



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К ПАТЕНТУ

(11) 869570

(61) Дополнительный к патенту -

(22) Заявлено 11.08.77 (21) 2510252/18-25

(23) Приоритет - (32) 11.08.76

(31) 7624571 (33) Франция

Опубликовано 30.09.81, Бюллетень № 36

Дата опубликования описания 30.09.81

(51) М. Кл.³

H 01 L 41/08

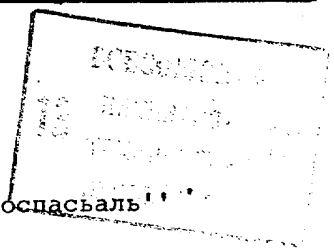
(53) УДК 537.228.1
(088.8)

(72) Авторы
изобретения

Иностранцы
Мишель Вальдуа и Арман Дюпюи
(Франция)

(71) Заявитель

Иностранная фирма
"Оффис Насьональ д'Этюд э де Решерш Аэроспасьяль"
(Франция)



(54) ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР

1

Изобретение относится к области электрических генераторов с пьезоэлектрическими резонаторами и может быть использовано в качестве эталонов частоты синхронизирующих сигналов в воздушных или космических транспортных средствах.

Известны электрические генераторы, содержащие пьезоэлектрические резонаторы [1].

Недостаток их состоит в низкой стабильности частоты электрических колебаний.

Известен электрический генератор с последовательной цепью возбуждения колебаний, содержащий емкость, регулирующую частоту колебаний, состоящую по крайней мере из одного переменного конденсатора, одна из пластин которого соединена с выходом цепи, пьезоэлектрический кварцевый резонатор, один из зажимов которого соединен с другой пластиной конденсатора, и усилитель, вход которого связан с другим зажимом резонатора, выход которого связан с выходом последовательной цепи, и схему согласования по уровню сигнала колебаний, посылаемого указанной цепью, связанную своим входом с выходом упомянутой цепи [2].

2

Недостатком этого генератора является невысокая стабильность частоты электрических колебаний при действии ускорения.

Цель изобретения состоит в повышении стабильности частоты электрических колебаний при действии ускорения.

Указанная цель достигается тем, что генератор содержит устройство, чувствительное к ускорению, которому подвергается генератор, механически связанное с неподвижной и подвижной арматурой переменного конденсатора соответственно степени свободы движения; устройство, чувствительное к ускорению, может представлять собой упругий возвратный элемент подвижной арматуры соответственно степени свободы движения; переменный конденсатор может иметь переменное расстояние между пластинами, а упругий возвратный элемент состоять из гибких пластин, которые, закреплены на арматуре, установленной параллельно и с возможностью перемещения в сторону неподвижной арматуры переменного конденсатора.

Кроме того, в таком генераторе направление движения перемещения подвижной арматуры переменного кон-

денсатора может быть параллельно вектору чувствительности к ускорению пьезоэлектрического кристалла резонатора, а указанная переменная емкость может состоять из трех переменных конденсаторов, которые содержат каждый одно устройство, чувствительное к ускорению и к упругому возврату их подвижной арматуры, которые электрически соединены параллельно между собой и последовательно с резонатором, и направления движения перемещения подвижных арматур которых соответственно параллельны трем основным осям пьезоэлектрического кристалла резонатора.

Предлагаемый генератор может иметь два варианта исполнения. В первом варианте одна из пластин переменного конденсатора имеет профилированные края между прямыми, перпендикулярными к направлению движения перемещения подвижной пластины, а другая пластина переменного конденсатора имеет прямоугольную поверхность.

Во втором варианте упругий возвратный элемент состоит из гибкой пластины, закрепленной на подвижной арматуре, которая подвижна на постоянном расстоянии от названной неподвижной арматуры и в направлении, параллельном к поверхностям пластин.

По первому и второму вариантам исполнения названные профилированные края определяются каждый следующим отношением профиля P в зависимости от перемещения и подвижной арматуры

$$-P(U) = \frac{1}{A(U-K)^2}$$

где A - постоянная, зависящая от геометрических и механических параметров названного упругого элемента и названного переменного конденсатора;

K - постоянная, зависящая от названных геометрических и механических параметров, а также от противоположной поверхности названных арматур при нулевом ускорении и других емкостей названного генератора.

На фиг. 1 показана электрическая схема пьезоэлектрического резонатора и его переменной емкости; на фиг. 2 - пьезоэлектрический кристалл в аксонометрии и его основные оси; на фиг. 3 - конденсатор, компенсирующий ускорение, согласно первому варианту исполнения, вид справа в полуразрезе; на фиг. 4 - то же, вид сверху; на фиг. 5 - схема конденсатора в аксонометрии, компенсирующего ускорение, согласно второму варианту исполнения; на фиг. 6 - сечение по передней стороне неподвижной пластины конденсатора, изображенного на фиг. 5; на фиг. 7 показана форма профиля поперечных краев неподвижной пластины; на фиг. 8 показано расположение трех переменных емкостей компенсирующего конденсатора согласно первому вари-

анту исполнения, когда вектор чувствительности к ускорению неизвестен; на фиг. 9 - то же, согласно второму варианту исполнения.

Электрический генератор содержит последовательную цепь, состоящую из переменного конденсатора 1, одна из пластин которого соединена с выходом 2 цепи, пьезоэлектрический кварцевый резонатор 3, один из зажимов которого связан с другой пластиной конденсатора 1, и усилитель 4, ввод которого соединен с другим зажимом резонатора, а вывод которого 5 связан с выходом 2 цепи. Схема 6, вход которой соединен с выходом 2 цепи, обеспечивает согласование по уровню сигнала колебаний, передаваемого через выход 2 цепи, который она передает через свой выход 7 на другие схемы или органы. Вектор \vec{r} , показанный в одном из направлений, представляет ускорение, которому подвергается генератор, и целью которого является компенсация явлений посредством автоматического изменения величины емкости C переменного конденсатора 1.

На фиг. 2 показан пьезоэлектрический кристалл 8 резонатора 3 и все три его основные оси, которые обозначены Ox , Oy и Oz . Кристалл 8 представляет собою, например, кварц в разрезе AT . Известно, что такой разрез обеспечивает максимальную стабильность частоты и минимальную чувствительность к изменениям температуры. Чтобы обеспечить максимальный резонанс, грань 9 кристалла 8 представляет собою шаровой сегмент, выпуклость которого ориентирована в направлении Oy .

Экспериментально определяли изменения частоты ΔF таких кварцев в разных направлениях по направлениям их основных осей, изменяя число точек крепления на держателях (не представленных на фиг. 2) при разных величинах ускорения. Было установлено, что во всех случаях изменение частоты (герцах) в обе стороны по отношению к номинальной частоте, которая определяется частотой при нулевом ускорении, может быть выражено с помощью следующего уравнения:

$$\Delta F = K_x r_x + K_y r_y + K_z r_z, \quad (1)$$

где r_x , r_y , r_z - соответствующие проекции вектора ускорения \vec{r} на все три основные оси Ox , Oy и Oz ;

K_x , K_y и K_z - коэффициенты пропорциональности данного резонатора, которые практически постоянны в данной области величин ускорения.

В качестве примера для кварца AT , указанного выше, номинальная частота колебаний которого равна $5 \cdot 10^6$ Гц, было найдено:

$K_x = 10^{-2}$ $K_y = 2 \cdot 10^{-2}$ $K_z = 10^{-2}$
при величинах ускорения от $-50g$ до $+$

+50г. Коэффициенты K_x, K_y, K_z выражены в герцах на единицу ускорения земного притяжения (Гц/г).

Следует заметить, что уравнение (1) является развернутой формой скалярного произведения:

$$\Delta F = \vec{k} \cdot \vec{r} \quad (2)$$

в котором \vec{r} - вектор ускорения, а \vec{k} - вектор, выражающий по модулю и направлению чувствительность к ускорению данного резонатора. Следствия этого будут выведены в дальнейшем.

Обратившись снова к фиг. 1, напомним, как частота колебаний резонатора 3 может быть скорректирована путем последовательного подключения емкости. Для этого представлена эквивалентная электрическая схема резонатора 3 и структура переменного корректирующего конденсатора 1. Последовательная резонансная цепь, состоящая из сопротивления R , катушки индуктивности L и конденсатора C , эквивалентна пьезоэлектрическому кристаллу и конденсатору C_0 , имеет между электродами емкость C_1 - величина емкости конденсатора 1.

Следует напомнить, что сдвиг по частоте ΔF , вызванный включением емкости C_1 , выражается следующим уравнением:

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{C}{2(C_0 + C_1)} + R^2 \frac{C_0^2}{2LC_1} \quad (3)$$

В качестве примера для такого кварца, который уже был рассмотрен и который имеет номинальную частоту колебаний, равную $F = 5 \cdot 10^6$ Гц, допустим следующие приближенные величины:

$$\begin{aligned} C &= 10^{-16} \text{ Ф} \\ R &= 100 \text{ Ом} \\ L &= 10 \text{ Гн} \\ C_0 &= 4 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \end{aligned}$$

Если величина емкости C_1 выше, чем величина емкости C_0 , уравнение (3) становится в первом приближении:

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{C}{2(C_0 + C_1)} \quad (4)$$

Действительно, чтобы обеспечить точную коррекцию частоты, конденсатор 1 емкости C_1 должен по существу состоять из двух параллельных конденсаторов, одного с емкостью C_2 и другого переменного с емкостью C_3 , причем емкость C_2 значительно больше емкости C_3 . В этом случае уравнение (4) принимает следующий вид:

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{C}{2(C_0 + C_2 + C_3)} \quad (5)$$

а корректирующая чувствительность становится тогда:

$$d(\Delta F) = -\Delta F \frac{dC_3}{C_0 + C_2 + C_3} \quad (6)$$

либо:

$$d(\Delta F) \sim -dC_3 \quad (7)$$

Таким образом, все вышесказанное доказывает пригодность настоящей

конструкции: переменного конденсатора, соединенного последовательно с резонатором и средств регулирования емкости этого конденсатора соответственно величине ускорения, для компенсации изменений частоты названного резонатора, вызванных упомянутым ускорением. Можно, например, регулировать геометрический параметр в пределах степени свободы движения (поверхность или расстояние между пластинами), который оказывает воздействие на переменную емкость конденсатора соответственно величине сигнала, посылаемого датчиком ускорения. Изобретение предусматривает простое и эффективное решение, которое состоит в возможности подсоединения датчика к переменному конденсатору посредством крепления его подвижной пластины с помощью упругого возвратного органа.

Согласно первому варианту исполнения изобретения, принимая за M массу подвижной пластины и за λ жесткость возвратной пружины, отмечают линейное изменение параметра в зависимости от ускорения.

По показателям чувствительности к ускорению и с целью облегчения изготовления за регулируемый параметр берут расстояние между пластинами. Что касается упругих возвратных средств, то можно, например, применять объем газа, заключенного между пластинами, и герметичную упругую оболочку. Однако значительно проще применять подвеску на упругих пластинах, такую, которая показана на фиг. 3 и 4.

Неподвижная арматура 10 конденсатора емкости C_3 приклеивается на изоляционную основу 11; продолжением которой является плечо 12. Подвижная арматура 13, параллельная арматуре 10, представляет собою пластину из упругого токопроводящего материала, например, из сплава никеля, продолжением которой служат две пластины 14, обладающие жесткостью λ , которые нависают над плечом 12 и в которых выполнены продольные пазы 15. Шлифты 16 зажимают плечи 12 и поддерживают пластины 14 в пазах, в которые они вставляются концами с винтовой нарезкой 17, на которые навинчиваются зажимные гайки 18.

Пластина 19 из изоляционного материала приклеивается на арматуру 13 и выполняет роль дополнительного груза массы M .

Пластины арматуры 10 и 13 соответственно подсоединяются проводниками 20 и 21, проходящими через элементы 11 и 19 к выводам 22 и 23.

Переменная емкость C_3 конденсатора, структура которой показана на фиг. 3 и 4, выражается по классической формуле:

$$C_3 = \epsilon_0 \frac{S}{l} \quad (8)$$

где ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума, равная $8,84 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

S - поверхность сопротивления арматур;

ℓ - Расстояние между арматурами.

Поскольку механические связи симметричны, S практически не изменяется только ℓ изменяется линейно в зависимости от ускорения. Если направление вектора K известно, например, в результате предварительного определения коэффициентов K_x, K_y и K_z уравнения (1) получают конденсатор, пластины которого перпендикулярны названному вектору.

По уравнению (8) величина r_k составляющей \vec{r} в направлении K такова, что она вызывает изменение $d\ell$ расстояния ℓ и приводит к изменению емкости:

$$dC_3 = -\epsilon \frac{d\ell}{\ell^2} \quad (9)$$

$$\text{и} \quad dC_3 \sim -d\ell \quad (10)$$

Но при данной массе груза 19 (масса пластины 13 не принимается во внимание) и данной жесткости λ гибких пружин, состоящих из пластин 14:

$$d\ell \sim r, \quad (11)$$

откуда $dC_3 \sim -r$ (12) таким образом, сравнивая уравнения (7) и (12), видим, что:

$$d(\Delta F) \sim -dC_3 - r \quad (13)$$

Следовательно, можно получить с помощью переменного конденсатора на упругой подвеске (фиг. 3 и 4), определив соответственно его геометрические и механические параметры (расстояние между арматурами, поверхность соприкосновения, жесткость пластин), за счет конструкции или регулирующих органов (не представленных на фиг. 3 и 4) практически точную компенсацию сдвига по частоте, вызываемого ускорения, воздействующими на генератор.

Согласно второму варианту исполнения изобретения, компенсации сдвига по частоте, вызываемого ускорением, которому подвергается генератор, абсолютно точная.

Из уравнения (5) выводят чувствительность коррекции

$$d(\Delta F) = -\frac{C \cdot F \cdot dC_3}{2(C_0 + C_2 + C_3)^2} \quad (14)$$

а также из уравнения (2):

$$d(\Delta F) = d(\vec{k} - \vec{r}) \quad (15)$$

Из двух предыдущих уравнений следует, что компенсация акселерометрических эффектов переменной емкостью C_3 является не чисто линейной в связи с нелинейностью ряда в зависимости от C_3 в знаменателе уравнения (14). Таким образом закон общего изменения зависит, с одной стороны, от закона изменения частоты в зависимости от емкости C_1 переменного конденсатора 1 и, с другой стороны, от закона изменения емкости C_1 в зависимости от ускорения.

Как уже говорилось, этот последний закон зависит по существу от геометрических параметров, а именно от расстояния ℓ и поверхности S арматур емкости C_3 , который выводится из уравнения (8). Отсюда выводится изменение емкости:

$$dC_3 = \frac{\epsilon_0}{\ell} dS - \epsilon_0 S \frac{d\ell}{\ell^2} \quad (16)$$

Аналогично первому варианту, из соображений облегчения изготовления, принимают во внимание только один параметр ℓ или S , изменение которого (нелинейное) корректирует форму электродов емкости C_3 с целью точной компенсации линейного изменения отклонения по частоте резонатора, вызываемого ускорением \vec{r} .

Согласно второму варианту исполнения, представленному на фиг. 5, емкость C_3 изменяется в зависимости от поверхности S с помощью гибкой пластины 24, один из концов которой жестко закреплен, между тем как другой конец крепится продольно, к одной из арматур 25 конденсатора емкости C_3 . Эта подвижная арматура 25 прямоугольной параллелепипедной формы имеет при постоянном расстоянии ℓ проектируемую часть S своей поверхности, находящуюся против другой неподвижной арматуры 26. Арматура 26 имеет профиль $P(U)$ на каждом из своих поперечных краев, симметричных по отношению к средней поперечной плоскости подвижной арматуры 25, форма которой позволяет компенсировать эффект нелинейности.

Неподвижная пластина 26 изолирована от подвижной пластины 25 и подвижная пластина 25 накладывается на пластину 24 с помощью системы крепления, например, аналогичной системе, описанной по первому варианту исполнения, представленному на фиг. 3 (элементы 12, 15, 17 и 18).

На фиг. 6 изображен контур поверхности неподвижной пластины 26, ограниченный поперечными краями профилей $P(U)$, симметричных по отношению к оси OU , перпендикулярной к пластине 24 и параллельной вектору K чувствительности к ускорению, направление которого предполагается известным. В этом случае, обозначив через массу подвижной арматуры 25, выполняющую функцию груза, и через r составляющую вектора ускорения \vec{r} согласно направлению K , основное уравнение динамики относительно малого перемещения арматуры 25 в направлении K (или OU) приводит к следующему уравнению:

$$\lambda dU = Md, \quad (17)$$

где λ - коэффициент жесткости пластины 24 (кг/с²)

Из уравнений (14) и (17) теперь можно вывести профиль $P(U)$, обеспе-

чивающий компенсацию эффектов нелинейности и определяемый

$$S = 2 \int_{U-\frac{h}{2}}^{U+\frac{h}{2}} p(U) dU, \quad (18)$$

где h и U означают толщину и координаты средней точки подвижной пластины 25.

Подставляя вместо данного уравнения (17) в уравнение (15) и выразив dC_3 через уравнение (16), получают уравнение (14) в следующем виде:

$$\frac{k\lambda dU}{M} = \frac{CF \left(\frac{\epsilon_0 d^5}{\ell} \right)}{2 \left(C_0 + C_2 + \frac{\epsilon_0 S}{\ell} \right)^2} \quad (19)$$

Предыдущее дифференциальное уравнение, выражающее функцию S в зависимости от изменений U , записывается в следующем виде:

$$A dU = \frac{dS}{(S-B)^2}, \quad (20)$$

где A и B - постоянные, такие, как:

$$A = \frac{2k \cdot \lambda \cdot \epsilon_0}{M \cdot C \cdot F \cdot \ell} (M^{-3}) \quad (21)$$

$$и \quad B = \frac{(C_0 + C_2) \ell}{\epsilon_0} (M^2) \quad (22)$$

Интегрируя уравнение (20), получаем

$$s(U) = \frac{1}{A(U-K)} + B \quad (23)$$

где K - постоянная интегрирования, найденная из первоначальных условий при нулевом ускорении, т.е. в зависимости от поверхности S_0 в точке покоя U_0 подвижной пластинки 25:

$$K = U_0 - \frac{1}{A(S_0 - B)} \quad (24)$$

Профиль $p(U)$ в этом случае выводится из производной функции $S(U)$, полученной по уравнению (23):

$$p(U) = \frac{1}{A|U-K|^2} \quad (25)$$

Из предыдущего уравнения (25) оказывается, что сначала производят коррекцию номинального значения емкости C_3 , такого как:

$$(C_3)_n = \epsilon_0 \frac{S_0}{\ell} \quad (26)$$

и что при ускорении \vec{r} перемещение dU массы M пластины 25 позволит повысить точность компенсации нелинейности.

Согласно другим вариантам исполнения изобретения, вектор \vec{K} не известен. Вычисление показывает, что компенсация может быть осуществлена с помощью трех переменных конденсаторов упомянутого типа, включенных параллельно между собой и последовательно с резонатором, и расположен-

ных соответственно так, что перемещение их подвижных пластин было бы параллельно трем основным осям OX , OY , OZ пьезокристалла 8 резонатора 3.

На фиг. 8 расположение пластин арматуры 13 и 14 всех трех переменных конденсаторов C_{31} , C_{32} и C_{33} , поверхности которых перпендикулярны трем осям OX , OY и OZ соответственно, представлено схематически согласно упомянутому примеру первого варианта исполнения.

На фиг. 9, наоборот поверхности пластин 26 и 25 всех трех переменных конденсаторов C_{31} , C_{32} и C_{33} расположены параллельно и на соответствующем постоянном расстоянии ℓ от осей OX , OY и OZ соответственно, согласно упомянутому примеру второго варианта исполнения.

В том и другом предыдущих случаях емкость конденсатора равна:

$$C_3 = C_2 + C_{31} + C_{32} + C_{33}. \quad (27)$$

В качестве неограниченного примера на фиг. 7 показана форма профиля неподвижной пластины 26 переменного конденсатора с регулирующей емкостью C_3 при следующих значениях: $C = 10^{-16}$ Ф; $C_0 = 5 \cdot 10^{-12}$ Ф; $C_2 = 20 \cdot 10^{-12}$ Ф; $F = 5 \cdot 10^6$ Гц; $\lambda = 10^5$ ньютон/м; $M = 5 \cdot 10^{-3}$ кг; $\ell = 10^{-4}$ м; точка покоя $S_0 = 10^{-8}$ м²; $(U_0 - K) = 3 \cdot 10^{-3}$ м.

Из предыдущих уравнений (18) и (21)-(25) выводят:

$$(C_3)_0 = 0,884 \cdot 10^{-12} \text{ Ф};$$

$$A = 1,768 \cdot 10^7 \text{ м}^{-3};$$

$$B = 2,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$h = \frac{S_0}{p(U_0 - K)} = 3,182 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

и таблицу следующих значений;

$(U_0 - K), \text{ м}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$
$p(U_0), \text{ м}$	$14,43 \cdot 10^{-3}$	$3,142 \cdot 10^{-3}$	$1,337 \cdot 10^{-3}$

Формула изобретения

1. Электрический генератор с последовательной цепью возбуждения колебаний, содержащий емкость, регулирующую частоту колебаний, состоящую по крайней мере из одного переменного конденсатора, одна из пластин которого соединена с выходом цепи, пьезоэлектрический кварцевый резонатор, один из зажимов которого соединен с другой пластиной конденсатора, и усилитель, вход которого связан с другим зажимом резонатора, а выход - с выходом последовательной цепи, и схему согласования по уровню сигнала колебаний, посылаемого указанной цепью, связанную своим входом с выходом упомянутой цепи, о т л и ч а ю щ и я с я тем, что, с целью повышения стабильности частоты электричес-

ких колебаний при действии ускорения, он содержит устройство, чувствительное к ускорению, которому подвергается генератор, механически связанное с неподвижной и подвижной арматурой переменного конденсатора соответственно степени свободы движения.

2. Генератор по п. 1, отличающийся тем, что устройство, чувствительное к ускорению, представляет собою упругий возвратный элемент подвижной арматуры соответственно степени свободы движения.

3. Генератор по п. 2, отличающийся тем, что указанный переменный конденсатор имеет переменное расстояние между пластинами, а упругий возвратный элемент состоит из гибких пластин, которые закреплены на арматуре, установленной параллельно и с возможностью перемещения в сторону неподвижной арматуры переменного конденсатора.

4. Генератор по пп. 2 и 3, отличающийся тем, что направление движения перемещения подвижной арматуры переменного конденсатора парал-

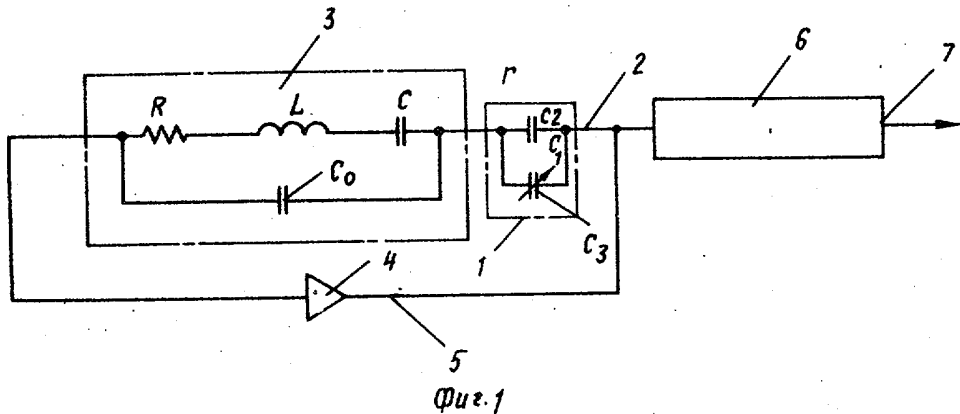
лельно вектору чувствительности к ускорению пьезоэлектрического кристалла резонатора.

5. Генератор по пп. 2 и 3, отличающийся тем, что указанная переменная емкость состоит из трех переменных конденсаторов, которые содержат каждый одно устройство, чувствительное к ускорению и к упругому возврату их подвижной арматуры, которые электрически соединены параллельно между собой и последовательно с резонатором, и направления движения перемещения подвижных арматур которых соответственно параллельны трем основным осям пьезоэлектрического кристалла резонатора.

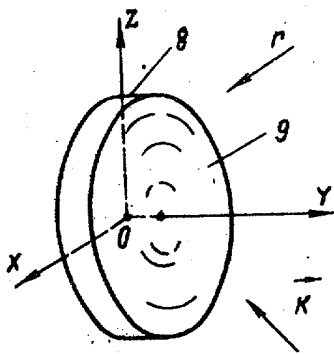
Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Малогабаритная радиоаппаратура. Справочник радиолюбителя, Киев, "Наукова Думка", 1976, с. 341-345.

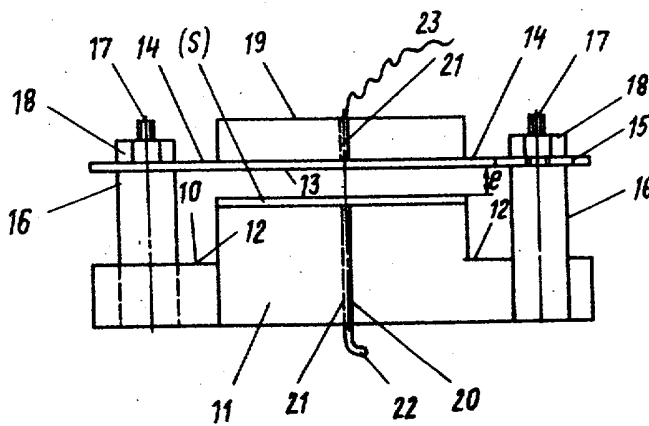
2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М., "Иностранная литература", 1956, с. 98-113.



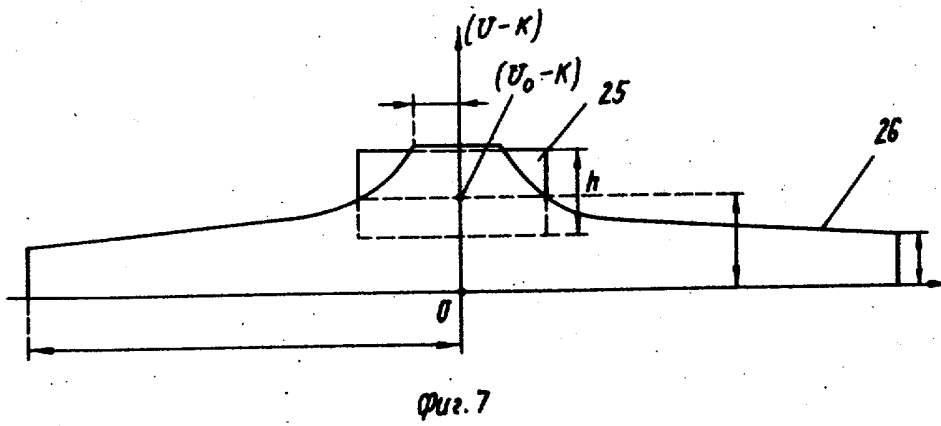
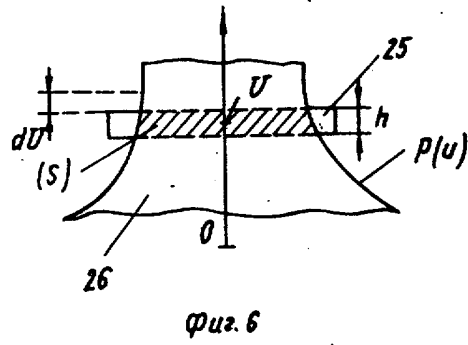
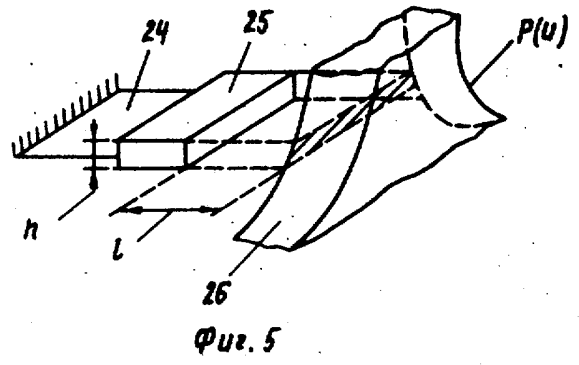
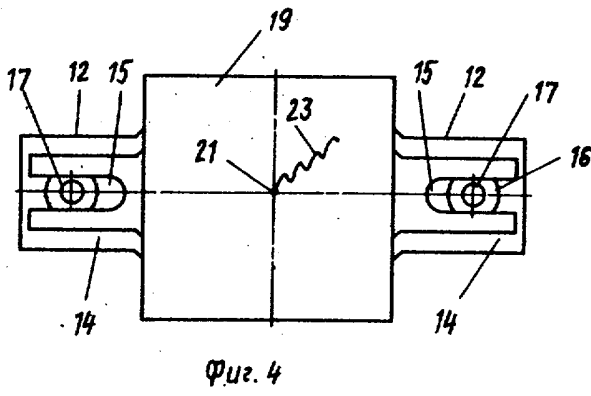
Фиг. 1

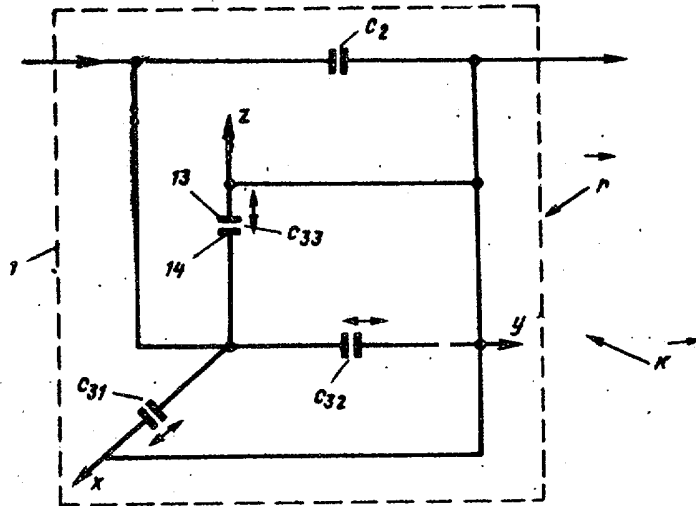


Фиг. 2

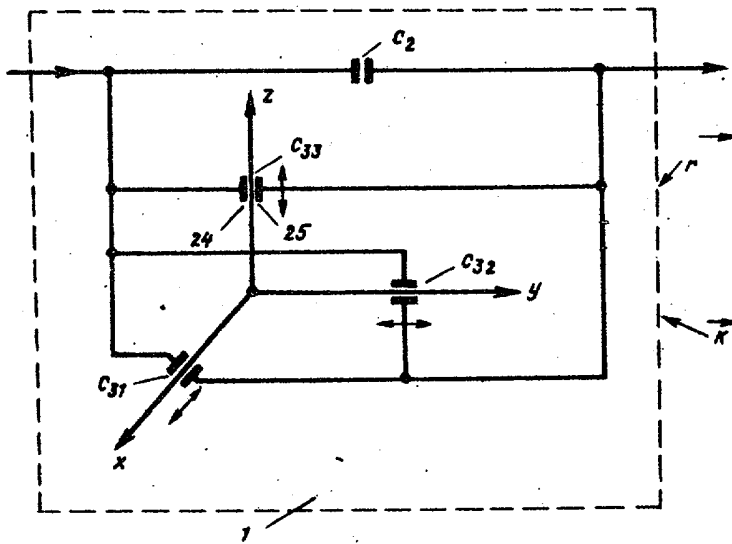


Фиг. 3





Фиг. 8



Фиг. 9

Редактор Н. Коляда Составитель В. Вавер Корректор У. Пономаренко
 Техред А. Савка

Заказ 8372/88

Тираж 787

Подписное

ВНИПИ Государственного комитета СССР
 по делам изобретений и открытий
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4