

H01j 25/00



POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 34281

Kl. 21 g, 13/17

Compagnie Générale de Télégraphie sans Fil
(Paryż, Francja)

Lampa do modulacji szybkościowej

Zgłoszono 2 października 1946 r.

Udzielono 13 października 1950 r.

Pierwszeństwo: 14 listopada 1944 r. (Francja)

Wynalazek dotyczy lampy, przystosowanej do modulacji szybkościowej.

Głównymi zaletami lampy według wynalazku jest duża szerokość pasma przepustowego (5 do 10 razy większa od szerokości pasma przepustowego klustronu, np. siedem megacykli dla fali nośnej 1500 megacykli) i duża moc przy pracy ciągłej (kilka kilowatów użytecznych przy długości fali 20 cm).

Te liczby mają tylko znaczenie orientacyjne. Szerokość pasma i moc mogą być znacznie zwiększone przez odpowiedni dobór wymiarów, ale tym niemniej uwydatniają pierwszorzędne znaczenie lamp tego rodzaju dla łączności wielokrotnej na falach decymetrowych, dla przesyłania obrazów telewizyjnych o bardzo wielkiej liczbie elementów itd.

Wynalazek polega na zastosowaniu wnękowych rezonatorów o powierzchniach bocznych, uzyskanych przez równoległe przesuwanie w przestrzeni tworzącej wzdłuż linii zamkniętej, zakreślającej figurę z wgłębieniami, jak to np.

przedstawiono na fig. 1 rysunku. Wynalazek polega mianowicie na wykorzystaniu współdziałania z tymi wnękami wiązki elektronowej, emitowanej z katody prostoliniowej, równoległej do tworzących, przy czym szerokość wiązki jest ograniczona tylko wysokością wgłębień. Wnęki są poza tym wzbudzane w ten sposób, że tory elektronów w polu wielkiej częstotliwości są prawie zgodne z liniami sił pola elektrycznego.

Fig. 2 rysunku przedstawia schematycznie lampę według wynalazku w dwóch rzutach. Wnęki 1 i 2 spełniają zadania skupiacza i kolektora, 3 oznacza katodę prostoliniową, 4 — anodę i 5 — przestrzeń ślizgową. Wiązka elektronowa przechodzi przez wnęki, które są zaopatrzone w siatki w swych wgłębieniach. Na fig. 2 nie przedstawiono ani narządu sprzęgającego kolektor z obwodem użytkowym, ani narządu sprzęgającego skupiacz z obwodem rozrządzającym w przypadku gdy lampa służy do wzmacniania, bądź też z kolektorem w przypadku gdy lampa służy do generacji drgań. Nie uwidoczniono również na ry-

sunku ani narządów odkształcających wnęki, pozwalających na regulację częstotliwości, ani też siatki, rozrządzającej wiązkę elektronową.

W celu uwydatnienia istotnych cech wynalazku i głównych jego zalet niżej podana została teoria działania lampy według wynalazku.

Niech $2l$ oznacza wysokość wnęki według wynalazku, δ , $2a$, b , $2c$, — inne wymiary jak uwidoczniło na fig. 3 rysunku, s — odciętą wzdłuż tworzącej, licząc od jej środka.

Jak wiadomo pole elektromagnetyczne wnęk zależy od wektora potencjału $\vec{A}$:

$$\vec{E} = -\vec{\text{grad}} A, \quad \vec{H} = \text{rot } \vec{A}, \quad k = \frac{\omega}{c} \quad (1)$$

Dla drgań typu tzw. „magnetycznego” istnieje zależność:

$$\vec{A} = \frac{\vec{u}}{u} \text{ grad } \varphi \frac{\cos p \pi s}{\sin 2l} \quad (2)$$

gdzie $\vec{u}$ oznacza wektor jednostkowy, skierowany wzdłuż tworzących, p — liczbę całkowitą, φ — funkcję dwóch zmiennych, określoną w przekroju poprzecznym wnęki, która spełnia równanie skalarnie $\Delta \varphi + \left(\frac{2\pi}{\mu}\right)^2 \varphi = 0$

z warunkiem granicznym

$$\frac{d\varphi}{d\mu} = 0$$

na konturze przekroju poprzecznego. Ten warunek graniczny wyznacza również wartość $\frac{2\pi}{\mu}$.

Dla drgania odpowiadającego największemu μ i dla wnęk takich, jak przedstawione na fig. 2, pole elektryczne w pobliżu płaszczyzny symetrii jest stale równoległe do kierunku wiązki.

Długość fali λ wgłębienia jest związana z μ , l , p , zależnością:

$$K^2 = \left(\frac{2\pi}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{2l}\right)^2 \text{ czyli } \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\mu^2} + \left(\frac{p}{4l}\right)^2 \quad (3)$$

Drogą obliczeń można znaleźć, że dla następujących stosunków wymiarów wgłębienia:

$$\frac{\delta}{b} = 0,7; \quad \frac{a}{b} = 0,4; \quad \frac{(c-a)}{b} = 0,8$$

wartość μ jest tego rodzaju, że $\frac{\mu}{\delta} = 50$

Zresztą odstęp δ jest określony do pewnego stopnia przez znany warunek dobrej wydajności lamp o modulacji szybkościowej, a mianowicie aby czas średniego przebiegu elektronu w polu wielkiej częstotliwości był mały w porównaniu do okresu (jest to ten sam warunek, który wymaga użycia wnęk z wgłębieniem). W ten sposób warunek $\frac{\omega \delta}{V_0} = \frac{\pi}{2}$ wyznacza dla średniej wartości V_0 szybkości elektronów, odpowiadającej stałemu napięciu przyspieszającemu $V_0 = 6400$ woltów, stosunek $\frac{\lambda}{\delta}$ równy 25%.

W tych warunkach dla przykładu rozważanego $\lambda = \frac{\mu}{2}$ a wysokość $2l$ wgłębienia jest wówczas związana z długością fali λ i całkowitą liczbą p zależnością:

$$\frac{2l}{\lambda} = p \frac{\sqrt{3}}{5}$$

Dla tych stosunków wymiarów obliczenie dobroci i elementów obwodu antyrezonansowego, równoważnego wnęcie, widzianej z miejsca, gdzie pole elektryczne jest maksymalne (czyli dla $s = 0$, jeżeli p jest nieparzyste) dało następujące wyniki (jedyne straty energii, brane pod uwagę we wnęcie w tym rachunku, są to straty na ciepło Joule'a w ścianie z czystej miedzi):

Dobroć gdy nie ma obciążenia —

$$S = 530 \lambda^{1/2} \left(1 - \frac{0,05}{p}\right);$$

Oporność bocznikowa bez obciążenia —

$$R = 1,1 \frac{\lambda^{1/2}}{p} \cdot \left(1 - \frac{0,05}{p}\right) \cdot 10^4 \text{ omów}$$

Oporność indukcyjna — $L \omega = \frac{20,7}{p}$ omów

(λ powinno być podane w cm).

Niżej przytoczone jest obliczenie energii wielkiej częstotliwości, przelanej przez wiązkę na kolektor, jak również sprawność przemiany.

Niech U oznacza całkę pola elektrycznego wzdłuż toru elektronu we wnęcie dobranej tak, aby ta całka wynosiła maksimum:

$$U = K \int_0^s (\vec{u} \cdot \vec{\text{grad}} \varphi) \cdot \vec{dz}$$

Wówczas całka pola elektrycznego wzdłuż toru elektronów o dowolnej odciętej s wynosi:

$$u(s) = U \frac{\cos p \pi s}{\sin 2l} \quad (4)$$

W dalszym ciągu rozważania $U(s)$ oraz U będą zaopatrywane we wskaźnik 1 lub 2 w zależności od tego czy chodzi o pole skupiacza, czy też o pole kolektora.

Według teorii zbierania kinetycznego w przestrzeni bez pola elektronów wiązki modulowanej szybkościowo składowa o pulsacji ω gęstości prądu, dochodzącego do kolektora wynosi:

$$i(t,s) = 2 i_0 J_1 \left(\frac{1}{2} \frac{U(s) \omega d}{V_0} \right) \cos \omega \left(t - \frac{d}{V_0} \right) \quad (5)$$

W tym wyrażeniu d jest długością przestrzeni poślizgowej a J_1 — funkcją Bessela pierwszego rodzaju rzędu 1 o argumentie

$$\frac{1}{2} \frac{u(s)}{V_0} \frac{\omega d}{V_0} \quad \text{liczba} \quad r = \frac{1}{2} \frac{U_1}{V_0} \cdot \frac{\omega d}{V_0} \quad (6)$$

byłaby miarą „stopnia zbierania” dla lampy typu klystronu, którego całka pola w zbieraczu wynosiłaby U_1 . W założeniu, że p jest nieparzyste, co w niczym nie narusza ogólności wyników, ale pozwala zato brać pod uwagę tylko funkcję cosinus i tym samym uprościć wyrażenia, gęstość prądu na poziomie kolektora wyniesie:

$$i(t, s) = 2 i_0 J_1 \left(r \cos \frac{p \pi s}{2l} \right) \cos \omega \left(t - \frac{d}{v_0} \right) \quad (7)$$

Energia, oddana polu kolektora przez element wiązki o szerokości δs , wynosi:

$$\delta s = u_2(s) \cos \omega t. i(t, s) \delta s$$

a średnia:

$$\delta W = \frac{1}{2} u_2(s) \cdot 2 i_0 J_1 \left(r \cos \frac{p \pi s}{2l} \right) \cos \left(\frac{\omega d}{v_0} \right) \cdot \delta s \quad (8)$$

Niech $2f$ oznacza szerokość ogólną wiązki ($2f < 2l$) $I_0 = 2f i_0$ — natężenie całkowite wiązki nie modulowanej.

Energia średnia, oddana przez wiązkę, wynosi:

$$W = \int_{-f}^{+f} \frac{\delta W}{\delta s} \cdot ds$$

czyli

$$W = i U_2 \cos \frac{\omega d}{v_0} \int_{-f}^{+f} J_1 \left(r \cos \frac{p \pi s}{2l} \right) \cos \frac{p \pi s}{2l} \cdot ds \quad (9)$$

lub wreszcie $W = I_0 U_2 \psi(r, \alpha) \cos \frac{\omega d}{v_0}$

$$\text{gdzie} \quad \psi(r, \alpha) = \frac{1}{\alpha} \int_0^\alpha J_1(r \cos \theta) \cos \theta d\theta \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{2\pi f}{2l} \quad (\alpha < p \frac{\pi}{2})$$

W ten sposób równanie energii lamp według wynalazku jest formalnie podobne do znanego równania klystronu, gdzie zastąpiono funkcję Bessela $J(r)$ przez $\psi(r, \alpha)$ funkcję, która zależy od szerokości wiązki za pośrednictwem α

Wiadomo zresztą, że U_2 powinno być co najwyżej równe V_0 (w przyjętym tu założeniu bardzo małych kątów przebiegu elektronów w polu wielkiej częstotliwości) ażeby nie było odbicia elektronów w polu wielkiej częstotliwości kolektora, a więc $\psi(r, \alpha)$ przedstawia maksymalną wartość sprawności przemiany energii

$$\eta = \frac{W}{I_0 V_0}$$

Krzywe $\psi(r, \alpha)$ w funkcji α dla różnych wartości r są przedstawione na fig. 4. Dla $\alpha = 0$, $\psi(r, \alpha) = J_1(r)$, natomiast dla α rosnących nieograniczenie $\psi(r, \alpha)$ dąży do

$J_0\left(\frac{r}{2}\right) J_1\left(\frac{r}{2}\right)$ oscylując nieznacznie dokoła tej wartości. Granica osiąga swoje maksimum dla $r = 2,2$ i wynosi wówczas 0,32. Wiadomo, że maksymalna wartość $J_1(r)$ wynosi 0,58. W ten sposób maksymalna sprawność teoretyczna lamp według wynalazku waha się od 58% do 32% zależnie od stosunku szerokości wiązki do wysokości wnęki. Skoro tylko α jest większe od $1/2$, war-

tość optymalna stopnia zbierania wynosi 2,2 a nie 1,84, jak dla klystronu.

Należy jednak podkreślić zasadniczą różnicę pomiędzy równaniem energii klystronu i równaniem energii lamp według wynalazku. W tym drugim równaniu natężenie całkowite I_0 wiązki jest proporcjonalne do jej szerokości $2f$, tak iż w rzeczywistości moc W jest proporcjonalna do $\alpha \psi(r, \alpha)$. Ta wielkość jako funkcja stale rosnąca wraz z α jest przedstawiona na fig. 5.

Z powyższego wynika możliwość uzyskania znacznych mocy z szerokimi wiązkami, przebiegającymi przez wnęki, odpowiadające wielkiej liczbie całkowitej p . Tym nie mniej jednak na fig. 4 i 5. krzywe zmiany mocy wraz z α , to jest z szerokością wiązki, wykazują części poziome, którym odpowiadają zmniejszenia sprawności. Ulepszenie według wynalazku polega na odrzuceniu tych części wiązki, które nie wprowadzają znacznego zysku mocy, tj. na rozbiciu wiązki na pasma o takiej szerokości, aby odpowiednie α było bliskie lub mniejsze od jedności. Moc wielkiej częstotliwości nie zostaje wówczas dużo zmniejszona, natomiast sprawność przemiany znacznie się zwiększa i jest zawarta pomiędzy 47% i 58%. Największa liczba pasm wiązki jest równa p i można wówczas do pewnego stopnia uważać, że lampa składa się z zespołu p lamp elementarnych lub „komórek” o wysokości $2l' = 2l/p$, przy czym dla każdej z nich wiązka miałaby szerokość $2f' = \frac{2\alpha}{\pi} \cdot 2l'$. Moc lampy jest wówczas p ra-

zy większa od mocy jednej komórki, podczas gdy sprawność ogólna jest równa sprawności pojedynczej komórki. Taką lampę przedstawiono schematycznie na fig. 6 dla $p = 3$.

W celu uwydatnienia zalet wymienionych na wstępie, niżej podany jest przykład liczbowy dla teorii podstawowej, rozwiniętej w poprzednich ustępach dla lampy, pracującej na długości fali $\lambda = 20$ cm i pod napięciem $V_0 = 6400$ woltów.

Aby kąt średniego przebiegu elektronów w kolektorze był równy $\pi/2$, trzeba żeby $\lambda/\delta = 25$ skąd $\delta = 0,8$ cm. Wnęka opisana wyżej powinna wówczas mieć wymiary:

$$b = 4 \text{ cm}, 2a = 3,2 \text{ cm}, 2c = 9,6 \text{ cm}$$

oraz wysokość $2l = p \cdot 11,5 \text{ cm}$.

Dalszy ciąg obliczeń przeprowadza się przyjmując $p = 1$, tj. dla komórki elementarnej, po czym moc otrzymaną mnoży się przez liczbę p komórek. Dobroć i oporność bocznikowa bez obciążenia wnęki wynoszą wówczas odpowiednio:

$$S = 2250 \quad R = 46500 \text{ omów.}$$

Należy przyjąć taką szerokość wiązki aby $\alpha = 1$ czyli $2f' = 7,3$ cm, skąd wynika największa sprawność $\psi(r, \alpha) = 0,47$ otrzymana dla $r = 2,2$.

Oporność pozorną wiązki modulowanej wynosi:

$$R_f = \frac{V_0}{2 I_0 \psi(r, \alpha)} = \frac{6400}{0,94 \cdot I_0} \text{ omów}$$

Poza tym przyjmuje się oporność pozorną przy obciążeniu wnęki 10 razy mniejszą niż oporność pozorną bez obciążenia, tj. 9/10 energii, oddanej przez wiązkę, znajduje się w obwodzie odbiorczym. Stąd wynika $R_{obc} = 4650$ omów. Dla dobrej adaptacji trzeba aby ta oporność pozorną była równa oporności pozornej wiązki modulowanej, z czego wynika:

$$I_0 = 1,47 \text{ amperów}$$

a wówczas natężenie wiązki na 1 cm szerokości wynosi

$$i_0 = \frac{I_0}{2f} = 260 \text{ mA/cm.}$$

W tych warunkach moc doprowadzona wynosi:

$$V_0 I_0 = 9,4 \text{ kilowatów}$$

Ponieważ teoretyczna wydajność maksymalna wynosi 47%, przeto można otrzymać moc wielkiej częstotliwości 4,4 kilowatów. Warunki, których nie uwzględnia teoria podstawowa, rozwinięta wyżej (kąt przebiegu elektronów w polu wielkiej częstotliwości, przezroczystość elektronowa elektrod wielkiej częstotliwości, efekt ładunku przestrzennego) powodują, że stosując szybkości elektronowe stosunkowo nieznaczne można liczyć tylko na sprawność 25%, a więc efektywną wydajność wielkiej częstotliwości 2,5 kilowatów na komórkę elementarną.

Co do pasma przepustowego lampy jest ono określone przez znaną zależność $S \frac{\delta \nu}{\nu} = 1$

gdzie $\delta \nu$ — szerokość pasma

ν — częstotliwość robocza

S — dobroć kolektora przy obciążeniu.

Gdy adaptacja lampy jest dobra, to S jest równe stosunkowi oporności pozornej wiązki modulowanej do oporności indukcyjnej kolektora, skąd

$$\frac{\delta \nu}{\nu} = \frac{L \omega}{R_f} = \frac{2 L \omega I_0 \psi(r, \alpha)}{V_0}$$

Jedną z zalet lampy według wynalazku jest możliwość uzyskania znacznie większego I_0 przy tej samej $L \omega$, co i w lampie typu klystronu, wobec czego pasmo przepustowe jest znacznie większe. W ten sposób dla omówionego przykładu liczbowego, który bynajmniej nie może być traktowany jako optymalny, $\delta \nu = 6,7$ megacykli.

Teorią elementarną, rozwiniętą wyżej, dotyczy nie tylko lamp, posiadających wnęki, pobudzane sposobem magnetycznym, lecz również lamp, posiadających wnęki podwójne, pobudzane sposobem drgań tzw. współosiowych. Wynalazek nadaje się również do stosowania w innych typach lamp o modulacji szybkościowej (lampy od-

biciowe, lampy z jednym tylko obwodem wnękowym itd.). Tytułem przykładu zastosowania wynalazku na fig. 7 przedstawiono w przekroju lampę samodrgającą z jednym tylko obwodem wnękowym.

We wgłębieniach pojedynczych szereg drgań można pobudzić jednocześnie. Obwód wzbudzenia zbieracza lub też sprzężenie wiązki z polem wnęk, sprzężenie obwodu użytkowego z kolektorem, regulacja napięcia i natężenia wiązki powinny być takie, żeby było wzbudzone tylko jedno drganie.

Wynalazek przewiduje również użycie takich wnęk, których profil przekroju poprzecznego ma wewnętrzne występy, jak również zespolenie tych wnęk z kilku wiązkami elektronowymi (rozbitymi na pasma lub też nie rozbitymi). Do pewnego stopnia można traktować te wnęki jako wypadkowe z przyłożenia do siebie wnęk, przedstawionych na fig. 1, i zniesienia wspólnych ścianek. Jest oczywiste, że jednocześnie umieszczenie kilku komórek elementarnych, określonych poprzednio, jedna nad drugą lub jedna obok drugiej pozwala na otrzymanie lamp o bardzo dużej mocy.

Lampa taka, posiadająca 4 wiązki, jest przedstawiona tytułem przykładu na fig. 8. Jej konstrukcja o symetrii cylindrycznej jest szczególnie korzystna, gdyż pozwala zarówno na energiczne chłodzenie anody, jak również na łatwe skupianie wiązek. Jeżeli wzbudza się te wnęki sposobem drgań, odpowiadającym $p = 3$, a każda wiązka składa się z 3 pasm, to lampa według fig. 8 może być uważana jako wypadkowa 12 komórek elementarnych, np. takich jak obliczone wyżej. Można więc z takiej lampy otrzymać moc użyteczną wielkiej częstotliwości 30 kW przy pracy ciągłej na długości fali 20 cm, przy sprawności rzędu 25% i pasmie przepustowym 7 megacykli. Szerokość pasma może być zresztą znacznie zwiększona przez odpowiedni dobór wymiarów wnęk.

Zastrzeżenia patentowe

1. Lampa do modulacji szybkościowej elektronów wiązki elektronowej, znamienna tym, że jako narząd rezonujący posiada co najmniej jedną wnękę o powierzchni bocznej, uzyskanej przez równoległe przesuwanie w przestrzeni tworzącej, prostopadłej do wiązki wzdłuż linii zamkniętej, zakreślającej figurę z wgłębieniem co najmniej w jednym miejscu, przy czym wnęki są przecinane we wgłębieniach przez płaskie wiązki elektronowe, emitowane każda z katody prostoliniowej, równoległej do tworzącej powierzchni wnęki.
2. Lampa według zastrz. 1, znamienna tym, że wiązka elektronowa jest podzielona na pasma

równoległe, prostopadłe do katody (fig. 6).

3. Lampa według zastrz. 2, w której wiązka składa się z pasm, każde o szerokości $2f'$, a wysokość wnęki wynosi $2l$, znamionna tym, że szerokość $2f'$ jest taka, iż $\frac{\pi p f'}{2 l}$ jest

bliskie jedności lub mniejsze od jedności, a wzbudzenie wnęki odpowiada rodzajowi drgań rzędu p .

4. Lampa według zastrz. 1, znamionna tym, że przy szerokości każdej wiązki $2f$ i wysokości wnęki $2l$ stosunek $\frac{\pi f}{2 l}$ jest równy co naj-

mniej 0,5.

5. Lampa według zastrz. 1, zawierająca co najmniej dwa wnękowe rezonatory, znamionna tym, że przekrój poprzeczny jednej wnęki

tworzy figurę, całkowicie otaczającą figurę przekroju poprzecznego drugiej wnęki, przy czym każda z wnęk zawiera narządy oscylacyjne dla wszystkich wiązek (fig. 8).

6. Lampa według zastrz. 1, znamionna tym, że wnęka jest wzbudzana przez wiązki elektronowe w różnych płaszczyznach (fig. 8).

7. Lampa według zastrz. 1 i 2, znamionna tym, że wnęka jest przecinana tam i z powrotem przez te same wiązki elektronowe, odbijane elektrodą, odpowiednio spolaryzowaną (fig. 7).

Compagnie Générale
de Télégraphie sans Fil

Zastępca: inż. W. Zakrzewski
rzecznik patentowy

Fig 1

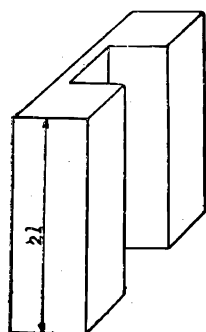


Fig.2

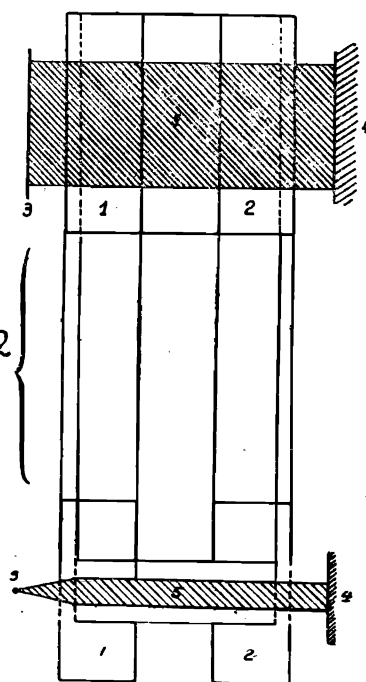


Fig.3

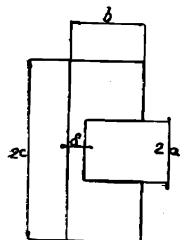


Fig. 4

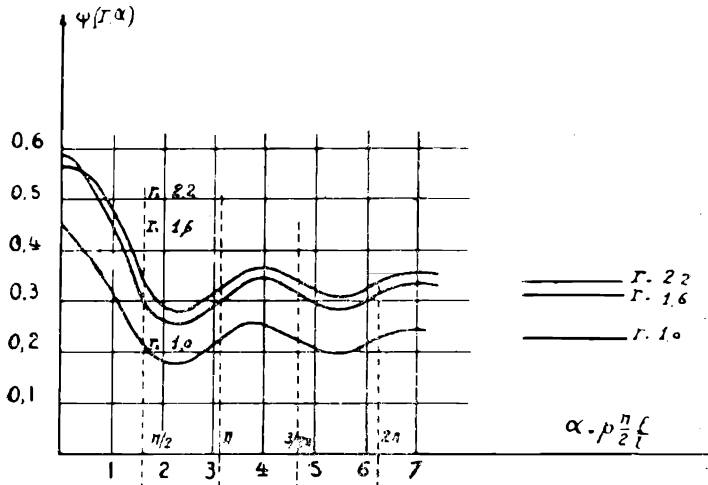


Fig. 5

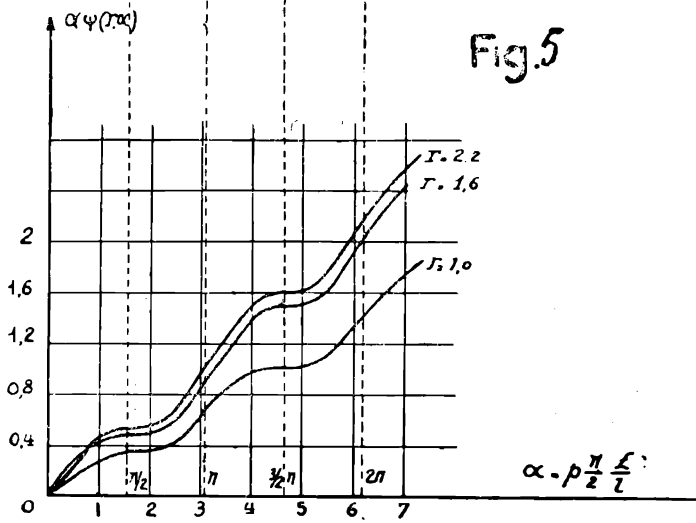


Fig 6

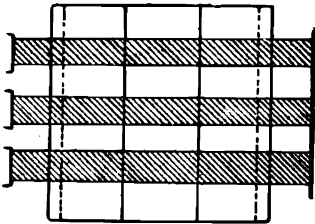


Fig.7

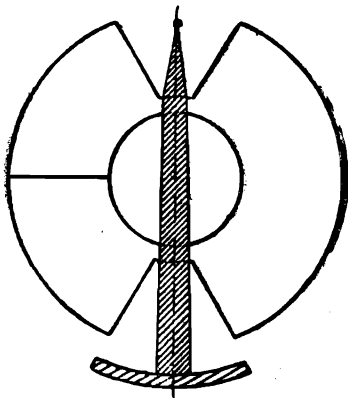


Fig.8

