

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

51982

Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszone: 07.XII.1963 (P 103 190)

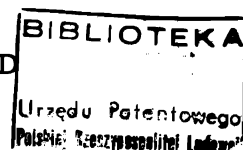
Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 15.IX.1966

Kl. 21 g, 13/17

MKP H 01 j 23/34

UKD



Współtwórcy wynalazku: dr Klaus Pöschl, dr Werner Veith

Właściciel patentu: Siemens & Halske Aktiengesellschaft, Monachium
(Niemiecka Republika Federalna)

Elektronowa lampa strumieniowa do powielania częstotliwości

1

Wynalazek niniejszy dotyczy elektronowej lampy strumieniowej, przeznaczonej do powielania częstotliwości. Lampa ta posiada układ do wytwarzania strumienia elektronów, wejściowy układ sprzęgający, w którym elektrony tworzące strumień ulegają odchyleniu od osi niemodulowanego strumienia, układ wielobiegunowy o parzystej ilości biegunów z elektrodami rozmieszczonymi osiowo — symetrycznie względem osi strumienia elektronów na obwodzie układu wielobiegunowego, które są zasilane naprzemian stałym potencjałem, równym co do wartości, lecz o przeciwnej polaryzacji, wyjściowy układ sprzęgający, w którym strumień elektronowy przez działanie indukcji elektrostatycznej wzbudza sygnał bardzo wielkiej częstotliwości oraz kolektor dla strumienia elektronowego we wzdlużnym polu magnetycznym.

Tego typu lampy strumieniowe znane są jako wzmacniacze bardzo wielkich częstotliwości. Jako część wejściowa sprzęgająca służy przy tym układ sprzęgający dla fal cyklotronowych, tzw. układ sprzęgający Cuccia. Jako część wzmacniającą stosuje się kwadrupol składający się z czterech elektrod rozmieszczonych symetrycznie wokół osi lampy. W jednym ze znanych wykonania elektrody kwadrupola są osadzone spiralnie wzdluż lampy, przy czym do elektrod leżących naprzeciwko siebie przyłożone zostają napięcia stałe o równej wartości, lecz przeciwnej polaryzacji. Proponowano już niespleciony spiralnie układ elektrod kwadrupola

2

takiej lampy wzmacniającej, jednakże tego rodzaju lampa nie nadaje się do powielania częstotliwości.

Przedmiotem niniejszego wynalazku jest prosta w wykonaniu, strumieniowa lampa elektronowa, w której powielanie częstotliwości uzyskuje się przy jej równoczesnym wzmocnieniu. Zrealizowane to jest dzięki temu, że w lampie wejściowy układ sprzęgający wykonany jest jako układ sprzęgający fal synchronicznych, zaś układ wielobiegunowy składa się z co najmniej sześciu elektrod ułożonych prostoliniowo i równolegle do osi wiązki elektronów. Istota wynalazku oparta jest na fakcie, że fale synchroniczne w strumieniu elektronów zostają wzmocnione wówczas, gdy strumień porusza się wzdluż osi elektrostatycznego pola kwadrupolowego, w którym to polu znajduje się równocześnie wzdlużne pole magnetyczne.

Pod pojęciem fali synchronicznej, rozumie się jak wiadomo strumień elektronów tak zmodulowany we wzdlużnym polu magnetycznym przez poprzeczne pole magnetyczne, że ciąg elektronów wiruje w takt wybranej częstotliwości wokół osi niemodulowanej wiązki elektronów, podczas gdy poszczególne elektrony poruszają się prostoliniowo, równolegle do osi wiązki elektronów. Szczegółowe rozważania oraz badania matematyczne wykazały, że w prostoliniowym układzie wielobiegunowym, którego liczba biegunów jest większa od czterech, np. w układzie sześciu- lub ośmiobiegun-

nowym nie następuje wzmocnienie fali synchronicznej o wybranej częstotliwości, lecz ma miejsce powielenie częstotliwości.

Rozdział potencjału wielobiegunowego układu elektrostatycznego wyraża się we współrzędnych biegunowych wzorem

$$V = Ar^n \cos n\varphi,$$

gdzie A — jest wielkością stałą, a n — równa się połowie liczby biegunów. Obliczenie matematyczne wykazuje, że przy wprowadzeniu fali synchronicznej w takie pole elektrostatyczne układu wielobiegunowego, w którym istnieje równocześnie podłużne pole magnetyczne, powstaje fala synchroniczna o odwrotnej polaryzacji (energii) i częstotliwości $(n-1)\omega_0$, gdzie ω_0 jest częstotliwością wprowadzonej fali synchronicznej.

Przy użyciu układu sześciobiegunowego powstaje więc fala synchroniczna o podwójnej częstotliwości synchronicznej fali wprowadzonej. Obliczenie wykazuje dalej, że amplituda tej nowej fali synchronicznej narasta liniowo wraz z długością pola układu wielobiegunowego, przez które przebiega strumień elektronów. Wartość amplitudy może być przy tym dowolnie duża, a więc przede wszystkim większa od wartości amplitudy wprowadzonej fali synchronicznej. Uzyskuje się zatem powielenie częstotliwości przy równoczesnym wzmocnieniu amplitudy częstotliwości powielonej.

Należy zaznaczyć, że w lampie strumieniowej będącej przedmiotem niniejszego wynalazku, wytworzona fala synchroniczna o częstotliwości $(n-1)\omega_0$ powoduje powtórne powielenie częstotliwości. Z fali synchronicznej o częstotliwości $(n-1)\omega_0$ powstaje wówczas fala synchroniczna o odwrotnej polaryzacji (energii) i o częstotliwości $(n-1)^2\omega_0$, której amplituda jest tym większa, im dłuższa jest droga układu wielobiegunowego, którą przebiega strumień elektronów. Jeśli np. przy zastosowaniu układu sześciobiegunowego w pole układu wielobiegunowego zostanie wprowadzona fala synchroniczna o energii dodatniej i częstotliwości ω_0 , wówczas z tej fali synchronicznej powstaje fala o ujemnej energii i częstotliwości $2\omega_0$, a w dalszej części drogi układu wielobiegunowego fala o dodatniej energii i częstotliwości $4\omega_0$.

Opisaną metodą można uzyskiwać duże częstotliwości. Jednakże dla żadanego, określonego współczynnika powielania, celowym jest zapobieżenie powstawaniu fal synchronicznych o jeszcze wyższych częstotliwościach. Z tego względu w dalszym rozwinięciu wynalazku proponuje się włączenie wyjściowego układu sprzęgającego w układ wielobiegunowy. W przypadku, gdy włączony do układu wielobiegunowego wyjściowy układ sprzęgający jest nastrojony na zakres częstotliwości, odpowiadający iloczynowi $(n-1)^2\omega_0$, wówczas część składowa odpowiadająca falam synchronicznym o tej częstotliwości i energii dodatniej zostaje, w miarę, w którym składowa ta powstaje natychmiast odprowadzona, tak że zostaje usunięta podstawa do powstawania dalszych fal synchronicznych o wyższych częstotliwościach.

Praktyczna możliwość uzyskania tego polega na tym, że elektrody układu wielobiegunowego o potencjale dodatnim (to znaczy co druga elektroda

na obwodzie układu wielobiegunowego) zostają wykonane w postaci grzebienia, którego zęby skierowane są promieniowo od układu wielobiegunowego ku osi strumienia elektronów. Poszczególne grzebienie zostają przy tym tak przesunięte w kierunku podłużnym układu wielobiegunowego, że wolne końce zębów znajdujące się na obwodzie układu wielobiegunowego leżą na krzywej spiralnej.

Niezależnie od tego, że można wytłumić powstawanie fal synchronicznych o częstotliwościach wyższych od wymaganej, lampa strumieniowa według niniejszego wynalazku posiada tę ogólną zaletę, że wyjściowy układ sprzęgający włączony został w układ wielobiegunowy. Tak więc przy zastosowaniu układu ośmiobiegunowego można dwie naprzeciw siebie leżące elektrody układu wykonać w postaci grzebieni, które w kierunku podłużnym układu wielobiegunowego są przesunięte względem siebie. W układzie opóźniającym, który został w ten sposób wykonany, fale synchroniczne zarówno dodatniej jak i ujemnej energii wzbudzają falę wielkiej częstotliwości wówczas, gdy układ ten jest zwymiarowany na odpowiednią częstotliwość.

Jeżeli fala synchroniczna sprzężona z układem opóźniającym posiada energię ujemną, wówczas nie można zapobiec powstawaniu fal synchronicznych o jeszcze wyższej częstotliwości, ponieważ — jak wiadomo — nie można odprowadzić ze strumienia elektronów fali o energii ujemnej. Nie ma sprzeczności w fakcie, że fala synchroniczna o energii ujemnej nie daje się wyprowadzić ze strumienia elektronów, mimo że fala ta w odpowiednim układzie wyjściowym wytwarza przez indukcję elektrostatyczną sygnał o częstotliwości fali synchronicznej. Wystarczy wspomnieć np. znany mechanizm lampy z falą bieżącą, gdzie powolna fala ładunku przestrzennego, to znaczy fala ładunku przestrzennego o ujemnej energii indukuje falę elektromagnetyczną w linii opóźniającej lampy z falą bieżącą, bez odprowadzania ze strumienia elektronów powolnej fali ładunku przestrzennego. Strumień elektronów jest przy tym raczej coraz silniej modulowany powolną falą ładunku przestrzennego. Podobnie w strumieniowej lampie elektronowej opracowanej według niniejszego wynalazku przy wzbudzeniu fali najwyższej częstotliwości falą synchroniczną o energii ujemnej, strumień elektronów jest coraz silniej modulowany tą falą synchroniczną.

Znane układy sprzęgające dla fal synchronicznych są stosunkowo dość skomplikowane. Aby w lampie strumieniowej, która jest istotą niniejszego wynalazku, wyeliminować tę niedogodność, proponuje się, aby do wytworzenia fali synchronicznej w strumieniu elektronów zastosować układ sprzęgający jak dla fal cyklotronowych i wytworzoną przy tym w strumieniu elektronów falę cyklotronową o dodatniej energii zamienić na falę synchroniczną o dodatniej energii, przy pomocy przeskoiku natężenia podłużnego pola magnetycznego. Przeskok pola magnetycznego polega przy tym — najkorzystniej na odwróceniu kierunku pola magnetycznego. Znanym układem sprzęgającym

dla fal cyklotronowych jest układ sprzęgający Caccia.

Jedyną zastosowanie tego układu sprzęgającego ogranicza się do stosunkowo wąskiego pasma częstotliwości. Najprostszym układem wielobiegunowym strumieniowej lampy elektronowej według niniejszego wynalazku jest z natury swej układ szeregowy. Dlatego do lampy strumieniowej według niniejszego wynalazku, jako układ sprzęgający dla fal cyklotronowych nadaje się raczej linia opóźniająca, wzdłuż której biegnie fala o poprzecznym zmiennym polu elektrycznym.

Wynalazek zostanie dokładnie objaśniony na podstawie rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schematycznie budowę elektronowej lampy strumieniowej według wynalazku, w której wyjściowy układ sprzęgający został włączony w układ wielobiegunowy.

Na fig. 2 przedstawiono rozkład natężenia poprzecznego pola magnetycznego lampy z fig. 1. Wejściowy układ sprzęgający składa się z linii opóźniającej 3, wzdłuż której biegnie fala o poprzecznym zmiennym polu elektrycznym i częstotliwości ω . Przy właściwym dobraniu natężenia wzdłużnego pola magnetycznego B, strumień elektronów 2 wychodzący z diody elektronowej 1 jest modulowany falą cyklotronową o energii dodatniej. Po przejściu przez linię opóźniającą 3 strumień elektronów 2 przebiega przez przeskok pola magnetycznego 4, który jest tak dobrany, że przeciwdziałając ruchowi wirującemu elektronów ruch ten kompensuje. W ten sposób fala cyklotronowa w strumieniu elektronów zostaje zamieniona na falę synchroniczną.

Jak wiadomo fala cyklotronowa określona jest przez równoczesny ruch wirowy i postępowy elektronów w strumieniu elektronowym, podczas gdy w fali synchronicznej elektrony mają jedynie ruch postępowy. Zmodulowany w ten sposób falą synchroniczną o dodatniej energii i częstotliwości ω , strumień elektronów przebiega przez układ wielobiegunowy 5 i trafia na kolektor 6. Jako układ wielobiegunowy 5 należy rozumieć urządzenie, które składa się z parzystej liczby co najmniej sześciu elektrod rozmieszczonych symetrycznie wokół osi strumienia elektronów i które w kierunku obwodowym posiadają stały potencjał elektryczny o jednakowej wartości bez różnej naprzemian polaryzacji. Elektrody winny przy tym przebiegać prostoliniowo, równoległe do osi elektronów.

Grzeblenie 7 oznacza, że co najmniej dwie elektrody układu wielobiegunowego 5 umieszczone symetrycznie do osi strumienia elektronów wykonane są w postaci grzebleni przesuniętych względem siebie w kierunku wzdłużnym układu wielobiegunowego i tworzą w ten sposób linię opóźniającą, z której daje się odprowadzić sygnał wielkiej częstotliwości, powielony w układzie wielobiegunowym 5 o współczynnik $(n-1)m$, przy $m = 1, 2, 3 \dots$

Mechanizm powielania częstotliwości w układzie wielobiegunowym 5 został przedstawiony na fig. 3. Na wykresie jako odcinek podano długość l pola układu wielobiegunowego, a jako rzędną amplitudę A fal synchronicznych w strumieniu elektronów. Linia 8 oznacza wprowadzoną do układu wielobie-

gunowego falę synchroniczną, o dodatniej energii i częstotliwości ω . Ta fala synchroniczna poprzez elektrostatyczne działanie pola układu wielobiegunowego i wzdłużnego pola magnetycznego B wzbudza w strumieniu elektronów falę synchroniczną o ujemnej energii i częstotliwości $(n-1)\omega$. Amplituda tej fali synchronicznej wzrasta liniowo wraz z drogą przebytą w układzie wielobiegunowym. Dlatego krzywa 9 przedstawia wykres amplitudy fali synchronicznej o częstotliwości $(n-1)\omega$. Dwa zauważyć, że wzdłuż drogi układu wielobiegunowego fala synchroniczna według krzywej 9 powoduje znowu powstawanie fali synchronicznej o odpowiednio powielonej częstotliwości, która posiada energię dodatnią.

W przypadku, gdy układ wielobiegunowy jest układem ośmiobiegunowym fala synchroniczna według krzywej 10 ma częstotliwość 9ω . Wartość amplitudy tej fali synchronicznej nie może już następować liniowo, ponieważ amplituda fali synchronicznej według krzywej 9 (w podanym przykładzie układu ośmiobiegunowego jest to fala synchroniczna o ujemnej energii i częstotliwości 3ω) sama wzrasta. Proces powielania częstotliwości toczy się dowolnie daleko. Na przykład przy pomocy krzywej 11 zaznaczono, że przez falę synchroniczną o dodatniej energii według krzywej 10 wzbudzana zostanie fala synchroniczna o częstotliwości $(n-1)^2\omega$, (w przypadku układu ośmiobiegunowego oznacza to częstotliwość 27ω). Która z powielonych częstotliwości zostanie wyprowadzona, zależy jedynie od geometrii wyjściowego układu sprzęgającego, szczególnie zaś od geometrii grzebleni 7 elektronowej lampy strumieniowej z fig. 1.

Z wykresu podanego na fig. 3 wynika, że fala synchroniczna o częstotliwości $(n-1)^2\omega$, posiada energię dodatnią. Fala ta może być przezto odprowadzona ze strumienia elektronów, dzięki czemu zapobiega się tworzeniu fal synchronicznych o wyższych częstotliwościach. Aby to osiągnąć trzeba jedynie wyjściowy układ sprzęgający włączyć w układ wielobiegunowy i nastroić go na zakres odpowiadający częstotliwości $(n-1)^2\omega$. Na podstawie fig. 4 i 5 zostanie objaśniony właściwy, praktyczny przykład wykonania układu wielobiegunowego przy czym układ wielobiegunowy jest układem sześciobiegunowym.

Fig. 4 przedstawia układ sześciobiegunowy od przodu. Sześć elektrod rozmieszczonych symetrycznie wokół osi powinno przebiegać prostoliniowo w kierunku wzdłużnym układu sześciobiegunowego. Znajdujące się pod stałym potencjałem elektrycznym o ujemnej polaryzacji elektrody 12, 13 i 14 są prostymi, wydłużonymi prętami. Elektrody 15, 16, 17, które znajdują się pod potencjałem o tej samej wartości, lecz dodatniej polaryzacji, wykonane są jako grzeblenie, których zęby skierowane są promieniście w stronę osi układu sześciobiegunowego. Poszczególne grzeblenie winne przy tym być przesunięte względem siebie w kierunku wzdłużnym układu sześciobiegunowego w ten sposób, aby wolne końce zębów na obwodzie układu wielobiegunowego leżały na krzywej spiralnej, tak jak to pokazuje fig. 5, jako rozwinięte elektrody 15, 16 i 17.

Dalszą możliwość wykonania układu wielobiegunowego 5 z fig. 1 jako układu ośmiobiegunowego przedstawia perspektywnie fig. 6. Elektrody układu ośmiobiegunowego są przy tym umieszczone w falowodzie 18. Elektrody, które mają otrzymać potencjał ujemny są prętami 19, 20, 21 i 22 o przekroju trójkątnym i są izolowane od falowodu. Muszą one być galwanicznie połączone ze sobą poza falowodem. Pozostałe cztery elektrody 23, 24, 25 i 26, które mają otrzymać potencjał dodatni, umieszczone są po środku ścianek falowodu 12 i skierowane do jego wnętrza. Elektrody 23 i 25 wychodzące z węższych ścianek falowodu wykonane są przy tym jako grzebienie, których zęby są wzajemnie przesunięte w kierunku wzdłużnym falowodu. W ten sposób powstaje układ opóźniający, w którym fale synchroniczne o energii zarówno dodatniej jak i ujemnej mogą wzbudzać falę wielkiej częstotliwości. Krzywą rozproszenia tego rodzaju układu opóźniającego przedstawia fig. 7 na wykresie $\frac{c}{v} - \lambda$.

Widać, że układ jako urządzenie o charakterze fali wstecznej posiada silnie zbliżony do poziomego przebiegu krzywej rozproszenia, pierwszej, naprzód dążącej fali częściowej, tak że przy pracy z tą falą częściowa linia opóźniająca jest dalece szerokopasmowa. Wymiary linii opóźniającej są tak dobrane, że średnia długość fali λ_s przenoszonego zakresu równa się jednej trzeciej długości fali λ_0 doprowadzanej uprzednio do układu ośmiobiegunowego. Fala synchroniczna o powielonej częstotliwości $3\omega_0$ wzbudzona w układzie ośmiobiegunowym, wzbudza z kolei w linii opóźniającej falę wielkiej częstotliwości o częstotliwości $3\omega_0$. Przez zmianę geometrii linii opóźniającej można ją jednak przestroić na inną żadaną częstotliwość $9\omega_0$ lub $27\omega_0$.

Wynalazek nie ogranicza się do przedstawionych wyżej przykładów wykonania. Szczególnie zaś nie jest koniecznym, aby wyjściowy układ sprzęgający stanowił część składową układu wielobiegunowego. Również układ wielobiegunowy może posiadać dziesięć lub więcej elektrod. Dalej możliwym jest zasilanie elektrod dodatnimi i ujemnymi potencjałami w sposób impulsowy i zastosowanie w ten sposób lampy do pracy impulsowej. Uzyskuje się przy tym tę zaletę, że nawet przy złym kształcie impulsów, częstotliwość zostaje ściśle zachowana, ponieważ zależy ona wyłącznie od geometrii układu wielobiegunowego. Tego rodzaju lampa nadaje się szczególnie do pracy impulsowej przy bardzo dużych mocach, gdy wymagana jest wysoka stabilność częstotliwości.

Elektronowa lampa strumieniowa według niniejszego wynalazku ma szereg zalet. Powielanie częstotliwości jest bardzo dokładne, ponieważ zależy ono tylko od geometrii układu wielobiegunowego, a nie od stanu napięcia i prądu. Współczynnik powielania odbywa się przy równoczesnym zysku mocy.

Zastrzeżenia patentowe

1. Elektronowa lampa strumieniowa do powielania częstotliwości, zawierająca wyrzutnię elek-

tronów, wejściowy układ sprzęgający, w którym elektrony strumienia elektronowego ulegają odchyleniu od osi strumienia niemodulowanego, układ wielobiegunowy o parzystej ilości biegunów, którego elektrody rozmieszczone są symetrycznie względem strumienia elektronowego na obwodzie układu wielobiegunowego, zasilane są naprzemian potencjałem elektrycznym równym co do wartości, lecz o przeciwnej polaryzacji, wyjściowy układ sprzęgający, w którym strumień elektronów wzbudza przez indukcję elektrostatyczną sygnał bardzo wielkiej częstotliwości oraz kolektor dla strumienia elektronowego, w której strumień elektronów przebiega we wzdłużnym polu magnetycznym, **znamienna tym**, że wejściowy układ sprzęgający wykonany jest jako układ sprzęgający fali synchronicznej a układ wielobiegunowy składa się z co najmniej sześciu elektrod, które przebiegają prostoliniowo i równolegle do osi strumienia elektronów.

2. Elektronowa lampa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że wyjściowy układ sprzęgający jest częścią składową układu wielobiegunowego.
3. Elektronowa lampa według zastrz. 2, **znamienna tym**, że wyjściowy układ sprzęgający jest nastrojony na zakres częstotliwości, który odpowiada iloczynowi z częstotliwości doprowadzonej, pomnożonej przez kwadrat różnicy z połowy ilości biegunów pomniejszonej o jeden.
4. Elektronowa lampa według zastrz. 3, **znamienna tym**, że co druga elektroda układu wielobiegunowego wykonana jest w postaci grzebienia, którego zęby skierowane są promieniście od układu wielobiegunowego w stronę osi strumienia elektronów.
5. Elektronowa lampa według zastrz. 4, **znamienna tym**, że zęby poszczególnych grzebieni są w kierunku wzdłużnym układu wielobiegunowego tak względem siebie przesunięte, że wolne końce zębów leżą na obwodzie układu wielobiegunowego, na krzywej spiralnej.
6. Elektronowa lampa według zastrz. 5, **znamienna tym**, że układ wielobiegunowy jest układem sześciobiegunowym.
7. Elektronowa lampa według zastrz. 2, **znamienna tym**, że układ wielobiegunowy jest układem ośmiobiegunowym, którego elektrody są umieszczone w falowodzie o przekroju prostokątnym, przy czym elektrody, które otrzymują potencjał dodatni połączone są galwanicznie ze ściankami falowodu, a elektrody związane z wąskimi ściankami falowodu wykonane są jako grzebienie, których zęby są przesunięte w kierunku wzdłużnym falowodu.
8. Elektronowa lampa według zastrz. 1 do 7, **znamienna tym**, że jako układ sprzęgający fal synchronicznych jest użyty układ sprzęgający dla fal cyklotronowych, po którym następuje taki przeskok w natężeniu wzdłużnego pola magnetycznego, że fala cyklotronowa w strumieniu elektronowym zostaje przekształcona w falę synchroniczną.
9. Elektronowa lampa według zastrz. 8, **znamienna tym**, że przeskok pola magnetycznego pole-

ga na odwróceniu kierunku pola magnetycznego.

10. Elektronowa lampa według zastrz. 9, **znamienna tym**, że układ sprzęgający dla fal cyklotronowych składa się z linii opóźniającej, przez

którą przepływa fala o poprzecznym, zmiennym polu elektrycznym.

11. Elektronowa lampa według któregokolwiek zastrz. 1 do 10, **znamienna tym**, że napięcie, którym zasilane są elektrody układu wielobiegunowego ma kształt impulsowy.

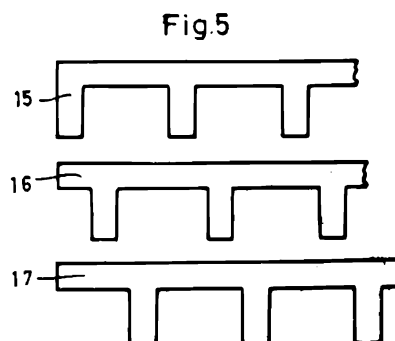
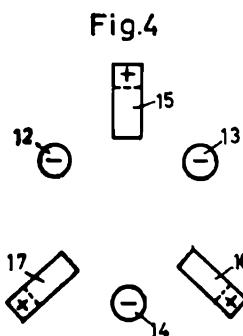
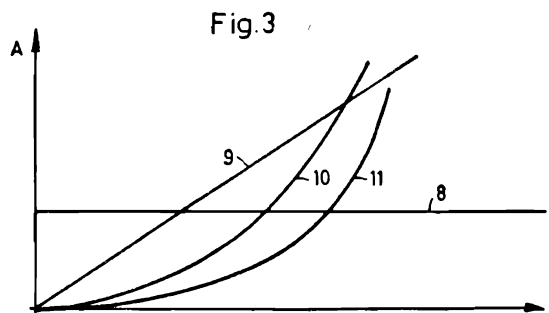
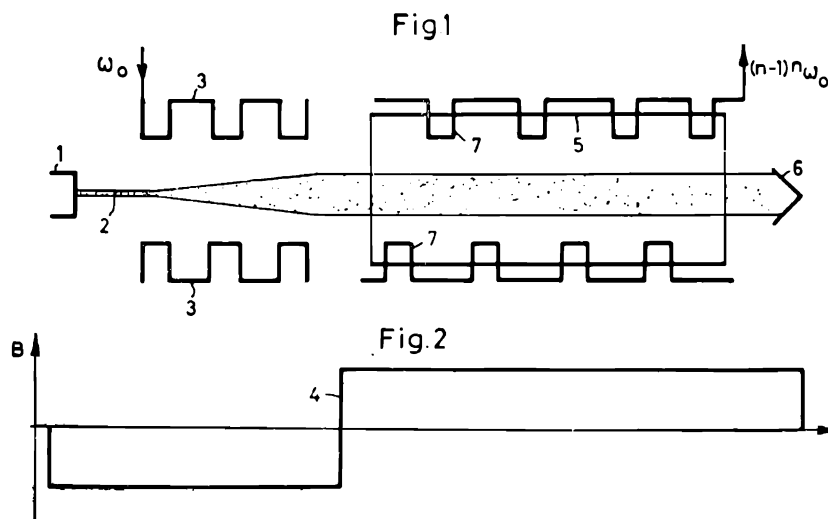


Fig.6

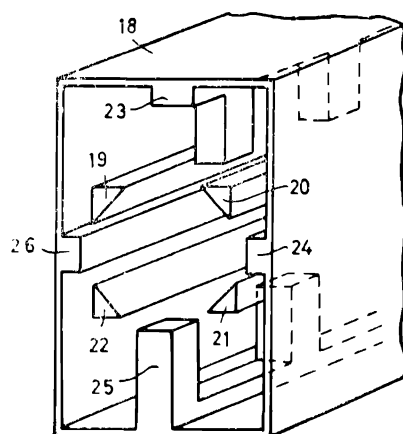
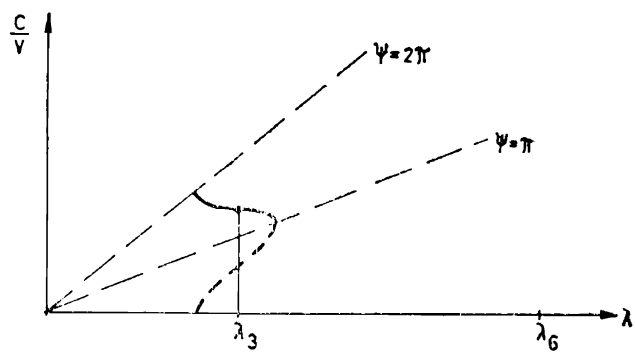


Fig.7



BIULETYN
WYDZIAŁU
FIZYKI
POLSKIEJ
AKADEMII
UMIĘTNOŚCI