



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 09.07.77 (P. 199504)

Pierwszeństwo: 09.07.76 Francja

Zgłoszenie ogłoszono: 27.02.78

Opis patentowy opublikowano: 31.03.1982

Int. Cl.²

H03B 5/32

Tworca wynalazku: Pierre Hartemann

Uprawniony z patentu: THOMSON-CSF, Paryż (Francja)

Generator elektryczny sprężystych fal powierzchniowych

1

Dziedzina wynalazku. Przedmiotem wynalazku jest generator elektryczny sprężystych fal powierzchniowych, który zawiera trójkąt lub czwórnik czynny, przyłączony do pętli sprzężenia zwrotnego, utworzonej przez układ transmisyjny fal sprężystych powierzchniowych. Częstotliwość drgań jest określona przez pętlę sprzężenia zwrotnego, wykorzystywaną jako wąskopasmowy filtr pasmowoprzepustowy. Dla wytwarzania napięcia, pozbawionego zniekształceń i którego częstotliwość jest szczególnie stabilna, konieczne jest uwzględnienie przebiegu funkcji przenoszenia pętli sprzężenia zwrotnego, właściwości ośrodka rozchodzenia się fal sprężystych powierzchniowych, sposobu pobierania energii elektrycznej, odbić i niepożądanych efektów właściwych dla sprzężenia elektrostatycznego lub promieniowania poprzez fale objętościowe.

Stan techniki. Znane są z artykułu Crabba i in., opublikowanego w Revue GB Electronics Letters, tom 9, nr 10 z 17 maja 1973 r. str. 195—197, generatory akustycznych fal powierzchniowych. Przedstawione są różne aspekty konstrukcji i własności generatorów akustycznych fal powierzchniowych, uwzględniając dwa ulepszone rozwiązania problemu wyboru stanu pracy i zdolności modulacji w szerokim zakresie częstotliwości. Znane jest, że kryształy kwarcu o dużym współczynniku Q mogą być stosowane do stabilizacji układów generatora. Znany jest prosty, sterowany kwar-

2

cem generator, który zawiera linię opóźniającą z wyjściowym sprzężeniem zwrotnym do wyjścia, poprzez wzmacniacz o dużym wzmocnieniu. Najpowszechniej stosowanym cięciem jest cięcie AT, które utrzymuje wysoce stabilny temperaturowo, liniowy przebieg fali. Jeżeli wymagana jest zdolność modulacji częstotliwości, może on współpracować z elementami układu przesuwającego fazę w układzie wzmacniacza. Może być zastosowany zespół przetwornika do optymalizacji stabilności częstotliwości dla wymaganej głębokości modulacji.

Znany jest generator elektrycznych sprężystych fal powierzchniowych, który zawiera przetworniki elektromechaniczne w postaci elektrod o międzypalczastej strukturze grzebieniowej. Znane są generatory sprężystych fal powierzchniowych, w których znajduje zastosowanie prosta zamiana energii drgań między dwoma przetwornikami grzebieniowymi, jednak jakość uzyskiwanych przebiegów i stałość częstotliwości pozostawiają wiele do życzenia. Generator elektryczny sprężystych fal powierzchniowych zawiera układ wzmacniający, wyposażony w pętlę sprzężenia zwrotnego, utworzoną przez przetworniki pierwszy i drugi o międzypalczastej strukturze grzebieniowej, usytuowane na powierzchni podłoża piezoelektrycznego. Energia elektryczna jest odbierana na zaciskach trzeciego przetwornika o międzypalczastej strukturze grzebieniowej, wykonanego na tej powierzchni w taki

sposób, aby odbierana była pewna część energii drgań wytwarzanych przez drugi przetwornik.

Międzypalczaste struktury grzebieniowe, stanowiące przetworniki pierwszy i drugi mają zęby wykonane w taki sposób, że utworzone są odpowiednie zestawy elementarnych źródeł promieniujących, odległości między którymi są odpowiednio k_1 i k_2 razy większe od długości fali dostarczającej energię drgań, przy czym k_1 i k_2 są liczbami naturalnymi całkowitymi.

Znane są z opisu patentowego Stanów Zjednoczonych nr 3 886 484 przyrządy do dostarczania akustycznych fal powierzchniowych, mające ulepszone własności temperaturowe. Przyrząd taki zawiera podłoże z materiału piezoelektrycznego, posiadające wiele obszarów powierzchniowych o różnych orientacjach krystalograficznych. Co najmniej jeden przetwornik nadawczy jest umieszczony na jednym z obszarów powierzchniowych, w celu nadawania akustycznej fali powierzchniowej, odbieranej przez co najmniej jeden przetwornik odbiorczy umieszczony na innym spośród obszarów powierzchniowych i leżący w określonej odległości od przetwornika nadawczego. Przyrząd zawiera też elementy sprzęgające, dołączone do przetworników nadawczych i odbiorczych, w celu skierowania akustycznej fali powierzchniowej z jednego z obszarów powierzchniowych do drugiego z obszarów powierzchniowych.

Znany jest również z opisu patentowego Stanów Zjednoczonych nr 3 979 697 generator przebiegu piłokształtnego o modulowanej częstotliwości, zawierający wzmacniacz z układem dodatniego sprzężenia zwrotnego, przyrząd dostarczający akustyczną falę powierzchniową oraz dodatkowe elementy. Przyrząd dostarczający akustyczną falę powierzchniową zawiera podłoże piezoelektryczne i dwa zamocowane do podłoża zestawy o strukturze międzypalczastej, pomiędzy którymi jest usytuowany element włączany do obwodu sprzężenia zwrotnego. Przyrząd ten spełnia funkcję elementu określającego częstotliwość dla generatora. Dodatkowe elementy zapewniają gradient pola elektrycznego w podłożu w zasadzie równoległy do kierunku rozchodzenia się fali akustycznej, skutkiem czego zmienia się skuteczna długość podłoża i w wyniku częstotliwość oscylacji.

Znane jest z opisu patentowego polskiego nr 91113 generator ze sprzężeniem zwrotnym, zawierający pętlę generacyjną, w której znajduje się wzmacniacz i linia opóźniająca pracująca z wykorzystaniem fali powierzchniowej, mająca przetwornik wejściowy połączony z wzmacniaczem od strony wyjścia tego wzmacniacza i przetwornik wyjściowy podłączony do wzmacniacza od strony wejścia. Linia opóźniająca z falą powierzchniową zawiera element z materiału piezoelektrycznego do przenoszenia powierzchniowych fal akustycznych. Pierwszy przetwornik jest połączony z powierzchnią elementu piezoelektrycznego dla wprowadzania do niego fal powierzchniowych, natomiast drugi przetwornik jest podłączony do powierzchni elementu piezoelektrycznego i oddzielony od pierwszego przetwornika, w celu odpowiadania na wpro-

wadzone fale. Pierwszy przetwornik i drugi przetwornik mają pośrodku pomiędzy sobą wstępnie dobraną, swobodną przestrzeń oraz z góry założoną ilość elektrod do wytwarzania sygnału dodatniego sprzężenia zwrotnego o pożądanej charakterystyce fazowej i amplitudzie proporcjonalnej do nachylenia fazowego. Sygnały te są wysyłane do wzmacniacza dla wytwarzania oscylacji o pożądanej częstotliwości, bez skokowych zmian, dla wytworzenia generatora o jakości pośredniej pomiędzy generatorem typu LC i generatorem krystalicznym i odznaczającego się częstotliwością o dobrej stabilności w założonym zakresie temperatur.

Istota wynalazku. Według wynalazku zestawy elementarnych źródeł promieniujących są oddalone od siebie na taką odległość, że współczynniki k_1 i k_2 są równe liczbom pięć i siedem, przy czym korzystnie każde elementarne źródło promieniujące zawiera środkowy, prostoliniowy, przewodzący elektrycznie ząb otoczony przez dwa inne, zewnętrzne, prostoliniowe, przewodzące elektrycznie zęby, tworzące strukturę grzebieniową, w której zęby utworzone przez elementarne źródła promieniujące są dołączone do grzbietów w postaci paszków przewodzących, leżących symetrycznie z dwóch stron, równoległe do osi rozchodzenia się fal. Paski przewodzące są dołączone do masy generatora, a przetworniki pierwszy i drugi są odsprężone elektrostatycznie za pomocą paska przewodzącego dołączonego do masy generatora, do której są również dołączone zęby krańcowe, leżące w pobliżu paska przewodzącego.

Według wynalazku przetworniki pierwszy i drugi, zawierające zestawy elementarnych źródeł promieniujących są umieszczone na podłożu w postaci płytki kwarcu o cięciu Y. Powierzchnię rozchodzenia się fal stanowi jedna powierzchnia główna płytki, a kierunek rozchodzenia się fal tworzy z osią kwarcu kąt zasadniczo równy 33° .

W innym wykonaniu wynalazku przetworniki pierwszy i drugi, zawierające zestawy elementarnych źródeł promieniujących, są umieszczone na podłożu w postaci płytki kwarcu o cięciu Y. Jedna powierzchnia główna płytki jest modyfikowana powierzchniowo przez implantację jonów i stanowi powierzchnię rozchodzenia się fal, a kierunek rozchodzenia się fal jest dobrany dla uzyskania jak najmniejszej pierwszej pochodnej przyrostu temperaturowego częstotliwości drgań.

Objaśnienie rysunku. Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia generator według wynalazku, fig. 2 — charakterystyki częstotliwościowe przetworników i fig. 3 — krzywe przyrostu częstotliwości w funkcji temperatury.

Przykład wykonania wynalazku. Fig. 1 przedstawia generator sprężystych fal powierzchniowych, zawierający elektryczny układ wzmacniający 16, którego zaciski wyjściowe i wejściowe są połączone ze sobą poprzez pętlę sprzężenia zwrotnego, przenoszącą selektywnie sygnał podtrzymywania drgań o określonej częstotliwości f_0 . Dla utworzenia pętli sprzężenia zwrotnego można na

przykład wyciąć płytkę 1 z kryształu piezoelektrycznego o osiach krystalograficznych XYZ. Na powierzchni 2 płytki 1 są wykonane dwa przetworniki elektromechaniczne, przetwarzające sprężyste fale powierzchniowe, które rozchodzą się wzdłuż osi AA. Pierwszy przetwornik elektromechaniczny jest utworzony przez osadzenie materiału elektrycznie przewodzącego w kształcie międzypalczastej struktury dwugrzebieniowej. W grzebieniach tych grzbiety stanowią paski przewodzące 3 i 4, a zęby stanowią prostoliniowe katody 5 i 6. Zgodnie ze znanym rozwiązaniem ogólnym, katody 5 i 6 tworzą układ elementów promieniujących fale wzdłuż kierunku AA, a odległość tych elementów jest równa ćwiartce długości fali λ_0 promieniowanych fal powierzchniowych. Długość fali

λ_0 jest wyrażana klasycznym wzorem $\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$,

gdzie c jest prędkością rozchodzenia się sprężystych fal powierzchniowych w kierunku AA, który tworzy kąt Θ z osią X. Drugi przetwornik elektromechaniczny posiada analogiczną, międzypalczastą strukturę dwugrzebieniową, w której grzbiety stanowią paski przewodzące 10 i 11, a zęby stanowią prostoliniowe i równoległe katody 8 i 9. Między przetwornikami elektromechanicznymi, pierwszym i drugim, jest umieszczony ekran elektrostatyczny w postaci paska przewodzącego 7, dołączonego do masy elektrycznego układu wzmacniającego 16.

W połączeniu z układem wzmacniającym, generator z fig. 1 może generować sprężyste fale powierzchniowe w zakresie częstotliwości akustycznych, pozostaje jednak do wskazania sposób odbierania energii drgań. Dostarczany przez generator z fig. 1 sygnał elektryczny S nie jest odbierany z zacisków wyjściowych elektrycznego układu wzmacniającego 16, ponieważ doprowadzenie ładunku elektrycznego do tych zacisków mogłoby mieć niekorzystny wpływ na stałość częstotliwości generatora. Poza tym, kształt przebiegu pojawiającego się na zaciskach wyjściowych elektrycznego układu wzmacniającego jest zakłócony przez składowe harmoniczne. W związku z tym, według wynalazku zostało zastosowane odprowadzanie energii drgań za pomocą układu przetwornikowego o międzypalczastej strukturze grzebieniowej, wykonanego na przedłużeniu obu przetworników o strukturze grzebieniowej, stanowiących część pętli sprzężenia zwrotnego.

Jak to przedstawiono na fig. 1, układ przetwornika elektromechanicznego zawiera przykładowo dwa usytuowane międzyzębowo grzebienie z grzbietami 14 i 15, które posiadają prostoliniowe zęby 12 i 13 ustawione prostopadle do osi AA rozchodzenia się fal. Według zalecanego wykonania, elementy 8, 9, 10, 11 są usytuowane pomiędzy elementami 3, 4, 5, 6 oraz 12, 13, 14, 15. Stosowanie układu przetwornikowego na zewnątrz pętli zapewniającej podtrzymywanie drgań umożliwia nie tylko stabilizację częstotliwości i lepszą jakość dostarczanego przebiegu, lecz również uzyskanie jak najlepszego dopasowania impedancji. Układ przetwornikowy dostarczający sygnał elektryczny S może stanowić przedmiot montażu swobodnego

i umożliwić wykonywanie zębów połączonych równoległe, szeregowo lub szeregowo-równoległe.

Poza tym, każdy z zębów tworzących ten układ przetwornikowy może być przepołowiony, odstęp może wynosić $\lambda_0/8$, co umożliwia zmniejszenie odbić fal sprężystych powierzchniowych przy napotykanii zębów przewodzących. Na zakończenie opisu ogólnej budowy układu z fig. 1 należy zauważyć, że odbicie sprężystych fal powierzchniowych na końcach płytki 1 mogą być pomijalne dzięki zastosowaniu elementów absorbujących na powierzchni 2, bądź dzięki wykonaniu za pomocą piaskowania brzegów rozpraszających, bądź przez ścięcie końców płytki ukośnie w stosunku do osi AA. Dla uniknięcia sygnałów zakłócających, powstających w wyniku rozprzestrzeniania fal objętościowych, korzystne jest przeprowadzenie piaskowania powierzchni podstawy płytki 1, przeciwległej do powierzchni 2.

Odnosnie pętli sprzężenia zwrotnego, korzystne jest zastosowanie jak najmniejszego opóźnienia przenoszenia, co prowadzi do jak najbliższego ustawienia stanowiących ją przetworników o międzypalczastej strukturze grzebieniowej. Wskutek tego istnieje tendencja do zwiększania sprzężenia elektrostatycznego między przetwornikiem złożonym z elementów 3, 4, 5, 6 i przetwornikiem złożonym z elementów 8, 9, 10, 11. W celu uniknięcia powyższej wady istnieje kilka środków zaradczych. Na przykład, między przetwornikami zostaje umieszczony pasek przewodzący 7 dołączony do masy M, w celu zmniejszenia pojemności między grzebieniami przewodzącymi, usytuowanymi po obu stronach tego ekranu elektrostatycznego. Najbardziej zbliżone do paska 7 zęby 5 i 8 są również połączone z masą M, jak też odpowiednie grzbiety 4 i 11, które nie znajdują się na swych wzajemnych przedłużeniach.

Dla zmniejszenia sprzężenia elektrostatycznego można też zmniejszyć ilość zębów przetworników, bez takiego samego zmniejszenia selektywności pętli sprzężenia zwrotnego. Sposób ten jest przedstawiony na fig. 1 w powiązaniu z wykresami wyjaśniającymi z fig. 2. Oba przetworniki pętli sprzężenia zwrotnego są w rzeczywistości zestawami elementarnych źródeł promieniujących, których odpowiednie odstęp p_1 i p_2 są wielokrotnościami długości fali λ_0 sprężystych fal powierzchniowych. Dla zestawu n źródeł punktowych, posiadającego odstęp p , można określić znormalizowany współczynnik zestawu $F(f)$, który wyraża się równaniem

$$F(f) = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sin \frac{\pi p n}{c} f}{\sin \frac{\pi p}{c} f}$$

gdzie c jest prędkością sprężystych fal powierzchniowych, a f jest częstotliwością.

Jeżeli odstęp p źródeł jest k razy większy od długości fali λ_0 , która odpowiada środkowej czę-

$$F\left(\frac{f}{f_0}\right) = \frac{1}{n} \frac{\sin \pi k \frac{f}{f_0} n}{\sin \pi k \frac{f}{f_0}}$$

stotliwości f_0 pasma przenoszenia źródła promieniującego, równanie powyższe może mieć postać

$$\text{gdzie } p = k\lambda_0 = k \frac{c}{f_0}.$$

Funkcja przenoszenia pętli sprzężenia zwrotnego może mieć postać iloczynu kilku czynników. Odnosnie selektywności, oba czynniki określające są wyrażone wyżej podaną zależnością.

Wykresy z fig. 2 zostały wykonane przy przyjęciu odstępów p_1 równego $7\lambda_0$ i odstępów p_2 równego $5\lambda_0$. Charakterystyka częstotliwościowa (a) jest charakterystyką przetwornika złożonego z elementów 8, 9, 10, 11, natomiast charakterystyka częstotliwościowa (b) odnosi się do przetwornika złożonego z elementów 3, 4, 5, 6. Całkowita charakterystyka częstotliwościowa (c) zawiera pojedyncze, bardzo wąskie pasmo przepustowe. Przy dobraniu więc odstępów p_1 i p_2 odpowiednio równych $k_1\lambda_0$ i $k_2\lambda_0$, przy czym k_1 i k_2 nie są swoimi wielokrotnościami, możliwe jest realizowanie pętli sprzężenia zwrotnego, która posiada tylko pojedyncze, bardzo wąskie pasmo przepustowe. Zmniejszenie niepożądanego sprzężenia elektrostacyjnego jest jeszcze skuteczniejsze, jeżeli wykona się każde elementarne źródło promieniujące z jednej katody 6 lub 9 wstawionej między dwie katody 5 lub 8 dołączone do masy M. Takie rozmieszczenie katod w postaci zębów zapewnia dostarczenie w warunkach pobudzania impulsowego, całkowitej fali emitowanej przy każdym przemieszczeniu źródła elementarnego. Pole elektryczne zostaje wytłumione bardzo gwałtownie przy oddalaniu się od źródeł elementarnych, ponieważ źródła te są wykonane z dwu dipoli prawie pokrywających się i w przeciwfazie. Należy zauważyć, że środki zaradcze podejmowane dla ograniczenia sprzężenia elektrostacyjnego są również korzystne pod względem ograniczenia odbić, którym ulegają sprężyste fale powierzchniowe przy napotykaniu na zęby grzebieni, gdyż zęby te są mniej liczne.

Odnosnie układu przetwornikowego wyjściowego poza pętlą sprzężenia zwrotnego, możliwe jest zastosowanie konfiguracji o obszarze ograniczonym, lecz dostatecznym do skutecznego zmniejszania zawartości harmonicznych, drugiej, trzeciej, czwartej i dalszych, które mogą zawierać sprężyste fale powierzchniowe wytwarzane przez generator.

Powyżej przedstawiono układy, które umożliwiają otrzymywanie fali wyjściowej o częstotliwości nie ulegającej zmianom przy zmianie ładunku elektrycznego generatora. Stałość częstotliwości drgań w funkcji temperatury pracy jest zapewnianie przez odpowiedni wybór płytki 1.

Przy umiarkowanej wymaganej stałości częstotliwości, można rozważać wykonanie płytki 1 z niobianu litowego, ponieważ ten materiał krystaliczny jest powszechnie stosowany w technice układów o sprężystych falach powierzchniowych.

Dla zastosowań wymagających szczególnie stałej częstotliwości drgań, bardziej wskazane jest stosowanie kwarcu.

Figura 3 przedstawia krzywe przyrostu częstotliwości w funkcji temperatury, odnoszące się do

cięcia Y kwarcu. Na osi odciętych naniesiono temperaturę roboczą T , a na osi rzędnych wartość względną przyrostu częstotliwości $\frac{\Delta f}{f_0}$.

Krzywa 20 osiąga wartość maksymalną dla temperatury T_0 i przedstawia dla cięcia Y kwarcu przyrost temperaturowy, który jest wytwarzany dla kąta $\Theta = 33^\circ$ między kierunkiem rozchodzenia się fal a osią X, patrz fig. 1. Kąt 33° odnosi się do przypadku płytki kwarcu przy braku stosowania implantacji. Temperatura T_0 jest zbliżona do 20°C i pochodna temperaturowa pierwszego rzędu jest równa zero. Pochodna temperaturowa drugiego rzędu jest równa 2, to jest dwa razy mniejsza niż przy zastosowaniu cięcia ST kwarcu. Przy zamknięciu generatora w obudowie termostatu, korzystne jest usytuowanie najwyższego punktu krzywej temperaturowej w wyższej temperaturze. W tym celu korzystne jest zastosowanie cięcia Y kwarcu, jak to pokazuje krzywa 21 z fig. 3.

Dla uzyskania właściwości temperaturowych przedstawionych przez krzywą 21, stosuje się cięcie Y płytki kwarcu i poddaje się powierzchnię rozchodzenia się sprężystych fal powierzchniowych obróbce przez implantację jonów, które modyfikuje powierzchniowo regularne uporządkowanie atomów. Przykładowo, płytka kwarcowa o cięciu Y może być poddana bombardowaniu jonowemu za pomocą atomów lekkich helu. Przy ustawieniu potencjału przyspieszającego na wartość 95 kV i ustaleniu dawki $1,5 \cdot 10^{16} \text{ He}^+/\text{cm}^2$, implantacja jest wystarczająca do tego, aby fale powierzchniowe rozchodzące się pod kątem Θ równym 35° w stosunku do osi X mogły przy częstotliwości drgań 107 MHz prowadzić do krzywej 21, która ma maksimum przy temperaturze 80°C . Kąt 35° odnosi się do przypadku płytki kwarcu, która została poddana implantacji jonów.

Zastrzeżenia patentowe

1. Generator elektryczny sprężystych fal powierzchniowych, zawierający układ wzmacniający wyposażony w pętlę sprzężenia zwrotnego, utworzoną przez przetworniki pierwszy i drugi o międzypalczastej strukturze grzebieniowej, usytuowane na powierzchni podłoża piezoelektrycznego, przy czym energia elektryczna jest odbierana na zaciskach trzeciego przetwornika o międzypalczastej strukturze grzebieniowej, wykonanego na tej powierzchni w taki sposób, aby odbierana była pewna część energii drgań wytwarzanych przez drugi przetwornik, a międzypalczaste struktury grzebieniowe stanowiące przetworniki pierwszy i drugi mają zęby wykonane w taki sposób, że utworzone są odpowiednio zestawy elementarnych źródeł promieniujących, odległości między którymi są odpowiednio k_1 i k_2 razy większe od długości fali dostarczającej energię drgań, przy czym współczynniki k_1 i k_2 są liczbami naturalnymi całkowitymi, **znamienny tym**, że zestawy elementarnych źródeł promieniujących (5, 6, 8, 9, 12, 13) są oddalone od siebie na taką odległość, że współczynniki k_1 i k_2 są równe liczbom pięć i siedem,

przy czym korzystnie każde elementarne źródło promieniujące (5, 6, 8, 9, 12, 13) zawiera środkowy, prostoliniowy, przewodzący elektrycznie ząb (6, 9, 13) otoczony przez dwa inne, zewnętrzne, prostoliniowe, przewodzące elektrycznie zęby (5, 8, 12), tworzące strukturę grzebieniową, w której zęby utworzone przez elementarne źródła promieniujące (5, 6, 8, 9, 12, 13) są dołączone do grzbietów w postaci pasków przewodzących (3, 4, 10, 11, 14, 15) leżących symetrycznie z dwóch stron, równoległe do osi (AA) rozchodzenia się fal, przy czym paski przewodzące (4, 11) są dołączone do masy (M) generatora, a przetworniki pierwszy i drugi są odsprężone elektrostatycznie za pomocą paska przewodzącego (7) dołączonego do masy (M) generatora, do której są również dołączone zęby krańcowe leżące w pobliżu paska przewodzącego (7).

2. Generator według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przetworniki pierwszy i drugi, zawierające ze-

stawy elementarnych źródeł promieniujących (5, 6, 8, 9, 12, 13), są umieszczone na podłożu w postaci płytki (1) kwarcu o cięciu Y, powierzchnię rozchodzenia się fal stanowi jedna powierzchnia (2) głównej płytki (1), a kierunek rozchodzenia się fal tworzy z osią (X) kwarcu kąt zasadniczo równy 33° .

3. Generator według zastrz. 1, **znamienny tym**, że przetworniki pierwszy i drugi zawierające zestawy elementarnych źródeł promieniujących (5, 6, 8, 9, 12, 13) są umieszczone na podłożu w postaci płytki (1) kwarcu o cięciu Y, jedna powierzchnia (2) głównej płytki (1) jest modyfikowana powierzchniowo przez implantację jonów i stanowi powierzchnię rozchodzenia się fal, a kierunek rozchodzenia się fal jest dobrany dla uzyskania jak najmniejszej pierwszej pochodnej przyrostu temperatury częstotliwości drgań.

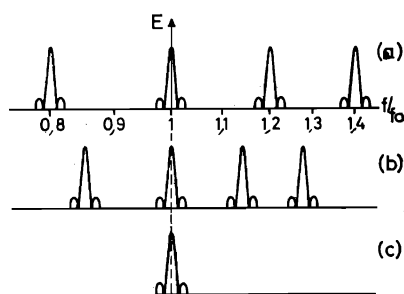
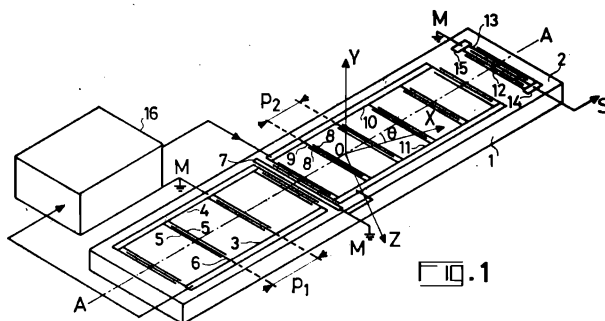


Fig. 2

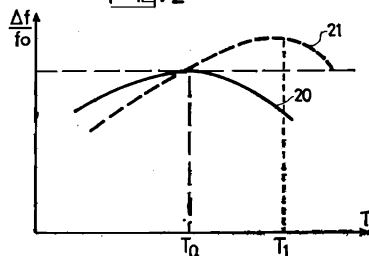


Fig. 3