



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01L 25/04 (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2022134053, 22.12.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.12.2022

Дата регистрации:  
24.04.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 22.12.2022

(45) Опубликовано: 24.04.2023 Бюл. № 12

Адрес для переписки:  
302040, Орловская обл., г. Орел, ул. Лескова,  
19, помещение 27, оф. 14, АО "ПРОТОН-  
ЭЛЕКТРОТЕКС"

(72) Автор(ы):

Малый Денис Олегович (RU),  
Веревкин Владимир Викторович (UA),  
Решетов Дмитрий Сергеевич (RU),  
Незнамова Анастасия Петровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество  
"ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 160165 U1, 10.03.2016. RU 2322729  
C1, 20.04.2008. DE 112019000291 T5, 01.10.2020.  
RU 2743827 C1, 26.02.2021.

## (54) СИЛОВОЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ МОДУЛЬ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области силовой электроники и может найти применение в конструкции силовых полупроводниковых приборов.

Технический результат заключается в уменьшении паразитной индуктивности конструкции силового полупроводникового модуля.

Силовой полупроводниковый модуль содержит корпус, основание, четыре субстрата, каждый из которых содержит металлизированную подложку, кристаллы транзисторов и диодов с металлизацией поверхности, силовые терминалы DC+, DC- и AC, и проволочные соединения полупроводниковых кристаллов с подложкой, проволочные соединения субстратов между собой и с силовыми терминалами, узел управления полупроводниковыми элементами. Силовой полупроводниковый модуль выполнен по электрической схеме «полумост», каждый из ключей которого организован на топологии двух

субстратов, соединенных пайкой с основанием модуля, на металлизированных подложках расположены полупроводниковые элементы, одной стороной соединенные с металлизацией подложки методом пайки, а другой стороной - методом ультразвуковой сварки проволокой. Узел управления включает в себя проводники затвора и эмиттера от подложек до внешних выводов управления силового полупроводникового модуля. Силовые терминалы DC+, DC- и AC соединены с металлизацией подложек методом ультразвуковой сварки и закреплены в корпусе силового полупроводникового модуля. И силовые терминалы DC+, DC- между собой и проводники затвора и эмиттера от подложек до внешних выводов управления между собой расположены бифилярно на всей своей протяженности, а проволочные соединения между субстратами расположены перпендикулярно границе контактной области.

RU  
217893  
U1

RU  
217893  
U1

Полезная модель относится к области силовой электроники и может найти применение в конструкции силовых полупроводниковых приборов, представляющих собой, в соответствии с ГОСТ 30617-98, совокупность по меньшей мере двух полупроводниковых структур, средств электрического и механического соединений, и элементов системы охлаждения, соединенных между собой по определенной электрической схеме в единую конструкцию, предназначенную для применения в полупроводниковых преобразователях электроэнергии, а также в других цепях постоянного и переменного токов различных силовых электротехнических установок.

Известен силовой полупроводниковый модуль, состоящий из корпуса, основания в виде металлического фланца, изолирующей подложки, токовыводов и полупроводниковых элементов, причем изолирующая подложка с напаянными токовыводами расположена на металлическом фланце, а полупроводниковые элементы установлены на изолирующей подложке и соединены с токовыводами [Патент на изобретение RU 2089013С1, «Полупроводниковый модуль», опубликовано 27.08.1997 г.]. Недостатком известного устройства является высокая паразитная индуктивность модуля, обусловленная конструкцией токовыводов, представляющих собой П-образные скобы, расположенные навстречу друг другу. Образованный в результате виток имеет практически максимально возможную индуктивность по сравнению с другими вариантами расположения силовых токовыводов.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому техническому результату к заявляемому силовому полупроводниковому модулю является силовой полупроводниковый модуль, состоящий из корпуса, основания, по меньшей мере одной подложки, по меньшей мере одного силового терминала DC+, DC- и AC, кристаллов IGBT, MOSFET или других полупроводниковых транзисторов и диодов с металлизацией поверхности, проволочных соединений полупроводниковых элементов с подложкой и подложек между собой, где силовой полупроводниковый модуль выполнен по электрической схеме «полумост», организованной на топологии по меньшей мере одной подложки, соединенной электрически и механически с основанием, на которой расположены полупроводниковые элементы, электрически и механически соединенные с подложкой, силовые терминалы DC+, DC- и AC, по меньшей мере один из которых соединен с подложкой [Международная заявка на изобретение №WO2018096147A1 «Силовой полупроводниковый модуль», опубликована 31.05.2018 г.]. Модуль содержит четыре подложки, на каждой из которых расположены два кристалла транзисторов и два кристалла диодов. Кристаллы электрически и механически соединены между собой и с металлизацией подложки. Силовые терминалы DC+, DC- и AC подключены по меньшей мере к одной подложке в центральной части модуля на расстоянии не менее 6 мм от полупроводниковых элементов.

Недостатком известного силового полупроводникового модуля является завышенная паразитная индуктивность конструкции модуля, а именно совокупная паразитная индуктивность силовых цепей, образованных терминалами DC+, DC- и проволочными соединениями между подложками, а также паразитная индуктивность цепей управления затвор-эмиттер.

Завышенная паразитная индуктивность силовых терминалов обусловлена тем, что силовые шины DC+ и DC- проложены бифилярно только на половине своей длины. Завышенная индуктивность проволочных соединений между подложками обусловлена тем, что при выбранной топологии подложек проволочные соединения проложены под углом около 45° к границе контактной области и, следовательно, имеют большую длину, чем при соединении по кратчайшему пути в направлении, перпендикулярному

к границе контактной области. Завышенная паразитная индуктивность цепей управления затвор-эмиттер, в свою очередь, связана с небифилярностью конструкции проводников управления.

5 В основу полезной модели поставлена задача усовершенствовать конструкцию силового полупроводникового модуля путем нового выполнения конструктивных элементов.

Технической проблемой, решение которой обеспечивается при использовании заявляемой полезной модели, является уменьшение паразитной индуктивности силовых терминалов DC+, DC-, уменьшение паразитной индуктивности проволочных соединений  
10 подложек и уменьшение паразитной индуктивности цепей управления затвор-эмиттер.

Технический результат заявленной полезной модели заключается в уменьшении паразитной индуктивности силовых и управляющих цепей конструкции силового полупроводникового модуля.

Технический результат достигается тем, что силовой полупроводниковый модуль,  
15 содержащий корпус, основание, четыре металлизированные подложки, силовые терминалы DC+, DC- и AC, кристаллы транзисторов и диодов, проволочные соединения кристаллов между собой и с подложкой, проволочные соединения подложек между собой, узел управления полупроводниковыми элементами, который содержит печатную плату, проволочные соединения подложек с платой и внешние выводы управления,  
20 причем силовой полупроводниковый модуль выполнен по электрической схеме «полумост», каждый из ключей которого организован на топологии двух соединенных с основанием модуля металлизированных подложек, на которых расположены полупроводниковые элементы, электрически и механически соединенные с металлизацией подложек, узел управления модуля включает в себя цепи затвора и эмиттера от подложек  
25 до внешних выводов управления силового полупроводникового модуля и содержит печатную плату с присоединенными к ней внешними выводами управления, электрически соединенную с подложками с помощью проволочных соединений, силовые терминалы DC+, DC- и AC, соединены с металлизацией подложек и закреплены в корпусе силового полупроводникового модуля, согласно полезной модели, силовые терминалы DC+ и  
30 DC- расположены между собой бифилярно на всей своей протяженности, топология подложек выполнена таким образом, что проволочные соединения между подложками расположены по кратчайшему пути перпендикулярно границе контактной области, проводники затвора и эмиттера на печатной плате узла управления расположены между собой бифилярно, а проволочные соединения платы с подложками организованы в  
35 виде низкоиндуктивной двухпроводной линии.

Причинно-следственная связь между совокупностью существенных признаков технического решения и достигаемым техническим результатом заключается в следующем.

Новое выполнение конструктивных элементов заявляемого силового  
40 полупроводникового модуля, а именно то, что:

силовые терминалы DC+, DC- выполнены бифилярно на всей своей протяженности; топология подложек выполнена таким образом, что проволочные соединения между подложками расположены по кратчайшему пути перпендикулярно границе контактной области;

45 проводники затвора и эмиттера на печатной плате узла управления расположены между собой бифилярно;

проволочные соединения цепей эмиттера и затвора платы узла управления с подложками организованы в виде низкоиндуктивной двухпроводной линии на всей

своей протяженности

в совокупности с известными признаками технического решения обеспечивает уменьшение паразитной индуктивности силовых цепей и уменьшение паразитной индуктивности цепей узла управления затвор-эмиттер, и, следовательно, снижает паразитную индуктивность конструкции силового полупроводникового модуля.

Это объясняется тем, что шины DC+ и DC- выполнены бифилярно, а именно, конфигурация шины DC+ полностью совпадает с конфигурацией шины DC- на всей их длине от места соединения шин с подложкой до силовых выводов, и расстояние между шинами много меньше их ширины. Индуктивность системы бифилярных пластин с длиной  $l$ , шириной  $w$  и расстоянием между пластинами  $h$  определяется соотношением (1) (Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. Ленинград: Энергоатомиздат, 1986)

$$L \approx \mu \cdot \frac{h \cdot l}{w}, \text{ где } \mu = 1 - \text{относительная магнитная проницаемость.} \quad (1)$$

В предлагаемом силовом полупроводниковом модуле длина шин DC+ и DC- равна 60 мм, ширина составляет около 70 мм и расстояние между шинами по всей их длине равно 1,5 мм. Паразитная индуктивность шин DC+ и DC- предлагаемого силового полупроводникового модуля, по расчетам, составляет менее 7 нГн.

Топология каждой из четырех подложек предлагаемого силового полупроводникового модуля выполнена таким образом, что металлизация цепи AC расположена на половине нижнего ключа полумоста совместно с металлизацией цепи DC-. Такая топология обеспечила расположение проволочных соединений между подложками по кратчайшему пути перпендикулярно границе контактной области. Поэтому данные проволочные соединения имеют минимально возможную длину и максимально возможное количество проводников, что в результате также приводит к уменьшению паразитной индуктивности силовой цепи.

По результатам расчета, подтвержденным экспериментальными данными, индуктивность силовых цепей, а именно совокупная индуктивность системы шин DC+, DC- и проволочных соединений между подложками составляет примерно 8 нГн, что является практически минимально достижимой величиной. Минимизация паразитной индуктивности силовой цепи модуля обеспечивает снижение уровня перенапряжений при работе модуля в схеме преобразователя и улучшение эксплуатационных характеристик преобразовательного устройства.

Проводники затвора и эмиттера на печатной плате узла управления расположены между собой бифилярно, причем проводник цепи затвора, расположенный с одной стороны печатной платы, повторяет конфигурацию проводника цепи эмиттера, расположенного с другой стороны печатной платы, и расстояние между проводниками много меньше их ширины и равно толщине печатной платы. Проволочные соединения печатной платы с металлизацией подложки выполнены в виде низкоиндуктивной двухпроводной линии, а именно проволочные проводники параллельны на всем своем протяжении, причем расстояние между проводниками много меньше их длины. Таким образом достигается уменьшение совокупной паразитной индуктивности цепей затвор-эмиттер узла управления, что, в свою очередь, приводит к увеличению скорости нарастания тока затвора и, следовательно, уменьшению коммутационных потерь при работе силового полупроводникового модуля.

Конструкция силового полупроводникового модуля поясняется иллюстрациями, на которых приведены топология подложки предлагаемого силового полупроводникового модуля (фиг. 1), конструкция узла управления (фиг. 2) и предлагаемый силовой

полупроводниковый модуль с разнесенными частями (фиг. 3).

На фиг. 1 показана топология подложек 1.1 - 1.4 предлагаемого силового полупроводникового модуля на основании 2. Каждая подложка 1.1 - 1.4 содержит металлизацию слоя DC+ - 3, DC- - 4, или AC - 5 с соответствующими точками присоединения терминалов, на которой расположены полупроводниковые элементы - транзисторы 6 и диоды 7, которые соединены между собой и металлизацией подложки методом ультразвуковой сварки проволокой 8. Подложки соединены между собой методом ультразвуковой сварки проволокой, причем проволочные соединения 9 расположены по кратчайшему пути перпендикулярно границе контактной области.

На фиг. 2 показана конструкция узла управления предлагаемого силового полупроводникового модуля. Узел управления состоит из двусторонней печатной платы 10, внешних выводов управления 11 и проволочных соединений 12. Проводники цепей управления каждого ключа 13.1 - 13.2 и 14.1 - 14.2 расположены на печатной плате между собой бифилярно, причем проводник цепи затвора, расположенный с одной стороны печатной платы, точно повторяет конфигурацию проводника цепи эмиттера, расположенного с другой стороны печатной платы, и расстояние между проводниками много меньше их ширины и равно толщине печатной платы. Проволочные соединения печатной платы с подложками 12 выполнены в виде низкоиндуктивной двухпроводной линии, а именно проволочные проводники параллельны на всем своем протяжении, причем расстояние между проводниками много меньше их длины.

На фиг. 3 показан предлагаемый силовой полупроводниковый модуль с разнесенными частями. Силовой полупроводниковый модуль содержит подложки 1.1 - 1.4 на основании 2, корпус 15, проволочные соединения 9, соединяющие подложки между собой, шины DC+, DC- и AC, 16, двухстороннюю печатную плату 10 и внешние выводы управления 11, проволочные соединения 12, соединяющие проводники печатной платы и металлизацию подложек.

Симметричное расположение точек подключения силовых терминалов DC+ 3 и DC- 4 на подложках 1.1 - 1.4 на позволяет организовать соединение подложек между собой методом ультразвуковой сварки проволокой по кратчайшему пути перпендикулярно границе контактной области.

Расположение проводников затвора и эмиттера в непосредственной близости как на топологии подложек 1.1 - 1.4, так и на двухсторонней печатной плате 10 позволяет выполнить соединения подложек и печатной платы с помощью низкоиндуктивной двухпроводной линии, где проволочные проводники 12 параллельны на всем своем протяжении, причем расстояние между проводниками много меньше их длины, и тем самым обеспечить наименьшую индуктивность этой цепи.

Переключение ключей силового полупроводникового модуля сопровождается значительными перенапряжениями, возникающими в силовой цепи при изменении протекающего тока, и определяемыми соотношением (2).

$$\Delta U = -L_{(DC)} \frac{\Delta I_C}{t_f}; \text{ где} \quad (2)$$

$L_{(DC)}$  - индуктивность силовой цепи модуля;  $I_C$  - ток коллектора;  $t_f$  - время спада тока коллектора.

Указанные перенапряжения могут приводить к необратимому выходу прибора из строя вследствие электрического пробоя. Для ограничения уровня перенапряжений разработчик вынужден снижать скорость переключения ключей, что, в свою очередь,

существенно повышает его потери, снижает КПД, надежность и эксплуатационные характеристики преобразователя в целом.

Предлагаемая конструкция силового полупроводникового модуля позволяет снизить индуктивность силовых цепей на 20% - с 10 нГн до 8 нГн в сравнении с прототипом [Международная заявка на изобретение №WO2018096147A1 «Силовой полупроводниковый модуль», опубликована 31.05.2018 г.]. Соответственно, пропорционально индуктивности снижается уровень перенапряжений при коммутации ключей. Совокупность низкой индуктивности силового и управляющего контуров предлагаемого модуля позволяет применять в его составе быстродействующие SiC MOSFET кристаллы.

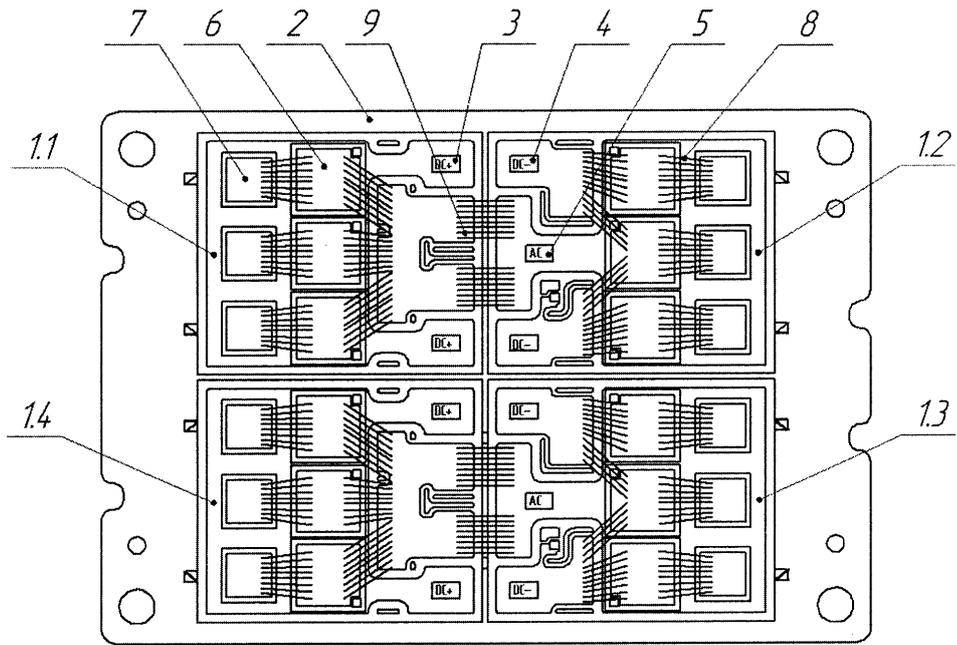
Как видно из вышеизложенного, в заявляемом силовом полупроводниковом модуле обеспечивается бифилярное расположение силовых терминалов DC+, DC- на всей их протяженности, проволочные соединения между подложками расположены перпендикулярно границе контактной области по кратчайшему пути, проводники затвора и эмиттера на печатной плате узла управления также расположены бифилярно на всей своей протяженности, а соединения печатной платы и подложек выполнены в виде низкоиндуктивной двухпроводной линии, что в совокупности обеспечивает минимальную паразитную индуктивность силового полупроводникового модуля.

Заявляемый силовой полупроводниковый модуль может быть реализован на известном технологическом оборудовании с помощью известных материалов и средств, что подтверждает его промышленную пригодность.

#### (57) Формула полезной модели

Силовой полупроводниковый модуль, содержащий корпус, основание, четыре металлизированные подложки, силовые терминалы DC+, DC- и AC, кристаллы транзисторов и диодов, проволочные соединения кристаллов между собой и с подложкой, проволочные соединения подложек между собой, узел управления полупроводниковыми элементами, который содержит печатную плату, проволочные соединения подложек с платой и внешние выводы управления, причем силовой полупроводниковый модуль выполнен по электрической схеме «полумост», каждый из ключей которого организован на топологии двух соединенных с основанием модуля металлизированных подложек, на которых расположены полупроводниковые элементы, электрически и механически соединенные с металлизацией подложек, узел управления модуля включает в себя цепи затвора и эмиттера от подложек до внешних выводов управления силового полупроводникового модуля и состоит из печатной платы с присоединенными к ней внешними выводами управления, электрически соединенную с подложками с помощью проволочных соединений, силовые терминалы DC+, DC- и AC соединены с металлизацией подложек и закреплены в корпусе силового полупроводникового модуля, согласно полезной модели, силовые терминалы DC+ и DC- расположены между собой бифилярно на всей своей протяженности, топология подложек выполнена таким образом, что проволочные соединения между подложками расположены по кратчайшему пути перпендикулярно границе контактной области, проводники затвора и эмиттера на печатной плате узла управления расположены между собой бифилярно, а проволочные соединения платы с подложками организованы в виде низкоиндуктивной двухпроводной линии.

1

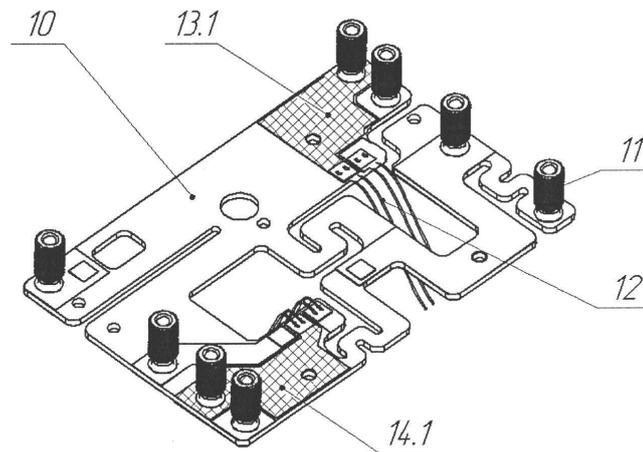


φU2.1

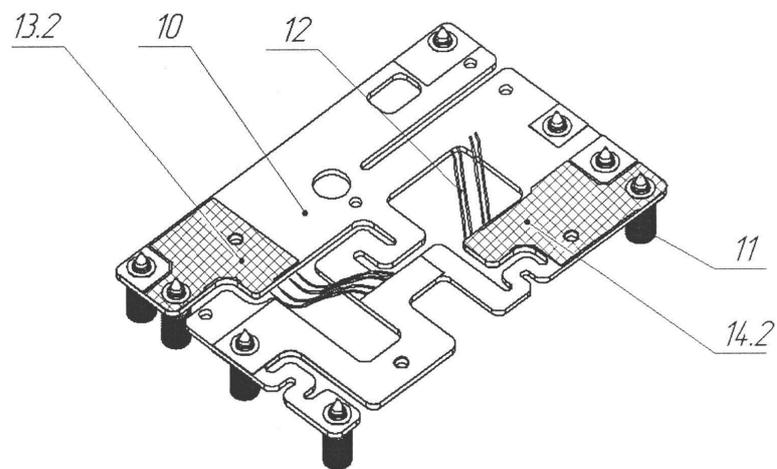
2

Узел управления

Вид сверху

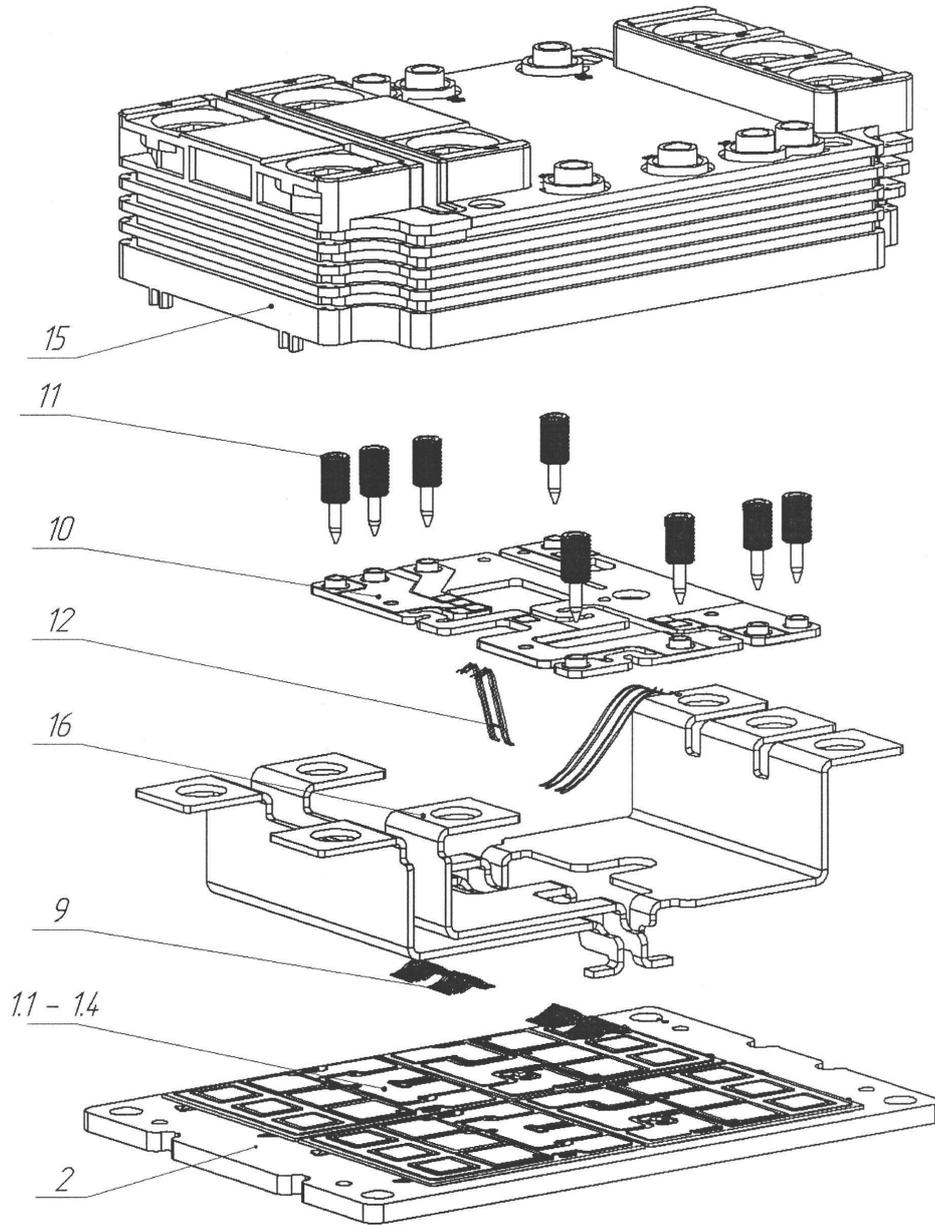


Вид снизу



фиг.2

Модуль с разнесенными частями



фиг.3