

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 187264

УСТРОЙСТВО БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (Университет ИТМО) (RU)*

Авторы: *Маркварт Александр Александрович (RU), Сун Минчжао (RU), Капитанова Полина Вячеславовна (RU), Симовский Константин Руфович (RU), Белов Павел Александрович (RU)*

Заявка № 2018119037

Приоритет полезной модели 23 мая 2018 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 27 февраля 2019 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 23 мая 2028 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02J 50/00 (2018.08); H02J 7/00 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018119037, 23.05.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
23.05.2018

Дата регистрации:
27.02.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.05.2018

(45) Опубликовано: 27.02.2019 Бюл. № 6

Адрес для переписки:

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр.,
49, Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Маркварт Александр Александрович (RU),
Сун Минчжао (RU),
Капитанова Полина Вячеславовна (RU),
Симовский Константин Руфович (RU),
Белов Павел Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных технологий,
механики и оптики" (Университет ИТМО)
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2623095 C2, 22.06.2017. RU
2506678 C2, 10.02.2014. RU 2490785 C1,
20.08.2013. US 2011221385 A1, 15.09.2011. RU
116247 U1, 20.05.2012.

(54) УСТРОЙСТВО БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к электрорадиотехнике, а более конкретно к устройствам беспроводной передачи энергии, способным заряжать одно или несколько мобильных устройств одновременно. Устройство беспроводной передачи энергии содержит блок беспроводной передачи энергии, включающий источник энергии, соединенный с передатчиком электромагнитной энергии через первую цепь согласования импедансов, и не менее одного блока беспроводного приема энергии, который включает приемник электромагнитной энергии, индуктивно связанный с передатчиком электромагнитной энергии и последовательно соединенный через вторую цепь согласования импедансов и выпрямитель переменного электрического тока с нагрузкой, при этом

передатчик электромагнитной энергии представляет собой метаматериал, состоящий из двух слоев проводников, которые, по меньшей мере, частично размещены внутри диэлектрика, где в каждом слое проводники расположены в одной плоскости параллельно друг другу на расстояниях s_i друг от друга, где s_i удовлетворяет условию $0,001 - \lambda_M < s_i < 0,1 - \lambda_M$, где λ_M - длина электромагнитной волны в метаматериале, каждый из которых характеризуется длиной l_i , среднее значение которой равно L , а L удовлетворяет условию $0,2 - \lambda_M < L < 0,5 - \lambda_M$, при этом расстояние между слоями проводников метаматериала равно h , где h удовлетворяет условию $0,001 - \lambda_M < h < 0,1 - \lambda_M$, а угол поворота слоев относительно друг друга β удовлетворяет

условию $0^\circ < \beta < 90^\circ$. Техническим результатом является повышение эффективности передачи энергии от блока беспроводной передачи энергии

к блокам беспроводного приема энергии и возможность заряжать одно или несколько мобильных устройств одновременно. 5 ил.

RU 1 8 7 2 6 4 U 1

RU 1 8 7 2 6 4 U 1

Полезная модель относится к электрорадиотехнике, а более конкретно к устройствам беспроводной передачи энергии, способным заряжать одно или несколько мобильных устройств одновременно.

Известен «Индуктивный источник энергии и зарядная система» (Патент США № 5 US 2011/0221385 A1, МПК H01M 10/46, H02J 7/00, дата приоритета 25.05.2011, дата публикации 15.09.2011), в которой описана зарядная система, позволяющая заряжать несколько устройств одновременно. Передатчик представляет собой набор планарных катушек, упорядоченных в одном или нескольких слоях, которые, генерируют перпендикулярное своей плоскости магнитное поле при протекании в них электрического тока. В качестве приемника используется катушка, чувствительная к переменному магнитному полю, которая может быть встроена в различные мобильные устройства. При расположении приемника рядом с одной из катушек передатчика происходит обнаружение положения приемника и включение соответствующей передающей катушки. К недостаткам такой системы можно отнести необходимость использования сложной системы определения положения передатчика и наличие областей между катушками передатчика, где невозможна зарядка приемника.

Известна «Метаматериальная резонансная структура» (Патент РФ № RU 2490785 C1, МПК H03H 9/15, H02J 17/00, дата приоритета 10.01.2012, дата публикации 20.08.2013), где предложена резонансная структура, обладающая свойствами метаматериала, которая может быть использована в устройствах беспроводной передачи энергии в качестве приемника или передатчика. Резонансная структура представляет собой комбинацию расположенных друг под другом сильно связанных кольцевых резонаторов с зазором, каждый из которых зашунтирован конденсатором, при этом каждый кольцевой резонатор выполнен в виде металлической полоски на диэлектрической подложке и соединен с соседним резонатором с зазором посредством последовательно включенного конденсатора. Следует отметить, что добротность резонансной структуры невелика и составляет от 150-200.

Наиболее близким техническим решением, принятым за прототип, является «Система беспроводной зарядки и ее применение для зарядки мобильных и переносных устройств» (Патент РФ № RU 2623095 C2, МПК H02J 7/00, дата приоритета.16.12.2014, опубликовано 22.06.2017). Система беспроводной зарядки содержит блок беспроводной передачи энергии и блок беспроводного приема энергии. Блок беспроводной передачи энергии содержит источник энергии, передающую катушку индуктивности, экранирующий элемент и первую цепь согласования импедансов. Передающая катушка индуктивности соединяется с источником энергии посредством первой цепи согласования импедансов. В случае подачи питания посредством источника энергии передающая катушка индуктивности способна испускать электромагнитное излучение. Первая цепь согласования импедансов выполнена с возможностью обеспечения согласования импедансов между передающей катушкой индуктивности и источником энергии. Экранирующий элемент располагается под передающей катушкой индуктивности и конфигурируется таким образом, чтобы электромагнитное излучение, испускаемое посредством передающей катушки индуктивности, подавлялось за пределами активной области зарядки. Блок беспроводного приема энергии содержит приемную катушку индуктивности, нагрузку и вторую цепь согласования импедансов. Приемная катушка индуктивности выполнена с возможностью индуктивной связи с передающей катушкой индуктивности, благодаря чему электромагнитное излучение, испускаемое посредством передающей катушки индуктивности, индуцирует зарядные токи в приемной катушке индуктивности. Нагрузка соединяется с приемной катушкой индуктивности через

вторую цепь согласования импедансов. Нагрузка выполнена с возможностью зарядки посредством зарядных токов. Вторая цепь согласования импедансов выполнена с возможностью обеспечения согласования оптимальных импедансов между приемной катушкой индуктивности и нагрузкой. Первая и вторая схемы согласования также выполнены с возможностью обеспечения резонанса между передающей катушкой индуктивности и приемной катушкой индуктивности, чтобы максимально повысить эффективность передачи энергии. Недостатком данной системы является низкая добротность передающей катушки индуктивности (100-200), что ограничивает максимальную эффективность передачи энергии.

Задача, на решение которой направлено заявляемая полезная модель, заключается в повышении эффективности передачи энергии от блока беспроводной передачи энергии к блокам беспроводного приема энергии.

Сущность полезной модели заключается в том, что устройство беспроводной передачи энергии включает источник энергии, соединенный через первую цепь согласования импедансов с передатчиком электромагнитной энергии, выполненным с возможностью индуктивной связи с приемником электромагнитной энергии, отличающееся тем, что передатчик электромагнитной энергии представляет собой метаматериал, состоящий из двух слоев проводников, которые, по меньшей мере, частично размещены внутри диэлектрика, где в каждом слое проводники расположены в одной плоскости параллельно друг другу на расстояниях s_i друг от друга, где s_i удовлетворяет условию $0,001 \cdot \lambda_M < s_i < 0,1 \cdot \lambda_M$, где λ_M - длина электромагнитной волны в метаматериале, каждый из которых характеризуется длиной l_i , среднее значение которой равно L , а L удовлетворяет условию $0,2 \cdot \lambda_M < L < 0,5 \cdot \lambda_M$, при этом расстояние между слоями проводников метаматериала равно h , где h удовлетворяет условию $0,001 \cdot \lambda_M < h < 0,1 \cdot \lambda_M$, а угол поворота слоев относительно друг друга β удовлетворяет условию $0^\circ < \beta < 90^\circ$.

Передатчик электромагнитной энергии представляет собой метаматериал, состоящий из двух слоев проводников, повернутых относительно друг на угол β и расположенных друг над другом на расстоянии h , по меньшей мере, частично помещенных в диэлектрик. Среднее значение длины проводников метаматериала L соответствует условию $0,2 \cdot \lambda_M < L < 0,5 \cdot \lambda_M$ что обеспечивает возбуждение собственной моды метаматериала на длине волны $\lambda_M \approx 4L$ (где λ_M - длина волны в метаматериале). На данной моде ближнее магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости метаматериала и обладает однородной фазой в активной области передачи энергии. Такое распределение магнитного поля обусловлено определенным направлением токов в проводниках, которые можно интерпретировать как эквивалентные рамки с токами.

Соответствие расстояний между проводниками s_i условию $0,001 \cdot \lambda_M < s_i < 0,1 \cdot \lambda_M$ позволяет оптимизировать профиль распределения амплитуды ближнего магнитного поля в активной области передачи энергии, и в конечном итоге добиться равномерного распределения амплитуды магнитного поля. Это обуславливает передачу энергии приемным устройствам с одинаковой эффективностью независимо от их расположения в активной области передачи энергии.

Соответствие расстояния между слоями h условию $0,001 \cdot \lambda_M < h < 0,1 \cdot \lambda_M$ обеспечивает сильную электромагнитную связь между слоями метаматериала. Нижний предел выбран из практических соображений. За счет сильной электромагнитной связи проводников метаматериал позволяет запасать большое количество энергии в ближних реактивных

полях, что обуславливает высокую добротность метаматериала, а течение токов в параллельных проводниках сокращает омические потери относительно классических многовитковых катушек.

Длине волны в метаматериале λ_M при отсутствии диэлектрика соответствует рабочая частота $f=c/\lambda_M$, где c - скорость света в вакууме. Размещение, по меньшей мере, части метаматериала в диэлектрике позволяет снизить рабочую частоту метаматериала обратно пропорционально корню из диэлектрической проницаемости ϵ диэлектрика: $f \sim 1/\sqrt{\epsilon}$, и одновременно повысить добротность за счет уменьшения потерь на излучение

в дальнюю зону согласно формуле $R_{\text{изл}} \sim \frac{1}{1+R_{\text{дисс}} \cdot \left(\frac{c}{f\sqrt{S}}\right)^2}$, где $R_{\text{изл}}$ - сопротивление

излучения, S - площадь метаматериала, $R_{\text{дисс}}$ - сопротивление диссипативных потерь.

Соответствие угла поворота слоев β условию $0^\circ < \beta < 90^\circ$ позволяет достичь дополнительного уменьшения потерь на излучение в дальнюю зону. При этом собственная мода метаматериала остается той же, меняется лишь площадь активной области передачи энергии S пропорционально $\sin(\beta)$. Таким образом, это позволяет снизить потери на излучение при уменьшении угла β , не меняя рабочую частоту согласно

формуле $R_{\text{изл}} \sim \frac{1}{1+R_{\text{дисс}} \cdot \left(\frac{c}{f\sqrt{S}}\right)^2}$. Это может быть использовано для беспроводной

зарядки устройств с большой мощностью в несколько кВт, где предъявляются повышенные требования к уровню мощности, излучаемой в дальнюю зону.

Для подачи энергии от источника энергии к передатчику электромагнитной энергии один из проводников метаматериала соединен с источником через первичную цепь согласования импедансов. При этом в качестве источника энергии может использоваться любой известный генератор переменного тока. Первая цепь согласования импедансов может быть реализована в виде набора переключаемых катушек индуктивностей и конденсаторов. Передатчик электромагнитной энергии выполнен с возможностью индуктивной связи с приемником электромагнитной энергии. В качестве приемника электромагнитной энергии может использоваться проволочная катушка.

Совокупность вышеприведенных признаков позволяет создать передатчик электромагнитной энергии на основе метаматериала с добротностью порядка 1000-1500, что в несколько раз больше добротности катушки, используемой в прототипе. В результате увеличится максимальная эффективность передачи энергии от передатчика электромагнитной энергии к приемнику электромагнитной энергии при фиксированном коэффициенте индуктивной связи k , которая вычисляется по формуле

$$\eta = \frac{(k\sqrt{Q_1 Q_2})^2}{\left(1 + \sqrt{1 + (k\sqrt{Q_1 Q_2})^2}\right)^2}$$

Предложенный метаматериал может быть изготовлен с помощью технологии печатных плат, что позволит использовать компоненты поверхностного монтажа для реализации всех элементов устройства беспроводной передачи энергии непосредственно на одной плате.

Сущность полезной модели поясняется фигурами, где:

на фиг. 1 показана структурная схема устройства беспроводной передачи энергии; на фиг. 2 - один из вариантов конкретного выполнения передатчика

электромагнитной энергии;

на фиг. 3 - распределение нормальной к поверхности передатчика компоненты магнитного поля в активной области передачи энергии;

на фиг. 4. - схема распределения токов в проводниках метаматериала;

5 на фиг. 5 - схема перехода от метаматериала с углом поворота 90° к углу поворота 45° ;

Устройство беспроводной передачи энергии (фиг. 1) содержит источник энергии 1, соединенный последовательно с первой цепью согласования импедансов 2 и передатчиком электромагнитной энергии 3.

10 Один из вариантов реализации передатчика электромагнитной энергии 3, выполненного в виде метаматериала, показан на фиг. 2. Два слоя проводников 4, размещены внутри диэлектрического бокса 5 с размерами $a=60$ см, $b=60$ см, $c=2$ см. В каждом слое проводники 4 расположены в одной плоскости параллельно друг другу. В верхнем слое - на расстояниях $s_1=1$ см, $s_2=4$ см, $s_3=9$ см, $s_4=16$ см, $s_5=25$ см, $s_6=16$ см,
15 $s_7=9$ см, $s_8=4$ см, $s_9=1$ см, в нижнем слое аналогично. Длина проводников 4 $l_1=50$ см. Расстояние между слоями $h=0.5$ см, угол поворота слоев $\beta=90^\circ$. Первый провод нижнего слоя предназначен для соединения с источником энергии.

На фиг. 3 представлено распределение нормальной к поверхности метаматериала компоненты ближнего магнитного поля, создаваемого передатчиком электромагнитной
20 энергии 3. Пунктирной линией выделена активная область передачи энергии. В пределах этой области амплитуда магнитного поля однородна, а, следовательно, передача энергии будет осуществляться с одинаковой эффективностью независимо от расположения приемника электромагнитной энергии (на фигуре не показан).

25 На фиг. 4 показаны направления электрических токов в проводниках 4. Пунктиром показаны направления электрических токов в эквивалентных рамках с токами.

На фиг. 5 показано изменение геометрии передатчика 3 при изменении угла поворота слоев метаматериала β от 90° до 45° .

Устройство беспроводной передачи энергии работает следующим образом: источник
30 энергии 1 генерирует переменный электрический ток частотой f . Он, протекает по проводнику метаматериала, соединенному с источником энергии 1 и возбуждает собственную моду метаматериала, в которой, ближнее магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости метаматериала, обладающее однородной фазой в активной области передачи энергии и имеющую однородный профиль амплитуды (фиг. 3). Такое
35 распределение магнитного поля обусловлено определенным направлением токов в проводниках 4, которые можно интерпретировать как эквивалентные рамки с токами (фиг. 4.). При помещении приемника электромагнитной энергии (на фигуре не показан) в активную область зарядки магнитное поле передатчика электромагнитной энергии 3 наводит индукционный ток в приемнике электромагнитной энергии (на фигуре не
40 показан). При этом первая цепь согласования импедансов 2 обеспечивает согласование выходного импеданса источника энергии 1 и входного импеданса передатчика электромагнитной энергии 3, При помещении в активную область передачи энергии нескольких приемников электромагнитной энергии (на фигуре не показаны) устройство работает тем же образом.

45 Таким образом, заявляемое техническое решение позволяет повысить эффективность передачи энергии от блока беспроводной передачи энергии к приемникам электромагнитной энергии и способно заряжать одно или несколько мобильных устройств одновременно. При этом добротность передатчика электромагнитной энергии равняется 1000-1500, что в несколько раз больше добротности передатчика

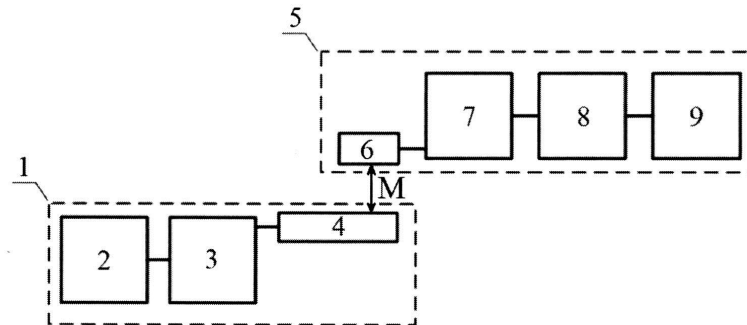
электромагнитной энергии прототипа.

(57) Формула полезной модели

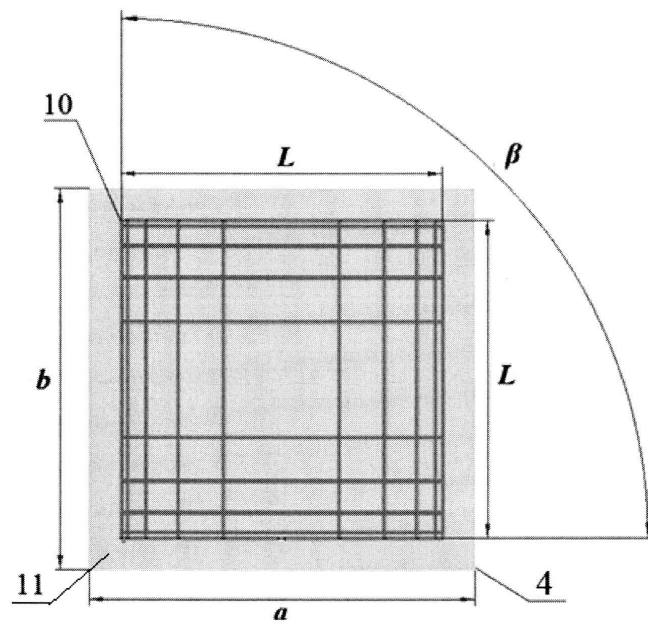
Устройство беспроводной передачи энергии, включающее источник энергии, соединенный через первую цепь согласования импедансов с передатчиком электромагнитной энергии, выполненным с возможностью индуктивной связи с приемником электромагнитной энергии, отличающееся тем, что передатчик электромагнитной энергии представляет собой метаматериал, состоящий из двух слоев проводников, которые, по меньшей мере, частично размещены внутри диэлектрика, где в каждом слое проводники расположены в одной плоскости параллельно друг другу на расстояниях s_i друг от друга, где s_i удовлетворяет условию $0,001 \cdot \lambda_M < s_i < 0,1 \cdot \lambda_M$, где λ_M - длина электромагнитной волны в метаматериале, каждый из которых характеризуется длиной l_i , среднее значение которой равно L , а L удовлетворяет условию $0,2 \cdot \lambda_M < L < 0,5 \cdot \lambda_M$, при этом расстояние между слоями проводников метаматериала равно h , где h удовлетворяет условию $0,001 \cdot \lambda_M < h < 0,1 \cdot \lambda_M$, а угол поворота слоев относительно друг друга β удовлетворяет условию $0^\circ < \beta < 90^\circ$.

1

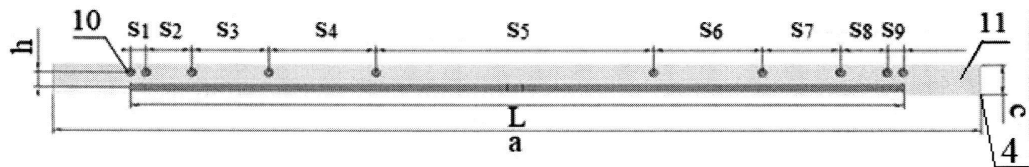
Устройство беспроводной передачи энергии



Фиг.1.



Вид сверху



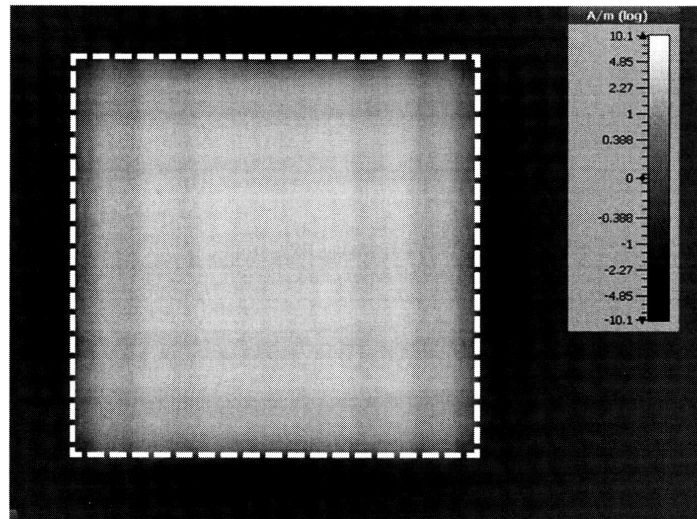
Вид спереди

Фиг. 2.

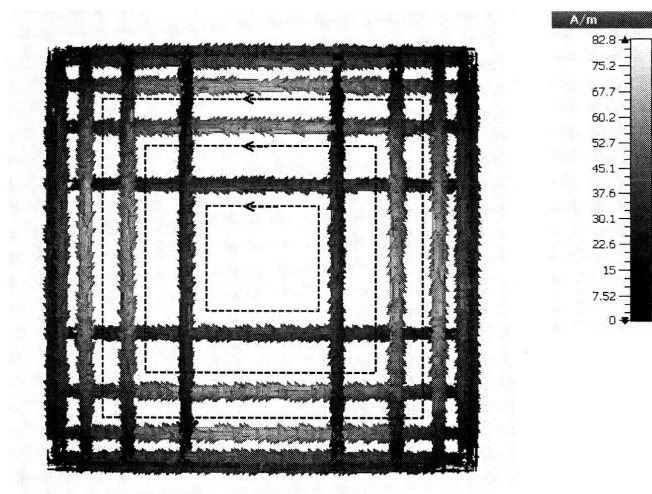
1

2

Устройство беспроводной передачи энергии

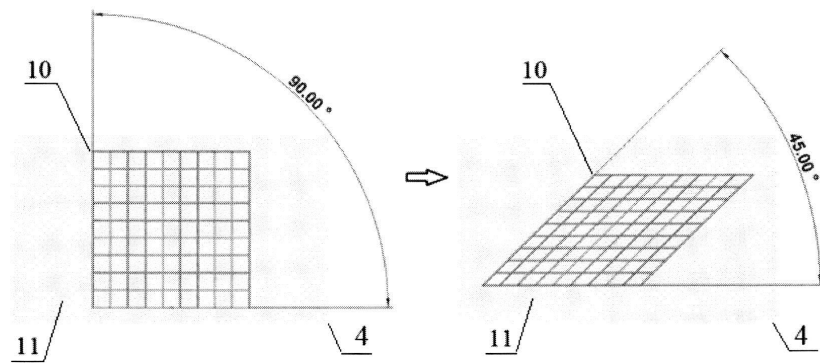


Фиг.3.



Фиг.4.

Устройство беспроводной передачи энергии



Фиг.5.