



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 083 035** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) МПК<sup>6</sup> **H 01 Q 13/18, 21/06**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 95108535/09, 05.06.1995

(46) Дата публикации: 27.06.1997

(56) Ссылки: 1. Воскресенский Д.И. и др. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток. - М.: Радио и связь, 1981, с. 126 - 128. 2. Заявка ЕПВ N 0205212, кл. H 01 Q 21/06, 1986.

(71) Заявитель:

Христич Александр Данилович,  
Чернышов Валентин Степанович,  
Василькова Татьяна Павловна,  
Ивашкин Сергей Евгеньевич

(72) Изобретатель: Христич Александр Данилович,  
Чернышов Валентин Степанович, Василькова  
Татьяна Павловна, Ивашкин Сергей Евгеньевич

(73) Патентообладатель:

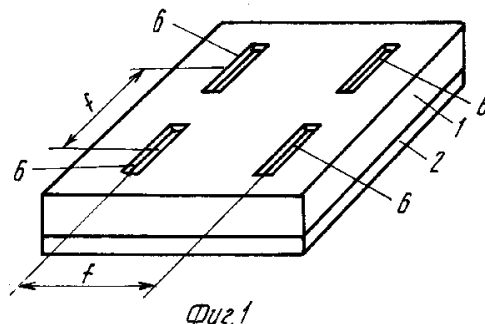
Христич Александр Данилович,  
Чернышов Валентин Степанович,  
Василькова Татьяна Павловна,  
Ивашкин Сергей Евгеньевич

### (54) ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ПЛОСКАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА

(57) Реферат:

Высокочастотная плоская антенная решетка для приема/передачи линейно-поляризованной волны содержит по меньшей мере один антенный модуль, каждый из которых содержит четыре излучающих элемента, расположенных эквидистантно в одной плоскости по узлам квадратной сетки, и волноводный синфазный делитель мощности, в котором распространяется волна TE 01. Делитель мощности состоит из трех идентичных Т-образных сочленений, расположенных в плоскости вектора E, четыре выхода которого посредством отрезков прямоугольных волноводов, оси которых перпендикулярны плоскости вектора E, соединены с излучающими элементами. Каждый излучающий элемент имеет две пластины 1, 2 с электропроводящей поверхностью, плотно прилегающие друг к другу. Первая пластина 1 содержит выемку 5 прямоугольной формы, выполненную в центральной части со стороны, обращенной к второй пластине 2, глубина h которой приблизительно равна толщине пластины.

Центр O выемки 5 размещен на продольной оси N-N отрезка прямоугольного волновода 4, большая сторона с выемки параллельна большей стороне a отрезка прямоугольного волновода 4, и в каждой выемке 5 вдоль сторон большего размера в непосредственной близости от них выполнены четыре щели 6 длиной приблизительно  $e = \lambda/2$ , центры которых лежат в вершинах квадрата со стороной  $f < \lambda$ , где  $\lambda$  - длина волны в свободном пространстве. 2 с. и 10 з.п. ф-лы, 11 ил.



RU 2 083 035 C1

RU 2 083 035 C1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 083 035** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) Int. Cl. <sup>6</sup> **H 01 Q 13/18, 21/06**

RUSSIAN AGENCY  
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 95108535/09, 05.06.1995

(46) Date of publication: 27.06.1997

(71) Applicant:

Khristich Aleksandr Danilovich,  
 Chernyshov Valentin Stepanovich,  
 Vasil'kova Tat'jana Pavlovna,  
 Ivashkin Sergej Evgen'evich

(72) Inventor: Khristich Aleksandr Danilovich,  
 Chernyshov Valentin Stepanovich, Vasil'kova  
 Tat'jana Pavlovna, Ivashkin Sergej Evgen'evich

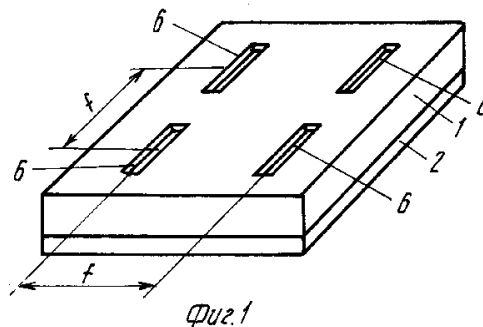
(73) Proprietor:  
 Khristich Aleksandr Danilovich,  
 Chernyshov Valentin Stepanovich,  
 Vasil'kova Tat'jana Pavlovna,  
 Ivashkin Sergej Evgen'evich

(54) **HIGH-FREQUENCY PLANAR-ARRAY ANTENNA**

(57) Abstract:

FIELD: antennas for transceiving linear-polarization waves. SUBSTANCE: planar-array antenna has at least one antenna module incorporating four radiating element equidistantly arranged in one plane at square array nodes, and cophasal waveguide power splitter wherein TE 01 mode in propagating. Power splitter has three identical T-joints locates in plane of vector E whose four outputs are connected to radiating elements through rectangular waveguide sections whose axes are perpendicular to plane of vector E. Each radiating element has plates 1, 2 with current-conducting surface tightly fitted to each other. Plate 1 has rectangular depression 5 made in its central part on side facing plate 2; its depth h approximately equals plate thickness. Center 0 of depression 5 is located on longitudinal axis N-N of rectangular waveguide section 4;

large side c of depression is parallel to large side a of rectangular waveguide section 4; each depression has four slits 6 of length about  $e = \pi/2$  along larger sides in immediate proximity of them, their centers being at square tops on side  $f < \lambda$ , where  $\lambda$  is wavelength in free space. EFFECT: improved design. 12 cl, 11 dwg



RU 2 083 035 C1

RU 2 083 035 C1

Изобретение относится к антенной технике, а более точно к излучающему элементу высокочастотной антенной решетки и высокочастотной плоской антенной решетке для системы непосредственного телевидения.

В последние годы ведутся большие работы по созданию плоских антенных решеток в особенности для систем непосредственного телевидения. Такие антенные решетки должны иметь коэффициент полезного действия более 0,7 в полосе рабочих частот не менее 10% при размерах апертуры в пределах от 15 до 150 длин волн.

Такие решетки технологичны в изготовлении, обладают малой массой и толщиной, простотой конструкции, имеют высокую повторяемость размеров и параметров. Излучающие элементы размещены с шагом, меньшим длины волны, при параллельном их возбуждении. Межэлементные расстояния, меньшие длины волны, позволяют теоретически реализовать коэффициент использования поверхности, близкий к единице, а параллельная схема возбуждения обеспечить отсутствие изменения углового положения диаграммы направленности в пространстве при изменении частоты. Указанные характеристики реализуются за счет малого поперечного сечения полосковых линий, входящих в распределительную структуру.

Однако не удается реализовать высокий коэффициент полезного действия в антенной решетке в печатном исполнении из-за высоких погонных потерь в полосковых линиях, которые составляют 0,05-0,1 дБ/см и обусловлены потерями в диэлектрике и токопроводящих поверхностях. Поэтому размеры апертуры печатных антенн обычно лежат в пределах 15-30 длин волн.

Создание плоских антенных решеток с высоким коэффициентом полезного действия возможно в волноводном исполнении, так как потери в волноводной распределительной структуре не превышают 0,001 дБ/см, что дает возможность получить высокий коэффициент усиления без ограничения размеров раскрытия антенной решетки.

Известна волноводно-щелевая антенная решетка на полых волноводах (см. например, Д.И. Воскресенский и др. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток. М. Радио и связь, 1981, с. 126-128). В этой антенной решетке волноводно-щелевые излучатели и последовательная волноводная распределительная структура выполнены на полых металлических волноводах и она имеет высокий коэффициент полезного действия.

Недостатком такой антенны является частотная зависимость луча, обусловленная наличием последовательной распределительной структуры.

Кроме того, такая конструкция антенной решетки нетехнологична, так как ее изготовление предусматривает использование большого объема непрогрессивных механосборочных работ, не дающих требуемой повторяемости размеров и параметров антенной решетки. Применение полых металлических волноводов приводит к тому, что эта антенная решетка обладает большой массой, толщиной и металлоемкостью.

Известна также плоская антенная решетка с параллельной волноводной распределительной структурой (см. например, выкладку международной патентной заявки Великобритании РСТ/GB89/00330), в которой отсутствует частотная зависимость луча. Решетка состоит из двух пластин, в одной из которых выполнена излучающая структура в виде рупоров, а в другой волноводный делитель мощности с использованием Т-образных волноводных сочленений в плоскости вектора  $E$ .

Шаг между излучающими элементами в такой антенной решетке при синфазности выходов волноводного делителя определяется размерами поперечного сечения волноводов делителя и поэтому не может быть реализован достаточно малым. В этой антенной решетке шаг между излучающими элементами близок к двум длинам волн, следовательно, размеры раскрытия излучающего рупора имеют ту же величину.

Коэффициент использования поверхности антенной решетки при таких размерах рупоров и при условии их синфазного и равноамплитудного возбуждения делителем мощности близок к коэффициенту использования поверхности раскрытия рупора.

Коэффициент использования поверхности рупора определяется видами амплитудного и фазового распределений на его раскрытии. Поскольку в плоскости вектора  $H$  амплитудное распределение на раскрытии рупора имеет спадающий характер, то при синфазности раскрытия рупора значение коэффициента использования поверхности раскрытия не может превысить 0,81.

Поэтому для получения синфазности раскрытия длина рупора должна быть большой и составлять несколько длин волн, что определяет большую толщину указанной антенной решетки. При уменьшении длины рупора коэффициент использования поверхности его раскрытия уменьшается.

Поэтому недостатком этой антенной решетки является недостаточно высокий коэффициент использования ее поверхности при значительной толщине и весьма сложной конструкции.

Наиболее близким аналогом является излучающий элемент высокочастотной антенной решетки, содержащий две пластины с электропроводящей поверхностью, плотно прилегающие друг к другу, при этом первая пластина содержит средство для излучения электромагнитной волны длиной  $\lambda$ , а вторая пластина содержит отрезок прямоугольного волновода, в котором распространяется волна  $TE_{01}$ , предназначенного для возбуждения электромагнитной волны в первой пластине и имеющего размеры поперечного сечения  $a$  и  $b$ , причем  $a > b$ , а продольная ось волновода перпендикулярна плоскости первой пластины (см. например EP-0-205212 B1).

Наиболее близким аналогом является также высокочастотная плоская антенная решетка для приема/передачи линейно-поляризованной волны, содержащая по меньшей мере один антенный модуль, содержащий четыре излучающих элемента, расположенных эквидистантно в одной плоскости по узлам квадратной сетки, и волноводный синфазный делитель мощности,

в котором распространяется волна TE<sub>01</sub>, состоящий из четырех идентичных T-образных сочленений, расположенных в плоскости вектора E, четыре выхода которого посредством отрезков прямоугольных волноводов, оси которых перпендикулярны плоскости вектора E, соединены с излучающими элементами (см, например, EP-0-205212 B1).

В указанной антенной решетке излучающие элементы представляют собой рупорные излучающие элементы, которые расположены с шагом, меньшим длины волны, за счет использования в волноводном делителе мощности волноводов уменьшенного поперечного сечения и сближения рупорных элементов до расстояния меньше длины волны.

Обычно при  $a < \lambda_{кр}/2$ , где  $\lambda_{кр}$  критическая длина волны в волноводе, стандартное отношение размера широкой стенки поперечного сечения волновода а к размеру узкой стенки b близко к двум. При этом условия справедливо утверждение о малых погонных потерях в волноводе.

При уменьшении размера узкой стенки, т.е. увеличении отношения a/b по сравнению со стандартным значением два, потери в волноводе возрастают во столько же раз, во сколько это отношение больше стандартного. В этой антенной решетке отношение a/b равно пяти, т.е. в 2,5 раза больше стандартного. Следовательно потери в волноводе больше в 2,5 раза по сравнению со стандартными потерями.

Потери в волноводах делителя мощности в этой решетке больше стандартных еще и потому, что рабочая длина волны на длинноволновом краю диапазона больше рекомендуемой по стандарту и близка к критической.

Рабочая полоса частот в этой антенной решетке ограничена и не превышает 7%

К недостаткам указанной антенной решетки следует также отнести технологическую сложность изготовления волноводного делителя мощности уменьшенного сечения и большую толщину излучающей структуры, определяемой высотой рупорного излучателя, которая составляет порядка длины волны.

В основу изобретения поставлена задача создания излучающего элемента для плоской высокочастотной антенной решетки, предназначенной для приема/передачи линейно-поляризованной волны, в котором выполнение средства для излучения электромагнитной волны в виде объемного прямоугольного резонатора с излучающими щелями, расстояние между которыми меньше длины волны, формирующими синфазное и равномерное амплитудное распределение на апертуре излучающего элемента, а также возбуждение в резонаторе поля с вектором E, перпендикулярным плоскости резонатора, в которой находятся щели, позволит повысить коэффициент использования поверхности элемента до 1 и уменьшить толщину излучающего элемента приблизительно до 1/3 длины волны  $\lambda$  в свободном пространстве.

В основу изобретения поставлена также задача создания частотно-независимой плоской высокочастотной антенной решетки для приема/передачи линейно-поляризованной волны, в которой

использование излучающего элемента с объемным прямоугольным резонатором позволит повысить коэффициент использования поверхности решетки до 1 и уменьшить ее площадь и толщину при неизменной величине коэффициента усиления, а также снять ограничения на увеличение размера апертуры и при этом существенно упростить технологию изготовления антенной решетки.

Задача решается тем, что в излучающем элементе высокочастотной антенной решетки, содержащем две пластины с электропроводящей поверхностью, плотно прилегающие друг к другу, при этом первая пластина содержит средство для излучения электромагнитной волны длиной l, а вторая пластина содержит отрезок прямоугольного волновода, в котором распространяется волна TE<sub>01</sub>, предназначенного для возбуждения электромагнитной волны в первой пластине и имеющего размеры поперечного сечения а и b, причем  $a > b$ , а продольная ось волновода перпендикулярна плоскости первой пластины, согласно изобретению средство для излучения электромагнитной волны длиной l содержит выемку прямоугольной формы, выполненную в центральной части первой пластины со стороны, обращенной к второй пластине и имеющей размеры поперечного сечения с и d, причем  $s > \lambda > d$ , и глубину  $h < \lambda/5$ , при этом центр выемки размещен на продольной оси прямоугольного волновода, большая сторона с выемки параллельна большей стороне а волновода, четыре сквозные щели длиной около  $e = \lambda/2$ , выполненные в выемке вдоль сторон большего размера в непосредственной близости от них, центры которых лежат в вершинах квадрата со стороной  $f < \lambda$ .

Целесообразно, чтобы на внешней поверхности первой пластины были выполнены один выступ, расположенный между щелями, геометрическая ось которого проходит через центр выемки и параллельна стороне большего размера выемки, и два выступа, расположенные у обоих краев пластины, так чтобы торцы выступов и торцы первой пластины лежали в одной плоскости, геометрические оси выступов были параллельны и симметричны геометрической оси первого выступа, а расстояния от продольной оси щелей до выступов равны, при этом ширина каждого из двух выступов была равна половине ширины выступа, расположенного между щелями.

Полезно, чтобы высота выступа определялась соотношением  $(\lambda/8 + n\lambda/2)$ , где n целое число.

Выгодно, чтобы выступы были сформированы из ряда дискретных элементов, размещенных с зазором.

Желательно, чтобы выступы имели в сечении прямоугольник, большая сторона которого параллельна плоскости пластины.

Полезно, чтобы излучающий элемент содержал плоскую пластину толщиной много меньше  $\lambda$  из радиопрозрачного материала, размеры которой определялись бы размерами излучающего элемента, расположенную на поверхности выступов.

Задача решается также тем, что в плоской антенной решетке для приема/передачи линейно-поляризованной волны, содержащей по меньшей мере один антенный модуль,

содержащий четыре излучающих элемента, расположенные эквидистантно в одной плоскости по узлам квадратной сетки, и волноводный синфазный делитель мощности, в котором распространяется волна TE<sub>01</sub>, состоящий из трех идентичных T-образных сочленений, расположенных в плоскости вектора E, четыре выхода которого посредством отрезков прямоугольных волноводов, оси которых перпендикулярны плоскости вектора E, соединены с излучающими элементами, согласно изобретению каждый излучающий элемент имеет две пластины с электропроводящей поверхностью, плотно прилегающие друг к другу, первая из которых содержит выемку прямоугольной формы, выполненную в центральной части пластины со стороны, обращенной к второй пластине и имеющей размеры поперечного сечения c и d, причем  $c > \lambda > d$ , и глубину, приблизительно равную толщине пластины, при этом центр выемки размещен на продольной оси отрезка прямоугольного волновода, большая сторона выемки параллельна большей стороне отрезка прямоугольного волновода, и в каждой выемке вдоль сторон большего размера в непосредственной близости от них выполнены четыре щели длиной приблизительно  $e = \lambda/2$ , центры которых лежат в вершинах квадрата со стороной  $f < \lambda$ .

Целесообразно, чтобы расстояние между центрами смежных щелей соседних излучающих элементов были равны расстояниям между центрами щелей в каждом излучающем элементе, при этом два выступа на смежных элементах, плотно прилегающих друг к другу, образовывали выступ, ширина которого была равна ширине выступа, расположенного между щелями.

Полезно, чтобы волноводный синфазный делитель мощности содержал две плотно прилегающие друг к другу пластины с электропроводящей поверхностью, размещенные под второй пластиной излучающего элемента, так что первая пластина делителя мощности плотно прилегала к второй пластине излучающего элемента, в этих двух пластинах были выполнены четыре волноводных канала, оси которых перпендикулярны плоскостям пластин и совмещены с осями отрезков прямоугольных волноводов во второй пластине излучающего элемента, причем четыре волноводных канала совместно с отрезками прямоугольных волноводов во второй пластине излучающего элемента образовывали четыре единых отрезка прямоугольных волноводов, закороченных со стороны, противоположной излучателю, посредством электропроводящего слоя, размещенного на поверхности канала второй пластины делителя мощности, при этом в первой пластине со стороны, обращенной к второй пластине, были выполнены канавки для формирования половины волновода делителя мощности, форма которых соответствовала трем T-образным сочленениям, расположенным в плоскости вектора E, а во второй пластине со стороны, обращенной к первой пластине, были выполнены канавки для формирования второй половины волновода делителя мощности, так чтобы вектор E лежал в плоскости контакта первой и второй пластин,

которая проходила бы через середину широкой стенки волновода делителя мощности, при этом узкие стенки выходных волноводов делителя мощности лежали бы в плоскости электропроводящего слоя второй пластины, закорачивающего отрезки четырех прямоугольных волноводов, четыре выхода волноводов делителя мощности были совмещены с четырьмя отрезками прямоугольных волноводов, проходящих через вторую пластину излучающего элемента и первую и вторую пластины делителя мощности так, что поперечное сечение волновода делителя мощности было совмещено с равным по размеру окном в широкой стенке отрезка прямоугольного волновода, а длинная сторона окна была совмещена с плоскостью узкой стенки отрезка прямоугольного волновода.

Целесообразно, чтобы вторая пластина всех излучающих элементов и первая пластина делителя мощности были выполнены в виде одной пластины.

Полезно также, чтобы первые пластины всех излучающих элементов были выполнены в виде одной пластины.

Выгодно, чтобы антенная решетка содержала плоскую пластину толщиной много меньше l из радиопрозрачного материала, размеры которой определялись бы размерами апертуры антенной решетки и которая была бы расположена на поверхности выступов.

На фиг. 1 показан излучающий элемент высокочастотной антенной решетки, содержащий две пластины с электропроводящей поверхностью, плотно прилегающие друг к другу; на фиг. 2 две пластины излучающего элемента, условно расположенные на некотором расстоянии друг от друга (вид со стороны, обращенной к делителю мощности), в которых выполнены выемка со щелями и отрезок волновода; на фиг. 3 излучающий элемент, на внешней поверхности первой пластины которого выполнены выступы; на фиг. 4 излучающий элемент, вид спереди; на фиг. 5 излучающий элемент, на внешней поверхности первой пластины которого выполнены выступы, сформированные из ряда дискретных элементов; на фиг. 6 излучающий элемент, на котором размещена пластина из радиопрозрачного материала; на фиг. 7 антенная решетка для приема/передачи линейно-поляризованной волны, содержащая четыре излучающих элемента, вид сверху; на фиг. 8 конструктивная схема волноводного синфазного делителя мощности (частичный вырыв); на фиг. 9 волноводный синфазный делитель мощности, выполненный в виде двух пластин с электропроводящей поверхностью, условно расположенных на некотором расстоянии друг от друга, в которых выполнены волноводные каналы; на фиг. 10 антенная решетка, частичный разрез; на фиг. 11 антенная решетка, состоящая из трех пластин, на которых расположена пластина из радиопрозрачного материала.

Излучающий элемент высокочастотной антенной решетки содержит две пластины 1, 2 (фиг. 1) с электропроводящей поверхностью, плотно прилегающие друг к другу. Первая пластина 1 содержит средство 3 (фиг. 2) для излучения электромагнитной волны длиной l, а вторая пластина 2 содержит отрезок прямоугольного волновода 4, в котором

распространяется волна TE  $o_1$ , предназначенного для возбуждения электромагнитной волны в первой пластине 1. Отрезок прямоугольного волновода 4 имеет размеры поперечного сечения  $a$  и  $b$ , причем  $a > b$ . Продольная ось N-N волновода 4 перпендикулярна плоскости первой пластины 1.

Средство 3 для излучения электромагнитной волны длиной  $l$  содержит выемку 5 прямоугольной формы, выполненную в центральной части первой пластины 1 со стороны, обращенной к второй пластине 2. Выемка 5 имеет размеры поперечного сечения  $c$  и  $d$ , причем  $c > \lambda > d$  и глубину  $h < \lambda/5$ . При этом центр O выемки 5 размещен на продольной оси N-N прямоугольного волновода 4 и большая сторона  $c$  выемки 5 параллельна большей стороне  $a$  волновода 4.

В выемке 5 вдоль сторон  $c$  большего размера в непосредственной близости от них выполнены четыре сквозные щели 6, центры которых лежат в вершинах квадрата со стороной  $f < \lambda$ .

На внешней поверхности первой пластины 1 (фиг. 3) выполнен выступ 7, расположенный между щелями 6, геометрическая ось x-x которого проходит через центр выемки (на фиг. 3 не показана) и параллельна стороне  $c$  большего размера выемки 5. На внешней стороне первой пластины 1 выполнены также два выступа 8, расположенные у обоих краев пластины 1, так что торцы выступов 8 и торцы первой пластины 1 лежат в одной плоскости. Геометрические оси y-y выступов 8 параллельны и симметричны геометрической оси x-x первого выступа 7. Расстояния  $L$  от продольной оси щелей 6 (фиг. 4) до выступов 8 равны, при этом ширина каждого из двух выступов 8 равна половине ширины выступа 7, расположенного между щелями 6.

Высота  $H$  выступа 7 или 8 определяется соотношением  $(\lambda/8 + n\lambda/2)$ , где  $n$  целое число.

Возможен вариант выполнения, когда выступы 7, 8 (фиг. 5) не сплошные, а сформированы из ряда дискретных элементов 9, размещенных с зазором.

Выступы 7, 8 имеют в сечении прямоугольник, большая сторона которого параллельна плоскости пластины 1.

Целесообразно, чтобы излучающий элемент содержал плоскую пластину 10 (фиг. 6) толщиной много меньше  $\lambda$  из радиопрозрачного материала, размеры которой определяются размерами пластины, расположенную на поверхности выступов. Пластина 10 предназначена для защиты апертуры излучающего элемента от внешних воздействий.

В описываемом варианте антенная решетка для приема/передачи линейно-поляризованной волны содержит один антенный модуль из четырех излучающих элементов, расположенных эквидистантно в одной плоскости по узлам квадратной сетки (фиг. 7).

Возможен вариант, когда количество излучающих элементов может быть больше и в общем случае количество излучающих элементов равно 2 в степени  $n$ , где  $n$  целое число.

Плоская антенная решетка содержит также волноводный синфазный делитель 11 (фиг. 8) мощности, в котором распространяется волна

TE  $o_1$ , состоящий из трех идентичных T-образных сочленений 12, расположенных в плоскости вектора  $E$ . Четыре выхода 13 делителя мощности 11 посредством отрезков 14 прямоугольных волноводов, оси которых перпендикулярны плоскости вектора  $E$ , соединены с излучающими элементами.

Каждый излучающий элемент антенной решетки выполнен так, как описано выше.

В случае, когда количество излучающих элементов равно 2 в степени  $n$ , количество выходов делителя мощности должно быть равно 2 в степени  $n$ , а количество T-образных сочленений должно быть на единицу меньше.

Расстояния  $f$  (фиг. 7) между центрами смежных щелей 6 соседних излучающих элементов равны расстояниям  $f$  между центрами щелей 6 в каждом излучающем элементе. При этом два выступа 8 на смежных элементах, плотно прилегающих друг к другу, образуют выступ, ширина которого равна ширине выступа 7, расположенного между щелями 6. В этом случае технологичнее первую пластину 1 всех излучающих элементов антенного модуля выполнять в виде одной пластины.

В описываемом варианте волноводный синфазный делитель 15 мощности содержит две плотно прилегающие друг к другу пластины 16, 17 с электропроводящей поверхностью, размещенные под второй пластиной 2 (фиг. 10) излучающих элементов, так что первая пластина 16 делителя мощности плотно прилегает к второй пластине 2.

В пластинах 16, 17 (фиг. 9) выполнены четыре волноводных канала 18, оси N-N которых перпендикулярны плоскостям пластин 16, 17 и совмещены с осями N-N отрезков прямоугольных волноводов 4 во второй пластине 2 излучающего элемента. Четыре волноводных канала 18 совместно с отрезками прямоугольных волноводов 4 во второй пластине 2 излучающего элемента образуют четыре единичных отрезка прямоугольных волноводов 19 (фиг. 10). Отрезки прямоугольных волноводов 19 закорочены со стороны, противоположной излучателю, посредством электропроводящего слоя 20, размещенного на поверхности канала 18 второй пластины 17 делителя мощности.

В первой пластине 16 (фиг. 9) со стороны, обращенной к второй пластине 17, выполнены канавки 21 для формирования половины волновода делителя мощности, форма которых соответствует трем T-образным сочленениям 12 (фиг. 8), расположенным в плоскости вектора  $E$ .

Во второй пластине 17 (фиг. 9) со стороны, обращенной к первой пластине 16, выполнены канавки 22 для формирования второй половины волновода делителя мощности, так что вектор  $E$  лежит в плоскости контакта первой и второй пластин 16, 17, которая проходит через середину широкой стенки волновода делителя мощности 15.

При этом узкие стенки выходных волноводов 23 делителя мощности лежат в плоскости электропроводящего слоя 20 второй пластины 17, закорачивающего отрезки четырех прямоугольных волноводов 19 (фиг. 10).

Конфигурация делителя 11 мощности, показанного на фиг. 8, полностью

соответствует конфигурации делителя 15 мощности, выполненного в пластинах 16, 17, показанного на фиг. 9. Поэтому для понимания существа изобретения покажем соединения прямоугольных волноводов между собой на примере делителя 11 мощности, показанного на фиг. 8.

Четыре выхода волноводов 13 делителя 11 мощности совмещены с четырьмя отрезками прямоугольных волноводов 14 так, что волновод 13 делителя мощности по поперечному сечению совмещен с равным по размеру окном 24 в широкой стенке отрезка прямоугольного волновода 14, а длинная сторона 25 (показана на фиг. 8 штрих-пунктирной линией) окна 24 совмещена с плоскостью узкой стенки отрезка прямоугольного волновода 14.

Предпочтительно, чтобы вторая пластина 2 излучающих элементов и первая пластина 16 делителя 15 мощности были выполнены в виде одной пластины 26 (фиг. 11).

Целесообразно, чтобы на выступах 7, 8 антенной решетки была размещена радиопрозрачная пластина 27 для защиты апертуры антенной решетки от внешних воздействий.

Работа предлагаемой плоской антенной решетки осуществляется следующим образом.

Плоская антенная решетка может работать как в режиме приема, так в режиме передачи линейно-поляризованной волны. Плоская антенная решетка в режиме передачи излучает поле линейной поляризации, при этом вектор  $E$  перпендикулярен большему размеру излучающей щели. При необходимости путем размещения перед раскрывом антенны поляризатора можно превратить излучаемое антенной поле линейной поляризации в поле круговой поляризации.

При возбуждении в прямоугольном волноводе 4 (фиг. 1) излучающего элемента волны  $TE_{01}$  в прямоугольной выемке 5, являющейся волноводным резонатором, также возбуждается волна типа  $TE$ . При этом вектор  $E$  перпендикулярен стенке резонатора, в которой прорезаны излучающие щели 6. Амплитуда поля в резонаторе вдоль вектора  $E$  не меняется, что позволяет сделать высоту  $h$  резонатора достаточно малой, порядка  $1/5l$ .

Это и является первым существенным преимуществом предлагаемой антенной решетки, позволяющей существенно уменьшить ее толщину по сравнению с известными решетками.

Поскольку излучающие щели 6 выполнены во внешней стенке резонатора симметрично относительно центра поперечного сечения возбуждающего резонатор волновода 4, они возбуждаются синфазно и с равными амплитудами. Расстояния  $f$  между щелями 6 меньше длины волны  $l$ , что позволяет получить коэффициент использования поверхности излучающего элемента и поверхности решетки теоретически равным единице.

Это является вторым существенным преимуществом предлагаемой антенной решетки.

Способ возбуждения излучающих щелей 6 (фиг. 2) в волноводном резонаторе аналогичен способу возбуждения поперечных щелей, прорезанных на широкой стенке

прямоугольного волновода. Поэтому для получения максимальной эффективности их возбуждения они выполнены в непосредственной близости от стенки с волноводного резонатора. Размеры  $s$  и  $d$  резонатора определяются необходимым расстоянием  $f$  между центрами щелей 6, которые одинаковы в обоих направлениях.

Для согласования апертуры излучающего элемента со свободным пространством на внешней поверхности резонатора выполнены выступы 7, 8 (фиг. 3) высотой порядка  $1/8 l$ , что несущественно увеличивает толщину излучающей части элемента. Форма выступов 7, 8 может быть различной, в том числе они могут быть выполнены из дискретных элементов 9 (фиг. 5) или, например, штырей (на фиг. 5 не показаны). Выступы 7, 8 расположены так, что расстояние  $l$  от центров щелей 6 до краев выступов равны.

Высота, ширина и форма выступов 7, 8 выбираются из условия согласования излучающего элемента в полосе частот 10,95 12,75 ГГц, в которой ведется непосредственное телевизионное вещание.

Наличие выступов 7, 8 на апертуре излучающего элемента, а следовательно, антенной решетки, позволяет попутно достаточно простым способом решить вопрос защиты апертуры решетки от внешних воздействий путем установки на выступах тонкой радиопрозрачной пластины 10 (фиг. 6). При этом установка пластины 10 не приводит к расстройке излучающих щелей 6, так как она приподнята над ними.

При построении из описанных излучающих элементов антенной решетки они объединяются в одной плоскости так, чтобы их центры располагались по узлам квадратной сетки, т.е. чтобы излучающие элементы, а следовательно, и щели 6 (фиг. 7) располагались в одной плоскости эквидистантно. Решетку, содержащую четыре излучающих элемента, мы называем антенным модулем. В общем случае, как будет показано дальше, антенная решетка может содержать два в степени  $n$  излучающих элементов.

Для получения синфазного и равноамплитудного возбуждения антенной решетки ее излучающие элементы возбуждаются с помощью волноводного синфазного (бинарного) делителя 11 (фиг. 8) мощности. Он состоит из идентичных Т-образных сочленений прямоугольных волноводов в плоскости вектора  $E$ . Поскольку делитель 11 мощности бинарный, то и количество излучающих элементов, как указано выше, должно быть равным два в степени  $n$ .

Одна из особенностей используемого делителя 11 мощности состоит в том, что он разрезается на две части по оси широкой стенки волновода, т.е. по нейтральной линии, на которой отсутствуют токи. Каждая часть выполняется в виде двух пластин 16, 17 (фиг. 9) с канавками 21, 22, являющимися половиной волноводного канала. Так как разрез выполнен по нейтральной линии волновода, то требования к контактному сопротивлению между пластинами снижаются.

Для возбуждения излучающих элементов выходные волноводы делителя 11 мощности должны быть ортогональны плоскости вектора

Е и сохранять при этом синфазность выходных сигналов. Это достигается тем, что выходные волноводы 13 (фиг. 8) Т-образных сочленений пересекаются с отрезками волноводов 14, возбуждающих излучающие элементы, так, что одна из узких стенок волноводов 14 совпадает с одной из широких стенок волноводов 13. Такая конструкция волноводного делителя 11 позволяет увеличить зазор между волноводами 14 вдоль их широких стенок. Это дает возможность выполнить входное плечо первого Т-образного сочленения 12 волноводов прямым и применить в волноводном делителе 11 мощности стандартные волноводы с отношением размеров поперечного сечения равным двум, которые имеют малые потери.

Это является третьим существенным преимуществом предлагаемой антенной решетки, позволяющим снять ограничения на увеличение ее апертуры.

Из указанного выше вполне естественно вытекает, что конструктивно антенная решетка может быть выполнена, как показано на фиг. 10 или как показано на фиг. 11, в виде трех пластин 1, 26, 17 с токопроводящими поверхностями, плотно прилегающих друг к другу.

Апертура антенной решетки защищается тонкой радиопрозрачной пластиной 27.

Такая конструкция существенно упрощает технологию изготовления антенной решетки, дает возможность применять такие высокопроизводительные способы изготовления как литье, прессование, штамповка, обеспечивающие высокую идентичность изделий. Вполне естественно, что в пластинах могут быть организованы пустоты, уменьшающие расход материала и вес решетки. Пластины могут быть изготовлены как из металла, так и металлизированной пластмассы.

В соответствии с приведенным описанием был изготовлен и прошел предварительные испытания опытный образец плоской антенной решетки. Он содержал 256 излучающих элементов. Делитель мощности был выполнен на волноводе WR-75 с размерами поперечного сечения, приблизительно равными  $19 \times 9,5 \text{ мм}^2$ . Размер апертуры антенной решетки  $700 \times 700 \text{ мм}^2$ , толщина 34 мм. В полосе частот 10,95-12,75 ГГц коэффициент использования поверхности решетки был больше 0,8. Коэффициент стоячей волны на входе антенной решетки в том же диапазоне частот составил не более 1,7.

### Формула изобретения:

1. Излучающий элемент высокочастотной антенной решетки, содержащий две пластины с электропроводящей поверхностью, плотно прилегающие друг к другу, при этом первая пластина содержит средство для излучения электромагнитной волны длиной  $\lambda$ , а вторая пластина содержит отрезок прямоугольного волновода, в котором распространяется волна TE 01, предназначенного для возбуждения электромагнитной волны в первой пластине и имеющего размеры поперечного сечения  $a$  и  $b$  причем  $a > b$ , а продольная ось волновода перпендикулярна плоскости первой пластины, отличающийся тем, что средство для излучения

электромагнитной волны длиной  $\lambda$  содержит выемку прямоугольной формы, выполненную в центральной части первой пластины со стороны, обращенной к второй пластине, и имеющую размеры поперечного сечения  $c$  и  $d$ , причем  $c > \lambda > d$ , и глубину  $h < \lambda/5$ , при этом центр выемки размещен на продольной оси прямоугольного волновода, большая сторона  $c$  выемки параллельна большей стороне  $a$  волновода, четыре сквозные щели длиной около  $\lambda/2$  выполнены в выемке вдоль сторон большего размера в непосредственной близости от них, центры которых лежат в вершинах квадрата со стороной  $f < \lambda$ .

2. Элемент по п.1, отличающийся тем, что на внешней поверхности первой пластины выполнен один выступ, расположенный между щелями, геометрическая ось которого проходит через центр выемки и параллельна стороне большего размера выемки, и два выступа, расположенных у обоих краев пластины, так что торцы выступов и торцы первой пластины лежат в одной плоскости, геометрические оси выступов параллельны и симметричны геометрической оси первого выступа, а расстояния от продольной оси щелей до выступов равны, при этом ширина каждого из двух выступов равна половине ширины выступа, расположенного между щелями.

3. Элемент по п.2, отличающийся тем, что высота выступа определяется соотношением  $(\lambda/8 + n\lambda/2)$ , где  $n$  целое число.

4. Элемент по п.1-3, отличающийся тем, что выступы сформированы из ряда дискретных элементов, размещенных с зазором.

5. Элемент по п.1-3, отличающийся тем, что выступы имеют в сечении прямоугольник, большая сторона которого параллельна плоскости пластины.

6. Элемент по п.2-5, отличающийся тем, что содержит плоскую пластину толщиной меньше  $\lambda$  из радиопрозрачного материала, размеры которой определяются размерами пластин, расположенную на поверхности выступов.

7. Высокочастотная плоская антенная решетка для приема/передачи линейно-поляризованной волны, содержащая по меньшей мере один антенный модуль, содержащий четыре излучающих элемента, расположенных эквидистантно в одной плоскости по узлам квадратной сетки, и волноводный синфазный делитель мощности, в котором распространяется волна TE 01, состоящий из трех идентичных Т-образных сочленений, расположенных в плоскости вектора  $E$ , четыре выхода которого посредством отрезков прямоугольных волноводов, оси которых перпендикулярны плоскости вектора  $E$ , соединены с излучающими элементами, отличающаяся тем, что каждый излучающий элемент имеет две пластины с электропроводящей поверхностью, плотно прилегающие друг к другу, первая из которых содержит выемку прямоугольной формы, выполненную в центральной части пластины со стороны, обращенной ко второй пластине, и имеющую размеры поперечного сечения  $c$  и  $d$ , причем  $c > \lambda > d$ , и глубину, приблизительно равную толщине пластины, при этом центр выемки размещен на продольной оси отрезка прямоугольного волновода, большая сторона



выемки параллельна большей стороне отрезка прямоугольного волновода, и в каждой выемке вдоль сторон большего размера в непосредственной близости от них выполнены четыре щели длиной приблизительно  $\lambda/2$ , центры которых лежат в вершинах квадрата со стороной  $f < \lambda$ .

8. Решетка по п.7, отличающаяся тем, что расстояния между центрами смежных щелей соседних излучающих элементов равны расстояниям между центрами щелей в каждом излучающем элементе, при этом два выступа на смежных элементах плотно прилегающих друг к другу, образуют выступ, ширина которого равна ширине выступа, расположенного между щелями.

9. Решетка по п.7, отличающаяся тем, что волноводный синфазный делитель мощности содержит две плотно прилегающие друг к другу пластины с электропроводящей поверхностью, размещенные под второй пластиной излучающего элемента, так что первая пластина делителя мощности плотно прилегает к второй пластине излучающего элемента, в этих двух пластинах выполнены четыре волноводных канала, оси которых перпендикулярны плоскостям пластин и совмещены с осями отрезков прямоугольных волноводов во второй пластине излучающего элемента, причем четыре волноводных канала совместно с отрезками прямоугольных волноводов во второй пластине излучающего элемента образуют четыре единичных отрезка прямоугольных волноводов, закороченных со стороны, противоположной излучателю, посредством электропроводящего слоя, размещенного на поверхности канала второй пластины делителя мощности, при этом в первой пластине со стороны, обращенной к второй пластине, выполнены канавки для формирования половины волновода делителя

мощности, форма которых соответствует трем Т-образным сочленениям, расположенным в плоскости вектора  $E$ , а во второй пластине со стороны, обращенной к первой пластине, выполнены канавки для формирования второй половины волновода делителя мощности, так что вектор  $E$  лежит в плоскости контакта первой и второй пластин, которая проходит через середину широкой стенки волновода делителя мощности, при этом узкие стенки выходных волноводов делителя мощности лежат в плоскости электропроводящего слоя второй пластины, закорачивающего отрезки четырех прямоугольных волноводов, четыре выхода волноводов делителя мощности совмещены с четырьмя отрезками прямоугольных волноводов, проходящих через вторую пластину излучающего элемента, первую и вторую пластины делителя мощности так, что поперечное сечение волновода делителя мощности совмещено с равным по размеру окном в широкой стенке отрезка прямоугольного волновода, а длинная сторона окна совмещена с плоскостью узкой стенки отрезка прямоугольного волновода.

10. Решетка по п.9, отличающаяся тем, что вторая пластина всех излучающих элементов и первая пластина делителя мощности выполнены в виде одной пластины.

11. Решетка по пп.7 10, отличающаяся тем, что первые пластины всех излучающих элементов выполнены в виде единой пластины.

12. Решетка по пп.7 11, отличающаяся тем, что содержит плоскую пластину толщиной много меньше  $\lambda$  из радиопрозрачного материала, размеры которой определяются размерами апертуры антенной решетки расположенную на поверхности выступов.

5

10

15

20

25

30

35

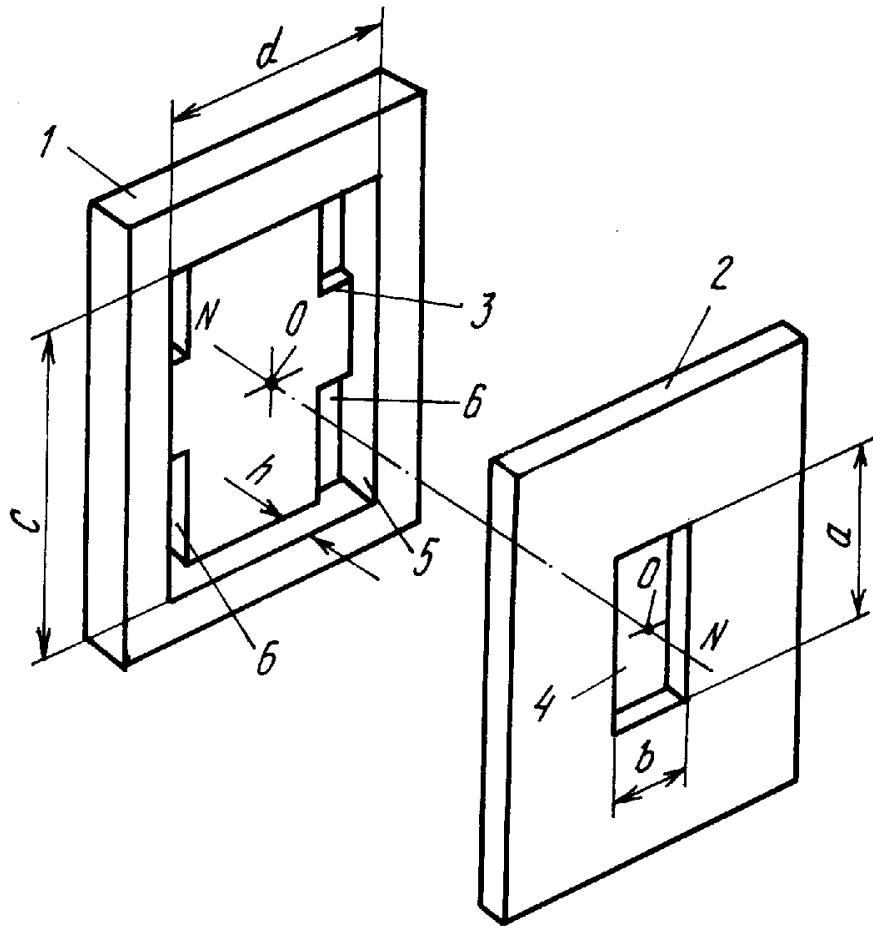
40

45

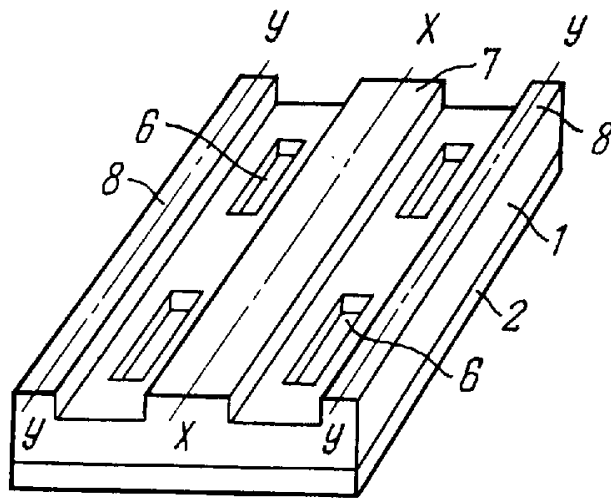
50

55

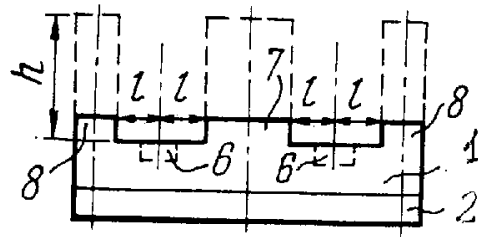
60



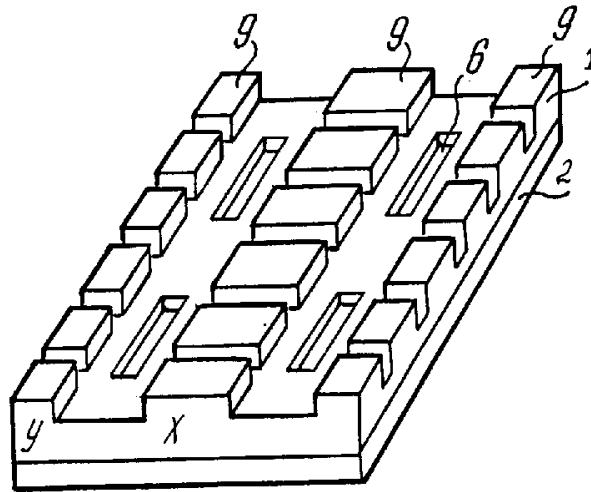
Фиг. 2



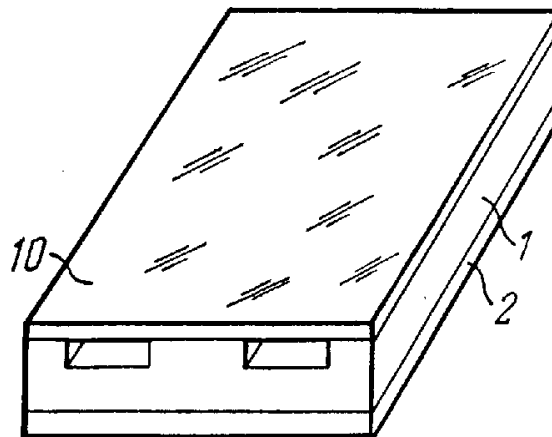
Фиг. 3



Фиг. 4



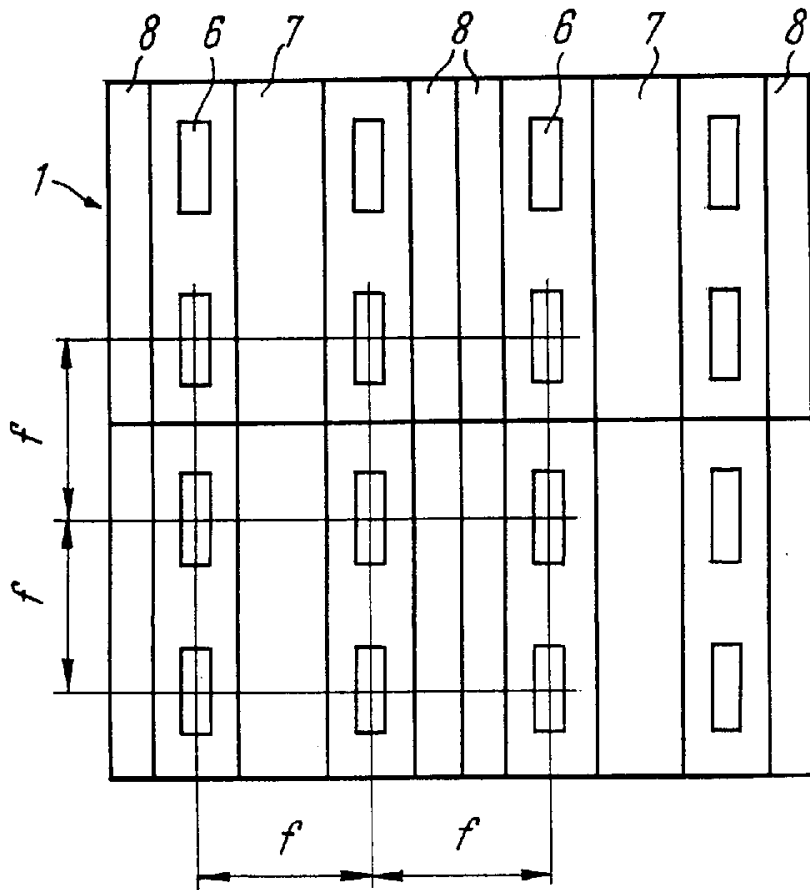
Фиг. 5



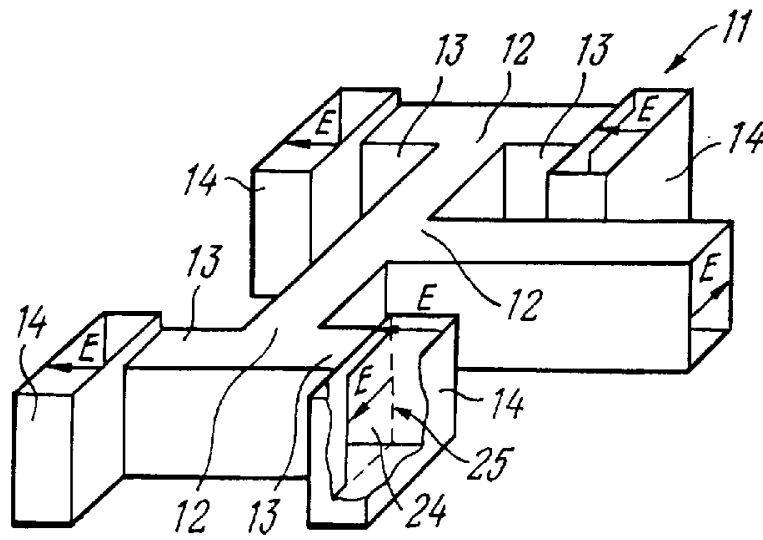
Фиг. 6

RU 2083035 C1

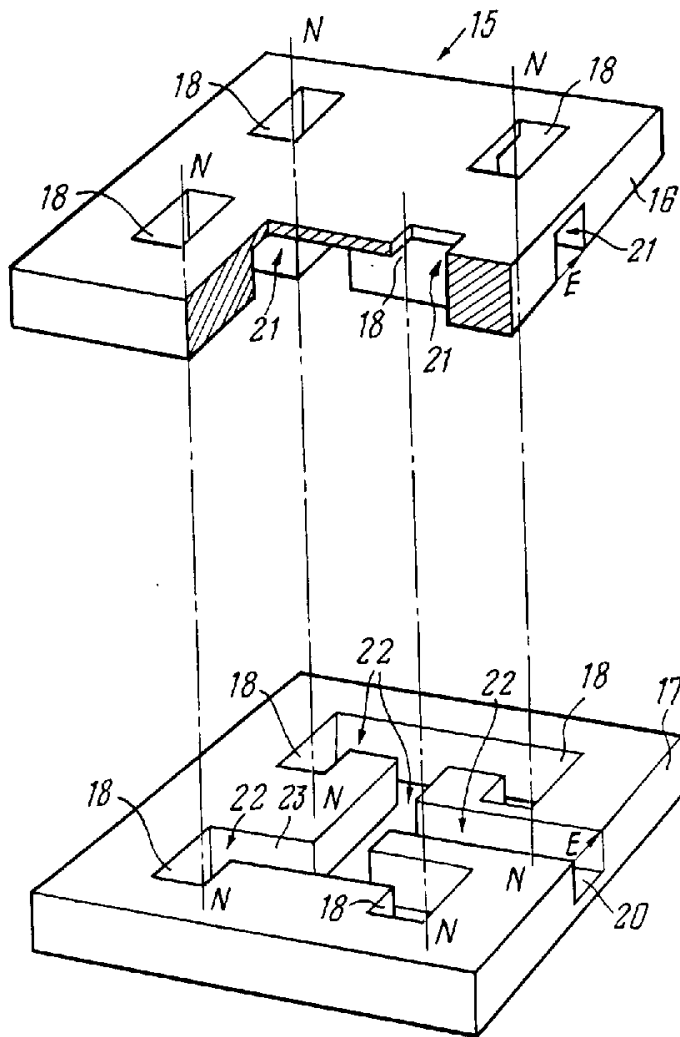
RU 2083035 C1



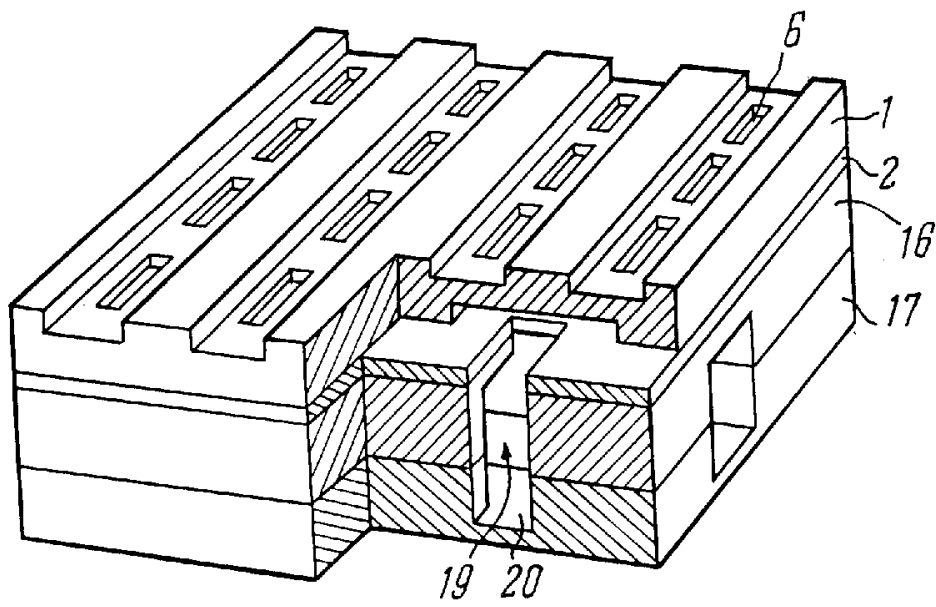
Фиг. 7



Фиг. 8

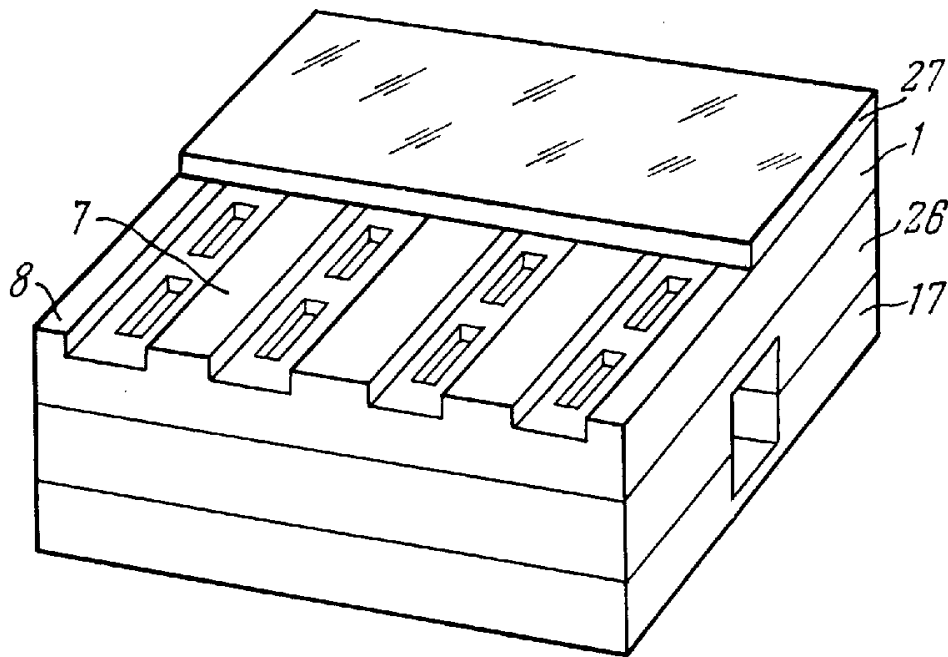


Фиг. 9



Фиг. 10

RU 2083035 C1



Фиг. 11

RU 2083035 C1