

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **046400**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.03.08

(51) Int. Cl. **H02P 3/12 (2006.01)**
B60L 7/22 (2006.01)

(21) Номер заявки
202390389

(22) Дата подачи заявки
2021.09.08

(54) **СИСТЕМА ПРИВОДА**

(31) **63/077,267; 17/458,166**

(32) **2020.09.11; 2021.08.26**

(33) **US**

(43) **2023.05.31**

(62) **202192212; 2021.09.08**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ТРАНСПОРТЕЙШН АЙПИ
ХОЛДИНГС, ЛЛС (US)**

(72) Изобретатель:
**Эдлабадкар Никхил (IN), Кумар
Аджит Куттаннаир, Ферко Джо (US)**

(74) Представитель:
**Билык А.В., Дмитриев А.В.,
Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев
А.В., Бучака С.М., Бельтюкова М.В.
(RU)**

(56) **US-A-5436540
US-B2-7325498
WO-A1-2019100945
US-B1-9731607
US-B2-7633271
US-A1-20080150459**

(57) Предложена система, содержащая резистивные плечи цепи, соединенные с (а) преобразователем, который преобразует электрический ток для электродвигателя системы с электрическим приводом, и с (b) источником электрического тока для питания электродвигателя, и размещенные между ними, при этом каждое плечо цепи содержит тормозной резистор, соединенный с преобразователем, контактор, соединенный с тормозным резистором так, что тормозной резистор расположен между преобразователем и контактором, и полупроводниковый ключ, соединенный с контактором так, что контактор расположен между полупроводниковым ключом и тормозным резистором, при этом в режиме рекуперативного торможения системы с электрическим приводом рекуперированную из электродвигателя энергию передают на тормозной резистор и рассеивают в виде тепла.

B1

046400

046400

B1

Перекрестные ссылки на родственные заявки

Приоритет настоящей заявки заявляется по дате подачи предварительной заявки на патент США №63/077,267, поданной 11 сентября 2020 года, описание которой полностью включено в настоящий документ посредством ссылки.

Предпосылки создания изобретения

Область техники

Описанное в настоящем документе изобретение относится к системе привода, которая управляет торможением.

Описание предшествующего уровня техники

Рекуперативное торможение и реостатное торможение в системах с электрическим приводом позволяет менять направление тока в электромагнитных устройствах, например, в электродвигателях, с целью замедления движения систем с электрическим приводом, например, транспортных средств. Однако, когда система с электрическим приводом переходит в такой режим торможения, процесс торможения происходит в виде дискретных этапов, поскольку для этого применяют контакторные выключатели, размыкаемые и замыкаемые для управления пропуском электрического тока. Это может приводить к искрению и сопутствующему износу и амортизации различных схемных компонентов в системе с электрическим приводом, например, контакторных выключателей и/или тормозных резисторов. Износ и амортизация этих компонентов могут вызывать необходимость дополнительного технического обслуживания, а также приводить к дополнительным затратам на замену изношенных компонентов.

Сущность изобретения

В одном или нескольких вариантах выполнения настоящего изобретения предложена система привода, которая может содержать резистивные плечи цепи, соединенные с преобразователем, который преобразует электрический ток для электродвигателя системы с электрическим приводом, и с источником электрического тока для питания электродвигателя, и расположенные между ними. Каждое плечо цепи может содержать тормозной резистор, соединенный с преобразователем. Каждое плечо цепи может содержать контактор, соединенный с тормозным резистором так, что тормозной резистор расположен между преобразователем и контактором. Каждое плечо цепи может содержать полупроводниковый ключ, соединенный с контактором так, что контактор расположен между полупроводниковым ключом и тормозным резистором. При работе в режиме рекуперативного торможения системы с электрическим приводом рекуперированная из электродвигателя энергия может передаваться на тормозной резистор и рассеиваться в виде тепла.

В еще одном аспекте предложена система привода, которая может содержать тормозной резистор, соединенный с преобразователем, который преобразует электрический ток для электродвигателя системы с электрическим приводом, а также несколько плеч цепи, которые соединены с тормозным резистором параллельно друг другу. Каждое плечо цепи может содержать контактор и полупроводниковый ключ, соединенный с контактором так, что контактор расположен между полупроводниковым ключом и тормозным резистором. При работе в режиме рекуперативного торможения системы с электрическим приводом рекуперированная из электродвигателя энергия может передаваться на тормозной резистор и рассеиваться в виде тепла, в зависимости от того, какие из контакторов или полупроводниковых ключей замкнуты.

В одном или нескольких вариантах выполнения настоящего изобретения предложена система привода, которая может содержать индуктивности. Каждая из индуктивностей может быть выполнена с возможностью размещения на борту системы с электрическим приводом и для выборочного соединения с источником первого электрического тока и преобразователем, который преобразует электрический ток для электродвигателя системы с электрическим приводом. В дополнение, каждая индуктивность может быть соединена с узлом цепи между стоком полупроводникового ключа и анодом диода или управляемого полупроводникового ключа. Каждый анод может быть соединен с преобразователем, причем контакторы соединены параллельно друг другу между источником первого электрического тока и преобразователем. Также, каждый анод может быть соединен с тормозными резисторами, соединенными параллельно друг другу, при этом каждый тормозной резистор соединен последовательно с отдельным контактором, между этим контактором и преобразователем. Также, каждый анод может быть соединен с полупроводниковым ключом, соединенным с контактором так, что контактор расположен между полупроводниковым ключом и тормозными резисторами. В режиме рекуперативного торможения, режиме реостатного торможения, или в режиме работы системы с электрическим приводом, скомбинированном из этих двух режимов работы, рекуперированный из электродвигателя электрический ток может быть передан на тормозной резистор и рассеян в виде тепла, в зависимости от того, какие из контакторов или первых полупроводниковых ключей замкнуты.

Краткое описание чертежей

Сущность настоящего изобретения может быть понята более детально при прочтении приведенного ниже описания неограничивающих вариантов его выполнения со ссылками на приложенные чертежи, где: фиг. 1 изображает схематический вид системы привода в режиме движения с помощью двигателя; фиг. 2 изображает схематический вид системы привода в форсированном режиме;

фиг. 3 изображает схематический вид системы привода в режиме динамического торможения;
фиг. 4 изображает схематический вид системы привода в режиме движения с помощью двигателя;
фиг. 5 изображает схематический вид системы привода в форсированном режиме;
фиг. 6 изображает схематический вид системы привода в режиме динамического торможения;
фиг. 7 изображает схематический вид системы привода в режиме динамического торможения;
фиг. 8 изображает схематический вид системы привода в режиме движения с помощью двигателя;
фиг. 9 изображает схематический вид системы привода в режиме движения с помощью двигателя;
фиг. 10 изображает схематический вид системы привода в режиме движения с помощью двигателя;
фиг. 11 иллюстрирует пример способа динамического торможения в системе привода;
фиг. 12 иллюстрирует пример способа динамического торможения в системе привода; и
фиг. 13 иллюстрирует пример способа динамического торможения в системе привода.

Подробное описание изобретения

Варианты выполнения изобретения, описанного в настоящем документе, относятся к системе привода с управлением торможением. Благодаря применению полупроводникового ключа, как вариант в комбинации с контактором и тормозным резистором, достигается управляемое замедление при торможении системы с электрическим приводом. К примеру, коммутация или размыкание и замыкание, полупроводникового ключа может обеспечить возможность пропускать через тормозной резистор меньшие дискретные величины электрического тока. Если ток слишком высок для пропускания одним полупроводниковым ключом, то может быть задействован еще один полупроводниковый ключ, способный пропускать такой ток, по меньшей мере некоторое время. К примеру, один полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, второй полупроводниковый ключ - еще одну треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток в оставшуюся треть времени. Такая передача управления ключами позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с электрическим приводом. Рабочие циклы каждого полупроводникового ключа определяют, как долго току будет разрешено проходить через тормозной резистор. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и пропускает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контакторными выключателями позволяет снизить или даже полностью устранить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов. Это дает возможность получить систему со сравнительно меньшим количеством подвижных деталей, так что можно снизить сложность производства и затраты.

Система привода может содержать контроллер. В одном варианте выполнения настоящего изобретения подходящим полупроводниковым ключом может быть биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT). Подходящим контактором может быть переключатель с электроуправлением, используемый для переключения силовых электрических цепей. Контакттор может управляться схемой, которая имеет меньший уровень напряжения, чем коммутируемая цепь, например, 74-вольтный электромагнит с обмоткой, управляющий 1000-вольтным переключателем электродвигателя. В одном варианте выполнения настоящего изобретения контактором может быть реле. В еще одном варианте выполнения контактор может иметь один или несколько признаков, обеспечивающих управление и подавления любых искр, возникающих при прерывании электрического тока. Соответствующий тормозной резистор может представлять собой магазин сопротивлений, способных рассеивать электрический ток в виде тепла. Другие подходящие резисторы могут включать устройства, принимающие и/или управляющие поступающим электрическим током. К примеру, любая электрическая схема имеет внутреннее электрическое сопротивление и значит, в некоторой степени, может использоваться в качестве резистивной схемы. В одном варианте выполнения резистивная схема может содержать одно или несколько устройств хранения энергии. В дополнение к наличию внутреннего электрического сопротивления, устройства хранения энергии могут выполнять функции источника электрического тока. В еще одном варианте выполнения резистивная схема может принимать и избавляться от электрического тока путем выполнения работы (в качестве альтернативы или в дополнение к рассеиванию тепла). К примеру, резистивная схема может содержать воздушный компрессор, причем, когда схема включена, компрессор может работать как воздушный насос. В еще одном варианте выполнения резистивная схема находится не на борту системы с электрическим приводом, но гальванически связана с системой с электрическим приводом, например, при помощи контактной подвески или третьего рельса. Работа внебортовой резистивной схемы может быть основана на внутреннем сопротивлении схемы и/или она может содержать устройства, обеспечивающие нагрузку и/или может содержать устройства хранения энергии. В неограничивающих примерах система с электрическим приводом может представлять собой транспортное средство, ветровую турбину или иную систему, имеющую в своем составе электродвигатель. В других неограничивающих примерах электродвигатель может использоваться для обеспечения движения, например, это может быть тяговый электродвигатель, так и для других целей, например, для вращения лопастей вентилятора, ветровой турбины и т.п.

На фиг. 1, 2 и 3 проиллюстрирована работа первого варианта выполнения системы привода, соответственно, в режиме движения с помощью двигателя, режиме форсированного движения и в режиме динамического торможения. На проиллюстрированных схемах показаны два источника электрического тока, бортовой источник и внебортовой источник. В качестве альтернативы, вместо внебортового источ-

ника система привода может иметь еще один бортовой источник, например, аккумуляторную батарею. Внебортовой источник электрического тока 124 может быть источником электроэнергии, например, контактным рельсом или контактной подвеской. Бортовой источник может быть комплектом 102 двигателя и альтернатора, устройством хранения энергии или аккумуляторной батареей. Внебортовой источник электрического тока соединен с положительной шиной 111 и с отрицательной шиной. Положительная шина соединяет источник электрического тока с переключателем 122 и индуктивностью 120. Переключатель расположен между источником электрического тока и индуктивностью.

Индуктивность соединена с коллектором полупроводникового ключа 116 и анодом диода 118. Катод диода подключен параллельно плечу 126 цепи, которое содержит контакторный выключатель 115 и тормозной резистор 114. Соответствующий узел 128 цепи расположен между контакторным выключателем и полупроводниковым ключом. В плече цепи контактор и тормозной резистор соединены друг с другом последовательно. Само плечо подключено параллельно диоду. Катод диода и плечо цепи, содержащее тормозной резистор и контактор, соединены с преобразователем 106 постоянного тока в переменный (DC-AC) через положительную шину. Преобразователь DC-AC соединен с электродвигателем 108 при помощи еще одной положительной шины 145 и еще одной отрицательной шины 140. Параллельно с диодом, плечом цепи и преобразователем DC-AC подключен конденсатор 110. Внебортовой источник электрического тока соединен с эмиттером полупроводникового ключа отрицательной шиной. Отрицательная шина соединена с конденсатором и с преобразователем DC-AC Выпрямитель 104 соединен с преобразователем DC-AC при помощи еще одной положительной шины и еще одной отрицательной шины. В проиллюстрированном варианте выполнения электродвигатель представляет собой тяговый электродвигатель. Как вариант, двигатель может и не быть тяговым двигателем, который создает крутящий момент для обеспечения поступательного движения транспортного средства. Например, электродвигатель может подавать питание на насос или выполнять работу, не связанную с обеспечением движения.

В режиме движения с помощью двигателя, как показано на фиг. 1, контактор, расположенный между источником электрического тока и индуктивностью, разомкнут, что не позволяет току проходить от источника электрического тока. Комплект двигатель-альтернатор подает электроэнергию на выпрямитель, чтобы обеспечить питание электродвигателя. Ток 130 протекает из комплекта двигатель-альтернатор в электродвигатель. Выпрямитель может преобразовывать напряжение переменного тока от комплекта двигатель-альтернатор в напряжение постоянного тока, обеспечивая ток для зарядки конденсатора. Ток поступает на преобразователь DC-AC. Преобразователь DC-AC может преобразовать постоянный ток в переменный, обеспечивая подачу тока в электродвигатель. Электродвигатель использует переменный ток для приведения системы с электрическим приводом в поступательное движение.

Фиг. 2 изображает систему привода в форсированном режиме работы. В форсированном режиме работы контакторный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностью, замкнут и пропускает ток от источника электрического тока по положительной шине. Источник электрического тока подает электроэнергию на индуктивность, где может осуществляться хранение энергии. Ток может проходить через диод и питать электродвигатель. Конденсатор, соединенный с источником электрического тока через отрицательную шину, может заряжаться, а в электродвигатель может поступать электрический ток.

Фиг. 3 изображает систему привода в режиме динамического торможения. Режим динамического торможения может быть режимом рекуперативного торможения, режимом реостатного торможения или комбинацией этих двух режимов. В режиме рекуперативного или реостатного торможения, или в комбинации этих двух режимов, контакторный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностью, разомкнут и не пропускает электрический ток из внебортового источника электроэнергии в электродвигатель. Однако контакторный выключатель, расположенный в плече цепи, замкнут и пропускает ток из электродвигателя через тормозной резистор и полупроводниковый ключ. Рекуперированная энергия из электродвигателя передается в тормозной резистор и рассеивается в виде тепла. Такая конфигурация с замкнутым ключом, который расположен между источником электрического тока и индуктивностью, может быть названа "открытым состоянием". На схеме показано протекание электрического тока из электродвигателя по положительной шине системы 300 привода через полупроводниковый ключ. Затем ток проходит по отрицательной шине в конденсатор, преобразователь DC-AC и обратно в электродвигатель. В этом варианте выполнения конденсатор разряжается, а электродвигатель обеспечивает напряжение. Полупроводниковый ключ может быстро коммутировать разомкнутое и замкнутое состояния. Такая быстрая модуляция полупроводникового ключа позволяет осуществлять плавное торможение с управляемым замедлением. К примеру, когда контактор, расположенный в плече цепи, замкнут, модуляция, или размыкание и замыкание, полупроводникового ключа позволяют пропускать через тормозной резистор меньшие дискретные величины электрического тока. Если ток слишком высок для одного полупроводникового ключа, то может быть установлен еще один полупроводниковый ключ для пропускания тока по меньшей мере в течение некоторого времени. К примеру, один полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, второй полупроводниковый ключ - еще одну треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток в оставшуюся треть времени. Такая смена активности ключей позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с

электрическим приводом. Рабочие циклы каждого из полупроводниковых ключей определяют, как долго току будет разрешено проходить через тормозной резистор. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и пропускает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контакторными выключателями позволяет уменьшить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов, а также сократить количество подвижных деталей, и, следовательно, снизить сложность производства и расходы.

На фиг. 4-7 проиллюстрирована работа одного варианта выполнения системы привода, соответственно, в режиме движения с помощью двигателя, в режиме форсированного движения и в режиме динамического торможения. На схемах показаны два источника электрического тока, бортовой источник и внебортовой источник электрического тока. В качестве альтернативы, система привода вместо внебортового источника электрического тока может иметь еще один бортовой источник, например, аккумуляторную батарею. Источник электрического тока 424 может быть источником электроэнергии, например, контактным рельсом или контактной подвеской. Бортовой источник 402 может быть комплектом из двигателя и альтернатора, устройством хранения энергии (например, аккумуляторной батареей) и т.п. Источник электрического тока соединен с положительной шиной 411 и отрицательной шиной 412. Положительная шина соединяет источник электрического тока с переключателем 422 и индуктивностью 420. Переключатель расположен между источником электрического тока и индуктивностью.

Индуктивность соединена с коллектором первого полупроводникового ключа 416 и эмиттером второго полупроводникового ключа 418. Коллектор второго полупроводникового ключа соединен параллельно с плечом 426 цепи, которое содержит контакторный выключатель 415 и тормозной резистор. Соответствующий узел 428 цепи расположен между контакторным выключателем и первым полупроводниковым ключом. В плече цепи контактор и тормозной резистор соединены друг с другом последовательно. Само плечо цепи соединено параллельно со вторым полупроводниковым ключом. Коллектор второго полупроводникового ключа и плечо цепи, содержащее тормозной резистор и контактор, соединены с преобразователем 406 постоянного тока в переменный (DC-AC) через положительную шину. Преобразователь DC-AC соединен с электродвигателем 408 при помощи еще одной положительной шины 445 и еще одной отрицательной шины 440. Конденсатор 410 соединен параллельно со вторым полупроводниковым ключом, плечом цепи и преобразователем DC-AC. Внебортовой источник электрического тока соединен с эмиттером первого полупроводникового ключа отрицательной шиной. Отрицательная шина соединена с конденсатором и с преобразователем DC-AC. Выпрямитель 404 соединен с преобразователем DC-AC при помощи еще одной положительной шины и еще одной отрицательной шины. В проиллюстрированном варианте выполнения электродвигатель является тяговым электродвигателем.

В режиме движения с помощью двигателя, показанном на фиг. 4, комплект двигатель-альтернатор подает электроэнергию на выпрямитель для питания электродвигателя. Ток 430 поступает из комплекта двигатель-альтернатор в электродвигатель. Выпрямитель может преобразовывать напряжение переменного тока от комплекта двигатель-альтернатор в напряжение постоянного тока, обеспечивая ток для зарядки конденсатора. Ток поступает на преобразователь DC-AC. Преобразователь DC-AC может преобразовать постоянный ток в переменный, обеспечивая подачу тока в электродвигатель. Электродвигатель использует переменный ток для приведения системы с электрическим приводом в движение.

Фиг. 5 изображает систему привода в режиме форсированного движения. В режиме форсированного движения контакторный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностью, замкнут и пропускает ток из источника электрического тока по положительной шине. Источник электрического тока подает электроэнергию на индуктивность, где может осуществляться хранение энергии. Ток может проходить через второй полупроводниковый ключ для питания электродвигателя. Конденсатор, соединенный с источником электрического тока отрицательной шиной, может заряжаться, а в электродвигатель может поступать электрический ток.

Фиг. 6 изображает систему привода в режиме динамического торможения. Режим динамического торможения может быть режимом рекуперативного торможения, режимом реостатного торможения или комбинацией этих двух режимов. В режиме рекуперативного или реостатного торможения, или в комбинации этих двух режимов, контакторный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностью, замкнут и пропускает электрический ток во внебортовой источник электрического тока. Однако контакторный выключатель, расположенный в плече цепи, разомкнут и не пропускает ток через тормозной резистор. На схеме показано протекание электрического тока из электродвигателя (нагрузки) по положительной шине системы привода в преобразователь DC-AC по еще одной положительной шине, и в конденсатор через полупроводниковые ключи. Первый полупроводниковый ключ может пропускать электрический ток. Второй полупроводниковый ключ может быстро коммутировать разомкнутое и замкнутое состояния. Такая быстрая модуляция второго полупроводникового ключа позволяет осуществлять плавное торможение с управляемым замедлением. К примеру, когда контактор, расположенный в плече цепи, замкнут, модуляция, или размыкание и замыкание, первого полупроводникового ключа позволяют пропускать через тормозной резистор меньшие дискретные величины электрического тока. Если ток слишком высок для первого полупроводникового ключа, то может быть установлен еще один полупроводниковый ключ, для пропускания по меньшей мере части тока. К примеру, пер-

вый полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, еще один полупроводниковый ключ - еще треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток в оставшуюся треть времени. Такая смена активности ключей позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с электрическим приводом. Рабочие циклы каждого из полупроводниковых ключей определяют, как долго току будет разрешено проходить через тормозной резистор. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и пропускает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контакторными выключателями позволяет уменьшить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов, а также сократить количество подвижных деталей, и, следовательно, снизить сложность производства и издержки. Ток может продолжать протекать во внебортовой источник электрического тока и обратно в электродвигатель по положительной шине, проходя через соединение с эмиттером полупроводникового ключа, конденсатор, преобразователь DC-AC и обратно в электродвигатель по еще одной отрицательной шине. В этом варианте выполнения конденсатор разряжается, а электродвигатель обеспечивает напряжение.

Фиг. 7 изображает систему привода в режиме динамического торможения. Режим динамического торможения может быть режимом рекуперативного торможения, режимом реостатного торможения или комбинацией этих двух режимов. В режиме рекуперативного или реостатного торможения, или в комбинации этих двух режимов контакторный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностью, разомкнут и не пропускает электрический ток во внебортовой источник электрического тока. Однако контакторный выключатель, расположенный в плече цепи, замкнут и пропускает ток из электродвигателя через тормозной резистор и первый и второй полупроводниковые ключи. Второй полупроводниковый ключ может просто пропускать ток, тогда как первый полупроводниковый ключ может быстро коммутировать разомкнутое и замкнутое состояния. Рекуперированная энергия из электродвигателя передается в тормозной резистор и рассеивается в виде тепла. Быстрая модуляция первого полупроводникового ключа позволяет осуществлять плавное торможение с управляемым замедлением. К примеру, когда контактор, расположенный в плече цепи, замкнут, модуляция, или размыкание и замыкание первого полупроводникового ключа может обеспечить пропускание через тормозной резистор меньших дискретных величин электрического тока. Если ток, который может пропускать первый полупроводниковый ключ, превышает заданное пороговое значение, то может быть установлен еще один полупроводниковый ключ, для пропускания по меньшей мере части тока. К примеру, первый полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, еще один полупроводниковый ключ - еще треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток в оставшуюся треть времени. Такая смена активности ключей позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с электрическим приводом. Рабочие циклы каждого полупроводникового ключа определяют, как долго току будет разрешено проходить через тормозной резистор. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и пропускает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контакторными выключателями позволяет уменьшить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов, а также сократить количество подвижных деталей, и, следовательно, снизить сложность производства и расходы. В этой схеме ток может проходить из полупроводникового ключа по отрицательной шине системы 700 привода через конденсатор, преобразователь DC-AC и далее в электродвигатель по еще одной отрицательной шине. В этом варианте выполнения конденсатор разряжается, а электродвигатель обеспечивает напряжение.

На фиг. 8 проиллюстрирована работа одного варианта выполнения системы привода. Система привода может работать, соответственно, в режиме движения от двигателя, в режиме форсированного движения или в режиме динамического торможения. На схеме показаны два источника электрического тока, бортовой источник и внебортовой источник. В качестве альтернативы, система привода вместо внебортового источника может иметь еще один бортовой источник, например, аккумуляторную батарею. Внебортовой источник электрического тока 824 может быть источником электроэнергии, например, контактным рельсом или контактной подвеской. Бортовой источник может быть комплектом 802 из двигателя и альтернатора, устройством хранения энергии или аккумуляторной батареей. Внебортовой источник электрического тока может быть соединен с положительной шиной 811 и отрицательной шиной 812. Положительная шина соединяет источник электрического тока с переключателем 822 и индуктивностями 820, соединенными параллельно друг с другом. Переключатель расположен между источником электрического тока и индуктивностями. Каждая индуктивность из этих индуктивностей соединена с коллектором полупроводникового ключа 816, который является одним из полупроводниковых ключей, а также с анодом диода 818, который является одним из диодов. Катоды диодов соединены параллельно с плечами 826 цепи, содержащими контакторные выключатели 812 и тормозные резисторы 814. Соответствующие узлы 828 цепи расположены между контакторными выключателями и полупроводниковыми ключами. По меньшей мере в некоторых из плеч цепи контактор и тормозной резистор соединены друг с другом последовательно. Плечи цепи соединены параллельно с диодами. Катоды диодов и плечи цепи, содержащие тормозные резисторы и контакторы, могут быть соединены с преобразователем 806 постоянного тока в переменный (DC-AC) через положительную шину. Преобразователь DC-AC может быть соединен с электродвигателем 808 при помощи еще одной положительной шины 845 и еще одной отрица-

тельной шины 840. Конденсатор 810 может быть соединен параллельно с диодами, плечами цепи и преобразователем DC-AC. Внебортовой источник электрического тока может быть соединен с эмиттерами полупроводниковых ключей отрицательной шиной. Отрицательная шина может быть соединена с конденсатором и с преобразователем DC-AC. В проиллюстрированном варианте выполнения электродвигатель является тяговым электродвигателем.

В режиме движения от двигателя комплект двигатель-альтернатор подает электроэнергию на выпрямитель 804 для питания электродвигателя. Контактные размыкатели разомкнуты, поэтому ток подается из комплекта двигатель-альтернатор в электродвигатель. Выпрямитель может преобразовывать напряжение переменного тока от комплекта двигатель-альтернатор в напряжение постоянного тока, обеспечивая ток для зарядки конденсатора. Ток поступает на преобразователь DC-AC. Преобразователь DC-AC может преобразовать постоянный ток в переменный, обеспечивая подачу тока в электродвигатель. Электродвигатель может использовать переменный ток для приведения системы с электрическим приводом в движение.

В качестве альтернативы, система привода может работать в режиме форсированного движения. В режиме форсированного движения контактный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностями, замкнут и пропускает ток из источника электрического тока по положительной шине. Контактные размыкатели, расположенные в резистивных плечах цепи, разомкнуты. Источник электрического тока подает электроэнергию на индуктивности, где может осуществляться хранение энергии. Источник электрического тока может быть внебортовым источником электроэнергии, например, контактным рельсом или контактной подвеской, или бортовым источником электрического тока, например, устройством накопления энергии или аккумуляторной батареей. Ток может проходить через диоды для питания электродвигателя. Конденсатор, соединенный с источником электрического тока отрицательной шиной, может заряжаться, а в электродвигатель может поступать электрический ток.

В качестве альтернативы, система привода может работать в режиме динамического торможения. Режим динамического торможения может быть режимом рекуперативного торможения, режимом реостатного торможения или комбинацией этих двух режимов. В режиме рекуперативного или реостатного торможения, или в комбинации этих двух режимов, контактный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностями, разомкнут и не пропускает электрический ток из внебортового источника электрического тока. Однако по меньшей мере один из контактных выключателей, расположенных в плечах цепи, замкнут и пропускает ток из электродвигателя через соответствующие тормозные резисторы и соответствующие полупроводниковые ключи. Рекуперированная энергия из электродвигателя может быть передана по меньшей мере на некоторые из тормозных резисторов и рассеяна в виде тепла. Полупроводниковые ключи могут быстро коммутировать разомкнутое и замкнутое состояния. Такая быстрая модуляция полупроводниковых ключей позволяет осуществлять плавное торможение с управляемым замедлением. К примеру, когда контактор в плечах цепи замкнут, модуляция, или размыкание и замыкание, полупроводникового ключа обеспечивают возможность пропуска тока через тормозной резистор меньших дискретных величин электрического тока. Если ток слишком высок для одного полупроводникового ключа, то может быть установлен еще один полупроводниковый ключ для пропуска тока, по меньшей мере в течение некоторого времени. К примеру, один полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, второй полупроводниковый ключ - еще одну треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток в оставшуюся треть времени. Такая смена активности ключей позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с электрическим приводом. Рабочие циклы каждого из полупроводниковых ключей определяют, как долго току будет разрешено проходить через тормозной резистор. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и пропускает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контактными выключателями позволяет уменьшить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов, а также сократить количество подвижных деталей и, следовательно, снизить сложность производства и расходы. Ток проходит из полупроводниковых ключей по отрицательной шине системы 800 привода через конденсатор, преобразователь DC-AC и далее в электродвигатель. В этом варианте выполнения конденсатор разряжается, а электродвигатель обеспечивает напряжение.

На фиг. 9 проиллюстрирована работа одного варианта выполнения системы привода. Система привода может работать, соответственно, в режиме движения от двигателя, в режиме форсированного движения или в режиме динамического торможения. На схеме показаны два источника электрического тока, бортовой источник и внебортовой источник. В качестве альтернативы, система привода вместо внебортового источника может иметь еще один бортовой источник, например, аккумуляторную батарею. Внебортовой источник электрического тока 924 может быть источником электроэнергии, например, контактным рельсом или контактной подвеской. Бортовой источник может быть комплектом 902 двигатель-альтернатор, устройством хранения энергии или аккумуляторной батареей. Внебортовой источник электрического тока может быть соединен с положительной шиной 911 и отрицательной шиной 912. Положительная шина соединяет источник электрического тока с переключателем 922 и с индуктивностями 920, соединенными параллельно друг с другом. Переключатель расположен между источником электри-

ческого тока и индуктивностями. Каждая индуктивность из этих индуктивностей соединен с коллектором полупроводникового ключа 916, который является одним из полупроводниковых ключей, а также с анодом диода 918, который является одним из диодов. Катоды диодов соединены параллельно плечу 926 цепи, которое содержит тормозной резистор 914, подключенный последовательно остальным плечам цепи, соединенным друг с другом параллельно. Каждое из остальных плеч цепи содержит контактор 915. Плечо цепи с тормозным резистором и контакторами, соединенными параллельно друг с другом, подключено параллельно диодам. Соответствующие узлы 928 цепи расположены между контакторными выключателями и полупроводниковыми ключами. Катоды диодов и плечо цепи, содержащее тормозной резистор и контакторы, соединенные параллельно друг с другом, могут быть соединены с преобразователем 906 постоянного тока в переменный (DC-AC) через положительную шину. Преобразователь DC-AC может быть соединен с электродвигателем 908 при помощи еще одной положительной шины 945 и еще одной отрицательной шины 940. Конденсатор 910 может быть соединен параллельно с диодами, плечами цепи и преобразователем DC-AC. Внебортовой источник электрического тока может быть соединен с эмиттерами полупроводниковых ключей отрицательной шиной. Отрицательная шина может быть соединена с конденсатором и с преобразователем DC-AC. В проиллюстрированном варианте выполнения электродвигатель является тяговым электродвигателем.

В режиме движения от двигателя комплект двигатель-альтернатор подает электроэнергию на выпрямитель 804 для питания электродвигателя. Контактторы разомкнуты, поэтому ток подается из комплекта двигатель-альтернатор в электродвигатель. Выпрямитель может преобразовывать напряжение переменного тока от комплекта двигатель-альтернатор в напряжение постоянного тока, обеспечивая ток для зарядки конденсатора. Ток поступает на преобразователь DC-AC. Преобразователь DC-AC может преобразовывать постоянный ток в переменный, обеспечивая подачу тока в электродвигатель.

В качестве альтернативы, система привода может работать в режиме форсированного движения. В режиме форсированного движения контакторный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностями, замкнут и пропускает ток из источника электрического тока по положительной шине. Контактторы, расположенные в плечах цепи, разомкнуты. Источник электрического тока подает электроэнергию на индуктивности, где может осуществляться хранение энергии. Источник электрического тока может быть внебортовым источником электроэнергии, например, контактным рельсом или контактной подвеской, или бортовым источником электрического тока, например, устройством хранения энергии или аккумуляторной батареей. Ток может проходить через диоды для питания электродвигателя. Конденсатор, соединенный с источником электрического тока отрицательной шиной, может заряжаться, а в электродвигатель может поступать электрический ток.

В качестве альтернативы, система привода может работать в режиме динамического торможения. Режим динамического торможения может быть режимом рекуперативного торможения, режимом реостатного торможения или комбинацией этих двух режимов. В режиме рекуперативного или реостатного торможения, или в комбинации этих двух режимов, контакторный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностями, разомкнут и не пропускает электрический ток из внебортового источника электроэнергии. Рекуперированный электрический ток из электродвигателя передается в тормозной резистор и рассеивается в виде тепла. Однако по меньшей мере один из контакторных выключателей, расположенных в плечах цепи, замкнут и пропускает ток из электродвигателя через тормозной резистор и соответствующие полупроводниковые ключи. Полупроводниковые ключи могут быстро коммутировать разомкнутое и замкнутое состояния. Такая быстрая модуляция полупроводниковых ключей обеспечивает возможность осуществления плавного торможения с управляемым замедлением. К примеру, когда контактор в плечах цепи замкнут, модуляция, или размыкание и замыкание полупроводникового ключа позволяют пропускать через тормозной резистор меньшие дискретные величины электрического тока. Если ток слишком высок для одного полупроводникового ключа, то может быть установлен еще один полупроводниковый ключ для пропускания тока, по меньшей мере в течение некоторого времени. К примеру, один полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, второй полупроводниковый ключ - еще одну треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток в оставшуюся треть времени. Такая смена активности ключей позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с электрическим приводом. Рабочие циклы каждого полупроводникового ключа определяют, как долго току будет разрешено проходить через тормозной резистор. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и пропускает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контакторными выключателями позволяет уменьшить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов, а также сократить количество подвижных деталей, и, следовательно, снизить сложность производства и расходы. Ток проходит из полупроводниковых ключей по отрицательной шине системы 900 привода к конденсатору, преобразователю DC-AC и далее в электродвигатель. В этом варианте выполнения конденсатор разряжается, а электродвигатель обеспечивает напряжение.

На фиг. 10 проиллюстрирована работа одного варианта системы привода. Система привода может работать в режиме движения от двигателя, в режиме форсированного движения или в режиме динамического торможения. На схеме показаны два источника электрического тока, бортовой

источник и внебортовой источник. В качестве альтернативы, система привода вместо внебортового источника может иметь еще один бортовой источник, например, аккумуляторную батарею. Внебортовой источник электрического тока 1024 может быть источником электроэнергии, например, контактным рельсом или контактной подвеской. Бортовой источник может быть комплектом 1002 двигатель-альтернатор, устройством хранения энергии или аккумуляторной батареей. Внебортовой источник электрического тока может быть соединен с положительной шиной 1011 и отрицательной шиной 1012. Положительная шина соединяет источник электрического тока с переключателем 1022. Положительная шина соединяет источник электрического тока с плечом цепи, подключенным последовательно с остальными плечами 1026 цепи, соединенными друг с другом последовательно. В каждом из плеч цепи контактор 1015 и тормозной резистор 1014 соединены друг с другом последовательно. Положительная шина соединяет индуктивности 1020, подключенные параллельно друг другу. Переключатель расположен между источником электрического тока и индуктивностями. Каждая индуктивность соединена с коллектором полупроводникового ключа 1016, который является одним из полупроводниковых ключей, а также с анодом диода 1018, который является одним из диодов. Катоды диодов соединены параллельно с плечами цепи, содержащими контакторные выключатели и тормозные резисторы. Соответствующие узлы 1028 цепи расположены между контакторными выключателями и полупроводниковыми ключами. Плечи цепи соединены параллельно с диодами. Катоды диодов и плечи цепи, содержащие тормозные резисторы и контакторы, могут быть соединены с преобразователем 1006 постоянного тока в переменный (DC-AC) через положительную шину. Преобразователь DC-AC может быть соединен с электродвигателем 1008 при помощи еще одной положительной шины и еще одной отрицательной шины. Конденсатор 1010 может быть соединен параллельно с диодами и с преобразователем DC-AC. Внебортовой источник электрического тока может быть соединен с эмиттерами полупроводниковых ключей отрицательной шиной. Отрицательная шина может быть соединена с конденсатором и с преобразователем DC-AC. Выпрямитель 404 может быть соединен с преобразователем DC-AC при помощи еще одной положительной шины 1045 и еще одной отрицательной шины 1040. В проиллюстрированном варианте выполнения электродвигатель является тяговым электродвигателем.

В режиме тяги от двигателя комплект двигатель-альтернатор подает электроэнергию на выпрямитель для питания электродвигателя. Контактторы разомкнуты, поэтому ток подается из комплекта двигатель-альтернатор в электродвигатель. Комплект двигатель-альтернатор может работать на топливе, например, на дизельном топливе. Комплект двигатель-альтернатор может вырабатывать переменный ток для вспомогательных целей, например, для освещения. Выпрямитель может преобразовывать напряжение переменного тока от комплекта двигатель-альтернатор в напряжение постоянного тока, обеспечивая ток для зарядки конденсатора. Ток подают на преобразователь DC-AC. Преобразователь DC-AC может преобразовать постоянный ток в переменный, обеспечивая подачу тока в электродвигатель.

В качестве альтернативы, система привода может работать в режиме форсированного движения. В режиме форсированного движения контакторный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностями, замкнут и пропускает ток из источника электрического тока по положительной шине. Все контакторы разомкнуты. Источник электрического тока подает электроэнергию на индуктивности, расположенные в плечах цепи, где может осуществляться хранение энергии. Источник электрического тока может быть внебортовым источником электроэнергии, например, контактным рельсом или контактной подвеской, или бортовым источником электрического тока, например, устройством накопления энергии или аккумуляторной батареей. Ток может проходить через диоды для питания электродвигателя. Конденсатор, соединенный с источником электрического тока отрицательной шиной, может заряжаться, а в электродвигатель может поступать электрический ток.

В качестве альтернативы, система привода может работать в режиме динамического торможения. Режим динамического торможения может быть режимом рекуперативного торможения, режимом реостатного торможения или комбинацией этих двух режимов. В режиме рекуперативного или реостатного торможения, или в комбинации этих двух режимов контакторный выключатель, расположенный между источником электрического тока и индуктивностями, разомкнут и не пропускает электрический ток из внебортового источника электрического тока. Однако по меньшей мере один из контакторных выключателей, расположенных в плечах цепи, замкнут и пропускает ток из электродвигателя через соответствующий тормозной резистор, соответствующие индуктивности и соответствующие полупроводниковые ключи. Рекуперированная энергия из электродвигателя передается в тормозной резистор и рассеивается в виде тепла. Полупроводниковые ключи могут быстро коммутировать разомкнутое и замкнутое состояния. Такая быстрая модуляция полупроводниковых ключей позволяет осуществлять плавное торможение с управляемым замедлением. К примеру, когда контактор в плечах цепи замкнут, модуляция, или размыкание и замыкание, полупроводникового ключа позволяют пропускать через тормозной резистор меньшие дискретные величины электрического тока. Если ток слишком высок для одного полупроводникового ключа, то может быть установлен еще один полупроводниковый ключ для пропуска тока, по меньшей мере в течение некоторого времени. К примеру, один полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, второй полупроводниковый ключ - еще одну треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток оставшуюся треть времени. Такая смена активности ключей

позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с электрическим приводом. Рабочие циклы каждого полупроводникового ключа определяют, как долго току будет разрешено проходить через тормозной резистор. В качестве альтернативы, полупроводниковые ключи могут замыкаться и размыкаться одновременно. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и пропускает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контакторными выключателями позволяет уменьшить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов, а также сократить количество подвижных деталей, и, следовательно, снизить сложность производства и издержки. Ток проходит из полупроводниковых ключей по отрицательной шине системы 1000 привода через конденсатор, преобразователь DC-AC и далее в электродвигатель. В этом варианте выполнения конденсатор разряжается, а электродвигатель обеспечивает напряжение.

На фиг. 11 представлен пример способа рекуперативного торможения, реостатного торможения или их комбинации в системе привода, проиллюстрированной на фиг. 8. На этапе 1102 рекуперированная энергия поступает из электродвигателя. Например, электродвигатель может выступать в качестве источника электроэнергии для системы привода. Электродвигатель может работать как генератор, отдавая энергию, ранее принятую из других источников электроэнергии, таких как аккумуляторные батареи. Ток из электродвигателя поступает на преобразователь DC-AC. Ток может быть переменным (AC). Ток может проходить в преобразователь DC-AC по положительной шине, расположенной между электродвигателем и преобразователем DC-AC. Преобразователь DC-AC может преобразовывать переменный ток в постоянный (DC).

На этапе 1104 ток поступает из преобразователя DC-AC по еще одной положительной шине в конденсатор. Например, ток может проходить между преобразователем DC-AC и конденсатором по другой положительной шине, а не по шине, расположенной между электродвигателем и преобразователем DC-AC. В качестве альтернативы, ток может проходить из преобразователя DC-AC по той же шине, расположенной между электродвигателем и преобразователем DC-AC.

На этапе 1106 конденсатор разряжается. Например, в режиме рекуперативного торможения, режиме реостатного торможения или комбинации этих двух режимов, накопленная в аккумуляторе энергия может стекать на положительную шину. Ток может поступать далее на тормозные резисторы.

На этапе 1108, поскольку контактор замкнут, ток поступает на тормозные резисторы и рассеивается в виде тепла. Например, по меньшей мере один из контакторных выключателей может быть замкнут и пропускать электрический ток через соответствующие тормозные резисторы на положительную шину. Току может быть не позволено проходить через положительную шину через диоды из-за напряжения прямого смещения в них. В этом варианте выполнения диоды могут быть ориентированы так, чтобы препятствовать прохождению тока в заданном плече цепи. В качестве альтернативы, может применяться еще один полупроводниковый ключ, например, IGBT-транзистор, который позволяет пропускать ток через компонент в обе стороны.

На этапе 1110 ток проходит через полупроводниковые ключи. К примеру, модуляция, или размыкание и замыкание, полупроводниковых ключей позволяют пропускать через тормозной резистор меньшие дискретные величины электрического тока. Если ток слишком высок для одного полупроводникового ключа, то может быть установлен еще один полупроводниковый ключ для пропускания тока, по меньшей мере в течение некоторого времени. К примеру, один полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, второй полупроводниковый ключ - еще одну треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток оставшуюся треть времени. Такая смена активности ключей позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с электрическим приводом. Рабочие циклы каждого полупроводникового ключа определяют, как долго току будет разрешено прохождение через тормозной резистор. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и пропускает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контакторными выключателями позволяет уменьшить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов, а также сократить количество подвижных деталей, и, следовательно, снизить сложность производства и издержки. В режиме рекуперативного торможения, поскольку контакторы замкнуты, остальные источники электроэнергии могут быть шунтированы. Соответственно, ток проходит по отрицательной шине системы привода на конденсатор.

На этапе 1112 ток поступает на конденсатор. К примеру, ток может поступать по отрицательной шине. Отрицательная шина соединена с полюсом конденсатора, который не соединен с положительной шиной. Ток подается по отрицательной шине через точку соединения конденсатора с преобразователем DC-AC.

На этапе 1114 ток поступает на преобразователь DC-AC по отрицательной шине. К примеру, отрицательный вывод преобразователя DC-AC может быть соединен с отрицательной шиной. Преобразователь DC-AC может преобразовывать постоянный ток в переменный, необходимый для электродвигателя, в режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или комбинации этих двух режимов. Ток поступает из преобразователя DC-AC на электродвигатель.

На этапе 1116 ток поступает в электродвигатель. К примеру, ток может поступать из преобразова-

теля DC-AC по еще одной отрицательной шине. В качестве альтернативы, ток может проходить по той же отрицательной шине, к которой подключены остальные компоненты схемы. В режиме рекуперативного торможения электродвигатель является источником энергии для системы привода. В этом режиме система может работать в соответствии с требованиями, обеспечивая управляемое торможение и плавное замедление.

На фиг. 12 представлен пример способа рекуперативного торможения, реостатного торможения или их комбинации в системе привода, проиллюстрированной на фиг. 9. На этапе 1202 рекуперированная энергия поступает из электродвигателя. Например, электродвигатель может выступать в качестве источника электроэнергии для системы привода. Электродвигатель может работать как генератор, отдавая энергию, ранее принятую из других источников электроэнергии, например, аккумуляторных батарей. Ток из электродвигателя поступает на преобразователь DC-AC. Поступающий ток может быть переменным (AC). Ток может проходить в преобразователь DC-AC по положительной шине, расположенной между электродвигателем и преобразователем DC-AC. Преобразователь DC-AC может преобразовывать переменный ток в постоянный (DC).

На этапе 1204 ток поступает из преобразователя DC-AC по еще одной положительной шине в конденсатор. Например, ток может проходить между преобразователем DC-AC и конденсатором по другой положительной шине, а не по шине, расположенной между электродвигателем и преобразователем DC-AC. В качестве альтернативы, ток может проходить из преобразователя DC-AC по той же шине, расположенной между электродвигателем и преобразователем DC-AC.

На этапе 1206 конденсатор разряжается. Например, в режиме рекуперативного торможения, режиме реостатного торможения или комбинации этих двух режимов, накопленная в аккумуляторе энергия может стекать на положительную шину. Ток может поступать далее на тормозной резистор.

На этапе 1208, поскольку контактор замкнут, ток поступает на тормозной резистор и рассеивается в виде тепла. Например, тормозной резистор может быть соединен последовательно с контакторами, соединенными параллельно друг с другом. По меньшей мере один из контакторов замкнут и пропускает электрический ток через тормозной резистор на положительную шину. Ток с положительной шины не проходит через диоды из-за напряжения прямого смещения в них. В этом варианте выполнения диоды могут быть ориентированы так, чтобы препятствовать прохождению тока в заданном плече цепи. В качестве альтернативы, может применяться другой тип полупроводникового ключа, например, IGBT-транзистор, который позволяет пропускать ток через компонент в обе стороны.

На этапе 1210 ток проходит через полупроводниковые ключи. К примеру, модуляция, или размыкание и замыкание, полупроводниковых ключей позволяют пропускать через тормозной резистор меньшие дискретные величины электрического тока. Если ток слишком высок для одного полупроводникового ключа, то может быть установлен еще один полупроводниковый ключ для пропуска тока, по меньшей мере в течение некоторого времени. К примеру, один полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, второй полупроводниковый ключ - еще одну треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток оставшуюся треть времени. Такая смена активности ключей позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с электрическим приводом. Рабочие циклы каждого полупроводникового ключа определяют, как долго току будет разрешено проходить через тормозной резистор. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и пропускает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контакторными выключателями позволяет уменьшить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов, а также сократить количество подвижных деталей, и, следовательно, снизить сложность производства и издержки. В режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или комбинации этих двух режимов, поскольку контакторы замкнуты, остальные источники электроэнергии могут быть шунтированы. Соответственно, ток проходит по отрицательной шине системы привода на конденсатор.

На этапе 1212 ток поступает на конденсатор. К примеру, ток может поступать по отрицательной шине. Отрицательная шина соединена с полюсом конденсатора, который не соединен с положительной шиной. Ток подается по отрицательной шине через точку соединения конденсатора с преобразователем DC-AC.

На этапе 1214 ток поступает на преобразователь DC-AC по отрицательной шине. К примеру, отрицательный вывод преобразователя DC-AC может быть соединен с отрицательной шиной. Преобразователь DC-AC может преобразовывать постоянный ток в переменный, необходимый для электродвигателя, в режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или комбинации этих двух режимов. Ток поступает из преобразователя DC-AC на электродвигатель.

На этапе 1216 ток поступает в электродвигатель. К примеру, ток может поступать из преобразователя DC-AC по еще одной отрицательной шине. В качестве альтернативы, ток может проходить по той же отрицательной шине, к которой подключены остальные компоненты схемы. В режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или комбинации этих двух режимов электродвигатель является источником электроэнергии для системы привода. В этом режиме система может работать в соответствии с требованиями, обеспечивая управляемое торможение и плавное замедление.

На фиг. 13 представлен пример способа рекуперативного торможения, реостатного торможения или их комбинации в системе привода, проиллюстрированной на фиг. 9. На этапе 1302 рекуперированная электроэнергия поступает из электродвигателя. Например, электродвигатель может выступать в качестве источника электроэнергии для системы привода. Электродвигатель может работать как генератор, отдавая энергию, ранее принятую из других источников электроэнергии, например, аккумуляторных батарей. Ток из электродвигателя поступает на преобразователь DC-AC. Поступающий ток может быть переменным (AC). Ток может проходить в преобразователь DC-AC по положительной шине, расположенной между электродвигателем и преобразователем DC-AC. Преобразователь DC-AC может преобразовывать переменный ток в постоянный (DC).

На этапе 1304 ток поступает из преобразователя DC-AC по еще одной положительной шине в конденсатор. Например, ток может проходить между преобразователем DC-AC и конденсатором по другой положительной шине, а не по шине, расположенной между электродвигателем и преобразователем DC-AC. В качестве альтернативы, ток может проходить из преобразователя DC-AC по той же шине, расположенной между электродвигателем и преобразователем DC-AC.

На этапе 1306 конденсатор разряжается. Например, в режиме рекуперативного торможения, режиме реостатного торможения или комбинации этих двух режимов, накопленная в аккумуляторе энергия может стекать на положительную шину. Ток может поступать далее на тормозные резисторы.

На этапе 1308, поскольку контактор замкнут, ток поступает на тормозные резисторы и рассеивается в виде тепла. Например, тормозные резисторы могут быть соединены последовательно с контакторами, соединенными параллельно друг с другом. По меньшей мере один из контакторов замкнут и пропускает электрический ток через тормозной резистор на положительную шину. Току может быть не позволено протекать по положительной шине через диоды из-за напряжения прямого смещения в них. В этом варианте выполнения диоды могут быть ориентированы так, чтобы препятствовать прохождению тока в заданном плече цепи. В качестве альтернативы, может применяться другой тип полупроводникового ключа, например, IGBT-транзистор, который позволяет пропускать ток в обе стороны. Ток проходит через резистивные плечи схемы, соединенные параллельно друг с другом, в индуктивности.

На этапе 1310 ток проходит через индуктивности. Например, индуктивности могут быть соединены параллельно друг другу и подключены последовательно резистивным плечам. Накопленная в индуктивностях энергия может выдаваться в режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или в комбинации этих двух режимов. Ток может также проходить по положительной шине из индуктивностей в полупроводниковые ключи.

На этапе 1312 ток проходит через полупроводниковые ключи. К примеру, модуляция, или размыкание и замыкание, полупроводниковых ключей позволяют пропускать через тормозной резистор меньшие дискретные величины электрического тока. Если ток слишком высок для одного полупроводникового ключа, то может быть установлен еще один полупроводниковый ключ для пропуска тока, по меньшей мере в течение некоторого времени. К примеру, один полупроводниковый ключ может пропускать ток треть времени, второй полупроводниковый ключ - еще одну треть времени, и третий полупроводниковый ключ может пропускать ток в оставшуюся треть времени. Такая смена активности ключей позволяет осуществлять непрерывное управление торможением системы с электрическим приводом. Рабочие циклы каждого полупроводникового ключа определяют, как долго току будет разрешено проходить через тормозной резистор. Чем длиннее рабочий цикл, тем длительнее время, в течение которого полупроводниковый ключ замкнут и выдерживает ток. Применение полупроводниковых ключей в комбинации с тормозными резисторами и контакторными выключателями позволяет уменьшить искрение, износ и амортизацию дискретных компонентов, а также сократить количество подвижных деталей, и, следовательно, снизить сложность производства и издержки. В режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или комбинации этих двух режимов, поскольку контакторы замкнуты, остальные источники электроэнергии могут быть шунтированы. Соответственно, ток проходит по отрицательной шине системы привода на конденсатор.

На этапе 1314 ток поступает на конденсатор. Ток поступает по отрицательной шине. Например, отрицательная шина может быть соединена с полюсом конденсатора, который не соединен с положительной шиной. Ток подается по отрицательной шине через точку соединения конденсатора с преобразователем DC-AC.

На этапе 1316 ток поступает на преобразователь DC-AC по отрицательной шине. К примеру, отрицательный вывод преобразователя DC-AC может быть соединен с отрицательной шиной. Преобразователь DC-AC может преобразовывать постоянный ток в переменный, необходимый для электродвигателя, в режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или комбинации этих двух режимов. Ток поступает из преобразователя DC-AC на электродвигатель.

На этапе 1318 ток поступает в электродвигатель. К примеру, ток может поступать из преобразователя DC-AC по еще одной отрицательной шине. В качестве альтернативы, ток может проходить по той же отрицательной шине, к которой подключены остальные компоненты схемы. В режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или комбинации этих двух режимов электродвигатель является источником электроэнергии для системы привода. В этом режиме система может работать в соот-

ветствии с требованиями, обеспечивая управляемое торможение и плавное замедление.

В одном или нескольких вариантах выполнения предложена система привода, которая может содержать резистивные плечи цепи, соединенные с (а) преобразователем, который преобразует электрический ток для электродвигателя системы с электрическим приводом, и (b) источником электрического тока для питания электродвигателя, и расположенные между ними. Каждое плечо цепи может содержать тормозной резистор, соединенный с преобразователем. Каждое плечо цепи может содержать контактор, соединенный с тормозным резистором так, что тормозной резистор расположен между преобразователем и контактором, и первый полупроводниковый ключ, соединенный с контактором так, что контактор расположен между первым полупроводниковым ключом и тормозным резистором. В режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или в комбинации двух этих режимов, рекуперативного торможения и режима реостатного торможения, рекуперированный электрический ток из электродвигателя может передаваться в тормозной резистор и рассеиваться в виде тепла.

Как вариант, каждый контактор может быть выполнен с возможностью индивидуального управления с коммутированием между (а) разомкнутым состоянием, в котором соответствующий тормозной резистор, соединенный с контактором, отключен от соответствующего узла цепи, и (b) замкнутым состоянием, в котором тормозной резистор, соответствующий этому контактору и соединенный с ним, подключен к соответствующему узлу контактора.

Как вариант, каждый тормозной резистор может быть выполнен с возможностью рассеивания по меньшей мере части рекуперированного электрического тока из электродвигателя в виде тепла, когда соответствующий контактор находится в замкнутом состоянии. Как вариант, каждый тормозной резистор может быть выполнен с возможностью рассеивания по меньшей мере части рекуперированного электрического тока из электродвигателя в виде тепла, когда соответствующий первый полупроводниковый ключ находится в замкнутом состоянии. Как вариант, каждый контактор может быть выполнен с возможностью обеспечения поступления по меньшей мере части рекуперированного тока из электродвигателя через конденсатор, когда контактор находится в разомкнутом состоянии. Как вариант, (а) один или несколько диодов или (b) второй полупроводниковый ключ могут быть соединены параллельно друг другу, а также контакторам и тормозным резисторам, между источником электрического тока и преобразователем. Как вариант, источник электрического тока может представлять собой одно или несколько из следующего: контактный рельс, контактную подвеску или устройство хранения энергии. Как вариант, (а) одна или несколько индуктивностей, (b) один или несколько диодов или вторых полупроводниковых ключей, (c) контакторы и (d) тормозные резисторы могут быть соединены с преобразователем параллельно альтернатору и выпрямителю.

В еще одном аспекте настоящего изобретения предложена система привода, которая может содержать тормозной резистор, соединенный с преобразователем, который преобразует электрический ток для электродвигателя системы с электрическим приводом, а также несколько плеч цепи, которые соединены с тормозным резистором параллельно друг другу. Каждое плечо цепи может содержать первый полупроводниковый ключ, соединенный с контактором так, что контактор расположен между первым полупроводниковым ключом и тормозным резистором. В режиме рекуперативного или реостатного торможения системы с электрическим приводом рекуперированная энергия из электродвигателя системы с электрическим приводом может быть передана на тормозной резистор и рассеяна в виде тепла, в зависимости от того, замкнут ли (а) контактор или (b) первый полупроводниковый ключ.

Как вариант, контакторы могут быть соединены параллельно друг другу между внебортовым источником электрического тока и тормозным резистором. Как вариант, одна или несколько индуктивностей могут быть соединены параллельно друг с другом, а также с контакторами и тормозными резисторами, между источником электрического тока и преобразователем. Как вариант, (а) один или несколько диодов или (b) второй полупроводниковый ключ соединены параллельно друг с другом, а также с контакторами и тормозными резисторами, между источником электрического тока и преобразователем. Как вариант, источник электрического тока может представлять собой одно или несколько из следующего: контактный рельс, контактную подвеску или устройство хранения энергии. Как вариант, (а) индуктивности, (b) один или несколько диодов или вторых полупроводниковых ключей, (c) контакторы и (d) тормозные резисторы могут быть соединены с преобразователем параллельно альтернатору и выпрямителю. Как вариант, конденсатор может быть соединен с преобразователем параллельно альтернатору и выпрямителю.

В одном или нескольких вариантах выполнения предложена система, которая может содержать две или большее количество индуктивностей, один или несколько первых полупроводниковых ключей и один или несколько вторых полупроводниковых ключей. Каждая индуктивность может быть расположена на борту системы с электрическим приводом и выборочно соединяться с внебортовым источником электроэнергии, а также с преобразователем, который преобразует электрический ток для электродвигателя системы с электрическим приводом. В дополнение, каждая индуктивность может быть соединена с узлом цепи, расположенным между катодом первого полупроводникового ключа из одного или нескольких первых полупроводниковых ключей и (а) анодом диода или (b) эмиттером второго полупроводникового ключа из одного или нескольких вторых полупроводниковых ключей. Как анод, так и эмиттер мо-

жет быть соединен с преобразователем, с контакторами, соединенными параллельно друг другу между источником первого электрического тока и преобразователем. Также, анод или эмиттер может быть соединен с тормозными резисторами, соединенными параллельно друг другу, при этом каждый тормозной резистор соединен последовательно с отдельным контактором между этим контактором и преобразователем. Также, каждый анод может быть соединен с первым полупроводниковым ключом, соединенным с контактором так, что контактор расположен между первым полупроводниковым ключом и тормозными резисторами. В режиме рекуперативного торможения системы с электрическим приводом рекуперированная из электродвигателя энергия может передаваться на тормозной резистор и рассеиваться в виде тепла, в зависимости от того, какие из контакторов или первых полупроводниковых ключей замкнуты.

Как вариант, два или большее количество индуктивностей и (а) диоды или (б) второй полупроводниковый ключ могут быть соединены параллельно с контакторами и тормозными резисторами между источником электрического тока и преобразователем. Как вариант, источник электрического тока может представлять собой одно или несколько из следующего: контактный рельс, контактную подвеску или устройство хранения энергии. Как вариант, (а) два или большее количество индуктивностей, (б) диоды или второй полупроводниковый ключ, (с) контакторы и (d) тормозные резисторы могут быть соединены с преобразователем параллельно альтернатору и выпрямителю. Как вариант, конденсатор может быть соединен с преобразователем параллельно альтернатору и выпрямителю.

Выражения в единственном числе и такие выражения как "один", "один из", или аналогичные им, включают также множественное число, если из контекста явно не следует обратное. "Необязательно" или "как вариант" означает, что описанное далее событие или обстоятельство может как возникнуть, так и не возникнуть, и что описание включает случаи, в которых это событие возникает, а также случаи, в которых оно не возникает. Термины, указывающие на приближенные значения, в настоящем описании и в формуле изобретения могут применяться как модификаторы количественных выражений, значение которых может изменяться без изменения основной связанной с ними функции. Соответственно, значение, модифицированное таким термином, или терминами, как "около", "приблизительно" и "по существу", не ограничено точным приведенным значением. По меньшей мере в некоторых случаях термины, указывающие на приближенные значения, могут соответствовать точности приборов для измерения этих значений. В настоящем документе, в описании и в формуле изобретения, ограничения по диапазонам могут комбинироваться и/или использоваться взаимозаменяемо, при этом такие диапазоны могут быть определяемыми и включать все содержащиеся в них поддиапазоны, если только контекст или формулировка не указывает на обратное.

В данном документе использованы конкретные примеры. Они использованы для описания вариантов выполнения, включая лучший (по мнению авторов) вариант его осуществления, а также для обеспечения возможности его практического применения специалистами в данной области техники, включая создание и использование любых устройств или систем, или выполнение любых способов, входящих в состав настоящего изобретения. Объем правовой защиты настоящего изобретения определяется формулой изобретения и может включать другие примеры, которые могут быть найдены специалистами в данной области техники. Все такие дополнительные примеры попадают в объем правовой защиты формулы изобретения, если они имеют структурные элементы, не отличающиеся от буквального описания в пунктах формулы изобретения, или если они включают эквивалентные структурные элементы с незначительными отличиями от буквального описания в пунктах формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система привода, содержащая:

по меньшей мере одно резистивное плечо цепи, соединенное (а) с преобразователем, который преобразует первый электрический ток для электродвигателя, и (б) с источником первого электрического тока для питания электродвигателя, и расположенное между ними, при этом указанное по меньшей мере одно резистивное плечо цепи содержит контактор, соединенный с тормозным резистором и преобразователем;

первый полупроводниковый ключ, соединенный с указанным по меньшей мере одним резистивным плечом цепи, и

диод и/или второй полупроводниковый ключ, соединенный параллельно с указанным по меньшей мере одним резистивным плечом цепи, при этом диод и/или второй полупроводниковый ключ электрически соединен с преобразователем,

при этом, в режиме рекуперативного торможения, реостатного торможения или в комбинации этих двух режимов, управляют контактором, первым полупроводниковым ключом и диодом и/или вторым полупроводниковым ключом так, чтобы подавать по меньшей мере часть рекуперированного электрического тока из электродвигателя на тормозной резистор для управления торможением с помощью электродвигателя.

2. Система по п. 1, в которой контактор выполнен с возможностью индивидуального управления для коммутации между (а) разомкнутым состоянием, в котором тормозной резистор, соответствующий кон-

тактору и соединенный с ним, отключен от соответствующего узла цепи, и (b) замкнутым состоянием, в котором тормозной резистор, соответствующий контактору и соединенный с ним, подключен к соответствующему узлу цепи, при этом указанный соответствующий узел цепи расположен между контактором и первым полупроводниковым ключом.

3. Система по п.2, в которой тормозной резистор выполнен с возможностью рассеивания по меньшей мере части рекуперированного электрического тока из электродвигателя в виде тепла, когда соответствующий контактор находится в замкнутом состоянии.

4. Система по п.2, в которой контактор выполнен с возможностью обеспечения прохождения по меньшей мере части рекуперированного электрического тока из электродвигателя через конденсатор, когда контактор находится в разомкнутом состоянии, при этом конденсатор расположен между по меньшей мере одним резистивным плечом цепи и преобразователем, и конденсатор подключен параллельно по меньшей мере одному резистивному плечу цепи, диоду и/или второму полупроводниковому ключу и преобразователю.

5. Система по любому из пп.1-4, в которой тормозной резистор выполнен с возможностью рассеивания по меньшей мере части рекуперированного электрического тока из электродвигателя в виде тепла, когда первый полупроводниковый ключ находится в замкнутом состоянии.

6. Система по любому из пп.1-5, в которой диод и/или второй полупроводниковый ключ расположен между источником первого электрического тока и преобразователем.

7. Система по любому из пп.1-6, в которой источником первого электрического тока является одно или более из следующего: контактный рельс, контактная подвеска или устройство хранения энергии.

8. Система по любому из пп.1-7, в которой (a) одна или более индуктивностей, (b) диод и/или второй полупроводниковый ключ, (c) контактор и (d) тормозной резистор соединены с преобразователем параллельно альтернатору и выпрямителю.

9. Система привода, содержащая:

один или более тормозной резистор, соединенный с преобразователем, который преобразует первый электрический ток для электродвигателя системы с электрическим приводом;

множество плеч цепи, каждое из которых содержит по меньшей мере один из указанных одного или более тормозных резисторов и контактор; и

первый полупроводниковый ключ, соединенный параллельно с каждым из контакторов множества плеч цепи так, что контактор расположен между соответствующим первым полупроводниковым ключом и соответствующим тормозным резистором, и

диод и/или второй полупроводниковый ключ, соединенный с соответствующим одним из множества плеч цепи,

при этом, в режиме рекуперативного или реостатного торможения системы с электрическим приводом, рекуперированный электрический ток из электродвигателя передается на один или более тормозной резистор и рассеивается в виде тепла, в зависимости от того, (a) контактор или (b) первый полупроводниковый ключ замкнут в каждом из множества плеч цепи.

10. Система по п.9, в которой контактор в каждом из множества плеч цепи включен параллельно другим контакторам в множестве плеч цепи между источником первого электрического тока и соответствующим тормозным резистором.

11. Система по п.9, в которой одна или более индуктивностей включены параллельно друг другу между источником первого электрического тока и каждым из одного или более тормозных резисторов.

12. Система по любому из пп.9-11, в которой диод и/или второй полупроводниковый ключ включен параллельно соответствующему контактору и соответствующему тормозному резистору между источником первого электрического тока и преобразователем.

13. Система по любому из пп.9-12, в которой источником электрического тока является одно или более из следующего: контактный рельс, контактная подвеска или устройство хранения энергии.

14. Система по любому из пп.9-13, в которой (a) одна или более индуктивностей, (b) диод и/или второй полупроводниковый ключ, (c) контактор и (d) множество тормозных резисторов соединены с преобразователем параллельно альтернатору и выпрямителю.

15. Система по любому из пп.9-14, в которой конденсатор соединен с преобразователем параллельно альтернатору и выпрямителю.

16. Система привода, содержащая:

один или более первых полупроводниковых ключей;

один или более вторых полупроводниковых ключей, последовательно соединенных с первыми полупроводниковыми ключами;

две или более индуктивности, при этом каждая индуктивность выполнена с возможностью размещения на борту системы с электрическим приводом и выборочного соединения с источником первого электрического тока и преобразователем, который преобразует первый электрический ток для электродвигателя системы с электрическим приводом, при этом каждая индуктивность из двух или более индуктивностей соединена с узлами цепи, расположенными между одним или более первыми полупроводниковыми ключами и одним или более вторыми полупроводниковыми ключами, при этом один или более

из вторых полупроводниковых ключей соединен с преобразователем;

множество контакторов, включенных параллельно друг другу между источником первого электрического тока и преобразователем; и

множество тормозных резисторов, включенных параллельно друг другу, при этом каждый тормозной резистор включен последовательно с отдельным контактором из множества контакторов между контактором и преобразователем;

при этом по меньшей мере один из одного или более вторых полупроводниковых ключей соединен параллельно с множеством контакторов и множеством тормозных резисторов,

при этом первый полупроводниковый ключ соединен с первым контактором из множества контакторов так, что первый контактор расположен между первым полупроводниковым ключом и соответствующим тормозным резистором,

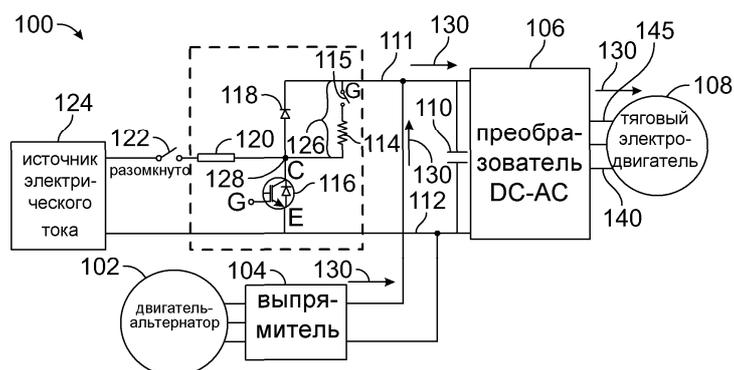
при этом, в режиме рекуперативного или реостатного торможения системы с электрическим приводом, рекуперированный электрический ток из электродвигателя системы с электрическим приводом передается на тормозные резисторы и рассеивается в виде тепла, в зависимости от того, какой из контакторов или из одного или более первых полупроводниковых ключей и одного или более вторых полупроводниковых ключей замкнут.

17. Система по п.16, в которой две или более индуктивности и один или более второй полупроводниковый ключ соединены параллельно с множеством контакторов и множеством тормозных резисторов между источником первого электрического тока и преобразователем.

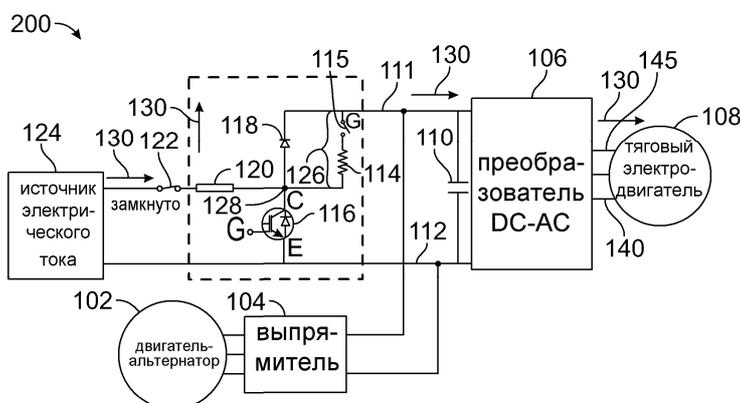
18. Система по п.16 или 17, в которой источником электрического тока является одно или более из следующего: контактный рельс, контактная подвеска или устройство хранения энергии.

19. Система по любому из пп.16-18, в которой (а) две или более индуктивности, (б) один или более второй полупроводниковый ключ, (с) множество контакторов и (d) множество тормозных резисторов соединены с преобразователем параллельно альтернатору и выпрямителю.

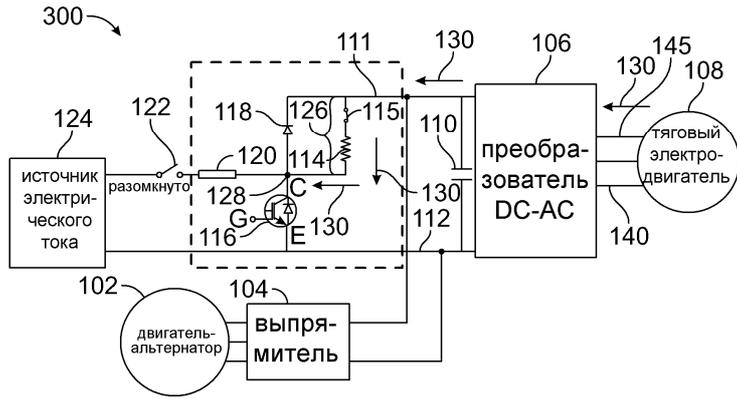
20. Система по любому из пп.16-19, в которой конденсатор подключен параллельно преобразователю, множеству контакторов и множеству тормозных резисторов.



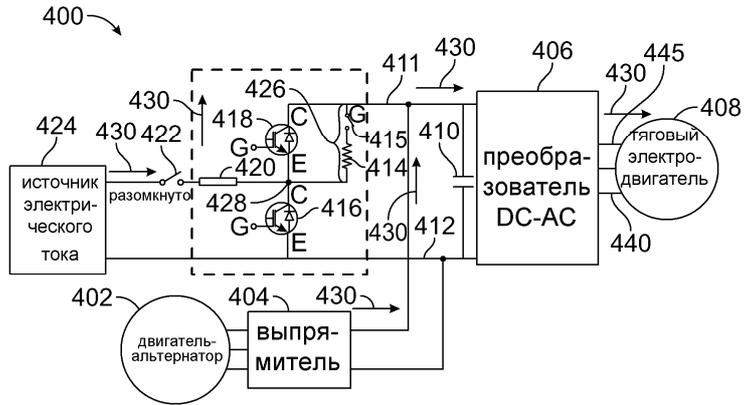
Фиг. 1



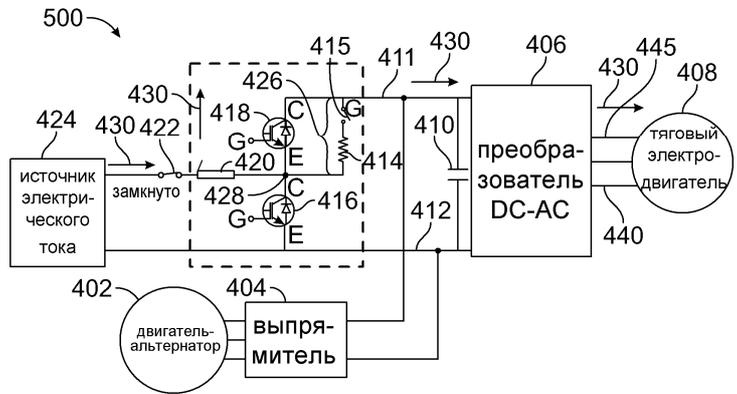
Фиг. 2



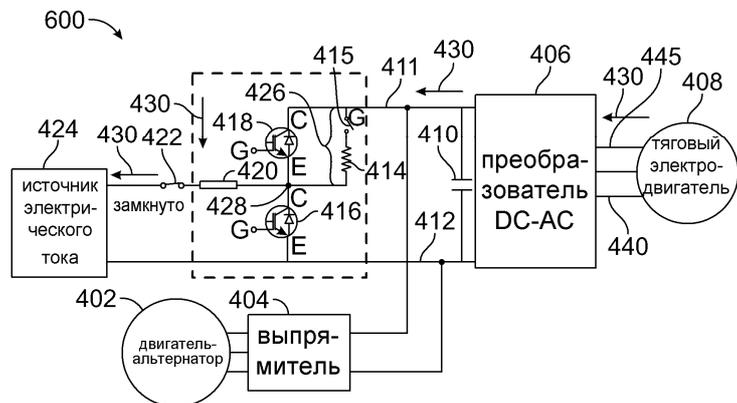
Фиг. 3



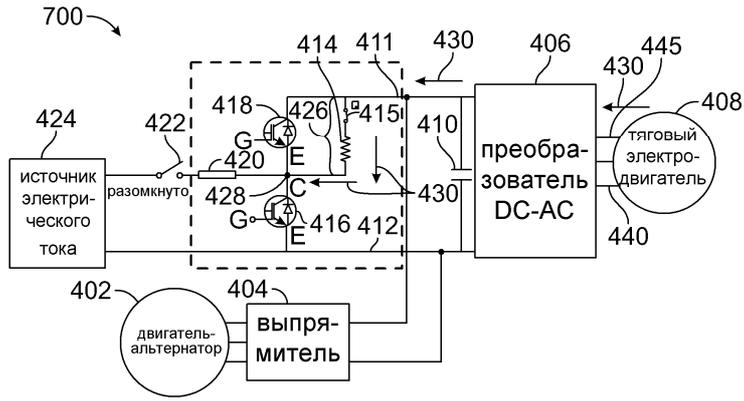
Фиг. 4



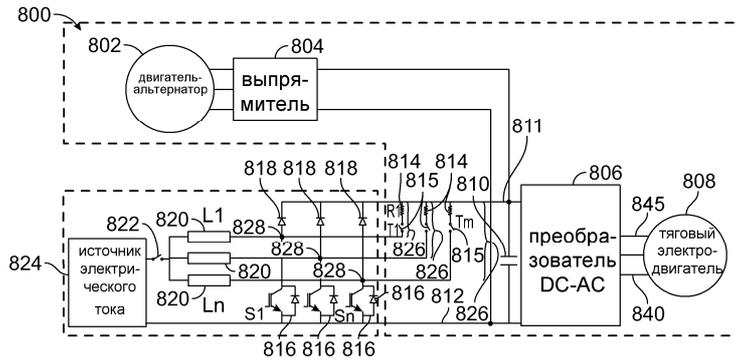
Фиг. 5



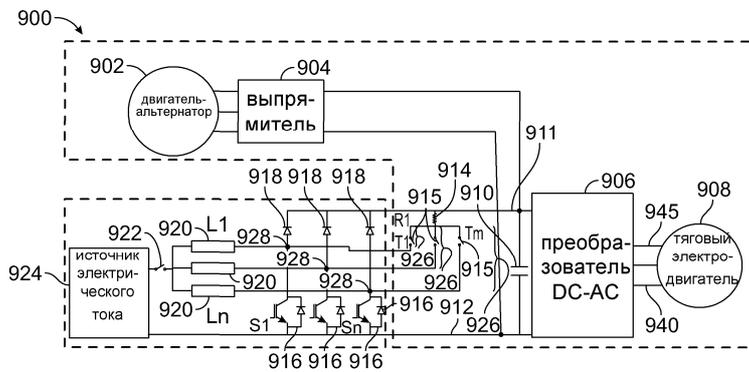
Фиг. 6



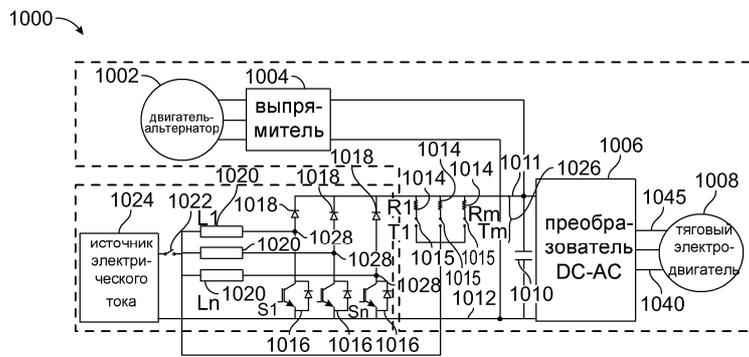
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



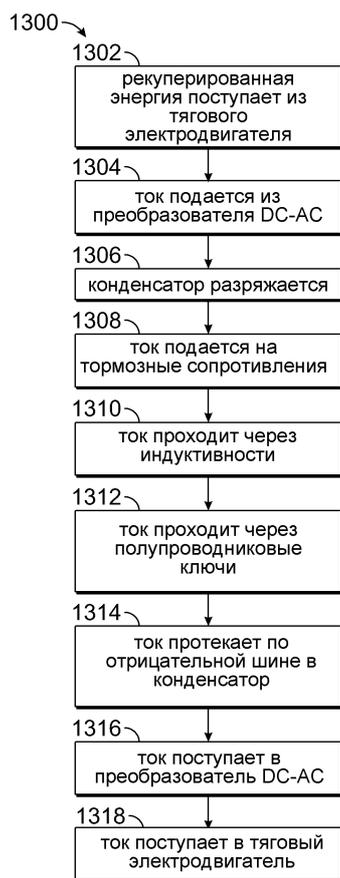
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13

