



УКРАЇНА

(19)

(11)

»*+

(13)

(51) 7H01Q3/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ПЕРЕДАВАЛЬНА АНТЕННА СИСТЕМА З ФАЗОВАНОЮ РЕШІТКОЮ

(21)94005020

(22) 13.01 1994

(24) 15.03.2001

(46) 15.03.2001, Бюл. № 2, 2001 р.

(72) Хершфілд Едвард (US), Метьюз Едгар В.,
мол. (US), Лух Говард Х (US)

(73) СПЕЙС СИСТЕМЗ/ЛОРЕЛ, ІНК (US)

(56) Л. М. Сазонов. Антенны и устройства СВЧ.,
М., Высшая школа, 1988, с. 409

(57) 1 Передающая антенная система с фазированной решеткой для одновременной генерации нескольких независимых СВЧ лучей, содержащая множество излучающих элементов антенны, расположенных в виде решетки на подложке, **отличающаяся** тем, что каждый из излучающих элементов содержит средства усиления и гибридный элемент связи, расположенные в резонаторе на указанной подложке, для выдачи ортогональных сигналов СВЧ энергии с заданными фазами, фильтр, пропускающий СВЧ сигналы с выхода резонатора в пределах заданной полосы частот, и излучающий рупор для передачи пропущенных фильтром СВЧ сигналов в виде луча, имеющего направление и форму, причем каждый из указанного множества излучающих элементов антенны передает один луч из нескольких одновременно излучаемых СВЧ лучей, имеющих одинаковую мощность и разные фазы, определяющие форму и направление передачи указанных лучей

2 Передающая антенная система по п. 1, **отличающаяся** тем, что резонатор содержит первую пару СВЧ штырей, расположенных в резонаторе под углом 180° друг относительно друга, вторую пару штырей, расположенных в резонаторе под углом 180° друг относительно друга и под углом 90° относительно штырей первой пары, первую пару линейных усилителей, подключенных к первой паре штырей, и вторую пару линейных усилителей, подключенных ко второй паре штырей, для возбуждения ортогональных сигналов СВЧ энергии в резонаторе

3 Передающая антенная система по п. 2, **отличающаяся** тем, что указанная подложка содержит средства вращения фазы и средства ослабления, соединенные с первой и второй парами усилителей и штырей в резонаторе, для формирования сдвинутых по фазе на 90° сигналов с образованием круговой поляризации сигналов, при

этом одна пара усилителей и штырей возбуждается сигналами с правой круговой поляризацией, а другая пара указанных усилителей и штырей возбуждается сигналами с левой круговой поляризацией

4 Передающая антенная система по п. 3, **отличающаяся** тем, что указанные средства вращения фазы и ослабления содержат множество отдельных схем вращения фазы и ослабления и коммутационную матрицу, соединенную с каждой из этих схем, для избирательного подключения сигналов отдельных поляризаций к парам усилителей и штырей в указанном резонаторе, причем указанные сигналы отдельных поляризаций обеспечивают направление и форму СВЧ луча, передаваемого указанным рупором.

5. Передающая антенная система по п. 4, **отличающаяся** тем, что средства ослабления отрегулированы так, что СВЧ лучи, излучаемые из рупоров указанного множества элементов, имеют одинаковую амплитуду.

6. Передающая антенная система по п. 5, **отличающаяся** тем, что она дополнительно содержит множество средств подачи сигналов мощности, и **тем**, что схемы вращения фазы и ослабления для каждого элемента антенны образуют несколько цепей из последовательно соединенных фазовращателей и аттенуаторов, при этом каждая из указанных цепей подключена к отдельным средствам подачи сигналов мощности, соответствующим отдельному лучу, подлежащему передаче этим элементом решетки, и определяет направление и форму соответствующего ей луча

7. Передающая антенная система по п. 6, **отличающаяся** тем, что она дополнительно содержит средства управления, подключенные к каждому фазовращателю и аттенуатору, для установки в фазовращателях заданных значений фазы, обеспечивающих заданные направления и формы лучей, и для установки в аттенуаторах заданных значений ослабления, при этом сигналы от всех элементов антенны имеют одинаковый уровень амплитуды

8 Передающая антенная система по п. 7, **отличающаяся** тем, что усилители выполнены на монолитных интегральных схемах СВЧ, включенных между гибридным элементом связи и коммутационной матрицей, при этом указанный усилитель СВЧ на монолитной интегральной схеме

СМ

СО

СО

имеет высокую степень линейности для обеспечения независимости излучаемых лучей друг от

друга, что позволяет излучать несколько лучей одновременно без взаимодействия между ними.

Настоящее изобретение относится к антенным системам для лучей СВЧ и в частности к фазированным антенным решеткам, генерирующим несколько антенных лучей одновременно путем управления относительной фазой сигналов множества излучающих элементов

Антенные решетки уже много лет используются в радарных системах для формирования узких направленных лучей. Характеристики антенной решетки определяются геометрическим расположением излучающих элементов, а также амплитудой и фазой их индивидуальных сигналов возбуждения.

Более поздние разработки в области радаров, такие как магнетрон и другие мощные СВЧ устройства, расширили традиционный рабочий диапазон радаров в сторону высоких частот. На этих более высоких частотах нашли практическое применение более простые антенны, состоящие из рефлекторов определенной формы (параболических и рупорных) или других простых облучателей.

Затем по многим причинам, включая требования к скорости сканирования и способности произвольного или запрограммированного наведения луча, особое значение приобрело электронное (безынерционное) сканирование. С разработкой фазовращателей и коммутаторов с электронным управлением внимание специалистов переключилось на антенные решетки, в которых каждый излучающий элемент индивидуально управляется электронным способом. Управляемые фазовращатели обеспечивают возможность быстрого и точного переключения лучей в технике антенных фазированных решеток, и таким образом позволяют радару выполнять множество функций, чередующихся во времени, или даже одновременно. Радар с фазированной антенной решеткой с электронным управлением способен сопровождать множество цепей, облучать несколько цепей для наведения на них ракет, выполнять поиск в широком угловом секторе с автоматической селекцией цепей для обеспечения сопровождения выбранной цели и может работать как система связи с удаленными приемниками и/или передатчиками при помощи лучей, обеспечивающих высокий коэффициент усиления антенной системы. Таким образом, антенная решетка с фазовым сканированием имеет очень большое значение. Общие сведения по современному антенному решеткам содержатся в "Radar Handbook" by Merrill T. Skolnik. McGraw Hill (1970).

Известные антенные решетки описаны также в приведенных ниже патентах.

В патенте США № 2967301 от 3 января 1961 г. описан способ формирования последовательных лучей для определения скорости самолета относительно земли.

В патенте США № 3423756 от 21 января 1969 г. описана система, в которой управляемая электронным путем антенна с коническим сканированием возбуждается при помощи сверхразмерного волновода и расположенных рядом и связанных с ним четырех настроенных резонаторов. Сигнал, на частоту которого настроены эти объемные резонаторы, расщепляется на моды более высоких порядков, что приводит к сдвигу фазового центра излучения от центра апертуры антенны. Коническое сканирование достигается путем последовательной настройки четырех резонаторов на частоту этого сигнала. Сигналы с частотами, существенно отличающимися от частоты, на которую настроены эти резонаторы, распространяются по волноводу без искажений.

В патенте США № 3969729 от 13 июля 1976 г. описан интегральный элемент/фазовращатель, предназначенный для использования в решетках с фазовым сканированием. Возбуждение элементов решетки осуществляется при помощи ряда полосковых линий передачи или не резонансных волноводов. Четыре РЧ диода, подключенные и расположенные определенным образом в щелях симметричной щелевой структуры в наружной проводящей стенке линии передачи, служат для изменения связи через щели между этой линией передачи и апертурой каждого отдельного элемента антенны. Таким образом, каждый диод регулирует вклад каждой щели в энергию апертуры отдельного элемента при соответствующей фазе и тем самым определяет общую фазу указанной апертуры.

В патенте США № 4041501 от 9 августа 1977 г. описаны системы антенных решеток, в которых рабочая структура элементов дополнена цепями связи, для того чтобы приблизить ее как можно ближе к идеальной структуре элементов, необходимой для излучения в пределах выбранного углового сектора пространства. Применение цепей связи в конструкции антенны со сканированием пучка существенно сокращает число требуемых фазовращателей.

В патенте США № 4099181 от 4 июля 1973 г. описана плоская антенна для радара, содержащая множество установленных друг за другом излучающих элементов, расположенных параллельными рядами, в которой можно регулировать величину энергии между указанными излучающими элементами и аппаратной частью радара. Излучающие элементы представляют собой волноводы с копланарными излучающими торцами, сгруппированные в четырех квадрантах, каждый из указанных квадрантов соединяется с аппаратной частью радара через фидер, приспособленный к работе в двух режимах: в первом режиме он питает все волноводы в квадранте, а во втором - только ближайшие к центру антенны ряды волноводов, исключая остальные волноводы квадранта. Также имеется устройст-

во, обеспечивающее одновременно всем четырем фидерам одинаковые условия работы, чтобы антенна радара излучала луч, симметричный относительно центра антенны и имеющий другую конфигурацию в зависимости от режима фидеров.

В патенте США № 4595926 от 17 июля 1986 г. описана система формирования луча линейной фазированной антенной решетки, которая может использоваться в моноимпульсных приемо-передающих станциях, содержащая пару последовательно соединенных расфокусированных линз с параллельными пластинами, обеспечивающих подходящий спад амплитудного распределения излучения линейной антенной решетки для подавления боковых лепестков ее диаграммы направленности. Для управления лучом используются цифровые фазовращатели, а расфокусированные линзы служат для декорреляции ошибок дискретизации, вызванных применением таких фазовращателей.

В патенте США № 3546699 от 8 декабря 1970 г. описана сканирующая антенная система, содержащая стационарную решетку из отдельных синфазных источников электромагнитной энергии, расположенных вдоль дуги окружности, установленный вблизи решетки преобразователь, обладающий свойством синфазного излучения электромагнитной энергии, с дугообразным входным контуром, соответствующим дуге решетки, и линейным выходным контуром и устройство для вращения преобразователя в плоскости окружности вокруг ее центра.

В соответствии с изобретением предложена антенная система с фазированной решеткой, в частности, активная передающая фазированная антенная решетка, генерирующая одновременно несколько независимых лучей для облучения заданных областей пространства без облучения других областей. Размер и форма этих областей определяются размером и количеством элементов решетки, а количество лучей - количеством схем формирования луча, питающих решетку. Все элементы решетки работают при одном и том же уровне амплитуды, а направление и форма лучей определяются установками фазы.

Сущность изобретения поясняется чертежами, на которых

Фиг 1 изображает множество упорядоченных элементов активной передающей фазированной антенной решетки.

Фиг 2 схематически изображает поперечное сечение отдельного элемента из множества элементов фазированной антенной решетки, изображенной на фиг 1,

Фиг 3 схематически изображает вид сверху на воздушный диэлектрический резонатор, изображенный на фиг. 2,

Фиг. 4 схематически изображает вид снизу на контроллер, используемый в системе согласно фиг. 2,

Фиг 5 схематически, но более детально изображает фазовращатели и аттенуаторы, показанные на фиг 4, вместе с относящимися к ним схемами

Согласно фиг 1 изображен вариант активной передающей фазированной антенной решет-

ки, содержащей, например, 213 элементов, расположенных в виде шестиугольника. На фиг 2 показан один из 213 элементов антенны, изображенный на фиг 1. Каждый элемент, изображенный на фиг. 1, идентичен элементу, изображенному на фиг. 2, и включает рупор 10, способный излучать сигналы каждой из двух ортогональных поляризаций с развязкой в 25 дБ и больше. Рупор возбуждается многополюсным полосовым фильтром 12, предназначенным для пропускания энергии сигналов с частотой в заданной полосе и не пропускать энергию сигналов других частот. Это особенно важно тогда, когда передающая антенна, выполненная согласно изобретению, используется в спутнике связи, содержащем также приемную антенну (приемные антенны), так как в противном случае паразитные сигналы передатчика в полосе приема перегружают чувствительные элементы приемных антенн и создают помехи. В настоящем варианте осуществления изобретения фильтр 12 содержит ряд последовательно соединенных объемных резонаторов, связанных друг с другом таким образом, чтобы обеспечить высокую степень ортогональности, необходимую для обеспечения указанной выше развязки.

Фильтр 12 связан с воздушным диэлектрическим резонатором 14, установленным на подложке 36. Воздушный диэлектрический резонатор 14 содержит интегральные усилители с высоким (сп.д., возбуждающие ортогональные СВЧ сигналы при включении по двухтактной схеме. Согласно фиг 3, на которой дан схематичный вид сверху на воздушный диэлектрический резонатор 14, изображенный на фиг 2, это возбуждение осуществляется при помощи штырей 18, 20, 30 и 32 в сочетании с усилителями 22, 24, 26 и 28. На фиг 3 штыри 18 и 20 расположены так, что они возбуждают резонатор 14 при расположении друг относительно друга под углом 180°. Такое расположение обеспечивает преобразование, необходимое для работы двухтактной схемы, когда усилители 22 и 24 запускаются со сдвигом по фазе. Аналогично усилители 26 и 28 возбуждают штыри 30 и 32, расположенные под углом 180° друг относительно друга и под углом 90° относительно штырей 18 и 20, и таким образом могут возбуждать ортогональные СВЧ сигналы в резонаторе. Две пары усилителей возбуждаются со сдвигом фазы 90° от гибридного входа 34 через 180-градусные элементы 34а и 34б связи, чтобы получить сигналы с круговой поляризацией.

Усилители 22, 24, 26 и 28 должны быть практически идентичными, чтобы обеспечить фазовую и амплитудную однородность, необходимую для ортогональных лучей. Единственный практический путь достижения этой цели - это применение в качестве усилителей монолитных интегральных схем СВЧ.

На фиг. 3 показано, что 90-градусный гибридный вход 34 имеет два вывода. Эти выводы представляют собой соединительные элементы, проходящие сквозь подложку 36, изображенную, вид снизу, на фиг. 4, при этом нижние контакты этих соединительных элементов обозначены цифрами 38 и 39. Один из этих выводов возбуж-

дает сигналы с правой круговой поляризацией, а другой - с левой круговой поляризацией. Кроме того, если бы сигналы возбуждения, проходящие через сквозные соединительные элементы, подавались прямо на 180-градусные элементы 34А и 34В связи, не используя 90-градусный гибридный вход 34, то возбуждались бы линейно поляризованные пучи, а не лучи с круговой поляризацией. Сигналы на гибридный вход 34 поступают через контакты 38 и 39 от предоконечных усилителей на 40 и 42, которые выполнены на монолитных интегральных схемах СВЧ и каждый из которых предназначен для сигналов определенной поляризации. Требуемая поляризация для каждого луча выбирается с помощью коммутационной матрицы 44, которая также объединяет все сигналы для каждой поляризации, которые затем подаются на входы предоконечных усилителей 40 и 42. На входе канала каждого пуча (в данном примере их четыре) имеются фазовращатель 48 и аттенюатор 46 с электронным управлением, которые определяют направление и форму луча (размеры каждого луча). Для каждого конкретного луча все элементы решетки возбуждаются сигналами одного и того же уровня. В этом заключается отличие от других передающих фазированных антенных решеток, в которых для подавления боковых лепестков применяются сигналы с поперечным относительно решетки градиентом амплитуды.

Для того, чтобы максимизировать к.п.д. антенны по мощности, в активной передающей фазированной антенной решетке, описываемой в данной заявке, используется однородное возбуждение (без градиента). В противном случае не полностью используется мощность каждого элемента антенны. Суммарная максимальная возможная мощность может быть произвольно и без потерь распределена между лучами. После распределения мощности для данного пуча по всем элементам антенны путем регулировки аттенюаторов 46 производят установку фазы (которая, вероятнее всего, разная для каждого элемента) с помощью фазовращателей 48 для придания лучам требуемых направлений и формы. Установки фазы для луча данной формы и направления выбираются в процессе его синтеза. Процесс синтеза представляет собой итерационную вычислительную процедуру, которая может храниться в памяти компьютера. Задачей процесса синтеза является формирование луча, который обеспечивает эффективное излучение в заданной области пространства без излучения в других областях. Эта область пространства имеет форму правильного многоугольника, минимальный размер стороны которого определяется выбранным числом элементов решетки и расстоянием между ними. Обычно чем больше элементов в решетке, тем сложнее форма многоугольника, который может быть синтезирован. В процессе формирования пуча только при помощи фазы создается не только заданная форма пуча, но и побочные лепестки. Другой задачей данного изобретения при использовании его в качестве спутниковой антенны является минимизация относительной величины побочных лепестков и предотвращение их появления на поверхности земли, если смотреть

со стороны орбиты спутника, чтобы они не создавали помех соседнему лучу и не приводили к потере энергии на излучение в ненужном направлении. В процессе синтеза минимизируется уровень побочных лепестков, и можно также сформировать нуль диаграммы направленности на месте побочного лепестка, который не может быть минимизирован до приемлемого уровня другим способом.

Количество независимых лучей, которые могут быть сформированы активной передающей фазированной антенной решеткой, ограничено лишь количеством фазовращателей 48 и аттенюаторов 46, питающих каждый элемент. Согласно фиг. 5 сигнал на каждую цепочку из фазовращателей 48 и аттенюаторов 46 поступает через отдельный равномерный делитель мощности. Количество отводов каждого делителя мощности должно быть больше или равно количеству элементов. В примере, изображенном на фиг. 5, количество отводов должно быть больше или равно 213. Количество делителей мощности должно равняться количеству отдельных лучей, генерируемых антенной. Таким образом, для описанной в качестве примера системы требуется четыре делителя мощности, каждый из которых имеет 213 отводов.

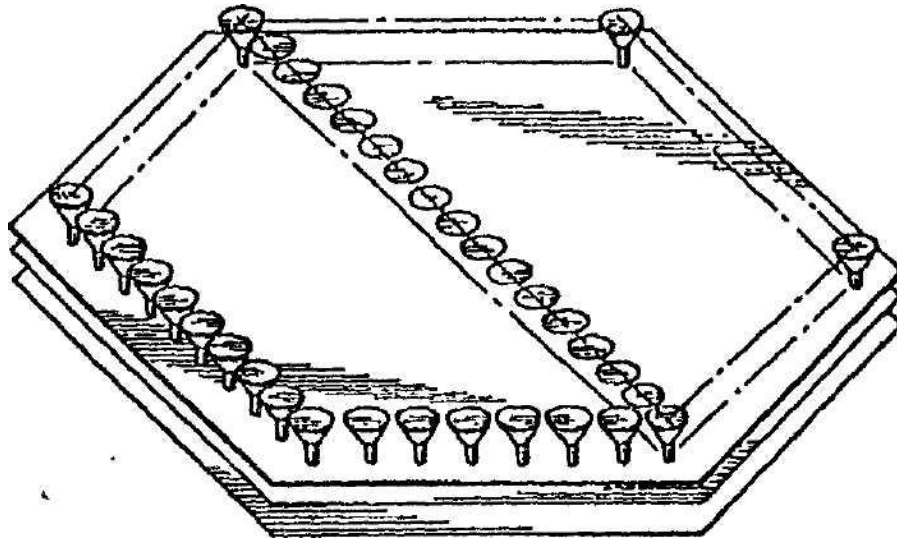
Как утверждалось ранее, для получения максимального к.п.д. необходимо, чтобы мощность каждого из лучей равнялась сумме мощностей всех элементов. Предполагается, что мощность каждого отдельного элемента является линейной или неискаженной. Для того, чтобы несколько лучей, генерируемых активной передающей фазированной антенной решеткой, не взаимодействовали друг с другом, необходимо, чтобы все усилители в цепи работали в линейном режиме, что предотвращает нежелательные перекрестные помехи между лучами. Пока усилители работают в линейном режиме, справедлив принцип линейной суперпозиции. Независимость лучей нарушается, как только усилители начинают работать в нелинейном режиме. Оконечные усилители 22, 24, 26 и 28 наиболее критичны, так как они потребляют более 90% мощности. Для того, чтобы обеспечить приемлемые рабочие характеристики, они должны иметь коэффициент гармоник порядка 0,1% при всех рабочих уровнях сигнала ниже расчетного максимума.

Управление каждым элементом осуществляется при помощи контроллера 50 микропроцессора, изображенного на фиг. 5, и интерфейсной электроники, расположенной в корпусе матричной БИС. Контроллер 50 может не только генерировать специальные управляющие напряжения для управления каждым фазовращателем и аттенюатором, но также хранить в памяти совокупность текущих и последующих команд. С помощью этого механизма управления пучи можно коммутировать либо в соответствии с требованиями, либо в режиме временного уплотнения для обслуживания большого числа независимых областей пространства. Контроллеры всех элементов связаны между собой с помощью типовой межблочной управляющей шины. Когда антенна применяется в спутнике связи, межблочная управляющая шина используется также для подк-

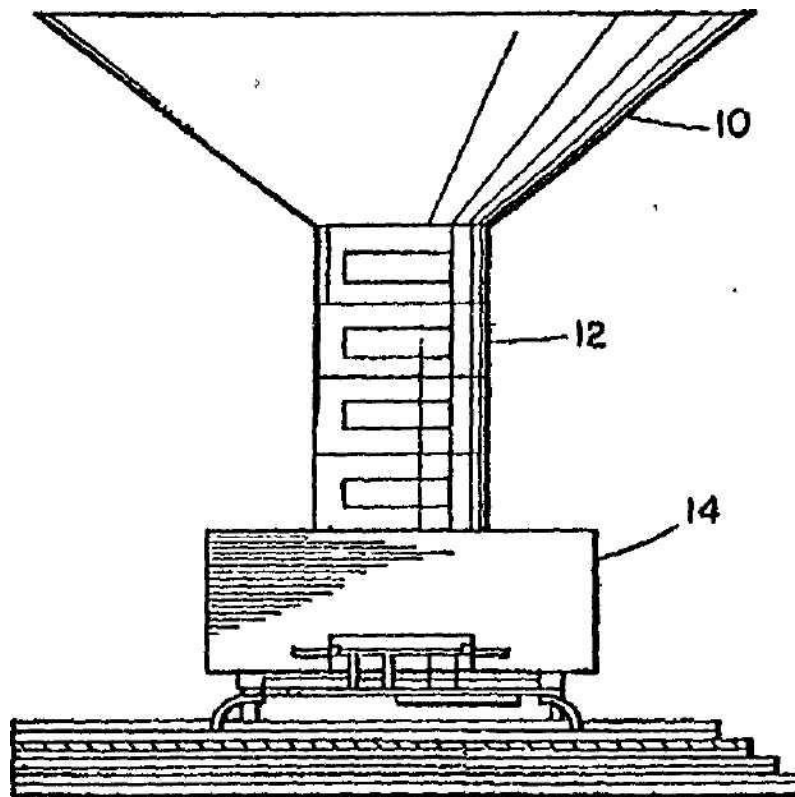
лучения к главному контроллеру, расположенному вместе с электронными схемами управления спутника. Характерный набор коэффициентов для каждого луча обычно рассчитывается на земле и передается на спутник по линии управления. Каждый элемент имеет свой адрес, определяемый "зашитым" кодом на объединяющей схеме, к которой присоединена аппаратная часть элемента. Для компенсации температурного дрейфа управляющих напряжений, если это тре-

буется, может быть использован термистор. Если напряжения, используемые для управления фазой и амплитудой, нелинейные, то в микропроцессорах могут храниться таблицы коэффициентов преобразования для их линеаризации.

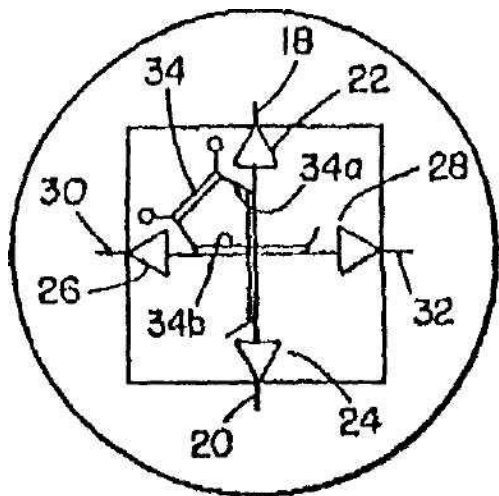
Хотя изобретение было подробно описано применительно к предпочтительному варианту его осуществления, специалистам должно быть понятно, что возможны различные изменения без отклонения от объема и сущности изобретения.



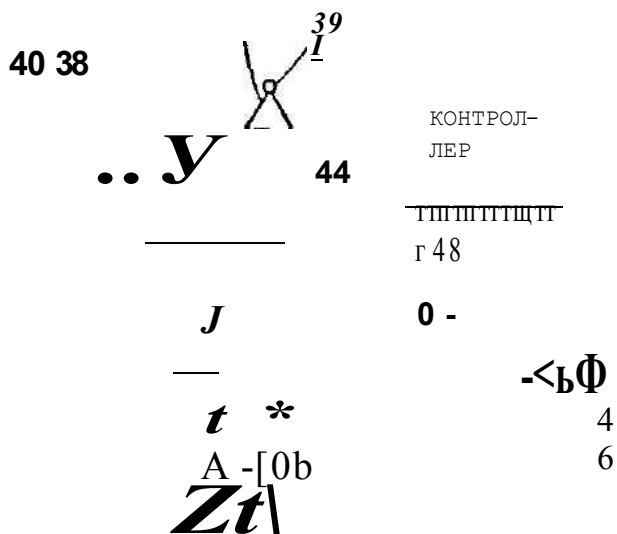
Фиг. 1



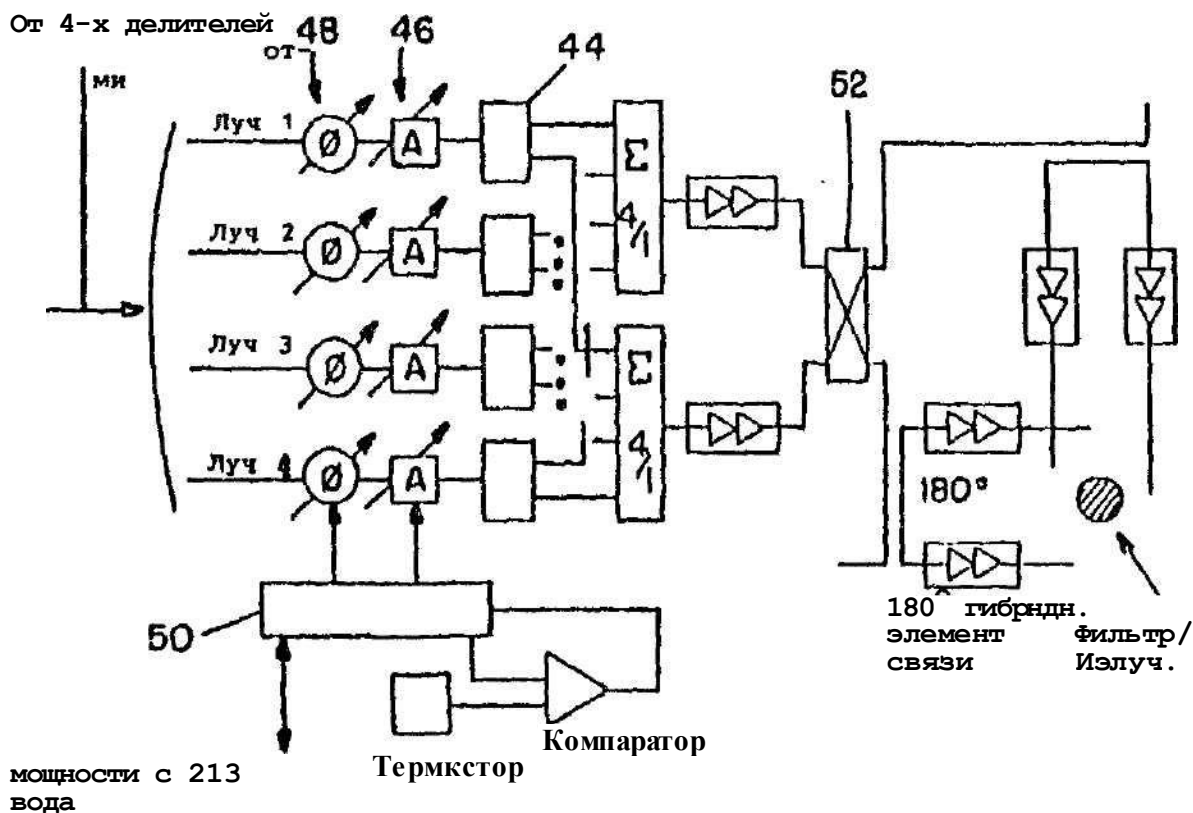
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Тираж 50 экз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»
Україна, 68000, м Ужгород, вул Гагаріна, 101
(03122) 3-72-89 (03122) 2-57-03