorycznej zachowa magnetyzm szczątkowy, a więc i odpowiadający mu strumień magnetyczny według wzoru:

$$\phi = \frac{C.l.}{\frac{l}{\mu \frac{\pi d^2}{4}}} = C\mu \frac{\pi d^2}{4} \dots \dots \dots (1)$$

$B_0 = C\mu$, przy czem C oznacza siłę koercyjną, l - średnią długość obrączki, d średnicę obrączki, μ - magnetyczną przenikliwość obrączki, ϕ strumień magnetyczny, B_0 magnetyzm szczątkowy.

Jak wiadomo dla stali wolframowej C waha się w granicach od 60 do 100 gausów przy μ od 100 do 150, co da magnetyzm szczątkowy od 5000 do 15000 ml. cm². Magnetyzm szczątkowy obrączki będzie maksymalny dla danego gatunku stali i oznaczmy go przez B_0 .

Jeżeli chcielibyśmy znaleźć magnetyzm szczątkowy okrągłego pręta z tego samego materiału, to, jak wiadomo, musielibyśmy wprowadzić współczynnik rozmagnesowania, który dla prostych prętów zależny jest wyłącznie od stosunku długości pręta l do jego średnicy i w przybliżeniu wyraża się wzorem

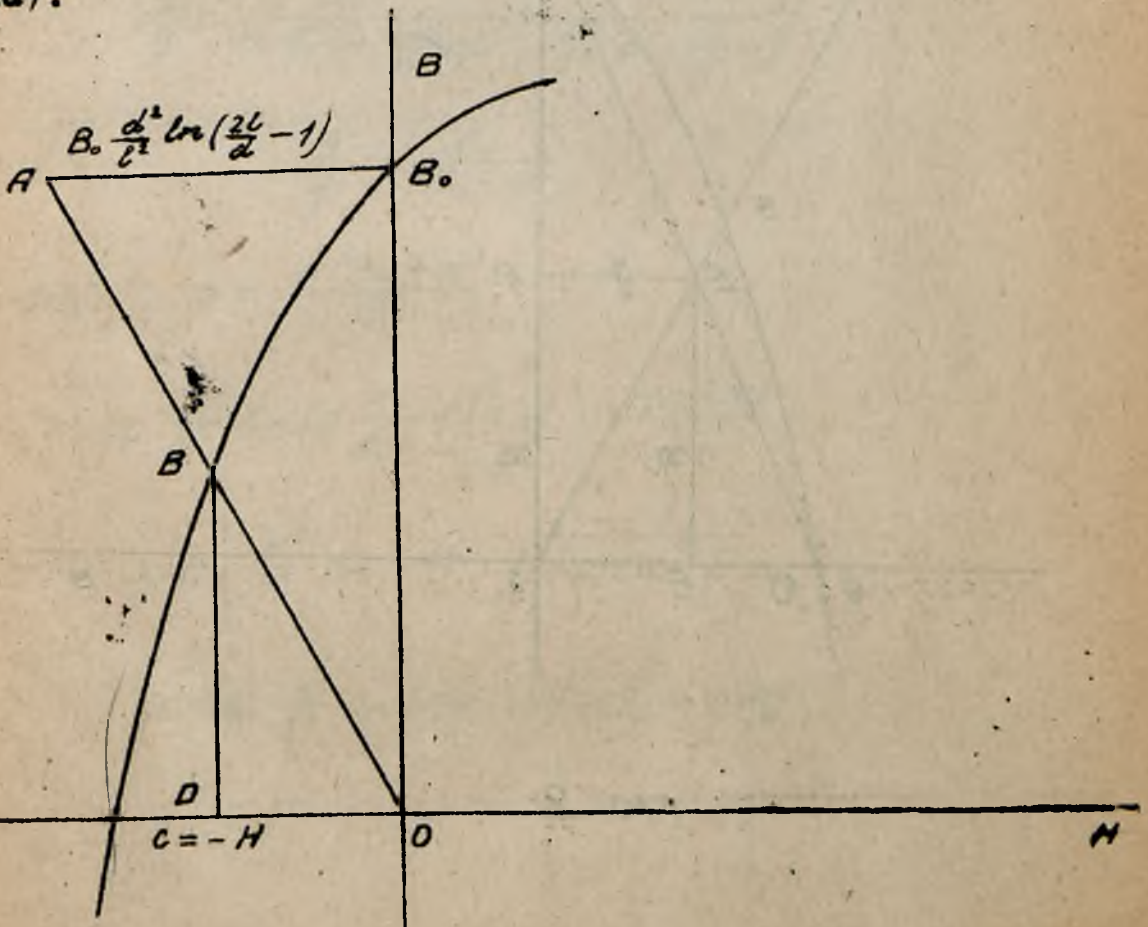
$$\frac{4\pi d^2}{l^2} \times \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right) \quad (3)$$

Jeżeli na krzywej magnesowania danego gatunku stali, na odcinku malejącym B , w punkcie B_0 (fig

odłożymy wielkość

$$\frac{B_0 \cdot 4\pi \cdot d^2}{4\pi \cdot l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right) = B_0 \frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right).$$

i otrzymany punkt A połączymy prostą z punktem O ,
to w przecięciu tej prostej ze spadającą krzywą na-
magnesowania otrzymamy punkt B przyczem wielkość
prostopadłej BD na oś odciętych w skali B_0
da nam wielkość magnetyzmu szczątkowego dla sztaby
(pręta), a długość l i średnicy d , zrobionego
z tego samego materiału (po namagnesowaniu do nasyce-
nia).



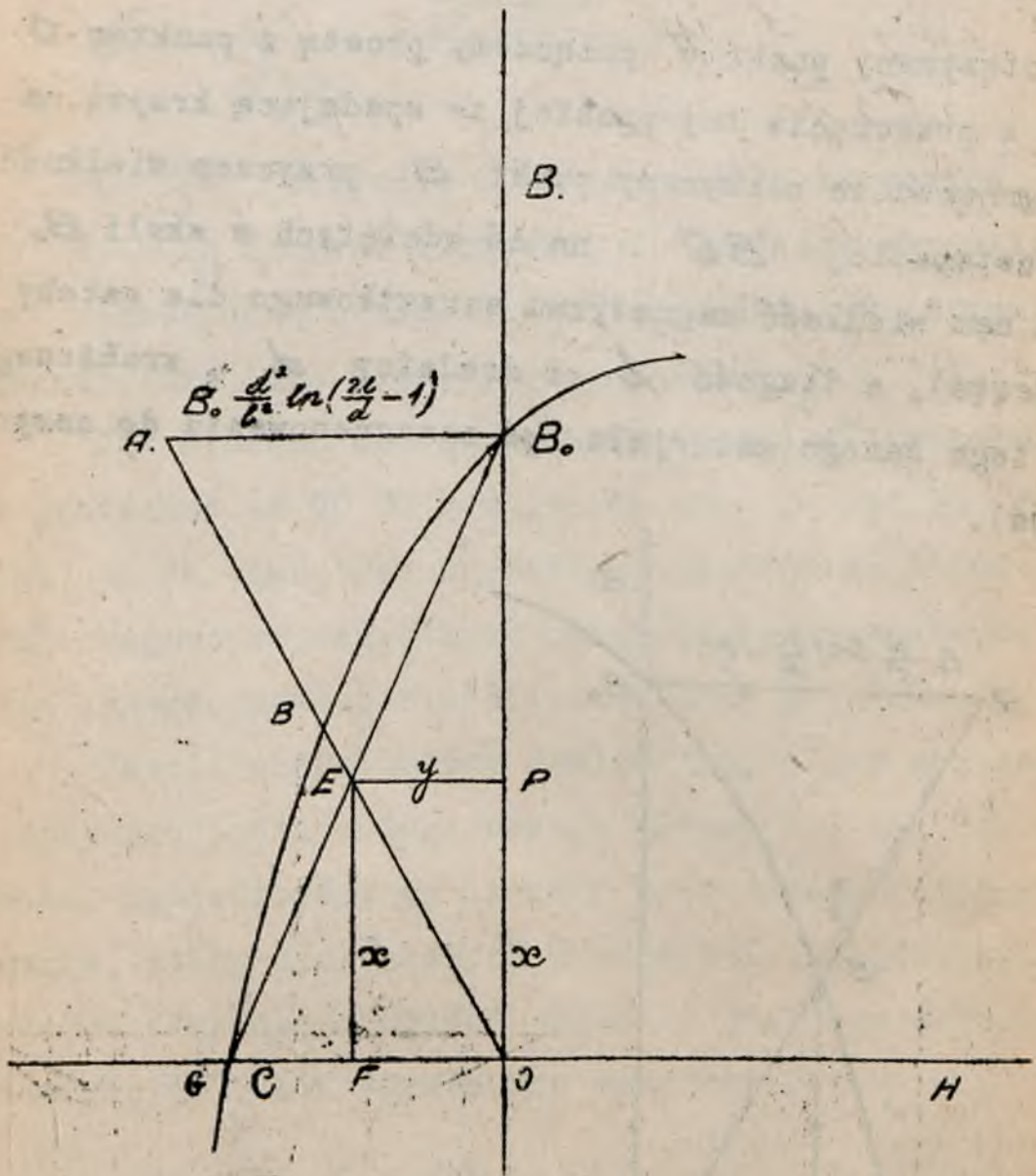


FIG. 2.

Jeżeli chwilowo przyjąlibyśmy zamiast krzywej spadającej B_0BG prostą B_0EG (fig.2), to z podobnych trójkątów otrzymamy

$$\frac{OP}{PE} = \frac{OB_0}{AB_0} \quad ;$$

$$\frac{GO}{EP} = \frac{OB_0}{PB_0}$$

ponieważ $OP = x$, $PE = y$, $OB_0 = B_0$

$$AB = B_0 \frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right), \quad GO = C, \quad PB_0 = B_0 - x.$$

będziemy mieli

$$\frac{x}{y} = \frac{B_0}{B_0 \frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right)} = \frac{1}{\frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right)}$$

$$\frac{C}{y} = \frac{B_0}{B_0 - x}$$

skąd $y = \frac{e(B_0 - x)}{B_0}$

$$x \frac{d^2}{l^2} \ln\left(2 \frac{l}{d} - 1\right) = y = \frac{e(B_0 - x)}{B_0}$$

$$x B_0 \frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right) = e B_0 - e x.$$

$$x \left[B_0 \frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right) + C \right] = e B_0.$$

$$x = \frac{c B_0}{B_0 \frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right) + c} = \frac{c}{\frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right) + \frac{c}{B_0}}$$

ponieważ $B_0 = c\mu$ to $\frac{c}{B_0} = \frac{1}{\mu}$

$$x = \frac{c}{\frac{d^2}{l^2} \left(\ln \frac{2l}{d} - 1\right) + \frac{1}{\mu}}$$

Ponieważ jednak chwilowo przyjęliśmy, że x jest magnetyzmem szczątkowym, więc strumień magnetyczny szczątkowy będzie $\phi = x \frac{\pi d^2}{4}$.

podstawiając zamiast x jego znaczenie mamy

$$\phi = \frac{c \frac{\pi d^2}{4}}{\frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right) + \frac{1}{\mu}}$$

dzieliąc przez $\frac{\pi d^2}{4}$

$$\phi = \frac{c}{\frac{\frac{d^2}{l^2} \ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right)}{\frac{\pi d^2}{4}} + \frac{1}{\mu \frac{\pi d^2}{4}}}$$

mnóżąc przez l

$$\phi = \frac{cl}{\frac{4}{\pi} \frac{\ln\left(\frac{2l}{d} - 1\right)}{l} + \frac{l}{\mu \frac{\pi d^2}{4}}}$$

Licznik jest siłą magnetomotoryczną; druga część mianownika jest wewnętrznym oporem magnetycznym, a zatem pierwszą część mianownika możemy uznać za równą całkowitemu oporowi zewnętrznemu.

Ponieważ jednak $EF = x$ jest zasadniczo mniejsze, niż interesująca nas wielkość $BD = B$, to wyżej wskazany wzór daje wielkości ϕ za małe, co można poprawić, wprowadzając odpowiedni mnożnik.

Zupełnie zadowalniające rezultaty dla praktycznie ważnych wypadków, które znajdują się w granicach $5 < \frac{l}{d} < 50$ można otrzymać, jeżeli przyjąć, że wewnętrzny opór jest mniejszy w stosunku $\frac{\pi}{4} = 0,785$, co upraszcza wzór i daje ostatecznie:

$$\phi = \frac{cl}{\frac{\ln(\frac{2l}{d} - 1)}{l} + \frac{l}{\mu \frac{\pi d^2}{4}}} \dots \dots \dots (5)$$

Dla wielkości $\frac{l}{d} < 10$ do granicy $\frac{l}{d} > 0,1$ zadowalniające rezultaty daje wzór empiryczny

$$\phi = \frac{cl}{\frac{1 - 0,33 \sqrt{\frac{l}{d}}}{d} + \frac{l}{\mu \frac{\pi d^2}{4}}} \dots \dots \dots (6)$$

Ponieważ w obu powyższych wzorach C_c jest siłą magnetomotoryczną, to, na podstawie wyżej wymienione przesłanki o jednostkowym kształcie pól magnetycznych stałego magnesu i elektromagnesu, możemy napisać dla elektromagnesów analogiczne wzory, a mianowicie:

$$\phi = \frac{0,4\pi zi}{\frac{\ln(\frac{2l}{d} - 1)}{l} + \mu \frac{\pi d^2}{4}} \dots \dots \dots (7)$$

$$\phi = \frac{0,4\pi zi}{\frac{1 - 0,33 \sqrt{\frac{l}{d}}}{d} + \mu \frac{\pi d^2}{4}} \dots \dots \dots (8)$$

gdzie Z ilość zwoi i i prąd w amperach.

Wyżej wskazane wzory pozwolą nam obliczyć strumień magnetyczny elektromagnetycznych aparatów typu indukcyjnej cewki telefonicznej, przy czym przenikliwość magnetyczną μ trzeba w danym wypadku brać łącznie jako funkcję indukcji magnetycznej, co przy stosunkowo niewielkiej indukcji, stosowanej w omawianym wypadku, a mianowicie od 200 do 1000 ml.cm² da wartości μ w granicach od 500 do 1500.

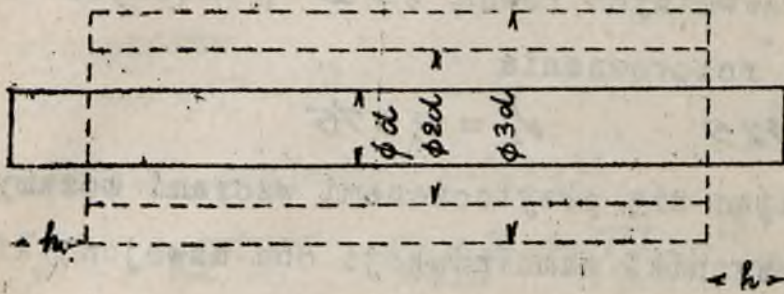


fig. 3.

SPÓŁCZYNNIK ROZPROSZENIA MAGNETYCZNEGO

(t.j. stosunek między strumieniem magnetycznym uzwojenia do całkowitego strumienia magnetycznego stalowego magnesu), dla stalowego magnesu i jednej warstwy zwojów o średnicy równej bd i długości $l-2h$, dla $h > 0,05l$ i $h < 0,3l$ daje empiryczny wzór

$$\nu = 1 - 0,01 \frac{l}{h} \cdot \frac{b}{2} \dots \dots \dots (9)$$

gdzie b jest współczynnikiem liczbowym dla danego stosunku średnicy zwojów do średnicy rdzenia. Wzór ten, przy $b = 2$ i $h = 0,1l$ daje współczynnik rozproszenia równy 0,90 i może być z dogędnością stosowany przy pomiarach pól magnetycznych stalowych magnesów.

Stosując wyżej wskazany wzór dla indukcyjnych cewek telefonicznych, (dla których często są stosowane

wskazane na rysunku wymiary przestrzeni zajmowanej przez pierwotne uzwojenie, otrzymamy średnią średnicę zwojów pierwotnych równą $15d$, wtórnych $2,5d$ i współczynniki rozproszenia

$$\nu_1^* = 0,925 \quad ; \quad \nu_2^* = 0,875$$

Posiłkując się przytoczonymi wzorami możemy obliczyć współczynniki samoindukcji obu uzwojeń, które wyrażają się jak następuje:

$$L_1 = \frac{4\pi Z_1^2}{m\omega} \nu_1^* 10^{-9} \text{ henry} \quad (10)$$

$$L_2 = \frac{4\pi Z_2^2}{m\omega} \nu_2^* 10^{-9} \text{ henry} \quad (11)$$

gdzie Z_1 - ilość pierwotnych zwojów
 Z_2 - ilość wtórnych zwojów
 $m\omega$ - magnetyczny opór całkowity wewnątrzny i zewnątrzny rdzenia
 ν_1^* - współczynnik rozproszenia pierwotnego uzwojenia
 ν_2^* - współczynnik rozproszenia wtórnego uzwojenia.

Dla obliczenia współczynnika wzajemnej indukcji obu uzwojeń musimy przyjąć pod uwagę rozproszenie magnetyczne między uzwojeniami, które jest zmienne w zależności od natężenia prądu we wtórnym uzwojeniu.

i może być przyjęte równem różnicy rozproszeń między rdzeniem i każdym uzwojeniem.

Przy tej przesłance współczynnik rozproszenia wyrazi się wzorem

$$\sigma = 1 - (\sigma_1 - \sigma_2) \dots \dots \dots (12)$$

i współczynnik wzajemnej indukcji

$$M = \sigma \sqrt{L_1 L_2} = \frac{4\pi z_1 z_2}{m\omega} \sigma \sqrt{V_1 V_2} 10^{-9} \text{ henry} \dots \dots (13)$$

Pojemność każdego uzwojenia między jego końcami wyraża się wzorem

$$\left\{ \frac{1}{\alpha-1} \frac{D\ell d}{2\Delta(\Delta-d)} + \frac{1}{z-1} \frac{Dd}{2(\Delta-d)} \right\} 10^{-6} \text{ mikrofarad} \dots (14)$$

Pojemność między obiema uzwojeniami maksymalna

$$\frac{D\ell}{2(\Delta-d+s)} 10^{-6} \text{ mikrofarad} \dots \dots \dots (15)$$

gdzie ℓ — długości uzwojeń w cm

α — ilości warstw

D — średnia średnica zwojów w cm

d — średnica drutu bez izolacji w cm

Δ — średnica drutu z izolacją w cm

z — ilość zwojów

we wzorze drugim D, Δ i d są średniami z obu uzwojeń; s — grubość dodatkowej izolacji między uzwojeniami w cm.

Jeżeli rozpatrzymy układ podany na fig.4 i złożony z

baterji, mikrofonu i telefonicznej cewki indukcyjnej podczas działania na mikrofon dźwięku o jednym tylko podstawowym tonie przy stałej wielkości siły i ilości okresów, to uzależniając za pomocą współrzędnych natężenie prądów w obwodzie pierwotnym od czasu, otrzymamy wykres przedstawiony na fig. 5.

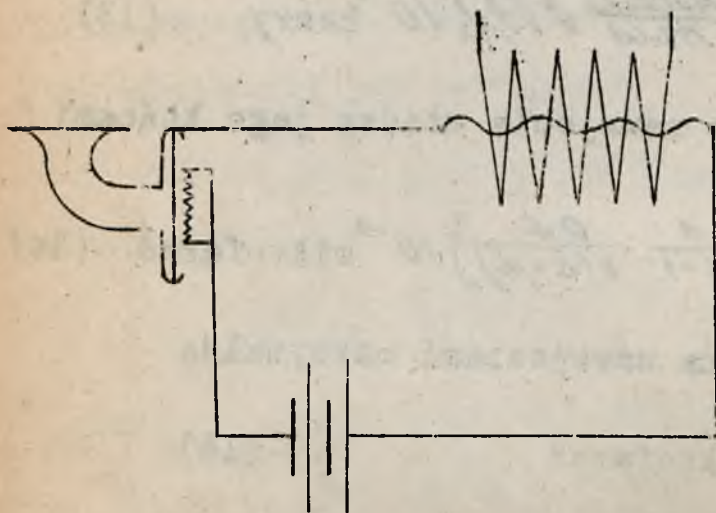


fig. 4.

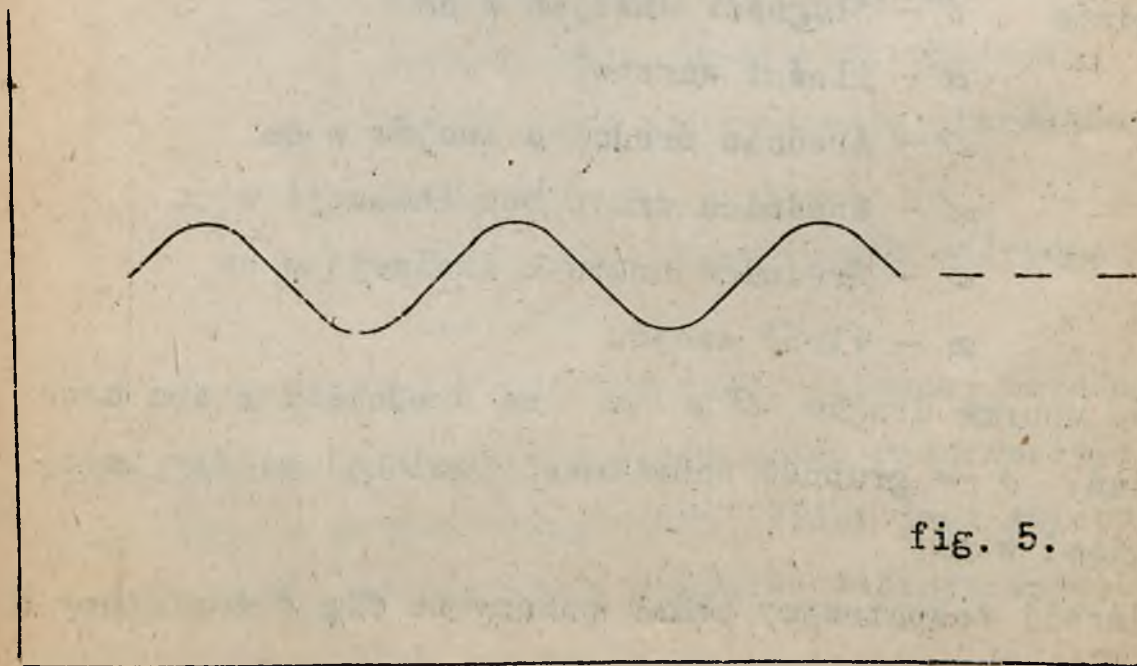


fig. 5.

J

Jak widać w obwodzie - bateria, mikrofon i cewka indukcyjna - powstaje prąd tętniący (pulsujący). Jeżeli bylibyśmy w powyższym układzie chwilowo zamienili pierwotne uzwojenie cewki indukcyjnej oporem bezindukcyjnym z tym samym oporem omowym, to natężenie prądu w każdej chwili określiliby się według wzoru

$$J = \frac{E}{\rho_0 + \rho_m + r_1} \dots \dots \dots (16)$$

gdzie E = siła elektromotorycznej baterji, ρ_0 = wewnętrzny opór baterji, ρ_m = chwilowy opór mikrofonu r_1 = opór, zamieniający pierwotne uzwojenie cewki indukcyjnej.

Jeżeli bylibyśmy teraz w omawianym układzie zamiast zmiennego oporu mikrofonu ρ_m wprowadzili pewien stały opór ρ , wybrany tak, ażeby średnia wartość prądu była tą samą; prócz tego w szereg z baterją dołączymy pewne źródło energii elektrycznej o takiej zmiennej sile elektromotorycznej ^{1/2} taką ilością okresów, aby prąd zmienny, wywołany tą siłą elektromotoryczną, przez wskazane opory posiadał natężenie, które dodając się lub odejmując od prądu stałego, przechodzącego przez te same opory od baterji, dał ten sam prąd tętniący, wówczas ten nowy układ odtworzyłby nam zupełnie taki sam wykres zależności tętniącego prądu od czasu, co i nasz pierwszy układ.

Przyпускаjąc wahania sinusoidalne i oznaczając prze

i_{\max} = maksymalną wielkość prądu tętniącego

i = średnią wielkość i

i_{\min} = minimalną jego wielkość, będziemy mieli

$$i = \frac{E}{\rho_0 + \rho + r_1} \quad \text{skąd } \rho = \frac{E - i(\rho_0 + r_1)}{i} \quad (13)$$

Maksymalna wielkość dodatkowej zmiennej siły elektromotorycznej będzie

$$e_{\max} = (i_{\max} - i)(\rho_0 + \rho + r_1) \quad (14)$$

Skuteczna (efektywna) wartość jej

$$e = (i_{\max} - i)(\rho_0 + \rho + r_1) \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (15)$$

Jeżeli teraz wrócimy znnowo do pierwotnego układu i zamiast oporu r_1 wprowadzimy pierwotne uzwojenie cewki indukcyjnej o tym samym oporze R , i samoindukcji L , będziemy mieli, przyпускаjąc, że wprowadzona elektromotoryczna siła prądu zmiennego zachowa stałe wielkości skuteczne i maksymalne:

$$i = \frac{E}{\rho_0 + \rho + R} \quad (16)$$

$$i_a = \frac{e}{\sqrt{(\rho_0 + \rho + R)^2 + (2\pi n L)^2}} \quad (17)$$

gdzie i_a będzie skuteczna wartość natężenia prądu zmiennego, pochodzącego od siły elektromotorycznej e

Rozproszenie magnetyczne między dwoma cewkami pierwotnem i wtórnem, możemy przedstawić w postaci dwóch oddzielnych cewek dla każdego obwodu, z których pierwsza nie posiada żadnego magnetycznego związku z drugą cewką, druga zaś jest w zupełności magnetycznie związana z częścią drugiego uzwojenia.

Układ ten z dodatkowem wyodrębnieniem oporu uzwojeń pokazany jest na fig. 6

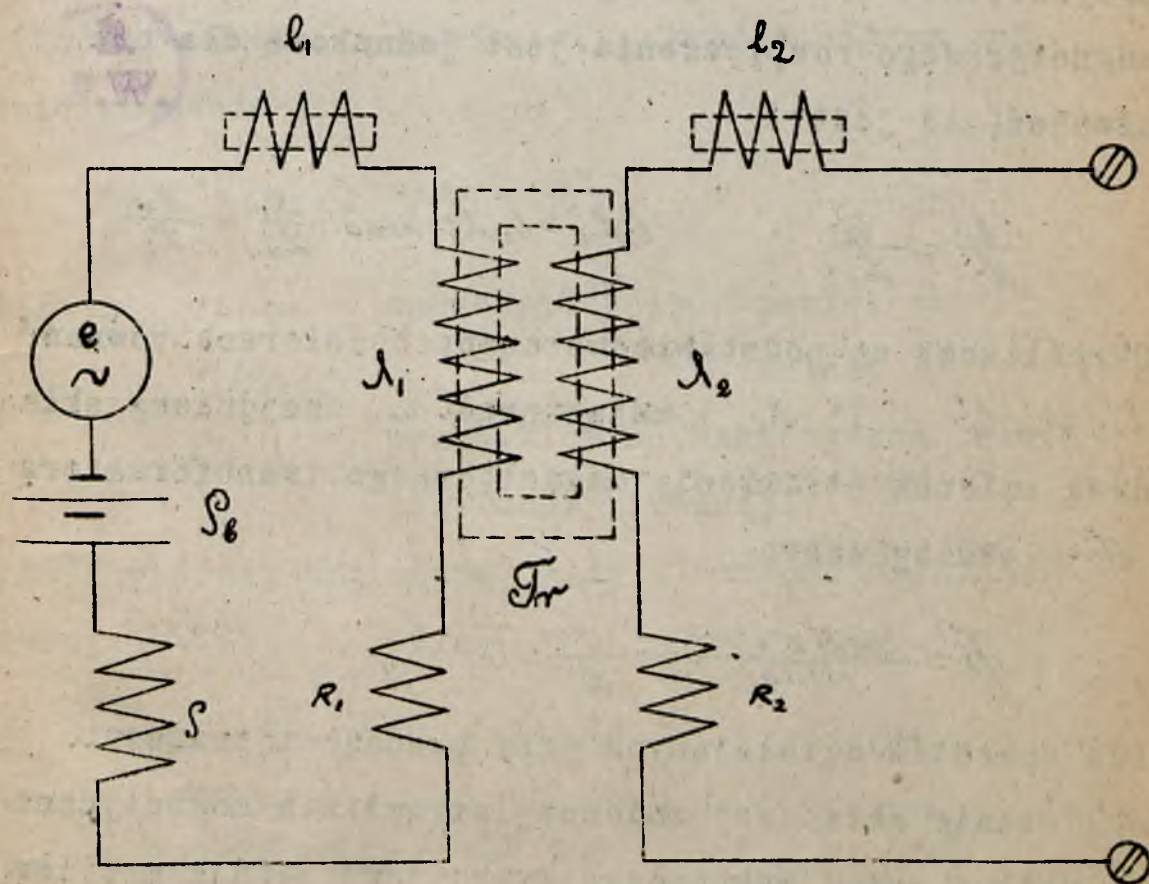


FIG. 6.

Dla określenia l_1, \mathcal{L}_1, l_2 i \mathcal{L}_2 posiadamy następujące dane

$$l_1 + \mathcal{L}_1 = \mathcal{L}_1$$

$$l_2 + \mathcal{L}_2 = \mathcal{L}_2$$

$$\mathcal{L}_1 \mathcal{L}_2 = M^2$$

to jest trzy równania z czterema niewiadomymi. Czwarte równanie możemy napisać na podstawie założenia, że przybliżenie dla danego aparatu, procentowa wielkość magnetycznego rozproszenia jest jednakową dla obu uzwojeń, to jest:

$$\frac{l_1}{\mathcal{L}_1} = \frac{l_2}{\mathcal{L}_2}$$

$$l_1 \mathcal{L}_2 = l_2 \mathcal{L}_1, \text{ ALBO } \frac{\mathcal{L}_1}{\mathcal{L}_1} = \frac{\mathcal{L}_2}{\mathcal{L}_2}$$

Określiwszy na podstawie wskazanych czterech równań l_1, \mathcal{L}_1, l_2 i \mathcal{L}_2 i mając prąd i_0 znajdziemy składową zmienną strumienia magnetycznego transformatora \mathcal{I}_m według wzoru

$$\mathcal{I}_m = \frac{0,4 \pi z_1 i_1}{m \omega} \frac{\mathcal{L}_1}{\mathcal{L}_1} \sqrt{2} \text{ ml.} \dots \dots /23/$$

Dla aparatów działających przy prądach tętniących obliczanie składowej zmiennej strumienia magnetycznego według wyżej wskazanego wzoru jest jednak możliwe tylko w tym wypadku, kiedy opór magnetyczny żelaza jest bardzo mały w porównaniu do oporu przez powie-

trze, przyczem jako wyższa granica może być uważany stosunek równy 0,065, to jest opór powietrza około 15 razy większy niż żelaza.

Taki stosunek będzie miał miejsce w normalnych indukcyjnych cewkach telefonicznych. Jeżeli stosunek ten przekroczy wskazaną granicę, lub jeżeli pożądanem jest bardziej dokładna wielkość zmiennej składowej strumienia magnetycznego, to takową możemy otrzymać według wzoru

(24) $\phi \sin d$, gdzie d określa się na podstawie równania

$$\operatorname{tg} d = 0,1 \left(2 \frac{m W_p}{m W_{Fe}} + \frac{\mu}{200} \right) \dots \dots \dots (25)$$

w którym $m W_p$ = magnetyczny opór powietrza
 $m W_{Fe}$ = " " żelaza
 μ = przenikliwość magnetyczna żelaza przy danej indukcji.

Wartość wtórnej skutecznej siły elektromotorycznej będzie

$$\left. \begin{aligned} e_2 &= \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \phi_0 z_2 f \frac{A_2}{L_2} 10^{-8} \text{ volt} = \\ &= 4,44 \phi_0 z_2 f \frac{A_2}{L_2} 10^{-8} \text{ VOLT} \dots \dots (26) \end{aligned} \right\}$$

gdzie f - częstotliwość siły elektromotorycznej odpowiadająca ściśle wysokości dźwięku

Wartość skuteczną pierwotnej siły elektromotorycznej e_1 znajdziemy ze wzoru

$$e_1 = 4,44 f \phi_0 \cdot z_1 \cdot f \cdot \frac{1}{L} \cdot 10^{-8} \text{ volt} \dots (27)$$

Straty na hysterezę i prądy wirowe (Foucault) w rdzeniu żelaznym, możemy skreślić według wzoru

$$\frac{M \left\{ \left(\frac{B}{1000} \right)^{1,6} + \left(\frac{B}{1000} \right)^2 \frac{f}{1000} \right\} f}{2 \cdot 10^2} \text{ watt} = W_{Fe} \quad (28)$$

gdzie M - masa żelaza w kg.

$$B = \frac{\phi_0}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

f - częstotliwość

Wpływ strat w żelazie na wartość wtórnej siły elektromotorycznej wyraża się dla normalnych cewek indukcyjnych zmniejszeniem jej o kilka procent

Żeby wprowadzić te straty w żelazie możemy przepuścić, że równoległe do końcówek nawojenia S , transformatora T_n jest włączony opór osowy R_{Fe} , który odpowiadałby następującym warunkom żeby prąd I_{Fe} któryby przeszedł przez ten fikcyjny opór dał te same straty w watach, które są wywołane w rdzeniu żelaznym, a więc:

$$J_{Fe}^2 R_{Fe} = W_{Fe}$$

$$J_{Fe} = \frac{e_1}{R_{Fe}}$$

$$J_{Fe} = \frac{e_1}{R_{Fe}} \quad R_{Fe} = \frac{e_1^2}{W_{Fe}}$$

Na podstawie tych dwóch równań z dwoma niewiadomymi możemy znaleźć J_{Fe} i R_{Fe}

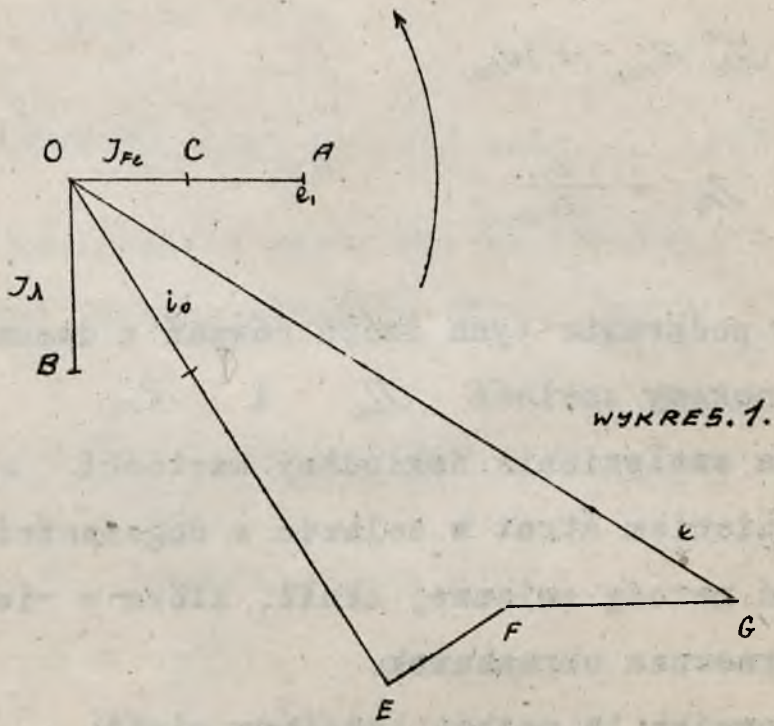
Dla znalezienia dokładnej wartości i_0 z uwzględnieniem strat w żelazie z dogodnością można stosować metodę zmiennej skali, która w wielu wypadkach upraszcza obrachunek.

Stosując tę metodę będziemy mieli

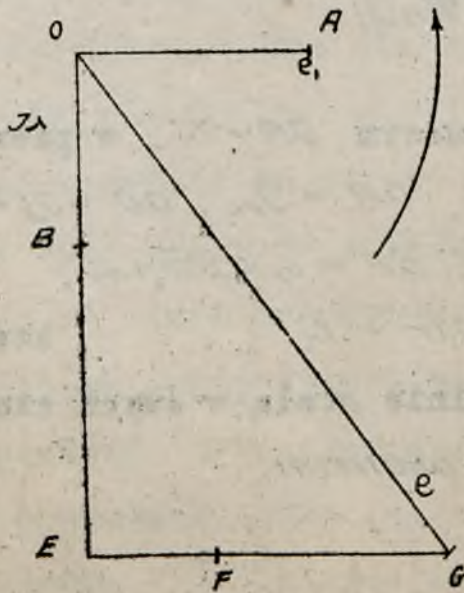
$$J_A = \frac{e_1}{2\pi n l_1}$$

był liniami

Na wykresie pierwszym $OA = e_1$, w pewnej określonej skali, $OB = J_A$, $OC = J_{Fe}$, $OD = J_A \neq J_{Fe} = i_0$; $OE = i_0 \cdot (\rho_0 + \rho + R_1)$; $EF = i_0 \cdot 2\pi n l_1$; $FG = OA = e_1$; $OG = e_1$, którą przyjęliśmy jako zupełnie stałą w swych skutecznych i maksymalnych wartościach.



WYKRES. 1.



WYKRES 2.

Na wykresie drugim do uwzględnienia strat w żelazie, mieliśmy

$OA = e$, w tej samej skali, co i na wykresie pierwszym $OB = I_A = i_0$ bez uwzględnienia strat

$$OE = i_0 \cdot (\rho_0 + \rho + R_1); EF = i_0 \cdot 2 \sin \epsilon; FG = OA = e;$$

$OG = e$, przyjęte jako stałe.

Stosunek OG wykresu 2 do tejże wielkości OG wykresu 1, da nam współczynnik zmiany skali, który przy zmieszonych warunkach pozwoli nam znaleźć wszystkie interesujące nas wielkości.

Jak widzimy, straty w żelazie z powodu zmniejszenia się I_A , a więc i ϕ_0 stały się mniejszemi, przyczem zmniejszenie to przy fikcyjnym oporze proporcjonalne jest do drugiej potęgi indukcji, to jak wiadomo niezupełnie ma miejsce, ponieważ straty zależą i od B^2 i od B'' . Jednakże ponieważ różnica między obiema skalami jest, jak to było wspomniane stosunkowo nieznaczna, to jest współczynnik zmiany skali jest bliski do jedności i równy w praktycznych wypadkach od 0.85 do 0.99, więc tą niezupełną nieproporcjonalność można nie brać pod uwagę lub też dodatkowem obliczeniem, przerobivszy tę samą manipulację metodą stopniowego przybliżenia, osiągnąć żadaną dokładność. Współczynnik przemiany skali w dalszem rozważaniu

będziemy oznaczali przez ρ .

Zapomocą wyżej wskazanej metody, wzięwszy pod uwagę współczynnik przemiany skali ρ znajdziemy znacznie dokładniejszą wartość skuteczną wtórnej siły elektromotorycznej jako iloczyn $e_2 \cdot \rho$, a więc jeden z punktów zewnętrznej charakterystyki indukcyjnej cewki telefonicznej.

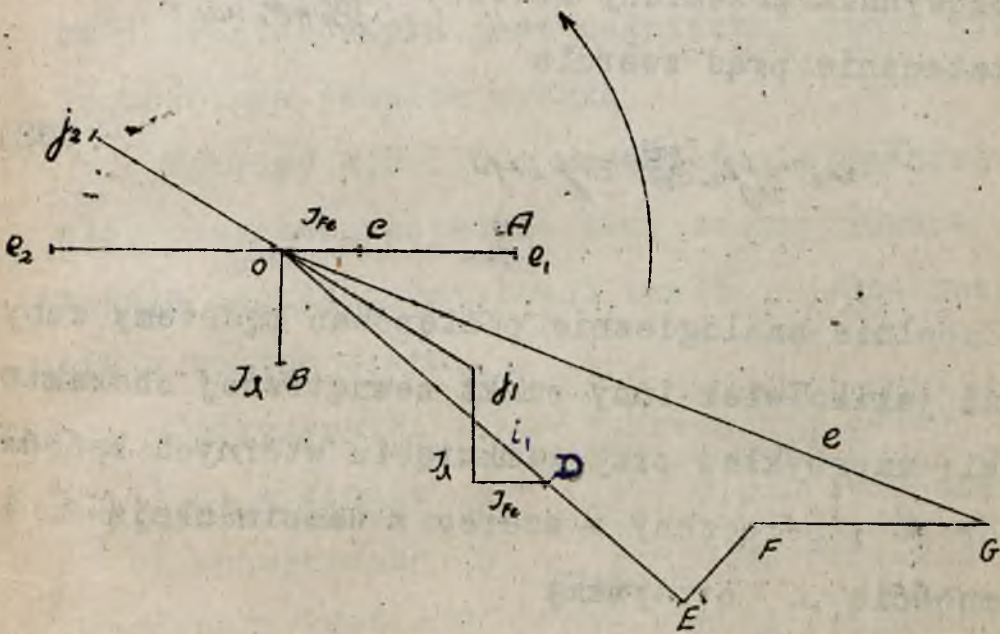
Żeby znaleźć dowolną ilość punktów zewnętrznej charakterystyki, z dogodnością można zastosować metodę zmiennej skali i przypuszczając, że końcówki wtórnego uzwojenia są zamknięte na sztuczny obwód z kombinacji oporów omowych pojemności i samoindukcji znaleźć wszystkie interesujące wielkości.

Uwzględnienie strat w żelazie można wprowadzić do rachunku w dowolnym momencie i dlatego też w dalszym rozpatrzeniu będą one wprowadzone pod koniec, to jest wtórna elektromotoryczna siła będzie przyjęta bez poprawki na stratę w żelazie, taką jaką byłaby, gdyby tych strat nie było, i dopiero pod koniec będzie wprowadzony wspólny współczynnik przemiany skali.

Żeby znaleźć drugi główny punkt zewnętrznej charakterystyki mianowicie prąd zwarcia według me-

tody zmiennej skali, postępujemy w następujący sposób:
 prąd zwarcia wyrażałby się gdyby e_2 było niezmiennem

$$j_2 = \frac{e_2}{\sqrt{R_2^2 + (2\pi n l_2)^2}} \dots \dots \dots (29)$$



WYKRES. 3.

j_1 różni się w fazie czasu o $\pi (180^\circ)$ od j_2 i wielkość będzie $OD = j_1$.

$$j_1 = j_2 \frac{Z_2}{Z_1} \dots \dots \dots (30)$$

Dodając geometrycznie do j_2 $OB = J_\lambda$ i $OC = J_{Fe}$ otrzymamy $OD = j_1$,

$$OE = i_1 \cdot (\rho_0 + \rho \cdot R_1)$$

$$EF = i_1 \cdot 2\pi n l_1 ; FG = e_1$$

$$OE \hat{=} EF \hat{=} FG = OG = e$$

spółczynnik przemiany skali $\rho = \frac{e, \text{ VOLT}}{OG \cdot e_1, \text{ VOLT}} \dots \dots (31)$

Ostatecznie prąd zwarcia

$$i_2 = j_2 \frac{e_1}{e} = j_2 \cdot \rho \dots \dots \dots (32)$$

Zupełnie analogicznie postępować będziemy żeby znaleźć jakikolwiek inny punkt zewnętrznej charakterystyki; na przykład przy zamknięciu wtórnych końcówek opór R , połączony w szereg z samoindukcją \mathcal{L} i pojemnością C otrzymamy

$$j_2 = \frac{e_2}{\sqrt{(R+R_2)^2 + \left\{ 2\pi n(\mathcal{L} + l_2) - \frac{1}{2\pi n C} \right\}^2}} \dots \dots (33)$$

Dalej zupełnie tak samo znajdziemy j_1, i_2, e i ρ

Napięcie wtórne η_2 będzie równe

$$\begin{aligned} \eta_2 &= j_2 \sqrt{R^2 + \left(2\pi n \mathcal{L} - \frac{1}{2\pi n C} \right)^2} \cdot \rho = \\ &= i_2 \sqrt{R^2 + \left(2\pi n \mathcal{L} - \frac{1}{2\pi n C} \right)^2} \dots \dots \dots (34) \end{aligned}$$

Bardzo ciekawem jest zjawisko, że zewnętrzna charakterystyka cewki indukcyjnej na obciążenie omowe leży niżej, niż charakterystyka indukcyjna, którą przewyższa charakterystyka pojemnościowa, co, jak wiadomo, nie odpowiada charakterystykom normalnych transformatorów z prądu zmiennego na zmienny, dla których indukcyjna charakterystyka jest najniższą, omowa wyższą i pojemnościowa jeszcze wyższą.

Wykresy 4, 5 i 6 w zupełności wyjaśniają to zjawisko, przyczem wszystkie trzy są narysowane w przypuszczeniu jednej początkowej skali i jednakowego obciążenia w woltamperach.

Spółczynniki te na wykresach w pewnej skali będą

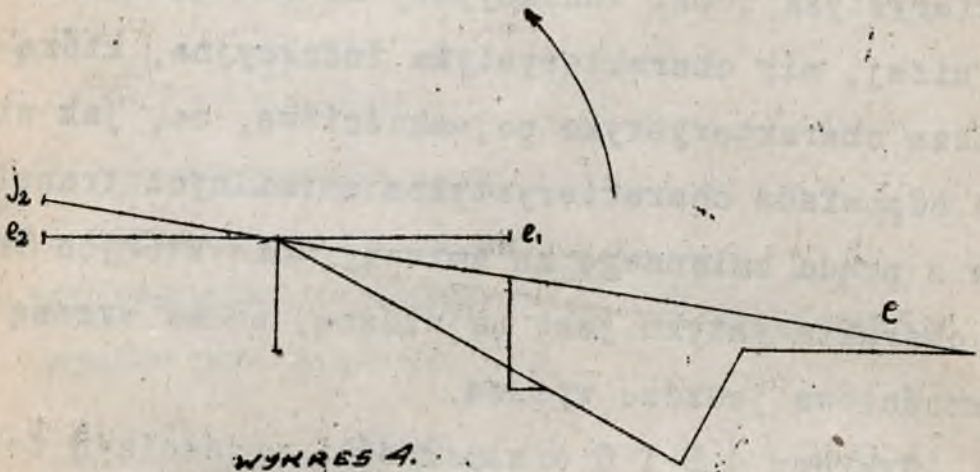
a) na wykresie 4 $p = 0,31$ (opór omowy)

b) na wykresie 5 $p = 0,32$ (indukcja)

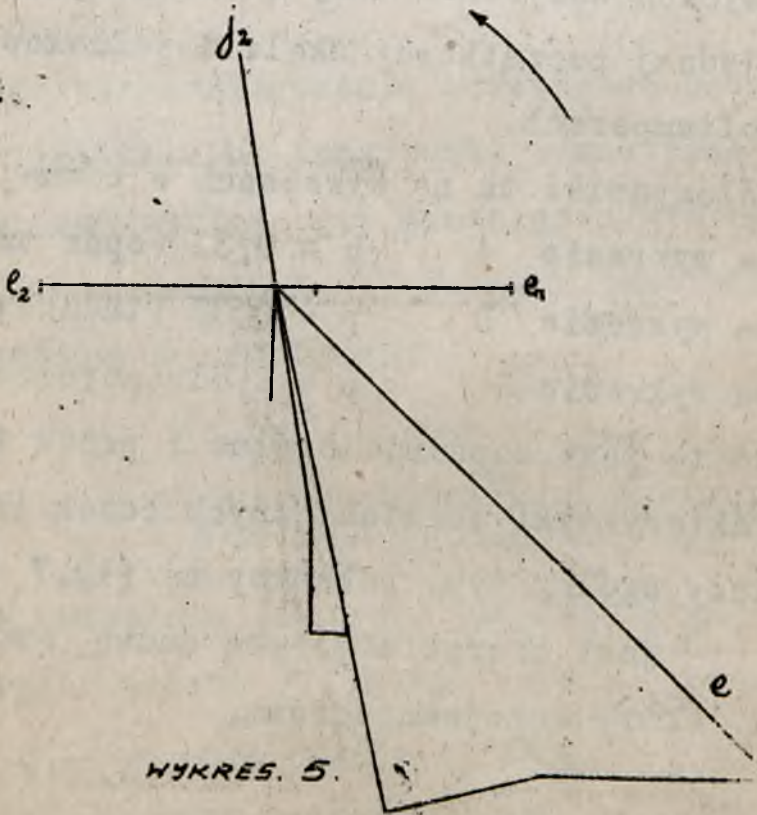
c) na wykresie 6 $p = 0,61$ (pojemność)

Zjawisko to jest zupełnie ogólne i przez to zewnętrzne charakterystyki telefonicznych cewek indukcyjnych będą miały ogólny typ, pokazany na fig. 7, przyczem

VRA jest charakterystyką omową, *VLA* - indukcyjną i *VCA* - pojemnościową.



WYKRES 4.



WYKRES 5.

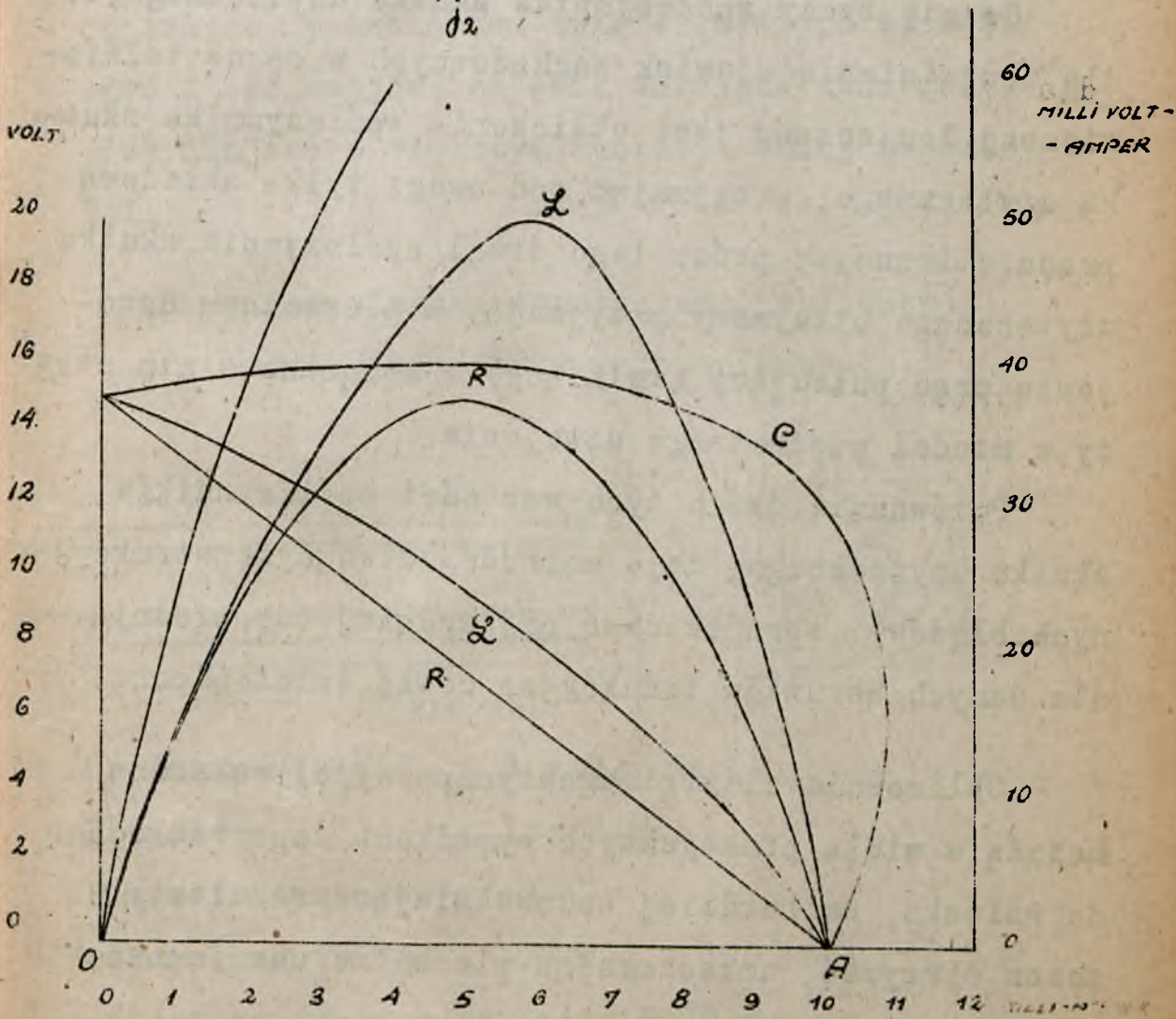
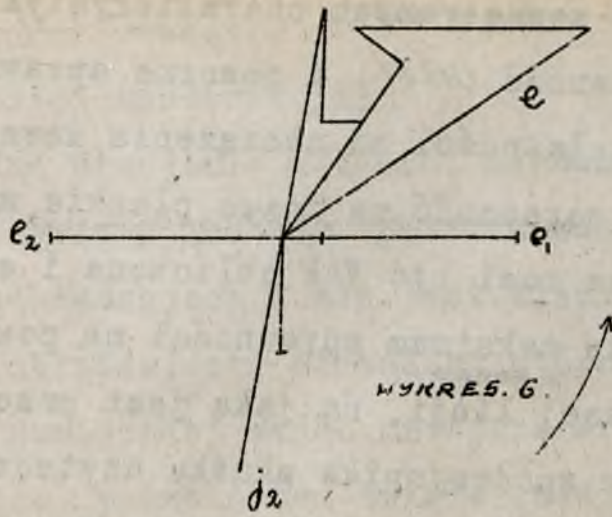


FIG. 7.

Stosownie do zewnętrznych charakterystyk, będziemy mieli sprawność ORA i pozorne sprawności OLA i OPA w zależności od obciążenia zewnętrznego.

Jak widzimy sprawność ma dosyć płaskie maksimum i cewka indukcyjna musi być tak obliczona i skonstruowana, żeby dawała maksimum sprawności na pozorny opór najtrudniejszej linii, na jaką jest przeznaczona.

Co się tyczy współczynnika skutku użytecznego, to dla uzupełnienia zjawisk zachodzących w cewce telefonicznej koniecznym jest obliczenie współczynnika skutku użytecznego, przyjmując pod uwagę tylko składową prądu zmiennego; prócz tego drugi współczynnik skutku użytecznego otrzymamy przyjmując w pierwotnym uzwojeniu prąd pulsujący (tętniący) i związane z nim straty w miedzi pierwotnego uzwojenia.

Porównanie dwóch tych wartości współczynników skutku użytecznego, daje możność uniknąć konstrukcyjnych błędów i sprojektować najbardziej odpowiednią dla danych warunków indukcyjną cewkę telefoniczną.

Obliczenie elektromagnetyczne wyżej wskazaną metodą w wielu praktycznych wypadkach doprowadza nas do wniosku, że bardziej zadawalniające rezultaty można otrzymać, umieszczając pierwotne uzwoje naze-

ątrz, a wtórne wewnątrz.

Przy takiej konstrukcji:

- a) pierwotne uzwojenie z dużymi stratami w miedzi, a więc ogrzewające się, posiada znaczną powierzchnię ochładzającą i nie jest cieplnie izolowane od ochładzającej atmosfery wtórnym
- b) wtórne uzwojenie, mając mniejszą średnią średnicę zwojów, pozwala, bez zwiększenia oporu, zwiększyć ilość zwojów, co jest wskazane szczególnie przy liniach o większym oporze i małej pojemności.

Przykład elektromagnetycznego obliczenia indukcyjnej cewki telefonicznej.

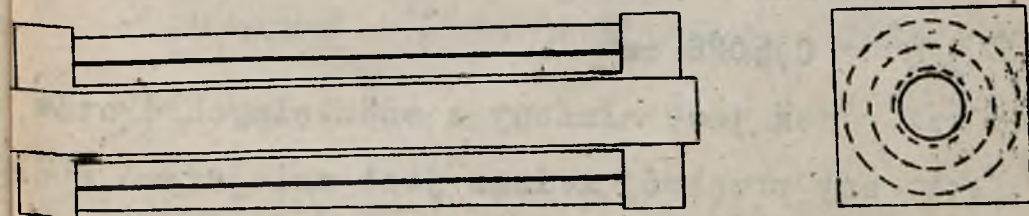


FIG. 8.

Średnica rdzenia $d = 0,8$ cm

Długość " $l = 9$ cm.

Pierwotne uzwojenie

$\varnothing 0,50$ mm. $0,196$ mm² $100 \times 4 = 400$ zwoi $1,5 \omega$

średnica drutu z izolacją $0,70$ mm.

Wtórne uzwojenie

$$\emptyset 0,23 \text{ mm. } 0,0415 \text{ mm}^2 \quad 273 \times 11 = 3000 \text{ zwoi } 750$$

Średnica drutu z izolacją 0,25 mm.

Średnia średnica pierwotnego uzwojenia = 1,3 cm

" " wtórnego " "

Długość drutu pierwotnego uzwojenia

$$1,3 \times \pi \times 400 = 16,3 \text{ m.}$$

$$\text{Opór} = \frac{16,4}{57} \frac{1}{0,196} = 1,4 \omega$$

Długość drutu wtórnego uzwojenia

$$1,9 \times \pi \times 3000 = 180 \text{ m}$$

$$\frac{180}{57} \frac{1}{0,0415} = 76,8 \omega$$

Przekrój rdzenia żelaznego

$$\frac{1}{4} \pi 0,8^2 = 0,5026 \text{ cm}^2$$

Ponieważ rdzeń jest złożony z oddzielnych drutów, to faktyczny przekrój żelaza jest mniejszy o współczynnik wypełnienia, który w danym wypadku równa się 0,9 i przekrój żelaza = 0,45 cm²

Objętość rdzenia:

$$0,45 \text{ cm}^2 \times 9 \text{ cm} = 4,05 \text{ cm}^3$$

Waga rdzenia:

$$4,05 \times 7,8 = 31,6 \text{ gramma}$$

Opór magnetyczny rdzenia według wzoru (4)

a) wewnętrzny, przyjmując $\mu = 1000$

$$\frac{9}{1000 \times 0,45} = 0,02 \text{ mW.}$$

b) zewnętrzny według wzoru $\frac{\ln(\frac{2l}{d}-1)}{l}$ (4)

$$\frac{\ln(\frac{18}{0,8}-1)}{9} = \frac{\ln 22,5}{9} = \frac{3,11}{9} = 0,347 \text{ mW}$$

c) zewnętrzny według wzoru $\frac{1-0,33\sqrt{\frac{l}{d}}}{d}$ (6)

$$\frac{1-0,33 \times 2,33}{0,8} = \frac{0,265}{0,8} = 0,332 \text{ mW}$$

Ponieważ $\frac{l}{d} = 11,2 > 10$ opór magnetyczny zewnętrzny należy brać według obliczenia b; trzecie obliczenie uskutecznione jest w danym wypadku tylko dla kontroli

Spółczynnik rozproszenia według wzoru (9)

$$\nu_1 = 1 - 0,01 \frac{l}{h} \cdot \frac{b}{2} \quad b = \frac{1,3}{0,8} = 1,63$$

$$\nu_1 = 1 - 0,01 \frac{9}{1} \cdot \frac{1,63}{2} = 1 - 0,09 \cdot 0,815 = 1 - 0,073 = 0,93$$

$$\nu_2 = 1 - 0,01 \cdot 9 \cdot 1,19 = 1 - 0,107 = 0,89$$

Spółczynnik samoindukcji według wzoru (10) i (11)

$$L_1 = \frac{4 \cdot \pi \cdot z^2}{m \cdot w} \nu_1 \cdot 10^{-9} \text{ henry} = \frac{12 \cdot 57 \cdot 400^2}{0,367} \cdot 0,93 \cdot 10^{-9} = 0,0051 \text{ H}$$

$$L_2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot z^2}{m \cdot w} \nu_2 \cdot 10^{-9} \text{ henry} = \frac{12 \cdot 57 \cdot 3000^2}{0,367} \cdot 0,89 \cdot 10^{-9} = 0,277 \text{ H}$$

Spółczynnik rozproszenia między uzwojeniami według

$$\mathcal{K} = 1 - (\mathcal{K}_1 - \mathcal{K}_2) = 0,96 \quad \text{wzoru (12)}$$

Spółczynnik wzajemnej indukcji według wzoru (13)

$$\mathcal{M} = \mathcal{K} \sqrt{L_1 L_2} = 0,036 \text{ henry.}$$

Pojemność pierwotnego uzwojenia (wzór (14))

$$\begin{aligned} & \left\{ \frac{1}{a-1} \frac{2l \cdot d}{2a(a-d)} + \frac{1}{z-1} \frac{2d}{2(a-d)} \right\} 10^{-6} \text{ MIKROF} = \\ & = \left\{ \frac{1}{3} \frac{1,3 \cdot 9 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,07 \cdot 0,02} + \frac{1}{399} \frac{1,3 \cdot 0,05}{2 \cdot 0,02} \right\} 10^{-6} \text{ MIKROF} = \\ & = (69,5 + 0,004) 10^{-6} \text{ MIKROF} = 69,5 \cdot 10^{-6} \text{ MIKROF} \end{aligned}$$

Pojemność wtórnego uzwojenia

$$\begin{aligned} & \left\{ \frac{1}{10} \frac{1,9 \cdot 9 \cdot 0,023}{2 \cdot 0,025 \cdot 0,002} + \frac{1}{2999} \frac{1,9 \cdot 0,023}{2 \cdot 0,002} \right\} 10^{-6} = \\ & = (394 + 0,003) 10^{-6} = 394 \cdot 10^{-6} \text{ MIKROF} \end{aligned}$$

Pojemność między uzwojeniami według wzoru (15)

$$\frac{2l}{2(a-d+3)} 10^{-6} = \frac{1,6 \cdot 9}{2 \cdot 0,061} 10^{-6} = 118 \cdot 10^{-6} \text{ MIKROF.}$$

Dla otrzymania zewnętrznej charakterystyki przy
puśćmy, że dana cewka pracuje w obwodzie baterji,
o stałej sile elektromotorycznej równej 4 voltom
przy oporze wewnętrznym 0,5 oma, i mikrofonu, na
który działają dźwięki o stałej sile i kilku róż-
nych częstotliwościach, a mianowicie 250, 500, 1000
2000 i 4000 drgań na sekundę.

Przypuśćmy, dla przykładu, że siła tych drgań jest taka, że prąd pulsujący w obwodzie mikrofonu, baterji i ekwiwalentnego opora miałby:

$$i_{max} = 500 \text{ ma}$$

$$i_{min} = 100 \text{ ma}$$

$$i = 300 \text{ ma}$$

Templece tego odpowiadają ton normalnym głosem prowadzonej rozmowy.

Sredni opór mikrofonu według wzoru (19)

$$\rho = \frac{E - 0,3(0,5 + 1,5)}{0,3} = \frac{4 - 0,6}{0,3} = 11,3 \omega$$

Minimalny opór mikrofonu

$$\frac{4 - 0,5 \cdot 2}{0,5} = 6 \omega$$

Maksymalny opór mikrofonu

$$\frac{4 - 0,1 \cdot 2}{0,1} = 38 \omega$$

Przyjmując opór mikrofonu za stały, musimy wprowadzić dodatkową fikcyjną zmienną elektromotoryczną siłę; według wzoru (19)

$$e_{max} = 0,2(0,5 + 11,3 + 1,5) = 2,66 \text{ VOLTA}$$

$$e_{ef} = e = 1,89 \text{ VOLTA} \quad (\text{wzór } 20)$$

Sprawdzając mamy

$$\frac{4 - 2,66}{13,3} = 0,5 a = 500 mA$$

$$\frac{4 - 2,66}{13,3} = 0,1 a = 100 mA$$

Znajdujemy wielkości l_1, λ_1, l_2 i λ_2

$$l_1 + \lambda_1 = L_1 = 0,0051$$

$$l_2 + \lambda_2 = L_2 = 0,277$$

$$\lambda_1 \lambda_2 = 0,036^2 = 0,0013$$

$$l_1 \cdot 0,277 = l_2 \cdot 0,0051 \text{ ALBO } \lambda_1 \cdot 0,277 = \lambda_2 \cdot 0,0051$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 \frac{0,0051}{0,277} = \lambda_2 \cdot 0,0184$$

$$\lambda_2^2 \cdot 0,0184 = 0,0013 \quad \lambda_2^2 = \frac{0,0013}{0,0184} = 0,0707$$

$$\lambda_2 = 0,266 \text{ HENRY} \quad \lambda_1 = 0,266 \cdot 0,0184 = 0,049 \text{ HENRY}$$

$$l_2 = 0,011 \text{ HENRY} \quad l_1 = 0,0002 \text{ HENRY.}$$

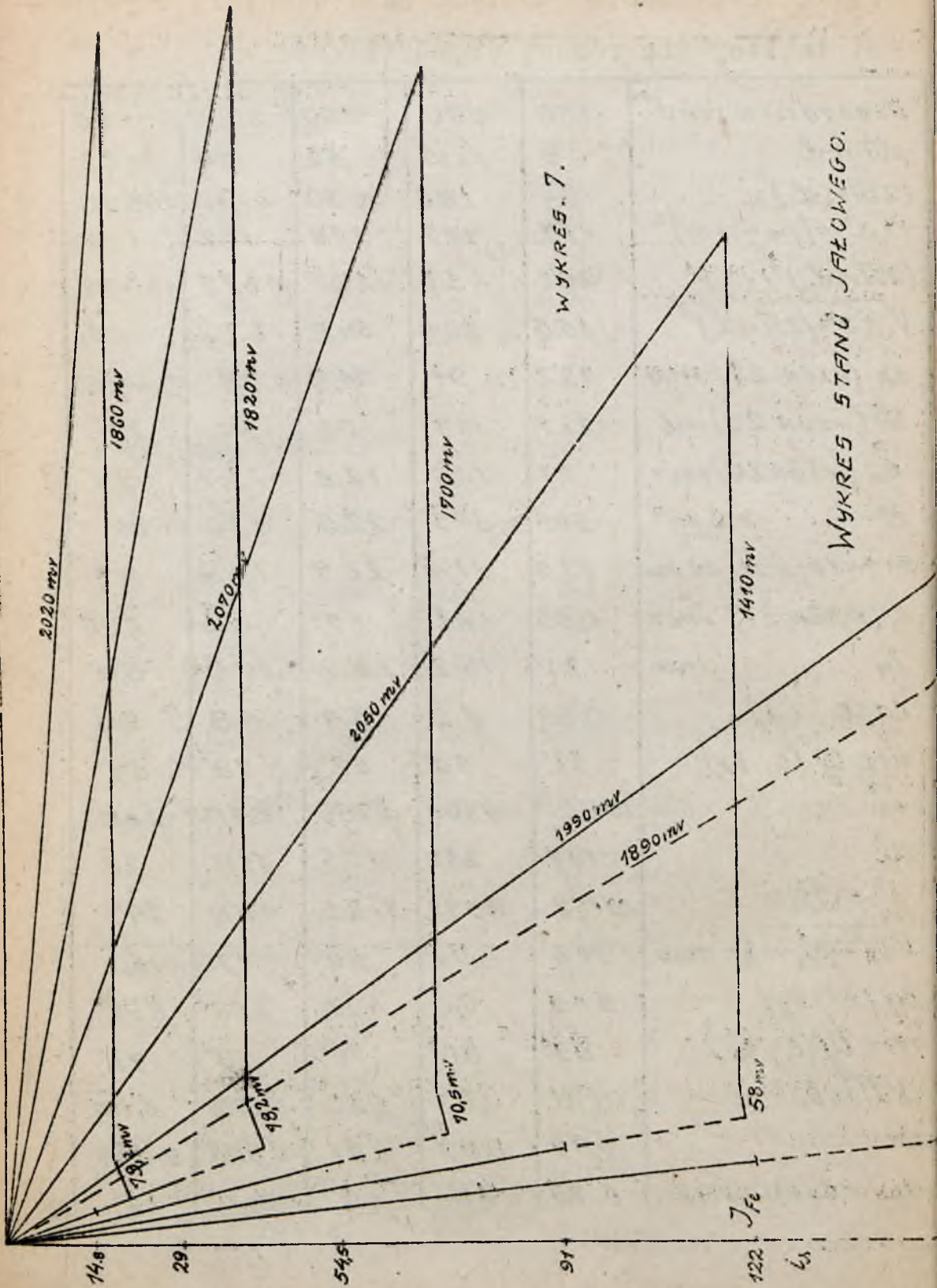
Stały strumień magnetyczny od średniej siły prądu
według wzoru (7)

$$\oint = \frac{0,4912 \cdot 0,3}{0,367} = 410 \text{ ml.}$$

$$\text{Indukcja} \quad \frac{410}{0,45} = 910 \text{ ml cm}^2$$

Dalsze obliczenia będziemy uskutecznieli w postaci tabelicy dla różnej częstotliwości.

CZĘSTOTLIWOŚĆ δ^1	250	500	1000	2000	4000
$2\pi nL$	8	16	32	64	128
$(2\pi nL)^2$	64	256	1030	4100	16400
$13,3^2 = (\rho_0 + \rho + r)^2$	177	177	177	177	177
$(2\pi nL)^2 + 13,3^2$	241	433	1207	4277	16577
$\sqrt{13,3^2 + (2\pi nL)^2}$	15,5	20,8	34,8	65,2	128
i_A (WZÓR 22) mA	122	91	54,5	29	14,8
Φ (WZÓR 23) mV	227	169	101	54	27,5
e_2 (WZÓR 26) VOLT	7,1	10,6	12,8	13,7	13,9
B — — — mV cm ²	505	375	225	120	61
STRATY WZELAZ. mW	12,2	21,4	22,5	19,9	9,7
e_1 (WZÓR 27) VOLT	0,95	1,41	1,7	1,82	1,86
J_{Fe} mA	12,9	15,2	13,2	10,9	5,2
$\text{tg}(e, i_A)$	0,60	1,2	2,4	4,8	9,6
$\text{arc tg}(e, i_A)$	31°	50°	67°	78°	84°
i_A^2	15000	8300	2980	840	220
J_{Fe}^2	167	232	175	118	27
$i_A^2 + J_{Fe}^2$	15167	8532	3155	958	247
$\sqrt{i_A^2 + J_{Fe}^2} = i_0$ mA	123	92	56	31	15,7
$\text{tg}(e, i_0)$	9,45	6,0	4,15	2,66	2,96
$\text{arc tg}(e, i_0)$	83°	80°	76°	70°	71°
$2\pi nL$	0,31	0,63	1,26	2,52	5,04
ρ	0,95	0,92	0,91	0,905	0,935
$e_2 = e_2 + \rho$ VOLT	6,75	9,8	11,6	12,4	13



WYKRES 7.

WYKRES STANU JAZŁOWEGO.

Znaleźliśmy η_2 to jest napięcie stanu jałowego, a więc pierwszy główny punkt zewnętrznej charakterystyki z uwzględnieniem strat w żelazie.

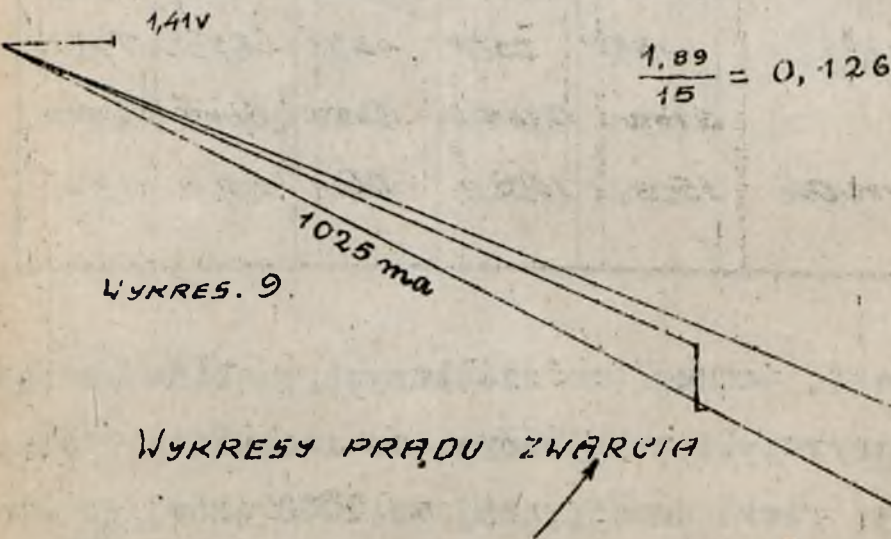
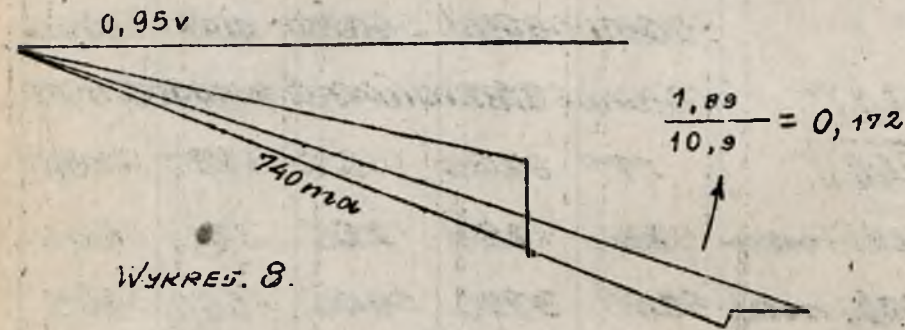
Dla prądu zwarcia otrzymujemy tablicę:

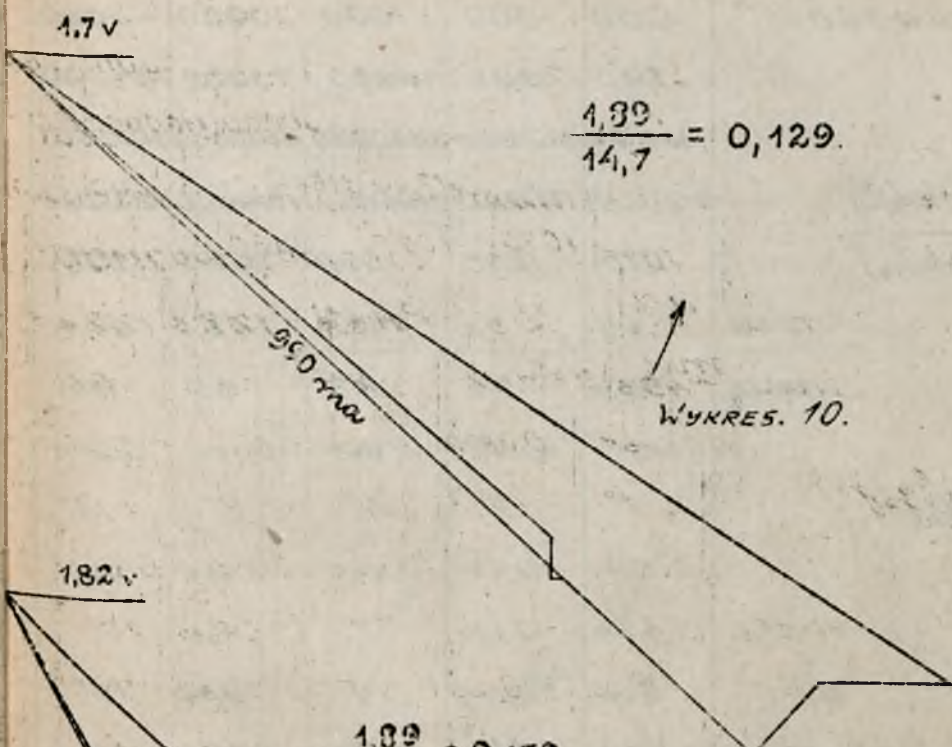
CZĘSTOTLIWOŚĆ. s^{-1}	250	500	1000	2000	4000
$2\pi l_2 n$	17	34,5	69	138	276
$(2\pi l_2 n)^2$	290	1200	4800	19000	76000
$R_2^2 = 75^2$	5650	5650	5650	5650	5650
$R_2^2 + (2\pi l_2 n)^2$	5940	6850	10450	24650	81650
$\sqrt{R_2^2 + (2\pi l_2 n)^2}$	77	82,5	102	157	286
j_2 [WZÓR 29] mA	92,5	129	125	87,5	48,5
j_1 [WZÓR 30]. mA	690	970	940	650	365
$\operatorname{tg}(e_2, j_2)$	0,227	0,46	0,92	1,84	3,70
$\operatorname{arc} \operatorname{tg}(e_2, j_2)$	13°	25°	43°	61,5°	75°
ρ (31)	0,172	0,126	0,129	0,179	0,277
i_2 (32) mA	15,8	16,2	16,1	15,7	13,4.

Dla określenia jednego ze środkowych punktów zewnętrznej charakterystyki przypuścmy, że zamkniemy wtórny obwód naszej cewki indukcyjnej na 1000 omów, co dla omawianej cewki da warunki, przy których cewka da maksimum sprawności.

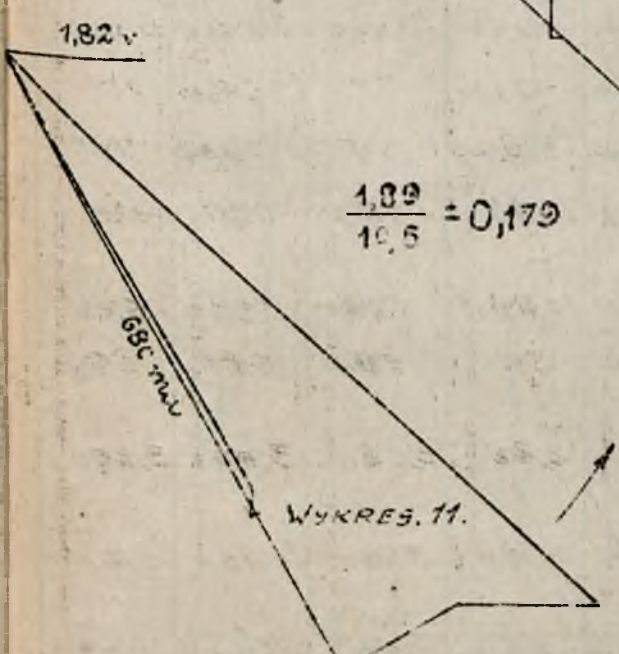
Dla otrzymania odpowiednich punktów zewnętrznych charakterystyk indukcyjnej i pojemnościowej, badawcy przypuszczali że wtórny obwód jest zamknięty przez 1000 pozornych omów, a więc:

Częstość f	250	500	1000	2000	4000
Samoodukcja	0,64H	0,32	0,16	0,08	0,04 H
Pojemność	0,64 μ F	0,32	0,16	0,08	0,04 μ F

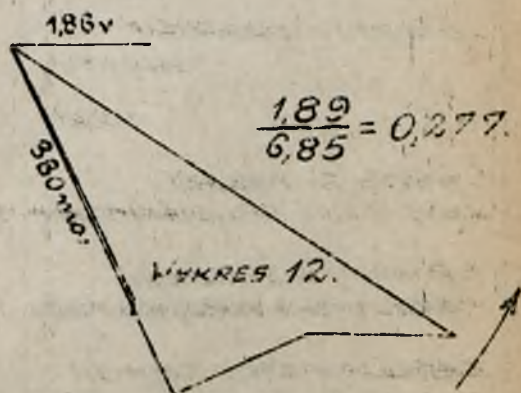




$$\frac{1,89}{14,7} = 0,129$$



$$\frac{1,89}{19,5} = 0,179$$

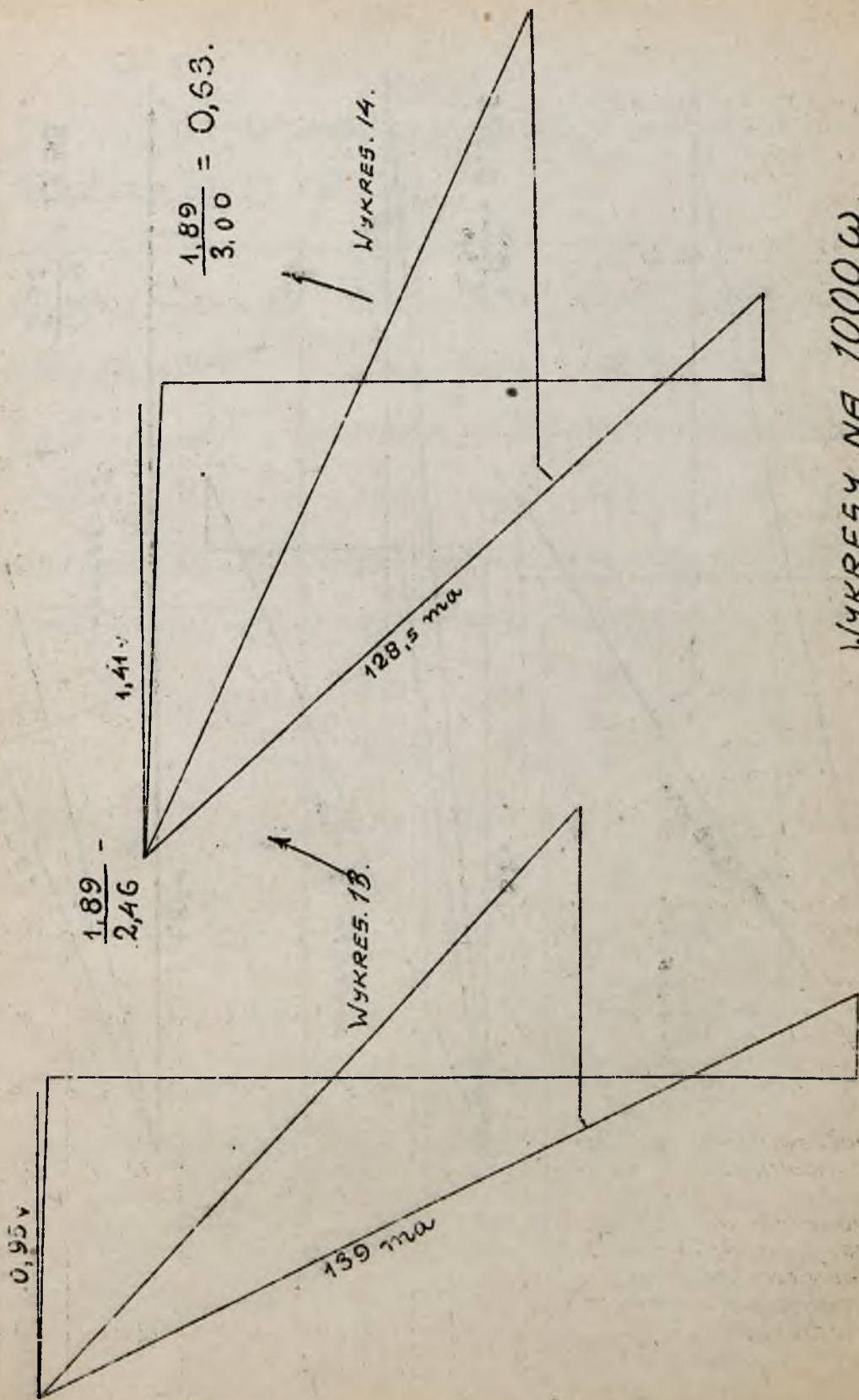


$$\frac{1,89}{6,85} = 0,277$$

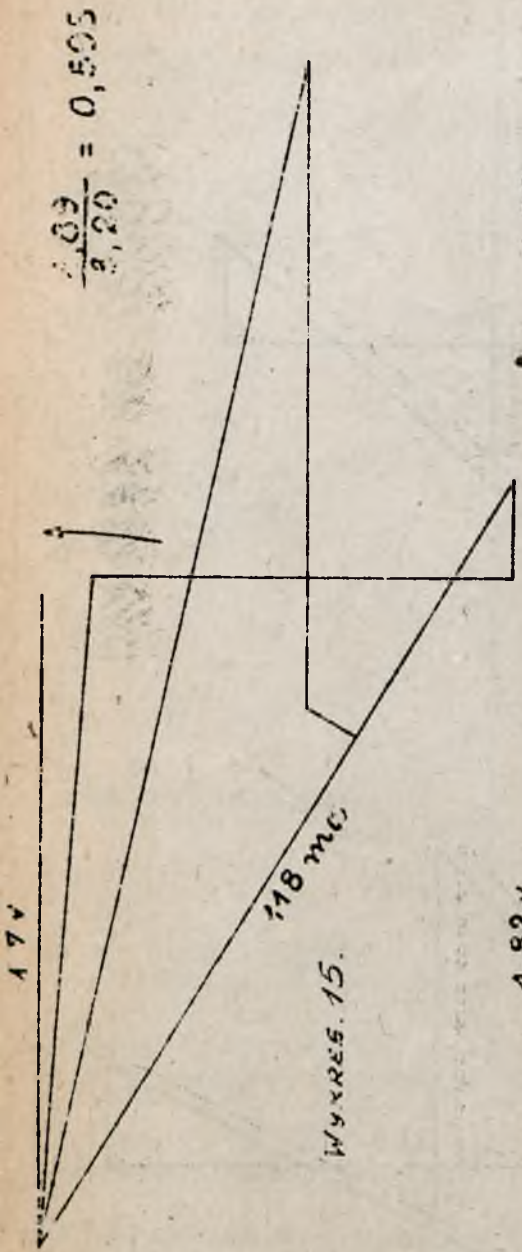
WYKRESY PRĄDU ZWARCIĘ

Dla operu wewnętrzznego równego 1000 " , otrzymujemy:

$S_{ZESTOTLIWOŚĆ \cdot S^{-1}}$		250	500	1000	2000	4000
$(2\pi n l_2)^2$		290	1200	4800	19000	76000
1075^2		1160000	1160000	1160000	1160000	1160000
$1075^2 + (2\pi n l_2)^2$		1160290	1161200	1164800	1179000	1236000
$\sqrt{1075^2 + (2\pi n l_2)^2}$		1075	1075	1080	1085	1110
j_2	mA	6,6	9,9	11,8	12,6	12,5
j_2	mA	49,5	94	88	95	94
$tg(e_2, j_2)$		0,0157	0,0322	0,064	0,137	0,248
$arc\ tg(e_2, j_2)$		1°	2°	4°	8°	14°
ρ		0,765	0,63	0,595	0,565	0,56
i_2	mA	5,05	6,25	7	7,15	7
η_2	VOLT.	5,05	6,25	7	7,15	7
W_2	MWATT	25,5	39	49	51	49
STRATY W ŻELAZIE						
	MWATT.	9,3	13,5	13,4	11,2	5,4
U_1	mA	106	81	70	64	59
STRATY W MIEDZI						
WTÓRNEGO UZWOJENIA MW.		1,91	2,92	3,58	3,83	3,68
STRATY W MIEDZI						
PIERWOTNEGO UZWOJENIA MW.		16,9	9,8	7,35	6,15	5,2
ENERGJA PRADU ZMIEN-						
NEGO POCHŁONIĘTA MW.		53,6	65,2	73,5	72,2	63,3
SPÓŁCZYNNIK UŻYTECZNEGO						
DZIAŁANIA.		0,47	0,60	0,67	0,71	0,77
SPÓŁCZYNNIK UŻYTECZ-						
NEGO DZIAŁANIA Z UWZGLĘ-						
DNIE NIEM STRAT OD PRADU						
TĘTNIAJĄCEGO W PIERWOTNEM						
UZWOJENIU		0,15	0,22	0,24	0,25	0,25

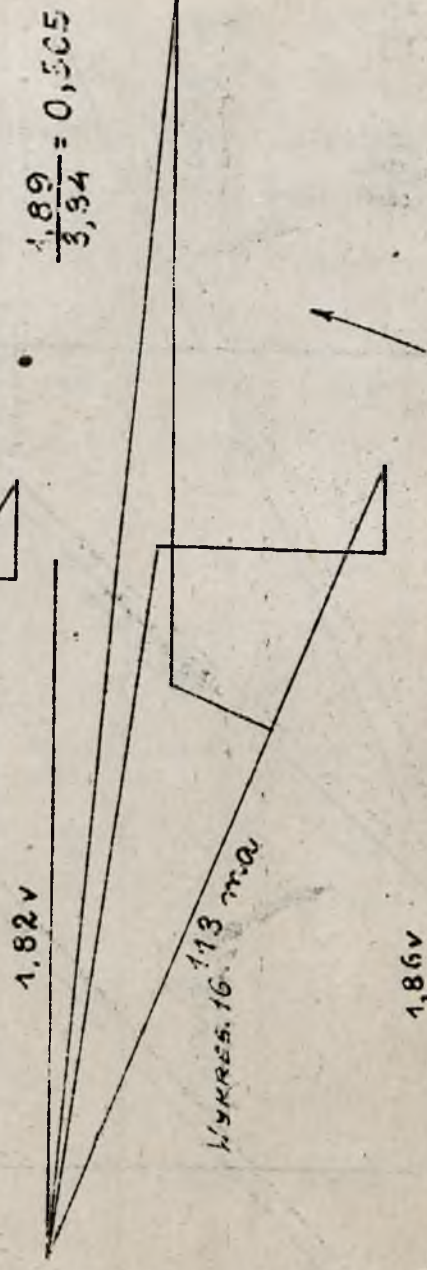


WYKRESY NA 1000 ω .



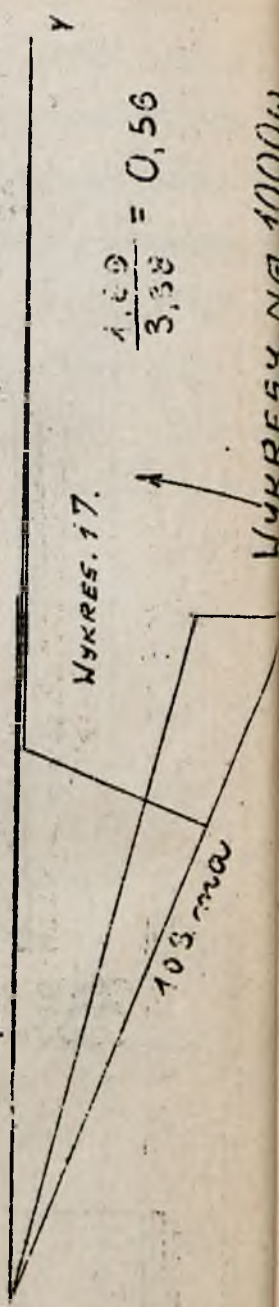
$$\frac{1.89}{3.20} = 0.5906$$

WYKRES. 15.



$$\frac{1.89}{3.94} = 0.4797$$

WYKRES. 16.



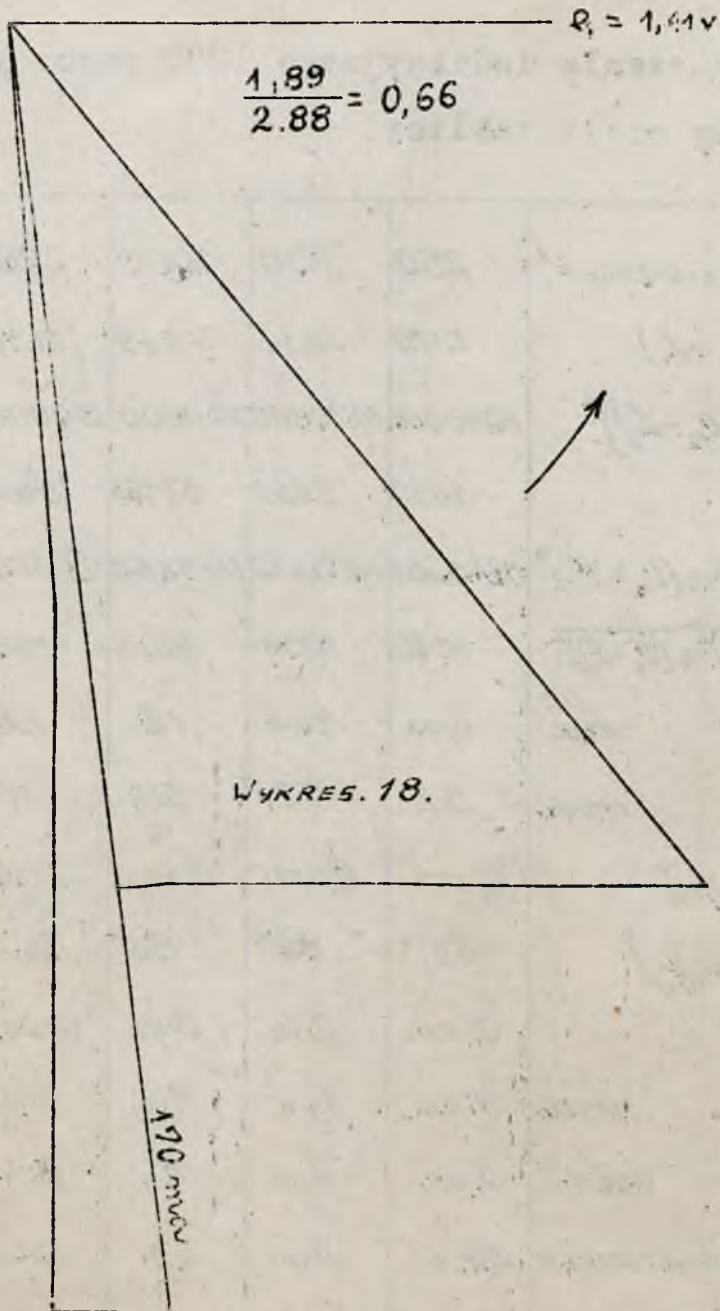
$$\frac{1.89}{3.38} = 0.5592$$

WYKRES. 17.

WYKRESY NR 1000W

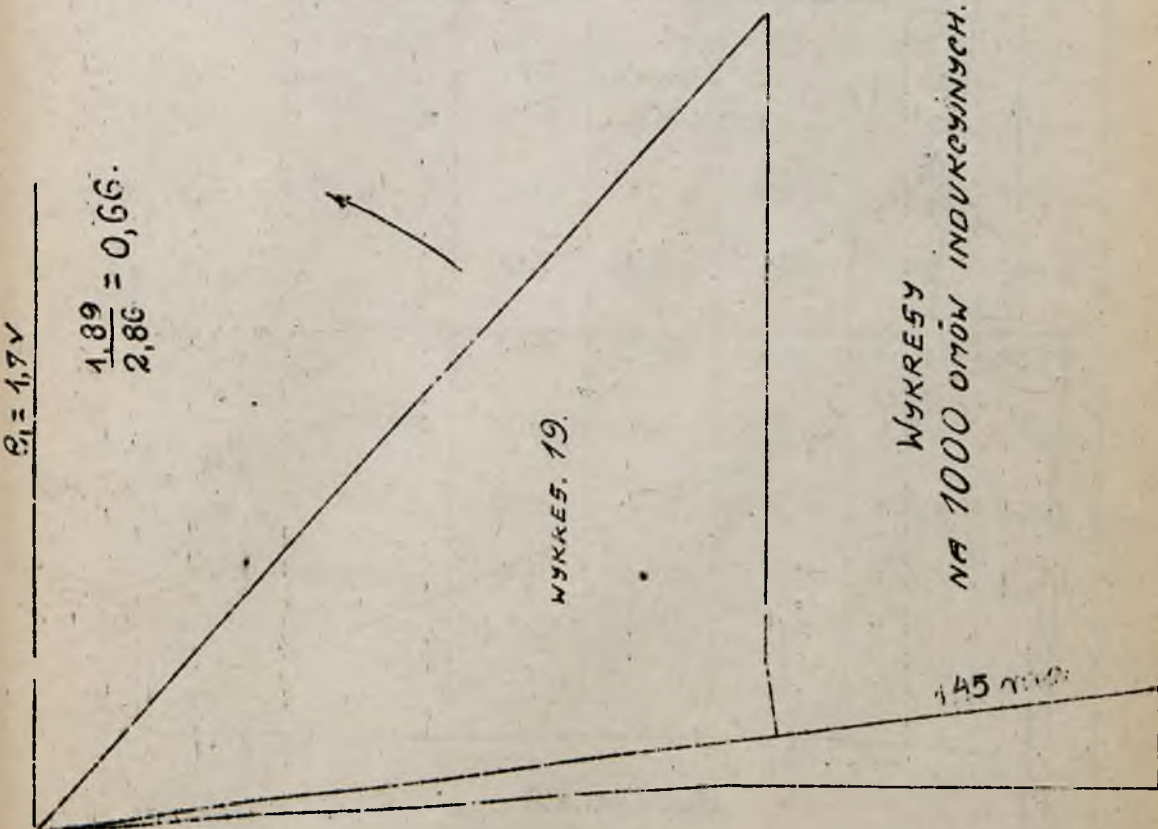
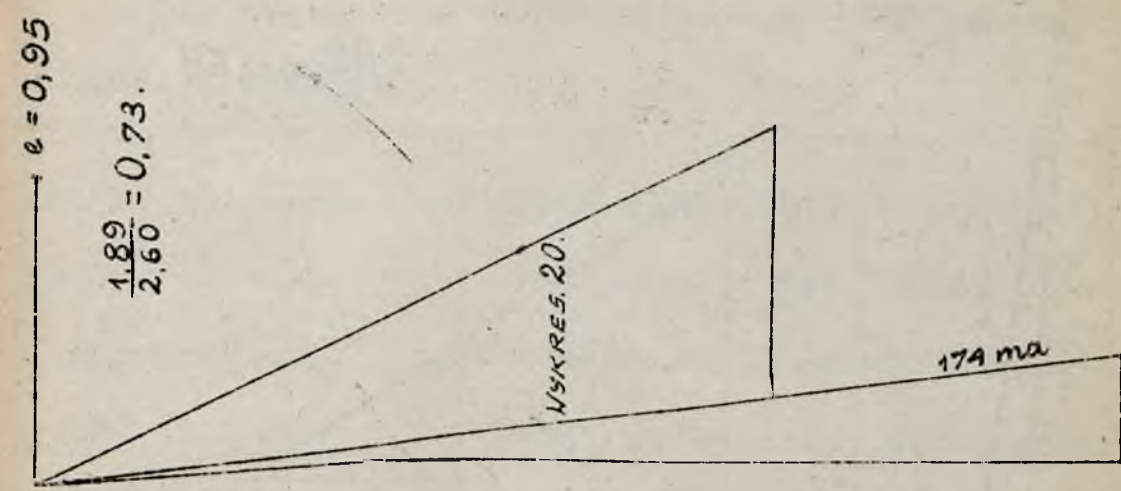
Dla obciążenia indukcyjnego 1000 pozoranych omów,
 będziemy mieli tablicę:

CZĘSTOTLIWOSC. \bar{f}^1	250	500	1000	2000	4000
$2\bar{f}n(l_2+L)$	1070	1034	1069	1138	1276
$\{2\bar{f}n(l_2+L)\}^2$	1040000	1070000	1140000	1300000	16300000
75^2	5650	5650	5650	5650	5650
$75+\{2\bar{f}n(l_2+L)\}^2$	1045650	1075650	1145650	1305650	1635650
$\sqrt{75+\{2\bar{f}n(l_2+L)\}^2}$	1020	1034	1069	1138	1276
f_2 ma	6,95	10,3	12.	12.	11.
f_1 ma	52	77.	90	90	82,5
$\text{ctg}(e_2, f_2)$	0,072	0,071	0,070	0,066	0,059
$\text{arctg}(e_2, f_2)$	86°	86°	86°	86,5°	87°
ρ	0,73	0,66	0,66	0,68	0,70
U_2 ma	5,05	6,8	7,9	8,1	7,7
m_2 VOLT.	5,05	6,8	7,9	8,1	7,7
$U_2 m_2$ MVOLTAMPER	25,5	46	63	64	59

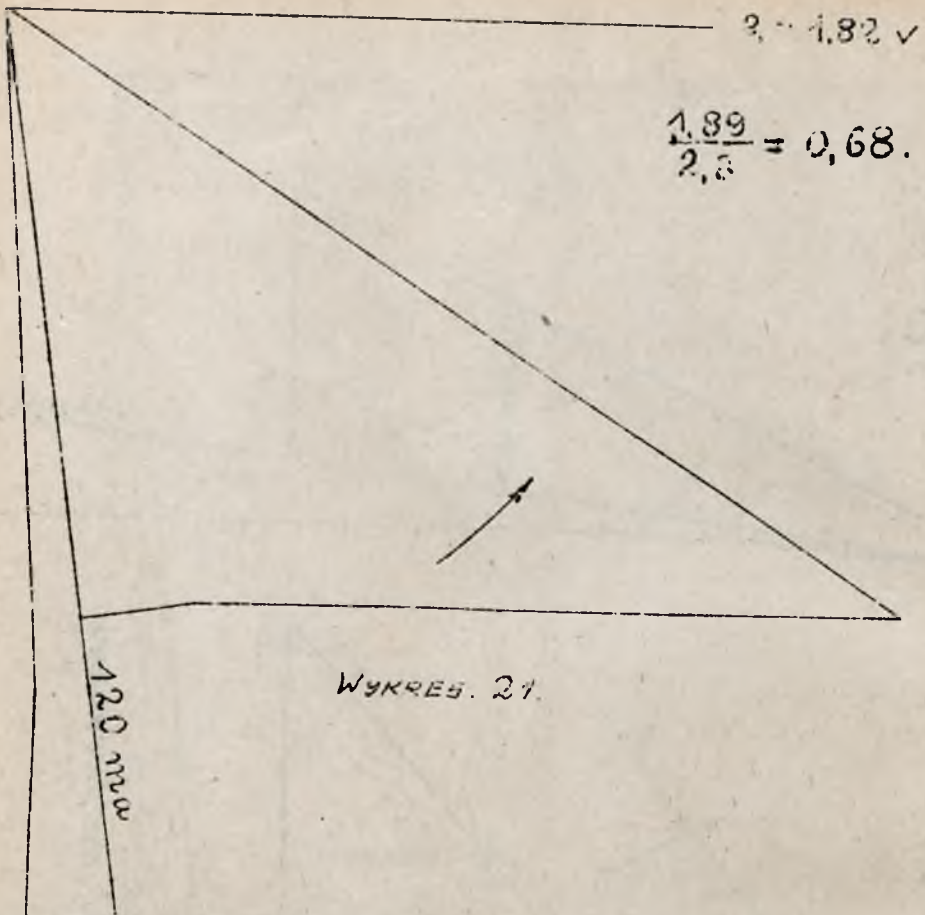


WYKRES NA 1000 OMÓW INDUKCYJNYCH.

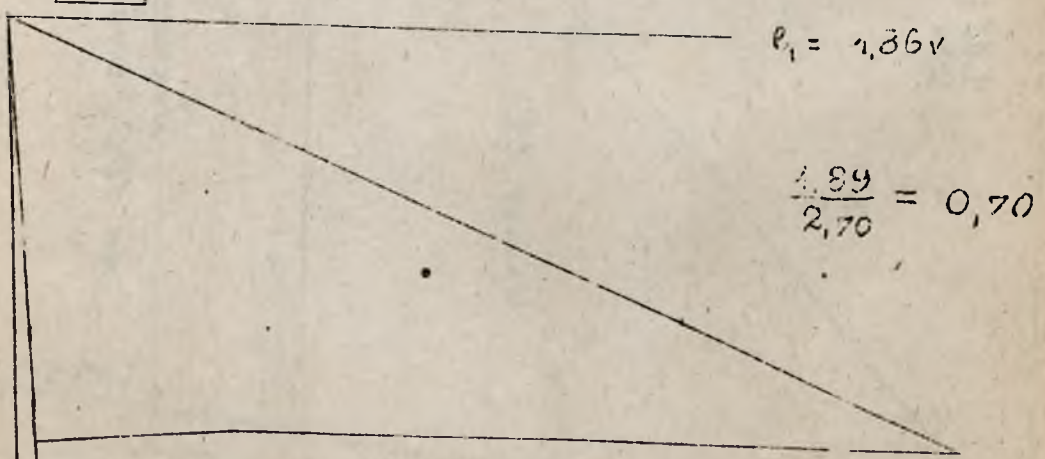
19,3-25
0,66-11



WYKRESY
NA 1000 OMIŁOW INDUKCYJNYCH.



WYKRES. 21.

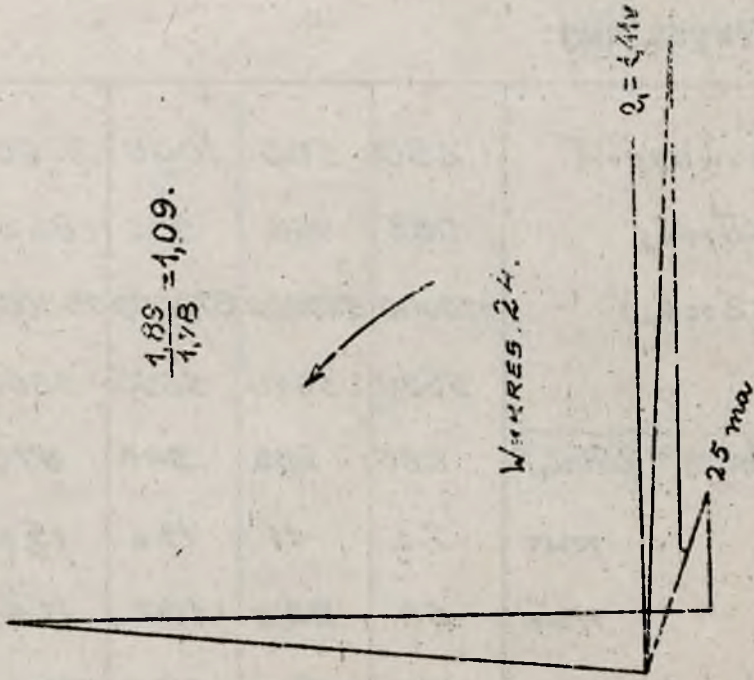
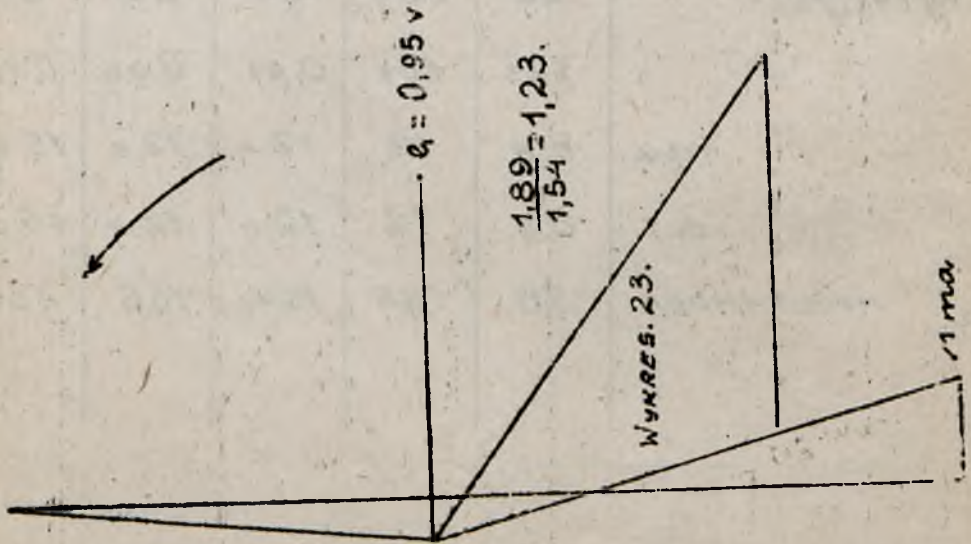


WYKRES. 22.

WYKRESY NA 1000 OMÓW INDUKCYJNYCH.

Dla obciążenia pojemnościowego 1000 pozornych
omów strzymujemy:

CZĘSTOTLIWOŚĆ f'	250	500	1000	2000	4000
$\frac{1}{297n.c} - 297n.l_2$	983	966	931	862	724
$(\frac{1}{297n.c} - 2n.l_2)^2$	970000	930000	870000	750000	520000
75^2	5650	5650	5650	5650	5650
$\sqrt{75^2 + (\frac{1}{297n.c} - 297n.l_2)^2}$	985	986	940	870	728
f_2 ma	7,2	11	13,6	15,8	19,2
f_1 ma	54	82,5	102	11,9	144
$tg(e_{21}, f_2)$	14,1	12,9	12,4	11,5	9,7
$arctg(e_{21}, f_2)$	86	85,5	85	85	84
ρ	1,23	1,09	0,91	0,82	0,79
U_2 ma	8,8	12	12,4	12,9	15,2
μ_2 VOLT	8,8	12	12,4	12,9	15,2
$U_2 \mu_2$ MVOLTAMPER	78	144	154	166	230



WYKRESY NA 1000 W POJEMNOSCOWYCH.

$$\frac{1,89}{2,08} = 0,91.$$

$$\frac{1,89}{2,3} = 0,82.$$

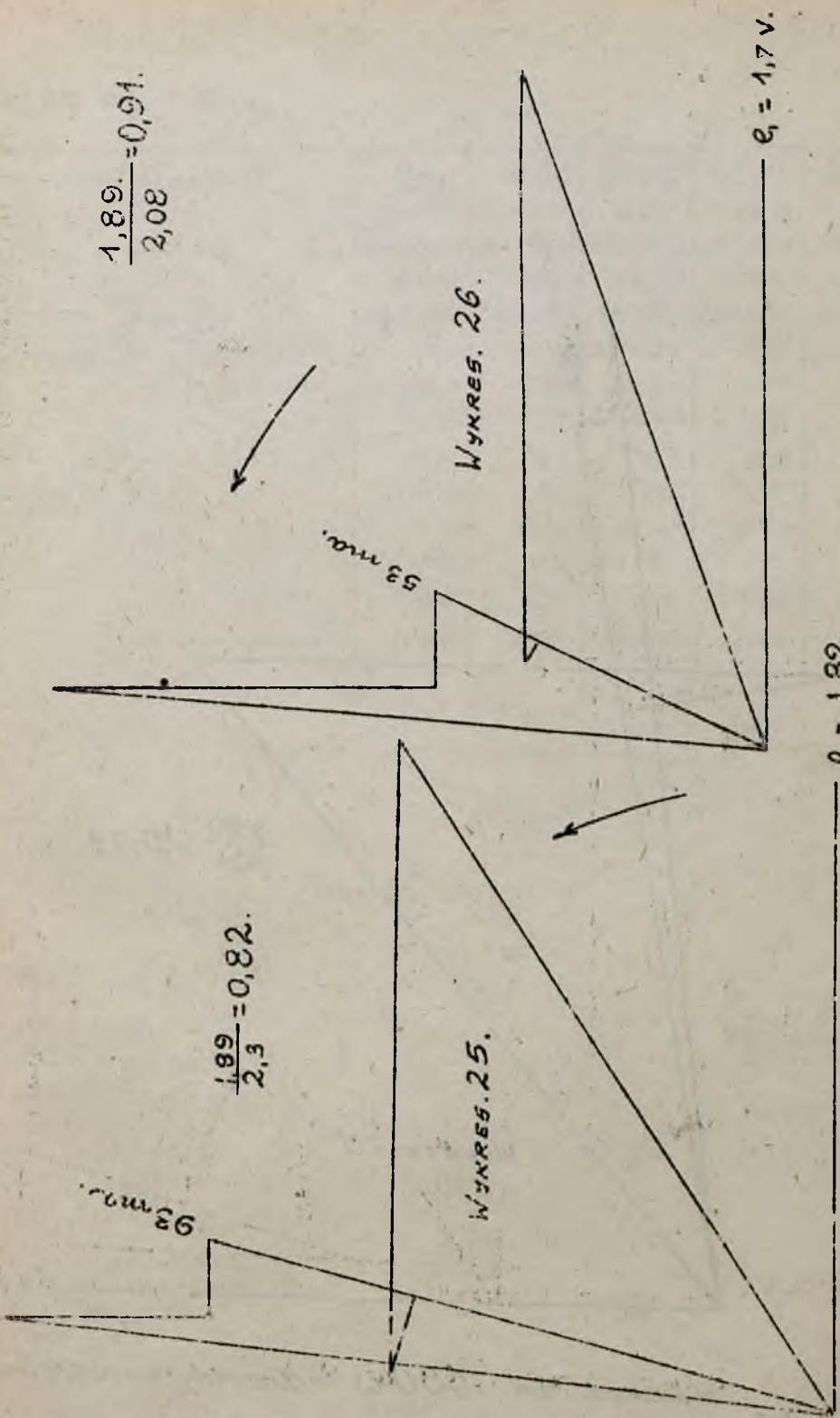
$$e_1 = 1,7 v.$$

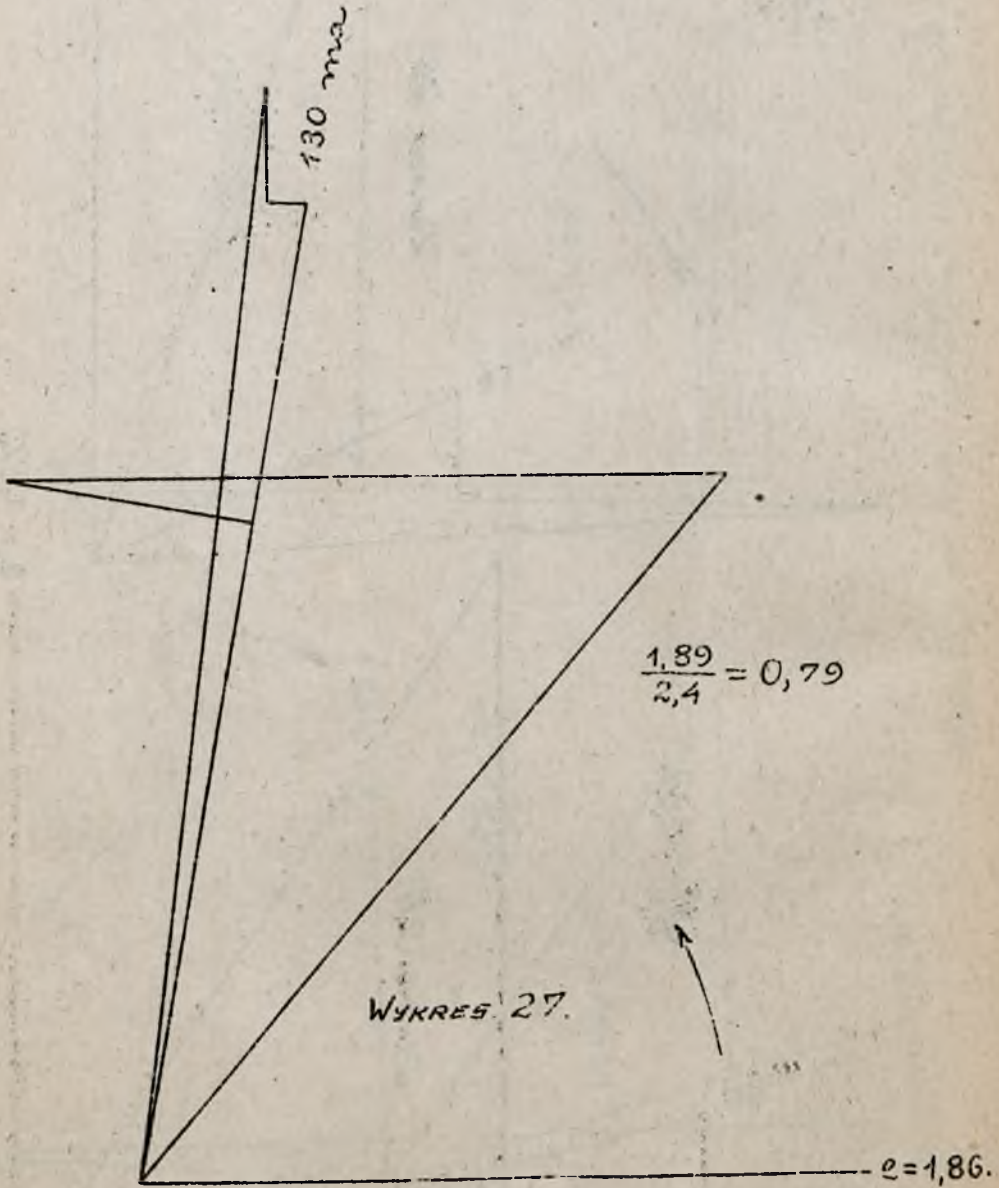
$$e_1 = 1,82.$$

Wykres. 26.

Wykres. 25.

Wykresy na 1000 w pojemnościowych.

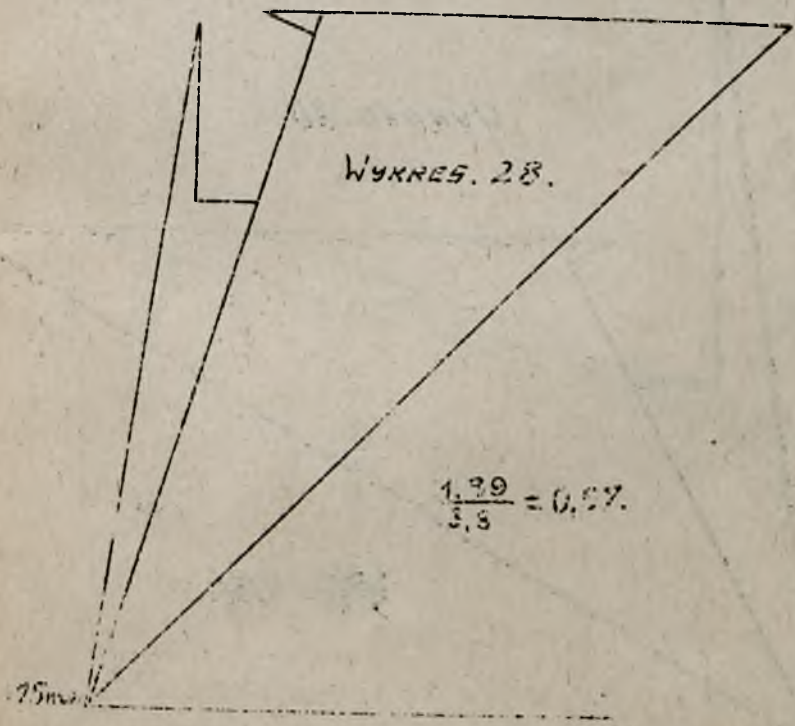




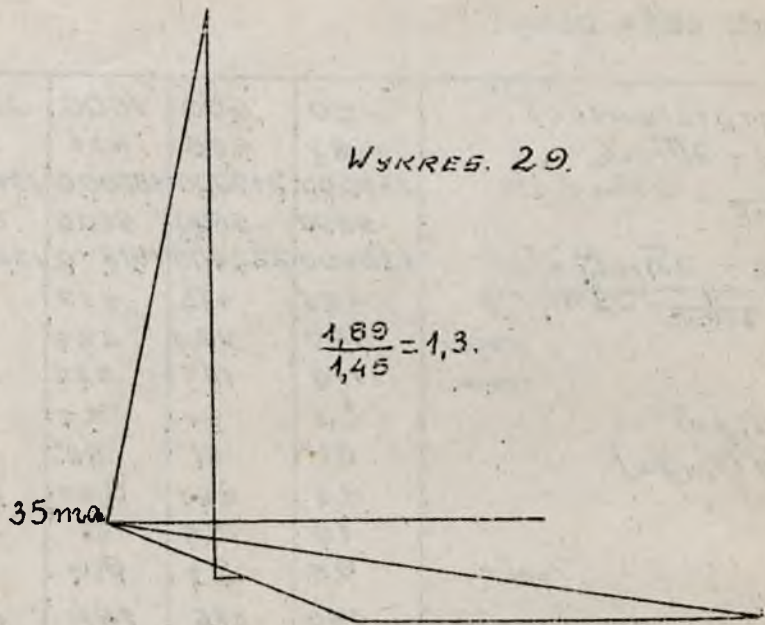
WYKRES NA 1000 W POJEMNOSCIOWYCH.

Dla obciążenia pojemnościowego 500 pozornych omów mocy:

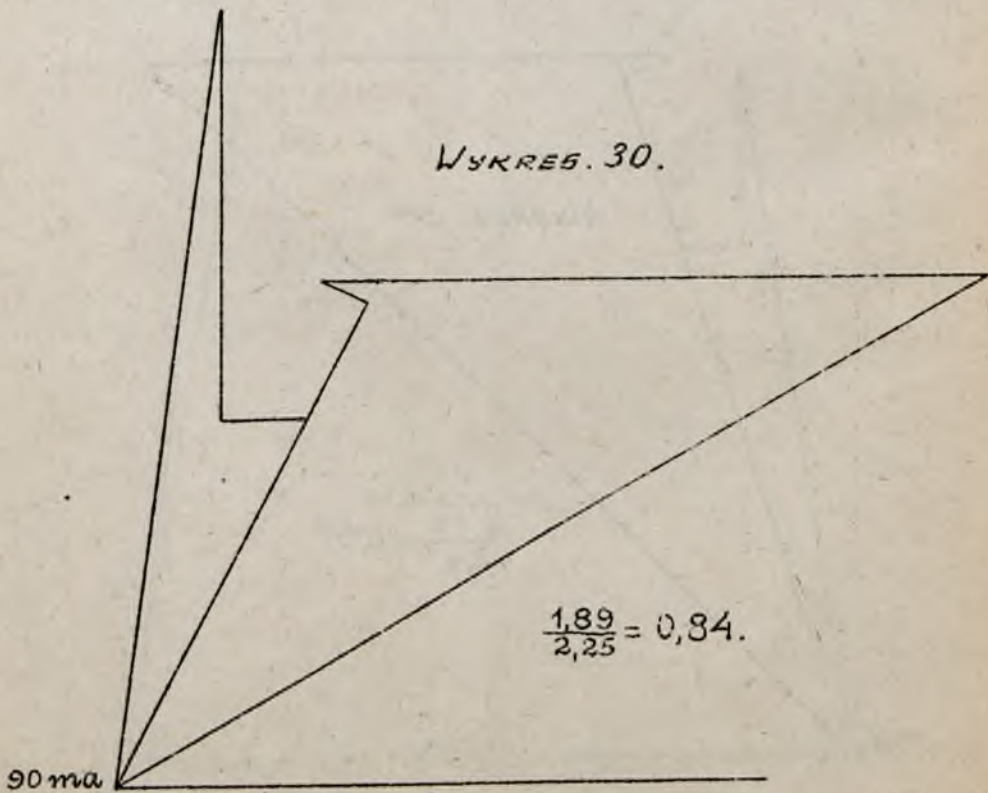
CZĘSTOTLIWOŚĆ: 5'	250	500	1000	2000	4000
$\frac{1}{2\pi n c} - 2\pi n l_2$	483	465	431	362	224
$(\frac{1}{2\pi n c} - 2\pi n l_2)^2$	233000	217000	186000	131000	50000
$\frac{1}{75^2}$	5600	5600	5600	5600	5600
$(\frac{1}{2\pi n c} - 2\pi n l_2)^2 + 75^2$	235600	222600	191600	136600	55600
$\sqrt{75^2 + \frac{1}{2\pi n c} - 2\pi n l_2}$	485	475	437	370	235
j_2 ma.	14,7	22,3	29,8	37	59
j_1 ma.	110	167	223	278	442
$\text{tg}(l_2, j_2)$	6,5	6,3	5,7	4,8	3
$\text{arc tg}(l_2, j_2)$	81°	81°	80°	78°	72°
ρ	1,3	0,84	0,57	0,46	0,295
U_2	19	18,8	17	17	17,4
N_2 VOLT.	9,5	9,4	8,5	8,5	8,7
W_2 MVOLTAMPER.	180	176	144	144	152

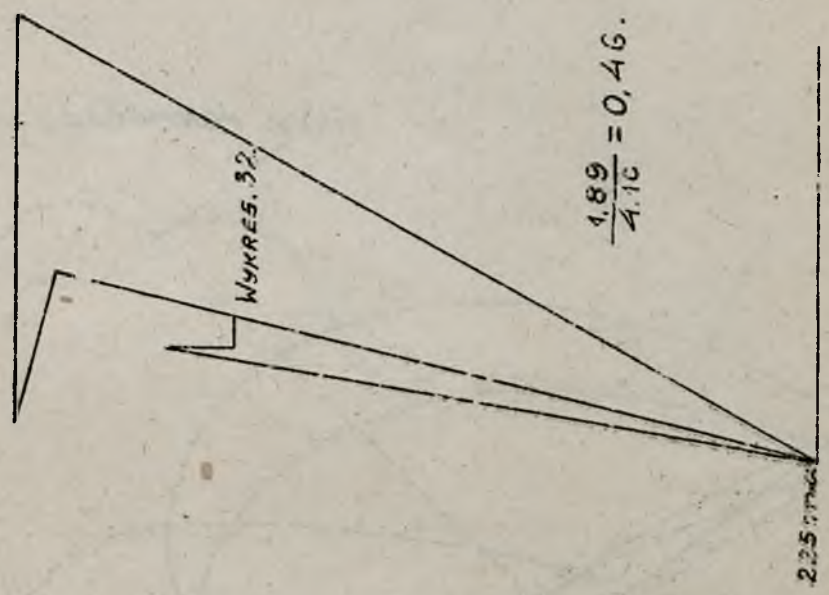
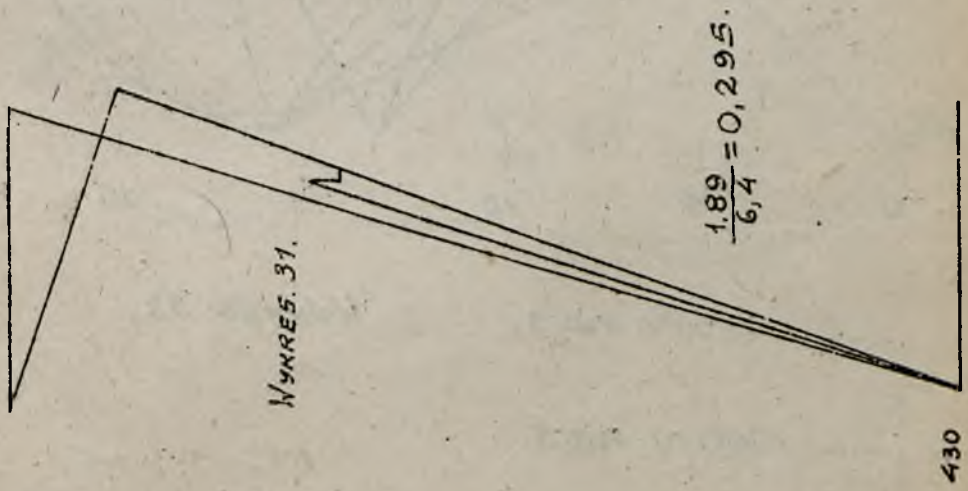


WYKRES. 29.



WYKRES. 30.





V
25. —

m.v.s.
— 25'.

20. —

m.v.v. POJEMNOSTĚ.

— 200

15. —

— 150

10. —

— 100

5. —

— 50

0

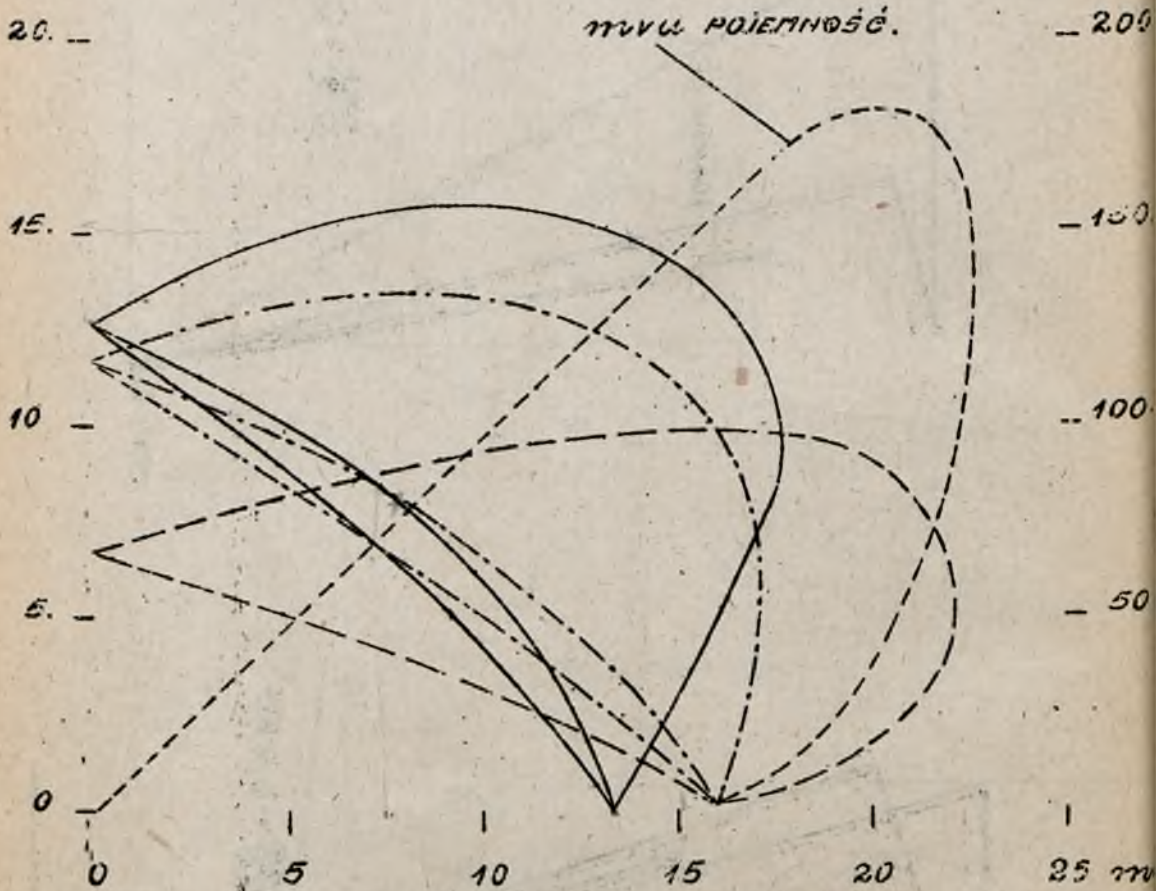
0 5 10 15 20 25 m

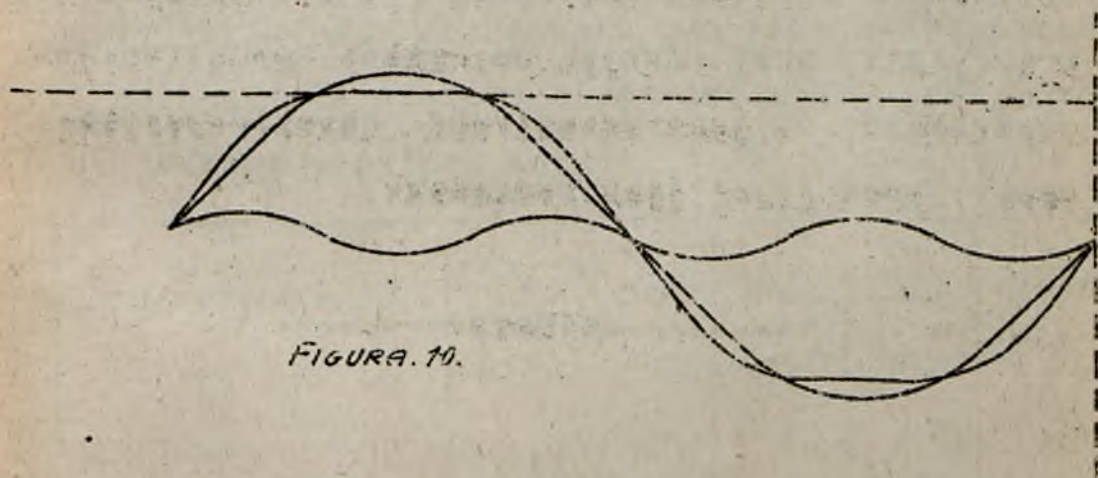
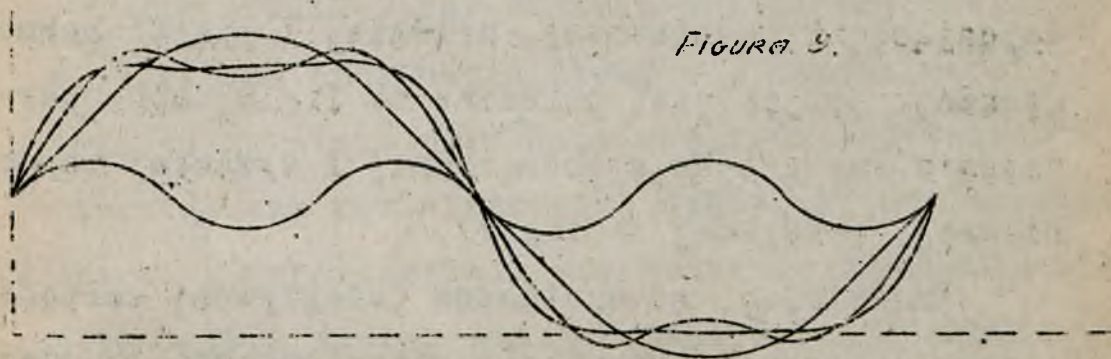
--- 250 μ na 3.

WYKRES. 33.

- - - 1000 μ na 3.

— 4000 μ na 3.





Przytoczona metoda daje możność obliczenia telefonicznej cewki indukcyjnej, pracującej jako brzęczyk. W tym wypadku należy przyjąć krzywą, składającą się z podstawowej, trzeciej i piątej harmonicznej, jak to jest pokazane na fig. 9, albo, bardziej upraszczając z podstawowej i trzeciej harmonicznej, pokazanej na fig. 10.

Pamiętając, że skuteczna (efektywna) wartość skłózonej krzywej, równa się pierwiastkowi drugiej potęgi z sumy kwadratów efektywnych wartości oddzielnych harmonicznych, bez trudności znajdziemy ostateczne wartości skuteczne prądu i siły elektromotorycznej przy różnych warunkach zewnętrznego obciążenia, to jest zewnętrzną charakterystykę cewki, pracującej jako brzęczyk.

-----000000-----

METODA ELEKTROMAGNETYCZNEGO OBLICZENIA
TELEFONU.

Jak wiadomo przy wahanii się pewnej powierzchni z określoną częstością drgań i z określoną siłą, występują zupełnie określone wielkości zgęszczenia i rozrzedzenia powietrza przy drgającej powierzchni, które to zgęszczenia i rozrzedzenia rozchodzą się w powietrzu według znanych praw i dochodząc do ucha wywołują wrażenie dźwięku.

Na poniżej umieszczonej tablicy są zebrane odpowiednie zgęszczenia dla normalnych częstotliwości, przyjętych przy obrachunku aparatów telefonicznych, i różnych sił dźwięku, który rozumiany jest w postaci jednego prostego tonu.

CZĘSTOTLIWOŚĆ $\cdot 5'$	250	500	1000	2000	4000
$\pm 0,1 \text{ mm.}$	237,5	475	950	1900	3800
$\pm 0,01 \text{ mm.}$	23,75	47,5	95	190	380
$\pm 0,001 \text{ mm.}$	2,375	4,75	9,5	19	38
$\pm 0,0001 \text{ mm.}$	0,2375	0,475	0,95	1,9	3,8
$\pm 0,00001 \text{ mm.}$	0,0238	0,048	0,095	0,19	0,38
$\pm 0,000001 \text{ mm.}$	0,0024	0,0048	0,0095	0,019	0,038

Cyfry tablicy dają maksymalne zgięczenie lub rozrzedzenie w mikroatmosferach (10^6 atm.); $\pm 0,001mm$ oznacza maksymalną amplitudę drgającej powierzchni od środkowego normalnego położenia na 0,001 milimetra.

Pod wpływem siły działającej prostopadle i wzdłuż osi, żelazna membrana telefonu wygina się, przyczem dla zwykle używanego żelaza, znanego pod marką półmłotki, przesunięcie się środka membrany wyraża się wzorem

$$h = 2 \frac{f d^2}{3^3 10^{12}} \text{ MM GDZIE}$$

f - SIŁA W DYNACH.

d - ŚREDNICA W MM.

s - GRUBOŚĆ W MM.

Według wyżej wskazanego wzoru dla siły równej 981 dyn równoważnej sile przyciągania do ziemi 1 gramma otrzymujemy następującą tablicę dla różnych średnic i grubości:

$d =$	40	50	55	60	70
$s = 0,10$	0,00313	0,00490			
0,12.	0,00180	0,00270	0,00327	0,00420	
0,16.	0,00077	0,00120	0,00146	0,00173	0,00273
0,20.		0,00060	0,00073	0,00086	0,00118
0,22.			0,00055	0,00065	0,00089
0,24.				0,00056	0,00076

Pód wpływem strumienia magnetycznego stałego stalowego magnesu membrana przyciąga się do rdzeni cewek telefonicznych z siłą, określoną według wzoru

$$f = \frac{B^2 q_{rc}}{8 \cdot 91} \text{ dyn.}$$

gdzie B - indukcja magnetyczna w rdzeniu cewki

telefonu, obliczona ze strumienia w membranie; q_{rc} - przekrój rdzenia w centymetrach kwadratowych.

Siła ta ma miejsce między każdą cewką i membraną i dla normalnej konstrukcji o dwóch cewkach będzie podwójną.

Żeby obliczyć wyżej wskazaną siłę, musimy obliczyć strumień magnetyczny, co możemy uczynić znając siłę magnetomotoryczną, jako iloczyn siły koercyjnej danego gatunku stali i długości stalowego magnesu, opory magnetyczne i współczynniki rozproszenia magnetycznego.

Jeżeli oznaczymy przez

- C - siłę koercyjną
- l - długość stalowego magnesu
- q - przekrój stalowego magnesu
- μ - przenikliwość magnetyczną stal. magnesu
- l_{rc} - długość rdzeni

q_{fe} - przekrój rdzeni

μ_{fe} - przenikliwość rdzeni

l_p - długość przestrzeni między membraną i rdzeniami (przestrzeń powietrzna)

l_m - długość drogi strumienia w membranie

q_m - przekrój drogi strumienia w membranie

μ_m - przenikliwość membrany,

to, opuszczając chwilowo współczynniki rozproszenia, możemy napisać dla strumienia magnetycznego

$$\oint_1 = \frac{Cl}{\frac{l}{\mu q} + \frac{l_{fe}}{\mu_{fe} q_{fe}} + \frac{l_p}{q_{fe}} + \frac{l_m}{\mu_m q}}$$

Ponieważ jednak egzystują magnetyczne rozproszenia i strumień magnetyczny w przestrzeni powietrznej rozchodzi się wachlarzowo pod kątem dla małych odległości bardzo bliskim do 45° , więc musimy wprowadzić w wyżej wspomniany wzór poprawki w postaci współczynników rozproszenia, forma których jest dogodną w postaci oddzielnych liczb zmniejszających lub zwiększających przekrój, przez który przechodzi ostatecznie szukany strumień.

Wprowadzając wskazane współczynniki, otrzymamy dla in-

interesującego nas strumienia, przechodzącego przez membranę

$$\phi_m = \frac{Cl}{\frac{l}{\mu q v} + \frac{c_{Fe}}{\mu_{Fe} q_{Fe} v_{Fe}} + \frac{l_p}{q_{Fe} v_p} + \frac{l_m}{\mu_m q_m v_m}}$$

Dla zwykłych konstrukcji współczynniki te są doświadczalnie określone i pozwalają na dokładne określenie ϕ_m .

Tak na przykład, dla telefonu z okrągłym stalowym magnesem, namagnesowanym tak, że obie połowy koła tworzą dwa równoległe magnesy, pokazanym na figurze, będziemy mieli:

$$v_m = 1,1.$$

$$q_m = 1,1 \times 0,016 \text{ cm} = 0,0176 \text{ cm}^2$$

$$\mu_m = 200.$$

$$l_m = 1,1 \text{ cm}.$$

$$l_p = 0,05 \times 2 = 0,1 \text{ cm}.$$

$$v_p = 1,1.$$

$$c_{Fe} = 2 \times 2,5 = 5 \text{ cm}.$$

$$\mu_{Fe} = 1000.$$

$$q_{Fe} = 1,1 \text{ cm} \times 0,25 \text{ cm} = 0,275 \text{ cm}^2.$$

$$v_{Fe} = 0,55.$$

$$l = 7 \text{ cm.}$$

$$\mu = 100.$$

$$\gamma = 2 \times 0,42 \text{ cm}^2 = 0,84 \text{ cm}^2.$$

$$\nu = 0,33.$$

$$c = 50.$$

$$d = 5,5 \text{ cm} = 55 \text{ mm.}$$

$$\delta = 0,016 \text{ cm} = 0,16 \text{ mm.}$$

$$cf_m = \frac{50 \times 7}{\frac{7}{100 \times 0,84 \times 0,33} + \frac{5}{1000 \times 0,275 \times 0,55} + \frac{0,1}{0,275 \times 1,1} + \frac{200 \times 0,0176 \times 1,1}}{=}$$
$$= \frac{350}{0,252 + 0,030 + 0,330 + 0,289} = \frac{350}{0,899} = 388 \text{ ml.}$$

$$B = \frac{388}{0,275} = 1420 \text{ ml cm}^2.$$

$$f = \frac{1420^2 \times 0,275}{8,91} = 22000 \text{ dyn.}$$

$$2f = 44000 \text{ dyn} = 44,8 \text{ gr.}$$

Biorąc dane z tablicy dla membrany o średnicy 55 mm przy grubości 0,16 mm. dla jednego gramma, możemy, z powodu proporcjonalności małych wygięć membrany do działającej siły, napisać że membrana wygnie się o $0,00146 \times 44,8 = 0,0655 \text{ mm.}$

Uswojenie cewek telefonu składa się z ilości zwojów z ; pod wpływem prądu i amper będziemy mieć dodatkową siłę magnetomotoryczną według wzoru $0,4\pi zi$.

Dodatkowy strumień magnetyczny przez rdzenia cewek f_{fc} , spotka ten sam opór magnetyczny, co i główny strumień Φ_{fc} tylko na tej części swej drogi, która leży w przestrzeni powietrznej i w membranie, w częściach zaś rdzeni cewek i w magnecie stalowym spotka z powodu pola rozproszenia, znacznie mniejszy opór.

W tym wypadku, dla wspomnianego przykładu otrzymalibyśmy zadawalniający rezultat, zamieniając współ-

czynniki \mathcal{V} i \mathcal{V}_{fc} przez $\frac{1}{\mathcal{V}}$ i $\frac{1}{\mathcal{V}_{fc}}$:

Przyjmując te dane dla prądu o wartości 1 miliampera otrzymamy ($z = 2 \times 600 = 1200$ zwoi):

$$f_{fc} = \frac{0,4\pi \times 1200 \times 0,001}{\frac{7}{100 \times 0,84 \times 3} + \frac{5}{1000 \times 0,275 \times 1,82} + 0,330 + 0,287} =$$

$$= \frac{1,5}{0,028 + 0,010 + 0,330 + 0,287} = \frac{1,5}{0,655} = 2,28 \text{ ml}$$

$$b = \frac{2,28}{0,275} = 8,3 \text{ ml cm}^{-2}$$

Jeżeli prąd będzie miał taki kierunek, że wzmocni magnetyczny strumień stałego magnesu, to będziemy mieli indukcję równą $B + b$; jeżeli kierunek prądu będzie odwrotny, indukcja będzie $B - b$.

W pierwszym wypadku siła, działająca na membranę będzie

$$\frac{(B+b)^2 \rho}{8\pi}$$

w drugim

$$\frac{(B-b)^2 \rho}{8\pi}$$

Biorąc różnicę działających sił, otrzymamy

$$\frac{\rho}{8\pi} (B^2 + 2Bb + b^2 - B^2 + 2Bb - b^2) = \frac{\rho}{8\pi} \cdot 4Bb$$

Dla siły dodatkowej od prądu wzmacniającego, mamy

$$\frac{\rho}{8\pi} (2Bb + b^2).$$

Dla siły dodatkowej od prądu osłabiającego

$$\frac{\rho}{8\pi} (2Bb - b^2).$$

Ponieważ jednak b jest bardzo małe w porównaniu do B , to możemy b^2 opuścić w porównaniu do $2Bb$ i uważać siłę dodatkową, tak przy wzmacnianiu, jak i przy osłabianiu stałego magnesu równą

$$\frac{\rho}{8\pi} \cdot 2Bb = \frac{Bb\rho}{4\pi}.$$

Dla naszego przykładu

$$\frac{1420 \times 0,3 \times 0,275}{4\pi} = 258 \text{ dyn dla jednej cewki}$$

dla dwóch $516 \text{ dyn} = 0,526 \text{ gr.}$

A zatem prąd stały o sile 1 ma dodatkowo przesunie naszą membranę o

$$0,00146 \times 0,525 = 0,000765 \text{ mm.}$$

Wobec proporcjonalności dla innych wartości prądu otrzymalibyśmy, przy założeniu stałego prądu:

$$10 \text{ ma} = 0,00765 \text{ mm.}$$

$$1 \text{ ma} = 0,000765 \text{ mm.}$$

$$0,1 \text{ ma} = 0,0000765 \text{ mm.}$$

$$0,01 \text{ ma} = 0,00000765 \text{ mm.}$$

$$0,001 \text{ ma} = 0,000000765 \text{ mm.}$$

Jeżeli zamiast prądu stałego w cewkach telefonu cyrkulować będzie prąd zmienny, to pod wpływem zmiennych prądów będą działać na membranę siły o zmiennej wartości i membrana zacznie drgać.

Jak wiadomo wtedy wystąpią dodatkowe siły, które muszą uczynić zadość równaniu

$$M \frac{d^2h}{dt^2} + R \frac{dh}{dt} + Eh = K J_{\text{max}} \sin 2\pi n t$$

- gdzie M = masa wahającej się części membrany
 R = wewnętrzne tarcie w membranie i ciśnienie akustyczne,
 E = siły sprężystości przeciwdziałające odkształceniu,
 K = współczynnik liczbowy
 J_{max} = maksymalna wartość prądu zmiennego
 n = ilość okresów na sekundę
 t = czas.

Jeżeli przypuścimy, że membrana wygina się według sinusoidy, to dla sił bezwładności, działających na całą masę membrany będziemy mieli zależność, na zasadzie której siły te równe są tym siłom, jakie wystąpiłyby, gdyby membrana o średnicy dwa razy mniejszej t.j. o masie cztery razy mniejszej, wahała się całą swoją masą z maksymalną amplitudą h .

W naszym przykładzie powierzchnia membrany

$$= \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5,5^2}{4} = 23,76 \text{ cm}^2, \quad \text{masa} = 36R$$

Dla $\pm 0,001 \text{ mm} = \pm 0,0001 \text{ cm}$ i 1000 okresów na sekundę średnia szybkość środka membrany

$$\text{będzie } \frac{0,0001 \text{ cm}}{0,00025 \text{ s}} = 0,4 \text{ cm s}^{-1}.$$

$$\text{maksymalna szybkość } 0,4 \times \frac{\pi}{2} = 0,628 \text{ cm s}^{-1}.$$

$$\text{średnie przyspieszenie } \frac{0,628}{0,00025} \frac{\text{cm s}^{-1}}{\text{s}} = 2520 \text{ cm s}^{-2}$$

$$\text{maksymalne przyspieszenie } 2520 \times \frac{\pi}{2} = 3950 \text{ cm s}^{-2}$$

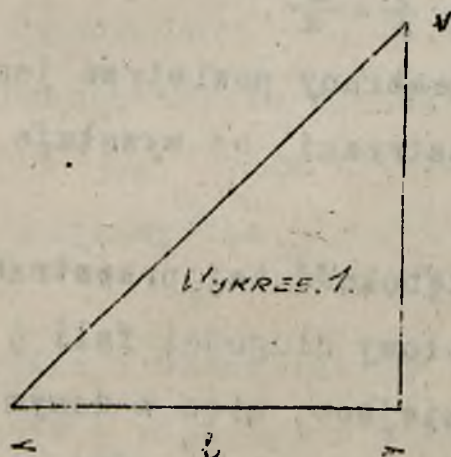
$$\text{maksymalna siła } \frac{36R}{4} \times 3950 \text{ cm s}^{-2} = 2970 \text{ GR}$$

$$2970 \text{ GR} = 36R$$

Tak postępując otrzymamy dla maksymalnych sił bezwładności następującą tablicę:

CZĘSTOTLIWOŚĆ s^{-1}	250	500	1000	2000	4000
$\pm 0,1 \text{ mm}$	18,75	75	300	1200	4800
$\pm 0,01 \text{ mm}$	1,875	7,5	30	120	480
$\pm 0,001 \text{ mm}$	0,1875	0,75	3	12	48
$\pm 0,0001 \text{ mm}$	0,019	0,075	0,3	1,2	4,8
$\pm 0,00001 \text{ mm}$	0,0019	0,0075	0,03	0,12	0,48
$\pm 0,000001 \text{ mm}$	0,0002	0,0008	0,003	0,012	0,048

Dla sił ciśnień akustycznych z jednej, otwartej strony membrany przy 1000 okresach na sekundę i maksymalnej amplitudzie $\pm 0,001 \text{ mm}$ mamy $9,5 \times 10^{-6} \cdot 23,76 \cdot \left(\frac{2}{9T}\right)^2 = 0,0915 \text{ GR}$.



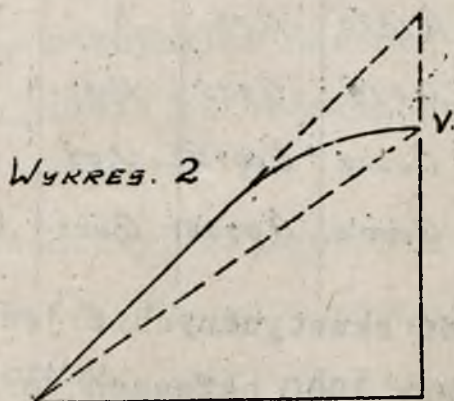
$$\text{średnia szybkość} = \frac{v}{2} = \frac{l}{t}$$

$$\text{siła} = mu = \frac{v \cdot m}{t}$$

$$\text{praca} = mul = m \frac{v}{t} l = mv \frac{l}{t} = \frac{mv^2}{2}$$

$$\text{przyśpieszenie} = u = \frac{v^2}{2l}$$

$$\text{siła} = \frac{mv^2}{2l}$$



$$\text{średnia szybkość } v \frac{2}{\pi} = \frac{l}{t}$$

$$\text{średnie przyśpieszenie } \frac{v}{t}$$

$$\text{max przyśpieszenie. } \frac{v}{t} \times \frac{\pi}{2}$$

Z drugiej strony membrany powietrze jest zamknięte w niewielkiej przestrzeni, co wywołuje znaczne przeciwnienia.

Ponieważ jednak głębokość tej przestrzeni jest znacznie mniejszą od połowy długości fali o częstotliwości mogącej mieć miejsce, więc w danym wypadku będą występować nie ciśnienia akustyczne a sprężanie powietrza.

Dla przykładu objętość korpusu telefonu, rozpatrywanego przez nas, możemy przyjąć równą iloczynowi powierzchni membrany przez średnią wewnętrzną wysokość równą 1,4 cm. $23,76 \text{ cm}^2 \times 1,4 \text{ cm} = 33,2 \text{ cm}^3$.

Objętość, zajęta przez najbardziej wklęsniętą membranę = $0,0001 \text{ cm} \frac{2}{\pi} \times 23,76 = 0,00152 \text{ cm}^3$.

sprężenie powietrza wyżej atmosfery

$$0,00152 : 33,2 = 0,00005 \text{ atm.}$$

maksymalna siła $0,05 \times 23,76 \text{ GR} = 1,19 \text{ GR.}$

Siła ta jest proporcjonalną do amplitudy h i równą:

$$\pm 0,1 \text{ mm.} \quad 119 \text{ GR.}$$

$$\pm 0,01 \text{ mm.} \quad 11,9 \text{ GR.}$$

$$\pm 0,001 \text{ mm.} \quad 1,19 \text{ GR.}$$

$$\pm 0,0001 \text{ mm.} \quad 0,119 \text{ GR.}$$

$$\pm 0,00001 \text{ mm.} \quad 0,0119 \text{ GR.}$$

$$\pm 0,000001 \text{ mm.} \quad 0,00119 \text{ GR.}$$

Siły wewnętrznego tarcia wyrażają się wzorem

$$1,96 \times \frac{h \times S^2}{h + d^2} \times 10^9 \text{ GR.} \quad \text{dla } \pm 0,001 \text{ mm i 1000 okresów}$$

otrzymamy dla $S = 0,16 \text{ mm}$ i $d = 55 \text{ mm}$

$$1,67 \text{ GR.}$$

Siły akustyczne i wewnętrznego tarcia są w jednej fazie w czasie i mogą być arytmetycznie dodane,

potem otrzymano tabelę:

Częstotliwość $\times 3'$	250	500	1000	2000	4000
$\pm 0,1 \text{ mm.}$	44.	88,1	176,2	352,4	704,8
$\pm 0,01 \text{ mm.}$	4,4	8,81	17,62	35,24	70,48
$\pm 0,001 \text{ mm.}$	0,44	0,88	1,76	3,52	7,05
$\pm 0,0001 \text{ mm.}$	0,044	0,088	0,176	0,352	0,705
$\pm 0,00001 \text{ mm.}$	0,0044	0,0088	0,0176	0,0352	0,0705
$\pm 0,000001 \text{ mm.}$	0,0004	0,0009	0,0018	0,0035	0,007

Siły na ściskanie powietrza w czasie są w fazie z siłami sprężystości membrany i muszą być arytmetycznie z nimi dodane.

Wszystkie tak określone maksymalne siły należy dodać geometrycznie, ponieważ między nimi istnieje różnica faz w czasie.

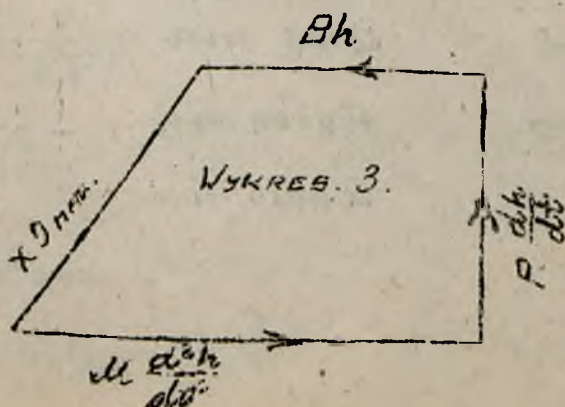
$M \frac{d^2h}{dt^2}$ ma maksimum w krańcowym położeniu membrany

$R \frac{dh}{dt}$ ma maximum w środkowym położeniu membrany, to jest wyprzedza $M \frac{d^2h}{dt^2}$ o kąt $\frac{\pi}{2}$.

Eh ma maximum w krańcowym położeniu membrany jest skierowane odwrotnie do $M \frac{d^2h}{dt^2}$ wyprzedza $R \frac{dh}{dt}$ o kąt $\frac{\pi}{2}$ i $M \frac{d^2h}{dt^2}$ o kąt π .

Tak postępując znajdziemy maksymalną wypadkową siłę, która w każdej chwili musi być równą mechanicznym siłom, wywołanym przez prąd, a więc równą sile od prądu maksymalnego. Dzieląc otrzymaną siłę prądu ZMIENNEGO otrzymamy skuteczną siłę prądu zmiennego, który wywoła te drgania membrony

CZESTOTLIWOŚĆ	250	500	1000	2000	4000
$M \frac{d^2h}{dt^2}$	0,187	0,75	3	12	48
Eh	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87
$M \frac{d^2h}{dt^2} - Eh$	1,683	1,12	1,13	10,13	46,13
$(M \frac{d^2h}{dt^2} - Eh)^2$	2,83	1,25	1,28	102	2120
$(R \frac{dh}{dt})^2$	1,96	0,78	3,1	12,4	50
\int	4,79	2,03	4,38	114,4	2170
$\sqrt{\int}$	2,19	1,44	2,09	10,7	46,5
I_{MAX}	4,18	2,75	3,98	20,3	89
$i = I_{MAX} \cdot 0,71$	2,97	1,95	2,83	14,4	63



Na podstawie wykresu sił otrzymamy maksymalną siłę, odpowiednie wartości prądu i tablicę, w której danej ilości okresów i amplitudzie odpowiadają skuteczne wartości prądu zmiennego w milliampersach

CZĘSTOTLIWOŚĆ λ^{-1}	250	500	1000	2000	4000
$\pm 0,1 \text{ mm}$.	233	193	297		
$\pm 0,01 \text{ mm}$.	23,3	19,3	29,7	144	
$\pm 0,001 \text{ mm}$.	2,33	1,93	2,97	14,4	62,7
$\pm 0,0001 \text{ mm}$.	0,233	0,193	0,297	1,44	6,27
$\pm 0,00001 \text{ mm}$.	0,0233	0,0193	0,0297	0,144	0,627
$0,000001 \text{ mm}$	0,0023	0,0019	0,003	0,014	0,063

Jak widzimy z tablicy prąd dla określonej amplitudy na minimum, przy wszystkich wielkościach amplitudy przy 790 okresach na sekundę

Minimalny prąd dla różnych amplitud będzie:

$\pm 0,1 \text{ mm}$.	188 ma
$\pm 0,01 \text{ mm}$.	18,8 ma.
$\pm 0,001 \text{ mm}$.	1,88 ma.
$\pm 0,0001 \text{ mm}$.	0,188 ma.
$\pm 0,00001 \text{ mm}$.	0,0188 ma.
$\pm 0,000001 \text{ mm}$.	0,00188 ma.

Jak wiadomo ten minimalny prąd odpowiada drganiom
WŁASNYM MEMBRAMY.

Na podstawie wyżej omówionych danych będziemy mieli
w zasadniczym równaniu

$$M = 3 \cdot \frac{1}{4} = 0,75 \text{ GR}$$

$$R = \frac{1,762 \cdot 981}{0,628} \frac{\text{GR} \cdot \text{CM} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{CM} \cdot \text{s}} = 2520 \text{ GR s}^{-1}$$

$$E = \frac{1,875 \cdot 981}{0,0001} \frac{\text{GR} \cdot \text{CM} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{CM}} = 18400000 \text{ GR s}^{-2}$$

Na podstawie tych danych będziemy mieli ilość okre-
sów dla drgań własnych membrany:

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{M}} = \frac{1}{628} \sqrt{24700000} = \frac{4970}{6,28} = 790 \text{ pnaś}$$

jest to rezultat już przedtem otrzymany.

Jeżelibyśmy uwzględnili wewnętrzne tarcia i pracę
akustyczną, to drgania własne byłyby

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4EM - R^2}{4M^2}} = 735 \text{ s}^{-1}$$

Amplituda drgań własnych membrany maleje w czasie
w stosunku

$$e^{-\frac{R}{2M}t}$$

$$\frac{R}{2M} = \frac{2520}{1,5} \frac{\text{GR s}^{-1}}{\text{GR}} = 1680 \text{ s}^{-1}$$

Dla 1 okresu

$$\frac{1}{e^{1680 \cdot \frac{1}{735}}} = \frac{1}{e^{2,29}} = \frac{1}{9,8} = 0,12$$

Tak mały współczynnik powoduje, że po jednej setnej części sekundy nawet silne wahanía membrany dochodzą do granicy, po za którą są niesłyszalne.

Mieliśmy dla 1 ma siłę równą $0,525 \text{ GR} =$

$= 520 \text{ cm. GR}^2 \text{ skąd } K J_{\text{MAX}} = \text{ siła}$

$$K = 520 \frac{\text{GR. cm. s}^{-2}}{\text{GR}^{\frac{1}{2}} \text{ cm}^{\frac{1}{2}} \text{ s}^{-1}} = 520 \text{ GR}^{\frac{1}{2}} \text{ cm}^{\frac{1}{2}} \text{ s}^{-1}$$

Amplituda wymuszonych wahań wyraża się wzorem

$$h = \frac{K J_{\text{MAX}}}{\sqrt{(2\pi n R)^2 + \{E - (2\pi n)^2 M\}^2}}$$

skąd dla 1 ma i wahań z okresami 500 i 1000 na sekundę będziemy mieli

$$\begin{aligned} h &= \frac{520}{\sqrt{7900000^2 + (18400000 - 3140^2 \cdot 0,75)^2}} = \\ &= \frac{520}{\sqrt{62,5 \cdot 10^{12} + 120 \cdot 10^{12}}} = \frac{520}{13,5 \cdot 10^6} = \\ &= 38,6 \cdot 10^{-6} \text{ cm} = 0,000386 \text{ mm.} \end{aligned}$$

według powyżej przytoczonej tablicy

$$0,0001 \cdot \frac{0,71}{0,193} = 0,00037 \text{ mm.}$$

Dla 1000 okreów

$$\begin{aligned} h &= \frac{520}{\sqrt{(15800000)^2 + (18400000 - 6280^2 \cdot 0,75)^2}} = \\ &= \frac{520}{\sqrt{250 \cdot 10^{12} + 41 \cdot 10^{12}}} = \frac{520}{17 \cdot 10^6} = 0,000307 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Według tablicy

$$0,0001 \times \frac{0,71}{0,297} = 0,00024 \text{ mm}$$

DLA 790 OKRESÓW NA SEKUNDĘ $E - (2\pi n)^2 M = 0$

$$i \quad h = \frac{520}{2\pi n R} = \frac{520}{12,5 \times 10^{-6}} = 0,000415 \text{ mm.}$$

według tablicy

$$0,0001 \frac{0,71}{0,188} = 0,000378 \text{ mm.}$$

Różnice, jakie zachodzą między rezultatami wzorów i tablic, objaśniają się różnicą krzywej, według której wygina się membra i która dla tablic jest przyjętą jako sinusoida. Prócz tego wzór daje tylko wymuszone drgania bez drgań własnych membrany, tablica zaś daje geometryczną sumę obu drgań.

Jak wiadomo czułość ludzkiego ucha dla normalnego słuchu może być przyjętą 0,01 mikroatmosfera dla tonów o częstotliwości około 1000; dla mniejszych i większych częstotliwości, w granicach od 250 do 4000 można przyjąć, że czułość ucha zwiększa się dla małych częstotliwości i zmniejsza dla wysokich proporcjonalnie do pierwiastka drugiej potęgi z ilości okresów, tak że czułość ucha będzie wymagać przy:

częstotliwości na f'	250	500	1000	2000	4000
mikroatmosfer	0,005	0,007	0,01	0,014	0,02

Porównując cyfry tablic, możemy stwierdzić, że dla danego telefonu prąd około 3 mikroamper będzie minimalnym, dla którego wszystkie harmoniczne będą zadawalniająco odebrane przez normalne ucho.

Analizując otrzymane rezultaty i tablice, dojdziemy do wniosków, dlaczego współczesny racjonalnie skonstruowany telefon w oddzielnych swych wymiarach nie może oddalać się od pewnych norm.

Po pierwsze: znaczenie stałego magnesu jest jasne z wzoru siły przyciągania membrany $\frac{B \cdot b \cdot f^2}{8 \cdot \pi}$ gdyż bez stałego magnesu mielibyśmy tylko $\frac{b^2 f^2}{8 \cdot \pi}$, co dla prądu naprzykład 0,1 ma dałoby siłę przeszło 1000 razy mniejszą.

Po wtóre: grubość membrany. Zwiększenie grubości jest pożądane z powodu zmniejszenia się magnetycznego oporu, z drugiej zaś strony z grubością membrany bardzo wzrastają siły bezwładności, wewnętrznego tarcia i sprężystego odkształcenia, zmniejszające amplitudę wahań membrany i tem znieczulające telefon.

Mając opór magnetyczny i ilość zwojów, z łatwością określimy współczynnik samoindukcji telefonu według wzoru

$$L = \frac{4\pi z^2}{mW} 10^{-9} \text{ HENRY,}$$
 co dla rozpatrywanego telefonu daje:

$$L = \frac{4\pi \cdot 1200^2}{0,655} 10^{-9} = 0,0275 \text{ HENRY}$$

Pojemność między końcami jednej cewki

$$\left\{ \frac{1}{a-1} \frac{D \cdot d}{2(D-d)} + \frac{1}{z-1} \frac{D \cdot d}{2(D-d)} \right\} 10^{-6} \text{ mikrofarad}$$

$$\frac{1}{14-1} \frac{1,1 \cdot 1 \cdot 0,0095}{2 \cdot 0,015(0,015 - 0,0095)} = 4,9 \cdot 10^{-6} \text{ mikrofarad}$$

Z powodu szeregowego połączenia cewek pojemność między zaciskami telefonu będzie

$$0,5 \cdot 4,9 \cdot 10^{-6} = 2,45 \cdot 10^{-6} \text{ mikrof.}$$

Przykład komunikacji bitelefonicznej na bardzo krótką linię z 2 telefonami, rozpatrzonemi w powyższym przykładzie.

Jeżeli przed jednym z telefonów będziemy mieli ton o 1000 okresach i takiej wysokości żeby membrana telefonu wahała się $0 \pm 0,0001 \text{ mm.}$ na co, jak wiemy

trzeba siły równej 0,335 gramma, czyli ciśnienia maksymalnego 96 mikroatmosfer; wówczas membrana będąc przybliżona do rdzeni cewek zmniejszy opór magnetyczny dla strumienia magnetycznego i wytworzy dodatkowy strumień.

Wielkość tego strumienia możemy określić na podstawie różnicy długości drogi w powietrzu

$0,5000 \text{ mm} - 0,0001 = 0,4999 \text{ mm}$ co daje 0,02%
różnicy w oporze i $0,02 \frac{0,330}{4,899} = 0,0074\%$ w strumieniu, czyli $388 \times 0,000074 = 0,0287 \text{ ml}$.

Skuteczna siła elektromagnetyczna, powstała skutkiem zmiany strumienia, równa się

$$\frac{4,44 \times 0,0287 \times 1200 \times 1000}{10^8} = 1,53 \text{ mV}$$

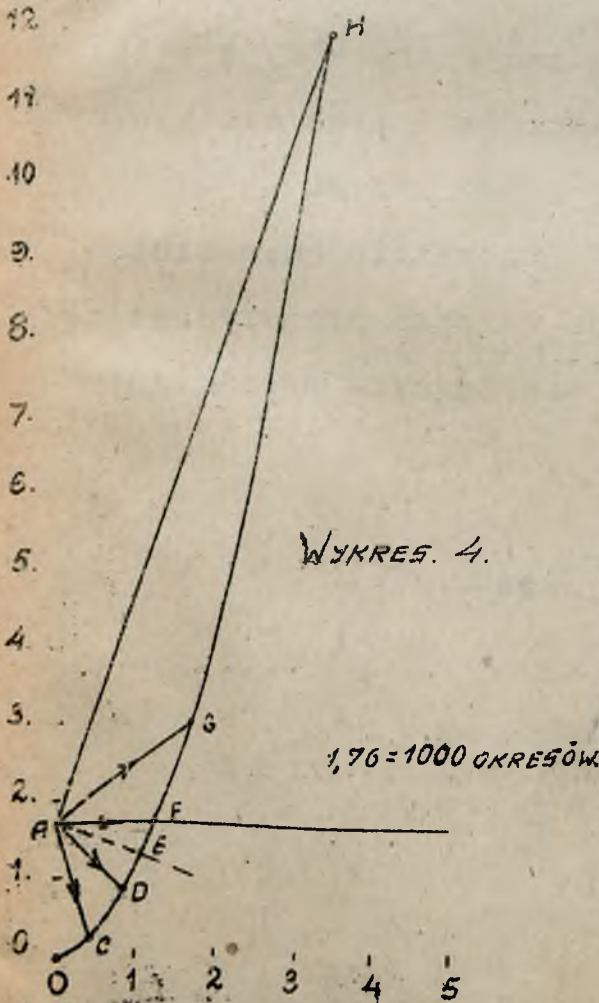
Ponieważ opór omiczny każdego telefonu jest 120 ω , indukcyjny $2 \pi n L = 165 \omega$, wspólny 205 ω ; dla obu w szereg połączonych 410 więc prąd będzie

$$\frac{1,53}{410} = 3,7 \text{ mikroampera.}$$

wywoła on wahanie membrany $\pm 0,00002 \text{ mm}$ o ciśnieniu 0,013 mikroatmosfer, co, jak iadno będzie bliższym dolnej granicy słyszalności ucha.

Powyższy rezultat, jak wiadomo, zadawalniająco potwierdza się doświadczeniem.

Telefoniczna cewka indukcyjna, pracująca od baterji i mikrofonu, jak wiadomo, wysyła prądy znacznie silniejsze, około 1 milliampera, i przez to, pomimo znacznych strat w linji, rozmowa może być uskutecznioną na wielkie przestrzenia.



WYKRES. 4.

1,76 = 1000 OKRESÓW.

Jeżeli przy jednakowej skali dla osi odciętych i rzędnych $OCDEFGH = M \frac{dh}{dt}^2$ w rzędnych wyraża zależność sił bezwładności, $OA = Ek$ w rzędnych siły sprężystości, a $R \frac{dh}{dt}$ odłożymy wzdłuż osi odciętych przyczem zero przesuniemy do punktu A, to otrzymamy dogodny wykres sił koniecznych dla drgań membrany z określoną amplitudą przy różnych ilościach okresów w postaci wektorów AC, AD, AE, AF, AG, AH . Arkusz. 6-ty.

W kierunku AE wektor siły ma minimum, co odpowiada 735ν na sekundę, ponieważ $R \frac{dh}{dt}$ jest proporcjonalna do ilości okresów i naprzykład dla $h = \pm 0,001 \text{ mm}$, $1000 \nu \text{ s}^{-1}$, $R \frac{dh}{dt} = 176 \text{ GR}$, co w skali odciętych daje $1000 \nu \text{ s}^{-1} = 1,76$.

Nykres wskazuje, że dobry telefon powinien być tak skonstruowany, aby częstość drgań własnych membrany nie była mniejszą od normalnych częstotliwości stosowanych prądów roboczych i aby siły sprężystości i siły wewnętrznego tarcia i prac akustycznych były przybliżenie równe; wtedy krzywa $OCDEF$ będzie zbliżoną do koła i wszystkie harmoniczne dźwięki będą oddane przez telefon proporcjonalnie do wartości prądów, odpowiadających wspomnianym tonom.

