



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02M 7/483 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2018107570, 29.07.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.07.2016

Дата регистрации:
13.12.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
03.08.2015 FR 1557501

(43) Дата публикации заявки: 05.09.2019 Бюл. № 25

(45) Опубликовано: 13.12.2019 Бюл. № 35

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 05.03.2018

(86) Заявка РСТ:
FR 2016/051993 (29.07.2016)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2017/021642 (09.02.2017)

Адрес для переписки:
101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 13, стр. 5,
ООО "Союзпатент"

(72) Автор(ы):

СИНОДА, Косзи (FR),
БЕНШАИБ, Абдельkrim (FR),
ГИЙО, Ксавье (FR),
ДАЙ, Цзин (FR)

(73) Патентообладатель(и):

СЬЮПЕРГРИД ИНСТИТЮТ (FR),
ЭНСТИТЮ НАСЬОНАЛЬ ДЕ СЬЯНС
АППЛИКЕ ДЕ ЛИОН (FR),
САНТРАЛЬСЮПЕЛЕК (FR)

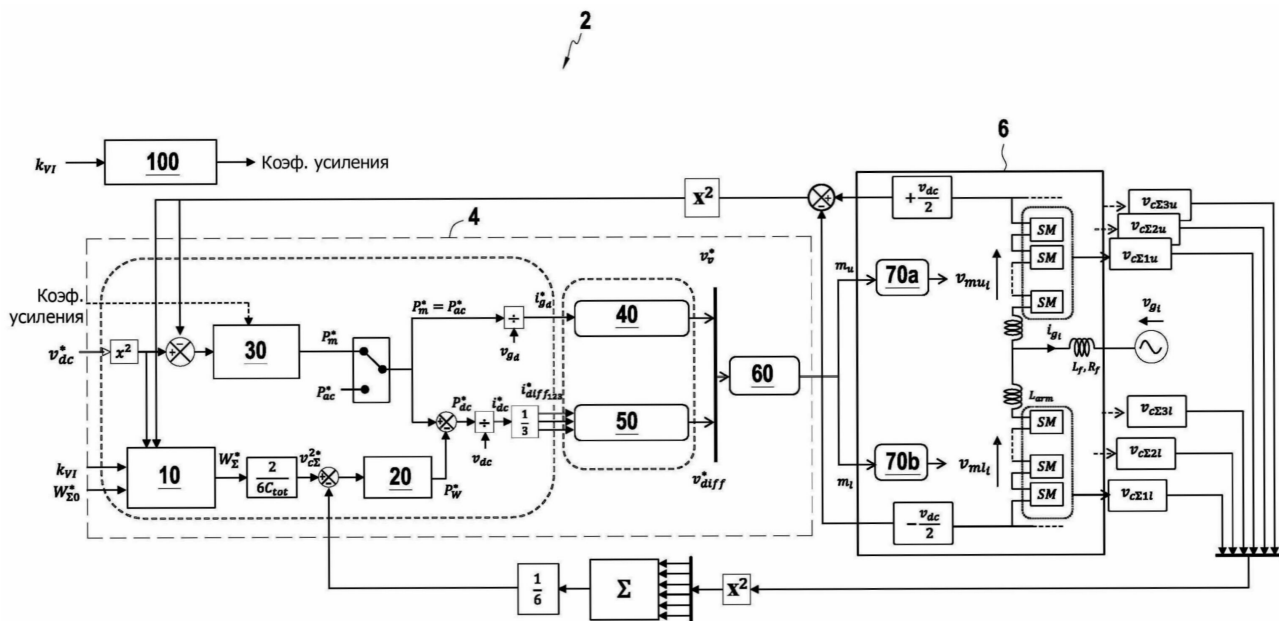
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2524363 C2, 27.07.2014. RU
2307442 C1, 27.09.2007. WO 2011082935 A1,
14.07.2011. WO 2011088949 A3, 28.07.2011.

(54) ВИРТУАЛЬНАЯ ЕМКОСТЬ

(57) Реферат:

Изобретение относится к модульному многоуровневому преобразователю (2), содержащему модуль (4) управления и компьютер (10) для вычисления заданного значения для внутренней энергии преобразователя, сохраняемой в конденсаторах подмодулей плечей. Модуль управления выполнен с возможностью определять, исходя из указанного заданного значения для внутренней энергии

преобразователя, заданное значение для напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора, причём это заданное значение используется для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, а также напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора. 3 н. и 13 з.п. ф-лы, 16 ил.



Фиг. 6



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H02M 7/483 (2019.08)

(21)(22) Application: **2018107570, 29.07.2016**

(24) Effective date for property rights:
29.07.2016

Registration date:
13.12.2019

Priority:

(30) Convention priority:
03.08.2015 FR 1557501

(43) Application published: **05.09.2019 Bull. № 25**

(45) Date of publication: **13.12.2019 Bull. № 35**

(85) Commencement of national phase: **05.03.2018**

(86) PCT application:
FR 2016/051993 (29.07.2016)

(87) PCT publication:
WO 2017/021642 (09.02.2017)

Mail address:
**101000, Moskva, ul. Myasnitskaya, d. 13, str. 5,
OOO "Soyuzpatent"**

(72) Inventor(s):

**SINODA, Kosei (FR),
BENSHAIB, Abdelkrim (FR),
GIJO, Ksave (FR),
DAJ, Tszin (FR)**

(73) Proprietor(s):

**SYUPERGRID INSTITYUT (FR),
ENSTITYU NASONAL DE SYANS APPLIKE
DE LION (FR),
SANTRALSYUPELEK (FR)**

(54) **VIRTUAL CAPACITANCE**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to a modular multilevel converter (2) comprising control module (4) and computer (10) for calculating a predetermined value for internal energy of a converter stored in capacitors of arm submodules. Control module is configured to determine, based on said predetermined value for converter internal energy, a predetermined value for

voltage across the outputs of each modulated capacitor, wherein said preset value is used to control voltage in points of common connection between converter and DC electrical network, as well as voltage at outputs of each modulated capacitor.

EFFECT: technical result is expansion of functional capabilities.

16 cl, 16 dwg



Фиг. 6

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к области модульных многоуровневых преобразователей (MMC) для преобразования переменного тока (AC) в постоянный ток (DC) и наоборот.

5 Если более точно, изобретение относится к высоковольтным транспортным сетям постоянного тока (HVDC), в которых используется постоянный ток для передачи электрической энергии, и в которых подстанции включают в себя модульные многоуровневые преобразователи.

Фиг. 1 является блок-схемой, показывающей набор подмодулей 6 модульного многоуровневого преобразователя 2 предшествующего уровня техники. Для трёхфазных входных/выходных токов (имеющих три фазы фа, фб, фс) преобразователь 2 имеет три ветви преобразования, которые обозначены индексами а, b и с для различных компонентов на фиг. 1. Каждая ветвь преобразования содержит верхнее плечо и нижнее плечо (обозначенные индексами “u” для верхнего плеча и “l” - для нижнего), каждое из
 15 них соединяет выход DC+ или DC- электросети постоянного тока с клеммой электросети переменного тока. В частности, каждая из ветвей присоединяется к одной из трёх фазовых линий фа, фб, или фс электросети переменного тока. Фиг. 1 показывает набор подмодулей 6, в котором каждое плечо содержит множество подмодулей SMxij, которые могут управляться в желаемой последовательности (где x обозначает плечо - верхнее
 20 или нижнее, i обозначает номер ветви, а j обозначает номер подмодуля в последовательности подмодулей в ветви). В этом примере на одно плечо показаны только три подмодуля. При практическом применении каждое плечо, нижнее или верхнее плечо, может иметь количество N от нескольких десятков до нескольких сотен подмодулей. Каждый подмодуль SMxij включает в себя систему аккумулирования
 25 энергии, такую как по меньшей мере один конденсатор и управляющий элемент, для избирательного последовательного соединения конденсатора между клеммами подмодуля или для его шунтирования. Подмодули управляются в выбранной последовательности, чтобы постепенно изменять количество элементов для аккумулирования энергии, которые последовательно соединены в плече преобразователя
 30 2, для того чтобы обеспечивать множество уровней напряжения. Кроме того, на фиг. 1 V_{dc} обозначает напряжение в точке, где преобразователь присоединяется к электросети постоянного тока. Эти точки называются точками общего присоединения (PCC), как хорошо известно специалистам в данной области техники. I_{dc} обозначает ток в электросети постоянного тока, а токи i_{ga} , i_{gb} , i_{gc} протекают в трёх фазовых линиях фа, фб, и фс. Кроме того, каждое плечо имеет индуктивность L_{arm} , а каждая фазовая линия содержит индуктивность L_f и сопротивление R_f .

Фиг. 2 показывает подмодуль SMxij предшествующего уровня техники, образующий часть преобразователя, показанного на фиг. 1. В этом подмодуле каждый элемент
 40 управления содержит первый электронный переключающий элемент T1, такой как биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT), соединённый последовательно с элементом для аккумулирования электрической энергии, а именно, с конденсатором C_{SM} . Этот первый переключающий элемент T1 и этот конденсатор C_{SM} соединены параллельно со вторым электронным переключающим элементом T2,
 45 который также является биполярным транзистором с изолированным затвором (IGBT). Этот второй переключающий элемент T2 подключен между входной и выходной клеммами подмодуля SMxij. Первый и второй переключающие элементы T1 и T2 имеют антипараллельный диод, как показано на фиг. 2.

Подмодуль во время его работы может управляться таким образом, чтобы занимать два состояния управления.

В первом состоянии, называемом состояние “ON”, первый переключающий элемент Т1 является разомкнутым, а второй переключающий элемент Т2 является замкнутым, для того чтобы соединять элемент C_{SM} для аккумулирования электрической энергии последовательно с другими подмодулями. Во втором состоянии, называемом состояние “OFF”, первый переключающий элемент Т1 является замкнутым, а второй переключающий элемент Т2 является разомкнутым, для того чтобы замыкать накоротко элемент для аккумулирования энергии.

Известно, что каждое плечо, имеющее на выводах напряжение V_m , может быть смоделировано с помощью моделируемого источника напряжения, имеющего на выводах напряжение V_m , и коэффициента загрузки, который зависит от количества управляемых подмодулей, а также с помощью моделируемого конденсатора C_{tot} , присоединённого к источнику напряжения. Эта модель показана на фиг. 3, в этой модели можно увидеть плечо и результирующую модель. Обратная величина ёмкости моделируемого конденсатора C_{tot} равна сумме обратных величин ёмкостей управляемых подмодулей, так что:

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}$$

где $C_1, C_2, \dots, C_N$ являются ёмкостями jx конденсаторов.

Таким образом, напряжение $V_{c\sum}$ на выводах моделируемого конденсатора C_{tot} равно сумме напряжений V_{cj} на выводах конденсаторов подмодулей в плече (где j проходит от 1 до N и обозначает номер конденсатора, и таким образом и подмодуля). В настоящей заявке и вследствие неправильного использования языка, C_{tot} обозначает и конденсатор и его ёмкость. Посредством управления последовательностью, с помощью которой управляются подмодули так, чтобы вызвать постепенное изменение количества элементов аккумулирования энергии, которые присоединяются последовательно, энергия моделируемого конденсатора C_{tot} , и, таким образом, напряжение на выводах каждого моделируемого источника напряжения, может быть уменьшена или увеличена.

В аналоге изобретения имеется эквивалентная конфигурация для набора 6 подмодулей ММС, как показано на фиг. 4. На этой фигуре преобразователь является аналогичным преобразователю, описанному со ссылкой на фиг. 1, и каждое плечо заменено его моделью. Кроме того, каждая фазовая линия ассоциирована с током i_{gi} и напряжением v_{gi} (где i - номер ветви).

В этом примере каждый из моделируемых источников напряжения имеет на выводах напряжение V_{mxi} , а каждый моделируемый конденсатор C_{tot} имеет на выводах напряжение $V_{c\sum xi}$ (где x определяет, является ли плечо верхним или нижним, а i обозначает номер ветви). Также можно заметить, что возможно рассматривать считать ММС, как имеющий воображаемый сегмент переменного тока АС и воображаемый сегмент постоянного тока (для входа или выхода, в зависимости от конфигурации преобразователя, т.е. для преобразования энергии переменного тока АС в энергию постоянного тока или наоборот), в котором изменение общей энергии, аккумулированной в конденсаторах подмодулей, равно разнице между мощностью, входящей в преобразователь, и мощностью, выходящей из него.

Известно, что преобразователи типа преобразователь напряжения (VSC), имеют

конденсатор станции, соединённый параллельно с электросетью постоянного тока. Недостатком такого параллельного конденсатора является то, что он не позволяет преобразователю отсоединиться от напряжения электросети постоянного тока. Кроме того, этот тип преобразователя требует использования многочисленных фильтров, для того чтобы получить приемлемые преобразованные сигналы.

Кроме того, инерция электросети постоянного тока зависит от её ёмкости, так что большая ёмкость увеличивает инерцию электросети постоянного тока. Таким образом, большая ёмкость сети, и следовательно, большая инерция сети, позволяет лучше противостоять нарушениям нормальной работы. И наоборот, маленькая ёмкость сети, и таким образом, маленькая инерция сети, позволяет более легко и более точно регулировать напряжение на точках соединения между преобразователем и электросетью постоянного тока.

Однако в отличие от преобразователей типа VSC, преобразователи типа MMC не имеют конденсатор станции, присоединённый параллельно и способный оказывать влияние на стабильность электросети постоянного тока. Таким образом, модульные многоуровневые преобразователи представляют преимущество в обеспечении разъединения между общим напряжением на конденсаторах подмодулей и напряжением электросети постоянного тока. Тем не менее просто изменение мощности может привести к большому изменению напряжения электросети постоянного тока.

Известны преобразователи типа MMC, в которых управление основывается не на энергии. В таких преобразователях в случае возможной разницы в напряжении, появляющейся между напряжением на конденсаторах плечей и напряжением электросети постоянного тока, входящая мощность электросети постоянного тока изменяется автоматически, для того чтобы корректировать упомянутую разницу в напряжении.

Управление выполняется без дополнительного регулятора, поскольку обмен энергией с конденсаторами плечей сопровождается изменением напряжения электросети постоянного тока.

Тем не менее все параметры в преобразователях этого типа являются не управляемыми, что приводит к отсутствию помехоустойчивости для преобразователя.

Также известны преобразователи, в которых управление основано на энергии. В частности, известен документ «Управление напряжением шины постоянного тока с помощью модульного многоуровневого преобразователя» ("Control of DC bus voltage with a modular multilevel converter" Samini et al. PowerTech Conference 2015 г.), который описывает модульный многоуровневый преобразователь, имеющий систему для управления переносом энергии на сегменте переменного тока, для управления переносом энергии на сегменте постоянного тока, и для управления внутренней энергией преобразователя. Такой преобразователь позволяет использовать управление, которое основано на энергии. Управление электрическими параметрами электросети постоянного тока и электросети переменного тока даёт возможность управлять мощностями этих двух электросетей. Разница между мощностями электросетей постоянного тока и переменного тока приводит к уменьшению или увеличению энергии, сохраняемой в конденсаторах подмодулей. Тем не менее, преобразователи этого типа являются невыгодными для того, чтобы развязывать напряжение на выводах конденсаторов подмодулей и напряжение электросети постоянного тока. Кроме того, способ не даёт возможность эффективно и в режиме реального времени адаптироваться к флуктуациям напряжения в электросети постоянного тока.

Кроме того, известные преобразователи недостаточно помехоустойчивы, в частности, в отношении вклада в стабильность электросети постоянного тока.

В частности, управление внутренней энергией предоставляет дополнительную степень свободы, но существующая технология не предлагает решение для эффективного регулирования внутренней энергией преобразователя.

Существующие решения не дают возможность полностью использовать ёмкости преобразователей типа ММС в смысле управления внутренней энергией преобразователя совместно с управлением стабильностью электросети постоянного тока.

Задача и сущность изобретения

Задача настоящего изобретения состоит в том, чтобы предложить модульный многоуровневый преобразователь типа ММС, имеющий модуль управления преобразователем, который даёт возможность полностью использовать потенциал преобразователя ММС посредством предложения лучшего взаимодействия между внутренней энергией преобразователя, которая сохраняется в конденсаторах подмодулей, и напряжением в электросети постоянного тока. Другое преимущество настоящего изобретения состоит в том, что оно позволяет преобразователю действовать более эффективно на инерции электросети постоянного тока.

Способное выполнить эту задачу изобретение относится к модульному многоуровневому преобразователю (ММС) для преобразования напряжения переменного тока (АС) в напряжение постоянного тока (DC) и наоборот, преобразователь содержит сегмент постоянного тока для присоединения к электросети постоянного тока и сегмент переменного тока АС для присоединения к электросети переменного тока, преобразователь также содержит множество ветвей, при этом каждая ветвь содержит верхнее плечо и нижнее плечо, каждое плечо содержит множество подмодулей, которые могут управляться индивидуально с помощью управляющего элемента, являющегося специфическим для каждого подмодуля, а каждый подмодуль содержит конденсатор, который может присоединяться к плечу последовательно, когда управляющий элемент подмодуля находится в активном состоянии ON, каждое плечо является пригодным для моделирования, как источник моделируемого напряжения, связанный с коэффициентом загрузки, зависящим от количества конденсаторов, соединённых последовательно в плече, каждый источник моделируемого напряжения взаимодействует через параллельное соединение с моделируемым конденсатором, соответствующим общей ёмкости плеча.

Преобразователь дополнительно содержит модуль управления преобразователем, сконфигурированный таким образом, чтобы регулировать напряжение на выводах каждого моделируемого конденсатора каждой ветви и регулировать напряжение на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока с помощью управления упоминавшимися выше управляющими элементами подмодулей преобразователя.

В соответствии с общей характеристикой изобретения, модуль управления преобразователя содержит компьютер для вычисления заданного значения для внутренней энергии преобразователя, сохраняемой в конденсаторах подмодулей плеча посредством применения функции, имеющей настраиваемый входной параметр, при этом модуль управления сконфигурирован таким образом, чтобы выводить из этой заданного значения для внутренней энергии заданное значение для напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора, используемого для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, а также напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора.

Входной параметр компьютера может легко настраиваться пользователем в любое

время. Поскольку заданное значение для внутренней энергии преобразователя зависит от входного параметра, для пользователя возможно действовать непосредственно на степень внутренней энергии, что вносит вклад в стабильность электросети постоянного тока.

5 Таким образом, пользователь может настраивать входной параметр, как функцию возникновения нарушения нормальной работы электросети постоянного тока, и может увеличивать или уменьшать инерцию сети, как функцию от необходимых потребностей.

В качестве неограничивающего примера, вклад модульного многоуровневого преобразователя, имеющего модуль управления, в электросеть, обеспечиваемую с 10 помощью такого компьютера, эквивалентна вкладу виртуального конденсатора, присоединённого параллельно с электросетью постоянного тока. С помощью регулирования настраиваемого входного параметра компьютера возможно виртуально изменять ёмкость виртуального конденсатора. Преимущество заключается в том, что возможно воздействовать на электросеть постоянного тока, в то же время поддерживая 15 разомкнутое состояние между общим напряжением конденсаторов в подмодулях и напряжением электросети постоянного тока.

В отличие от конденсатора, который действительно присоединяется параллельно с электросетью постоянного тока, виртуальный конденсатор, который даёт возможность электросети стабилизироваться, является бесплатным и не может ухудшать своё 20 качество. В частности, регулируемый виртуальный конденсатор может принимать очень высокие значения ёмкости, которые физически невозможны для реального конденсатора.

В отличие от модульного многоуровневого преобразователя (ММС) документа, озаглавленного как «Управление напряжением шины постоянного тока с помощью 25 модульного многоуровневого преобразователя», ёмкость виртуального конденсатора может настраиваться с помощью настраиваемого параметра. В частности, в документе предшествующего уровня техники преобразователь ведёт себя таким образом, как будто шесть конденсаторов были присоединены параллельно с электросетью постоянного тока и значение ёмкости этих конденсаторов не может настраиваться. 30 Таким образом, преобразователь настоящего изобретения обеспечивает более хорошее разьединение между напряжениями, прикладываемыми к клеммам на конденсаторах подмодулей и напряжением электросети постоянного тока. Кроме того, он даёт возможность в режиме реального времени адаптировать колебания напряжения в электросети постоянного тока.

35 Предпочтительно, подмодули управляются с помощью двух биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), позволяющих конденсатору упоминавшихся выше подмодулей присоединяться или не присоединяться последовательно к соответствующему плечу, в зависимости от желания переключить подмодуль в состояние ON, т.е. включить его, или в состояние OFF, выключить его.

40 Каждое плечо может моделироваться с помощью моделируемого источника напряжения, соединённого параллельно с моделируемым конденсатором с ёмкостью C_{tot} . Сумма напряжений на конденсаторах подмодулей плеча записывается как $V_{c\Sigma}$, таким образом, напряжение на выводах моделируемого конденсатора, присоединённого параллельно с моделируемым источником напряжения, составляет $V_{c\Sigma}$.

45 Предпочтительно, коэффициент α загрузки, связанный со моделируемым источником напряжения, вычисляется с использованием выражения:

$$\alpha = \frac{n}{N},$$

где n - количество подмодулей, которые присоединяются во включённом состоянии ON в соответствующем плече, а N - количество подмодулей в плече.

Посредством совместного регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока и напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора, и таким образом с помощью регулирования внутренней энергии преобразователя, можно воздействовать на стабильность электросети постоянного тока.

Это даёт возможность ограничивать потенциальные нарушения нормальной работы, которые появляются внезапно в электросети постоянного тока и которые могут привести к значительным изменениям напряжения упоминавшейся выше сети.

В качестве неограничивающего примера, совместное регулирование напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока и напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора, может быть выполнено с помощью системы автоматического регулирования с замкнутым контуром этих параметров с помощью заданных значений, в частности, заданного значения для напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока. Упомянутый выше модуль управления должен функционировать в медленном режиме “slow” в противоположность другим модулям управления, которые используются для управления и которые представляют величины времени переключения, являющиеся очень маленькими.

Кроме того, заданная величина $v_{c\Sigma}^*$ для напряжения, прикладываемого к клеммам каждого моделируемого конденсатора, когда она подвергается возведению в квадрат, пропорциональна заданной величине W_{Σ}^* для внутренней энергии, когда она представлена пользователем, с использованием выражения:

$$v_{c\Sigma}^{2*} = \frac{2W_{\Sigma}^*}{6C_{tot}}$$

Упомянутая заданная величина для внутренней энергии преобразователя и таким образом, упомянутая выше заданная величина для напряжения, прикладываемого к клеммам каждого конденсатора, когда она подвергается возведению в квадрат, даёт возможность автоматического регулирования напряжения электросети постоянного тока и напряжения, прикладываемого к клеммам каждого моделируемого конденсатора.

Предпочтительно, настраиваемый входной параметр является настраиваемым коэффициентом k_{VI} виртуальной инерции. Таким образом, изменение коэффициента k_{VI} равняется виртуальному изменению параметра ёмкости виртуального конденсатора, и таким образом, способствует стабильности электросети постоянного тока.

Преимущество состоит в том, что обеспечивается дополнительная степень свободы в управлении внутренней энергией модульного многоуровневого преобразователя (ММС). Ёмкость виртуального конденсатора может, в частности, принимать значения, которые являются очень высокими, однако это не требует дополнительных аппаратных ограничений.

Предпочтительно, компьютер конфигурирован таким образом, чтобы вычислять заданное значение W_{Σ}^* внутренней энергии для преобразователя, используя функцию:

$$W_{\Sigma}^* = \frac{1}{2} 6C_{tot} k_{VI} (v_{dc}^2 - v_{dc0}^2) + W_{\Sigma 0}^*,$$

где C_{tot} - общая ёмкость моделируемого конденсатора, v_{dc} - измеренное напряжение электросети постоянного тока, v_{dc0} - номинальное значение напряжения электросети постоянного тока, и $W_{\Sigma 0}^*$ - номинальное заданное значение для величины энергии, сохраняемой в конденсаторах преобразователя.

Понятно, что ёмкость C_{VI} виртуального конденсатора выражается следующим образом:

$$C_{VI} = 6C_{tot} k_{VI}$$

Кроме того, выражение $(v_{dc}^2 - v_{dc0}^2)$ представляет разницу напряжений электросети постоянного тока в результате отклонения напряжения от нормального значения. Таким образом можно заметить, что посредством воздействия на настраиваемый коэффициент k_{VI} виртуальной инерции можно воздействовать на изменение напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока.

Предпочтительно, модуль управления включает в себя регулятор для регулирования внутренней энергии преобразователя, при этом регулятор имеет в качестве входного значения результат сравнения упоминавшейся выше заданной величины для напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора, когда она подвергается возведению в квадрат, и среднего значения квадратов напряжений на выводах моделируемых конденсаторов, и представляет заданную величину мощности для конденсаторов упоминавшегося выше преобразователя.

Таким образом, с помощью регулятора внутренней энергии преобразователя возможно автоматическое управление напряжением на выводах каждого моделируемого конденсатора, когда оно подвергается возведению в квадрат, на основе заданного значения для этого напряжения. Поскольку напряжение на выводах каждого моделируемого конденсатора, когда оно подвергается возведению в квадрат, пропорционально внутренней энергии преобразователя, сохраняемой в конденсаторах подмодулей в соответствующих плечах, напряжение на выводах каждого моделируемого конденсатора автоматически управляется на основе заданного значения для внутренней энергии преобразователя, сохраняемой в конденсаторах подмодулей в соответствующих плечах, которое выдаётся компьютером.

Предпочтительно, модуль управления конфигурируется таким образом, чтобы выполнять замену переменных, чтобы управлять промежуточным током и переменными напряжения i_{diff} , i_{gd} и v_{diff} , v_{gd} , где i_{diff} и v_{diff} ассоциированы с электросетью постоянного тока, а i_{gd} и v_{gd} ассоциированы с электросетью переменного тока.

Переменные i_{diff} и i_{gd} промежуточного тока могут управляться независимо.

В качестве неограничивающего способа, для преобразователя, который преобразует энергию постоянного тока в энергию переменного тока, эти переменные позволяют осуществлять изменение внутренней энергии преобразователя, выраженное следующим образом:

$$\frac{dW_{\Sigma}}{dt} = \sum_{i=1}^3 2i_{diff_i} v_{diff} - i_{gd} v_{gd}$$

Это выражение, в частности, представляет подразделение модульного

многоуровневого преобразователя (ММС) на входной воображаемый сегмент постоянного тока, который присоединяется к сети постоянного тока и который ассоциирован с членом уравнения

$$5 \quad \sum_{i=1}^3 2i_{diff} v_{diff},$$

который соответствует мощности указанного сегмента постоянного тока, и на выходной воображаемый сегмент переменного тока, который присоединяется к сети переменного тока, и который ассоциирован с членом уравнения $i_{gd} v_{gd}$, соответствующим

10 мощности сегмента переменного тока.

Предпочтительно, модуль управления включает в себя регулятор для регулирования тока i_{gd} и имеющий в качестве входного заданного значения ток i_{gd}^* , соответствующий току i_{gd} . Регулятор осуществляет автоматическое управление током i_{gd} , заставляя его

15 стремиться в направлении заданного значения тока i_{gd}^* . Регулирование переменной i_{gd} равнозначно регулированию переноса входной или выходной мощности переменного тока в зависимости от конфигурации преобразователя.

Предпочтительно, модуль управления включает в себя регулятор для регулирования тока i_{diff} и имеющий в качестве входного заданного значения ток i_{diff}^* , соответствующий току i_{diff} . Регулятор осуществляет автоматическое управление током i_{diff} , заставляя его

20 стремиться в направлении заданного значения тока i_{diff}^* . Регулирование переменной i_{diff} равнозначно регулированию переноса входной или выходной мощности постоянного тока в зависимости от конфигурации преобразователя.

25 В качестве неограничивающего способа, переменные i_{gd} и i_{diff} могут управляться независимо. Таким образом, становится понятно, что регулирование i_{gd} и i_{diff} даёт возможность регулировать переключения мощности, входящей и выходящей, и таким образом управлять внутренней энергией преобразователя, сохраняемой в конденсаторах

30 подмодулей.

В соответствии с особенно предпочтительным аспектом изобретения, модуль управления включает в себя регулятор для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, при этом регулятор имеет в качестве входного значения результат сравнения между заданной

35 величиной для напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, при его возведении в квадрат, и значением, взятым из электросети постоянного тока, когда это значение аналогичным образом возведено в квадрат, а затем производится представление заданной величины для рабочей мощности упоминавшегося выше преобразователя.

40 Таким образом, с помощью этого регулятора возможно автоматически управлять напряжением v_{dc} на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, чтобы вызывать инициирование значения, когда это значение возведено в квадрат, причём это значение стремится в направлении заданного значения v_{dc}^* для напряжения на точках общего присоединения между преобразователем

45 и электросетью постоянного тока, когда это значение возведено в квадрат.

Предпочтительно, модуль управления включает в себя элемент для настройки коэффициента усиления регулятора для регулирования напряжения на точках общего

присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, как функции значения коэффициента k_{VI} виртуальной инерции. В частности, когда коэффициент k_{VI} виртуальной инерции настраивается таким образом, чтобы изменять степень вклада внутренней энергии преобразователя в отношении стабильности электросети постоянного тока, общая инерция модульного многоуровневого преобразователя (ММС) также изменяется. Это имеет последствия в виде нарушения работы регулятора для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока.

В частности, настройка коэффициента k_{VI} виртуальной инерции имеет следствие в виде изменения временной константы τ , взаимодействующей с вышеупомянутым регулятором для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока. Таким образом, элемент для настройки коэффициента усиления регулятора напряжения позволяет корректировать изменения во временной константе и в коэффициенте усиления регулятора напряжения, что является результатом изменения коэффициента k_{VI} виртуальной инерции, для того чтобы калибровать упоминавшийся выше регулятор напряжения.

Кроме того, элемент для настройки коэффициента усиления регулятора для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока принимает в качестве входа коэффициент k_{VI} виртуальной инерции, для того чтобы настраивать коэффициент усиления регулятора в режиме реального времени, как функцию изменений, выполненных для коэффициента k_{VI} .

Предпочтительно, модуль управления включает в себя ограничитель для ограничения внутренней энергии преобразователя, этот ограничитель имеет в качестве входа внутреннюю энергию преобразователя, заданное значение для максимальной внутренней энергии преобразователя, и заданное значение для минимальной внутренней энергии преобразователя, а также представление заданной величины ограничения по мощности.

Преимущество состоит в том, что возможно ограничивать внутреннюю энергию преобразователя между максимальным значением $W_{\Sigma lim}^+$ для заданной величины внутренней энергии преобразователя и минимальным значением $W_{\Sigma lim}^-$ для заданной величины внутренней энергии преобразователя, как определяется оператором. С помощью сохранения внутренней энергии преобразователя между этими максимальным и минимальным заданными величинами, обеспечивается защита, в частности для электронных переключающих элементов, таких как транзисторы. Без этой защиты переключающие элементы могут подвергаться угрозе из-за чрезмерного напряжения на выводах конденсаторов подмодулей, в то время как слишком маленькие напряжения на выводах конденсаторов подмодулей могут быть вредными для работы модульного многоуровневого преобразователя (ММС).

В частности, заданная величина предельной мощности, представляемая ограничителем, добавляется к заданной величине рабочей мощности для преобразователя, для того чтобы получать заданную величину мощности для электросети переменного тока АС, таким образом регулируя уровень внутренней энергии преобразователя. Тем не менее, предельная мощность проявляется как нарушение нормальной работы управления энергией. Вот почему необходимо корректировать номинальную заданную величину энергии, сохраняемой в конденсаторах

преобразователя, которая передаётся к компьютеру для вычисления заданной величины W_{Σ}^* , например, посредством использования встроенного корректора.

Изобретение также обеспечивает способ управления модульным многоуровневым преобразователем напряжения, преобразователь служит для преобразования напряжения переменного тока АС в напряжение постоянного тока, и наоборот, при этом он включает в себя сегмент постоянного тока для присоединения к электросети постоянного тока, и сегмент переменного тока АС для присоединения к электросети переменного тока АС, преобразователь имеет множество ветвей, каждая из ветвей содержит верхнее плечо и нижнее плечо, каждое плечо имеет множество подмодулей, которые могут управляться индивидуально с помощью управляющего элемента подмодуля и которые содержат конденсатор, присоединённый последовательно в плече, когда управляющий элемент подмодуля находится во включенном состоянии ON, каждое плечо подходит для моделирования с помощью источника моделируемого источника напряжения, взаимодействующего с коэффициентом загрузки в зависимости от количества конденсаторов, соединённых последовательно в плече, каждый моделируемый источник напряжения взаимодействует параллельно со моделируемым конденсатором, соответствующим общей ёмкости плеча. Способ дополнительно содержит низкоскоростное управление преобразователя, в котором напряжение на выводах каждого моделируемого конденсатора каждой ветви регулируется, а напряжение на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока регулируется с помощью упоминавшихся выше управляющих элементов подмодулей преобразователя.

В характеристическом смысле способ содержит вычисление заданной величины для внутренней энергии преобразователя, сохраняемой в конденсаторах подмодулей плечей, с помощью использования функции, имеющей настраиваемый входной параметр, а также вычисление заданной величины для напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора от упоминавшейся выше заданной величины для внутренней энергии преобразователя, при этом заданная величина для напряжения на выводах каждого моделируемого преобразователя используется для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока и напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора.

В варианте изобретения настраиваемым входным параметром является настраиваемый коэффициент k_{VI} виртуальной инерции.

В варианте изобретения заданная величина W_{Σ}^* для внутренней энергии преобразователя вычисляется из следующей функции:

$$W_{\Sigma}^* = \frac{1}{2} 6C_{tot} k_{VI} (v_{dc}^2 - v_{dc0}^2) + W_{\Sigma 0}^*$$

где C_{tot} - общая ёмкость моделируемого конденсатора в плече, v_{dc} - измеренное напряжение электросети постоянного тока, v_{dc0} - номинальное значение напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, и $W_{\Sigma 0}^*$ - номинальное заданное значение для величины энергии, сохраняемой в конденсаторах преобразователя.

В варианте изобретения способ управления включает в себя регулирование напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока при использовании в качестве входа результата сравнения между заданной величиной для напряжения на точках общего присоединения между

преобразователем и электросетью постоянного тока, когда она возводится в квадрат, и значением, взятым из электросети постоянного тока, когда оно аналогичным образом возводится в квадрат, и представление заданной величины для рабочей мощности упоминавшегося выше преобразователя.

- 5 В варианте изобретения способ управления включает в себя настройку коэффициента усиления для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, как функции значения коэффициента виртуальной инерции.

- 10 Этот способ даёт возможность использовать различные описанные выше варианты осуществления изобретения преобразователя.

- Изобретение также обеспечивает модуль управления для модульного многоуровневого преобразователя, как определялось выше, модуль управления включает в себя компьютер для вычисления заданной величины внутренней энергии преобразователя, которая сохраняется в конденсаторах подмодулей плечей, посредством
15 применения функции, имеющей настраиваемый входной параметр. Кроме того, модуль управления конфигурируется таким образом, чтобы выводить из этой заданной величины энергии заданную величину напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора, используемого для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока и напряжения
20 на выводах каждого моделируемого конденсатора.

Краткое описание чертежей

Изобретение может быть более понятным после прочтения последующего описания варианта осуществления изобретения, приведённого в качестве неограничивающего примера, со ссылками на сопроводительные чертежи, в которых:

- 25 фиг. 1, описанная выше, показывает трёхфазный модульный многоуровневый преобразователь предшествующего уровня техники;

фиг. 2, описанная выше, показывает подмодуль модульного многоуровневого преобразователя предшествующего уровня техники;

- 30 фиг. 3, описанная выше, показывает эквивалентную схему для плеча модульного многоуровневого преобразователя предшествующего уровня техники;

фиг. 4, описанная выше, показывает конфигурацию, которая эквивалентна модульному многоуровневому преобразователю предшествующего уровня техники;

фиг. 5 - схематическое представление эквивалента модульного многоуровневого преобразователя по настоящему изобретению;

- 35 фиг. 6 - модульный многоуровневый преобразователь с модулем управления по настоящему изобретению;

фиг. 7 - пример реализации настройки регулятора для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока;

- 40 фиг. 8 - упрощённый контур настройки регулятора для регулирования напряжения на точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока;

фиг. 9А - скачок мощности, наложенный на электросеть переменного тока для моделирования работы преобразователя по настоящему изобретению;

- 45 фиг. 9В - характеристика напряжения электросети постоянного тока при скачке мощности в сети переменного тока, в зависимости от времени для различных значений коэффициента k_{VI} ;

фиг. 9С - изменение общей энергии преобразователя в ответ на скачок мощности в

сети переменного тока, в зависимости от времени и для различных значений коэффициента k_{VI} ;

фиг. 9D - характеристика мощности сети постоянного тока при скачке мощности в сети переменного тока, в зависимости от времени для различных значений коэффициента k_{VI} ;

фиг. 10A - характеристика напряжения электросети постоянного тока для первой системы моделирования, содержащейся в ММС по настоящему изобретению, имеющей виртуальную ёмкость, и для второй системы моделирования, содержащейся в преобразователе предшествующего уровня техники, имеющей реальный конденсатор, соединённый параллельно с сетью постоянного тока;

фиг. 10B показывает изменения общей энергии преобразователя для двух систем моделирования;

фиг. 10C показывает характеристику мощности сети переменного тока для двух систем моделирования;

фиг. 10D показывает характеристику мощности сети постоянного тока для двух систем моделирования;

фиг. 11 показывает ММС по настоящему изобретению, в котором модуль управления имеет ограничитель для ограничения внутренней энергии преобразователя.

Подробное описание изобретения

Изобретение относится к модульному многоуровневому преобразователю (ММС), имеющему модуль управления, эквивалентная схема которого показана на фиг. 5. В качестве неограничивающего способа эта фигура показывает ММС 2 для преобразования энергии постоянного тока в энергию переменного тока. В этом примере следует заметить, что преобразователь 2 имеет сегмент 2А переменного тока, соединённый с электросетью 110 переменного тока с левой стороны схемы. С правой стороны схемы можно увидеть, что преобразователь 2 имеет сегмент 2С постоянного тока, присоединённый к электросети 120 постоянного тока. На фигуре можно увидеть, что виртуальный конденсатор C_{VI} настраиваемой ёмкости C_{VI} (вследствие

неправильного использования языка, а также для упрощения, одинаковая символика используется для обозначения как конденсатора, так и его ёмкости) связан, по параллельной схеме, с электросетью 2С постоянного тока. Термин «виртуальный» используется для обозначения того, что этого конденсатора физически нет в преобразователе. В то же время, модуль управления позволяет функционировать преобразователю, аналогично функционированию, которое было бы получено с помощью преобразователя, имеющего этот виртуальный конденсатор: виртуальный конденсатор C_{VI} представляет характеристику преобразователя 2 и его модуля 4 управления по настоящему изобретению. В частности, посредством регулирования коэффициента k_{VI} виртуальной инерции, улучшается стабильность электросети 120 постоянного тока, и характеристика преобразователя аналогична характеристике преобразователя, в котором виртуальный конденсатор C_{VI} настраиваемой ёмкости C_{VI} подключен параллельно электросети 120 постоянного тока.

Схема на фиг. 5 также показывает перенос мощности между преобразователем 2 и электросетями 120 и 110 постоянного тока и переменного тока. Таким образом, P - это мощность, поступающая от других станций электросети 120 постоянного тока и символизирует резкое нарушение нормальной работы в электросети постоянного тока, P_{dc} - мощность, выводимая из электросети 120 постоянного тока, P_{ac} - мощность,

передаваемая электросетью 110 переменного тока, P_c - мощность, поглощаемая ёмкостью C_{dc} электросети 120 постоянного тока, P_m - рабочая мощность преобразователя 2, и P_w может рассматриваться как мощность, поглощаемая виртуальным конденсатором C_{VI} настраиваемой ёмкости C_{VI} . Кроме того, v_{dc} - это напряжение в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока.

В ММС 2 по настоящему изобретению, в отличие от ММС предшествующего уровня техники, избыточная мощность из электросети 120 постоянного тока, обозначенная как P_w , поглощается виртуальным конденсатором C_{VI} и позволяет преобразователю аккумулировать внутреннюю энергию W_Σ .

Пример на фиг. 6 показывает модульный многоуровневый преобразователь 2, имеющий модуль управления 4 по настоящему изобретению. ММС конфигурирован таким образом, чтобы использовать систему автоматического регулирования с замкнутым контуром для регулирования напряжения v_{dc} в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью 120 постоянного тока, и напряжения $v_{c\Sigma}$ на выводах каждого моделируемого конденсатора.

Модуль управления 4 включает в себя компьютер 10, который вычисляет заданное значение W_Σ^* внутренней энергии для преобразователя 2, которая аккумулируется в конденсаторах подмодулей плечей на основе настраиваемого коэффициента k_{VI} виртуальной инерции, номинального заданного значения $W_{\Sigma 0}^*$ величины энергии, сохраняемой в конденсаторах преобразователя, измеренного напряжения v_{dc} электросети постоянного тока, и номинального значения v_{dc0} для напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью 120 постоянного тока.

Из схемы на фиг. 5 можно увидеть, что

$$P_t - P_{dc} = P_c = \frac{dW_{dc}}{dt} = \frac{1}{2} C_{dc} \frac{dv_{dc}^2}{dt},$$

где W_{dc} - энергия электросети постоянного тока.

Со ссылкой на фиг. 5, предполагая, что P_m равно P_{ac} , можно увидеть, что

$$P_{dc} - P_{ac} = P_w = P_{dc} - P_m = \frac{dW_\Sigma}{dt} = \frac{1}{2} 6C_{tot} \frac{dv_{c\Sigma}^2}{dt},$$

где C_{tot} является ёмкостью моделируемого конденсатора в плече.

Посредством объединения приведённых выше двух уравнений может быть получено следующее выражение:

$$P_t - P_m = P_c + P_w = \frac{1}{2} C_{dc} \frac{dv_{dc}^2}{dt} + \frac{dW_\Sigma}{dt}$$

Это выражение в частности показывает, что посредством управления внутренней энергией W_Σ преобразователя ММС возможно распределять мощность $P_t - P_m$ между ёмкостью C_{dc} электросети постоянного тока и конденсаторами подмодулей плечей.

Компьютер даёт возможность вычислять соответствующее заданное значение W_Σ^* внутренней энергии, используя следующую функцию:

$$W_{\Sigma}^* = \frac{1}{2} 6C_{tot} k_{VI} (v_{dc}^2 - v_{dc0}^2) + W_{\Sigma0}^*$$

Указанное заданное значение W_{Σ}^* внутренней энергии преобразователя даёт

5 возможность обеспечить заданное значение v_{dc}^* для напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора. Это заданное значение v_{dc}^* для напряжения на выводах каждого моделируемого конденсатора, возведенное в квадрат, сравнивается со средним значением квадратов напряжений на выводах моделируемых конденсаторов.

10 Не выходя за пределы изобретения, это среднее значение может быть вычислено любым способом. В неограничивающем примере, показанном на фиг. 6, среднее значение вычисляется как сумма квадратов напряжений моделируемых конденсаторов в каждом плече, делённая на шесть (поскольку преобразователь имеет шесть плечей). Результат сравнения поступает в регулятор 20 внутренней энергии преобразователя, который
15 выдает заданное значение P_w^* мощности для конденсаторов указанного преобразователя 2.

Кроме того, при условии, что регулирование энергии является достаточно быстрым, получают следующее выражение:

$$20 \quad P_i - P_m = P_c + P_w = \frac{1}{2} C_{dc} \frac{dv_{dc}^2}{dt} + \frac{1}{2} 6C_{tot} k_{VI} \frac{dv_{dc}^2}{dt},$$

или фактически:

$$P_i - P_m = \frac{1}{2} (C_{dc} + C_{VI}) \frac{dv_{dc}^2}{dt}$$

25 Таким образом, возможно выразить коэффициент k_{VI} виртуальной инерции в следующем виде:

$$C_{VI} = 6C_{tot} k_{VI}$$

Это выражение показывает, что посредством регулирования коэффициента k_{VI}
30 виртуальной инерции можно изменять величину виртуальной ёмкости C_{VI} .

На фиг. 6 также можно увидеть, что модуль управления 4 включает в себя регулятор 30 для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью 120 постоянного тока, имеющей в качестве входа
35 результат сравнения между заданным значением для напряжения v_{dc}^* в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, при возведении в квадрат, и значением v_{dc} , взятым из электросети постоянного тока, которое также возведено в квадрат. Регулятор 30 для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью 120 постоянного тока
40 выдает заданное значение P_m^* рабочей мощности для указанного преобразователя 2.

Кроме того, модуль управления 4 имеет регулятор 40 для регулирования переменного тока i_{gd} , имеющего в качестве входных данных заданное значение i_{gd}^* , и регулятор 50 для регулирования тока i_{diff} , имеющего в качестве входных данных заданное значение
45 i_{diff}^* .

Из фиг. 3 известно, что можно моделировать подмодули плеча с помощью соответствующих моделируемых источников напряжения, каждый из которых связан

в параллельном соединении с моделируемым конденсатором, так что моделируемые источники напряжения имеют напряжение V_{mxi} на выводах (где x обозначает плечо - верхнее или нижнее, а i обозначает ветвь). Регуляторы 40 и 50 тока выдают заданные значения v_{diff}^* и v_v^* напряжения, которые используются, вслед за изменением переменной, элементом 60 модулятора и двумя балансирующими элементами 70a и 70b, использующими алгоритм управления корректировкой отклонений (balancing control algorithm, BCA), для того чтобы формировать напряжения V_{mxi} на выводах источников моделируемого напряжения. Это даёт возможность переключать подмодули плечей в положения ON или OFF. Это управляет напряжением $v_{\Sigma xi}$ на выводах моделируемых конденсаторов, а также напряжением v_{dc} в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока.

Посредством изменения коэффициента k_{VI} виртуальной инерции, который вводится в компьютер, возможно оказывать непосредственное влияние на напряжение v_{dc} электросети постоянного тока и инерцию этой сети постоянного тока.

В этом неограничивающем примере модуль управления 4 также имеет элемент 100 для настройки коэффициента усиления регулятора для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью 120 постоянного тока, в зависимости от значения k_{VI} коэффициента виртуальной инерции. Для упрощения описания этот элемент показан снаружи от модуля 4 управления, хотя он входит в состав модуля 4 управления.

Фиг. 7 показывает пример настройки регулятора для регулирования напряжения V_{dc} в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока с помощью пропорционально-интегрального (ПИ) корректора в контуре автоматического регулирования для V_{dc} и W_{Σ} . В этом неограничивающем примере корректор ПИ настраивается с помощью обычного способа размещения полюсов.

Эта схема содержит, в частности, контуры 42 и 52 для регулирования токов i_{diff} и i_{gd} к соответствующим заданным значениям i_{diff}^* и i_{gd}^* .

Посредством упрощения можно получить эквивалентное представление контура для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью 120 постоянного тока, при этом настройка регулятора указанного напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока использует ПИ корректор. Такое представление показано на фиг. 8.

Фиг. 9A - 9D показывают результаты моделирования характеристики модульного многоуровневого преобразователя 2, имеющего модуль управления 4 по настоящему изобретению, и, в частности, моделирование с помощью управления мощностью. В этом моделировании создаётся тестовая система, в которой сегмент постоянного тока преобразователя присоединяется к идеальному источнику питания постоянного тока, моделирующего электросеть 120 постоянного тока, а сегмент переменного тока преобразователя присоединяется к источнику питания переменного тока, моделирующего электросеть 110 переменного тока. Затем накладывается скачок мощности на моделируемую сеть переменного тока, изменяется коэффициент k_{VI} виртуальной инерции, и наблюдают результаты на других величинах.

Как можно увидеть на фиг. 9A, кривая I представляет скачок мощности на 0,03

единиц, прикладываемый к моделируемой сети переменного тока в течение 0,1 секунд, перед тем как мощность сети переменного тока вернётся назад, к своему первоначальному нулевому значению. Это поведение моделирует перенос активной мощности от ММС 2 в электросеть 110 переменного тока.

Отклик по напряжению моделируемой сети постоянного тока для различных значений коэффициента k_{VI} виртуальной инерции показан на фиг. 9В. Каждая из этих кривых соответствует значению коэффициента k_{VI} , так что кривые a, b, c, d и e соответствуют коэффициенту k_{VI} , имеющему значения 0, 0,5, 1, 2 и 3. На примере этих кривых можно увидеть, что для больших значений коэффициента k_{VI} изменения в моделируемой сети постоянного тока являются более маленькими. Это согласуется с принципом изобретения, поскольку при увеличении k_{VI} инерция преобразователя увеличивается, таким образом позволяя сети постоянного тока лучше ограничивать нарушения нормальной работы сети и стабилизировать напряжение сети постоянного тока.

Фиг. 9С показывает изменение общей энергии преобразователя для нескольких значений коэффициента k_{VI} . Кривые g, h, i, и k соответствуют коэффициенту k_{VI} , имеющему соответствующие значения, равные 0, 0,5, 1, 2 и 3. При увеличении коэффициента k_{VI} виртуальной инерции, значение виртуальной ёмкости увеличивается. Таким образом, предполагая, что вклад преобразователя увеличивается, больше энергии выделяется из виртуального конденсатора. Это увеличение вклада энергии преобразователя приводит к падению общей энергии преобразователя, когда увеличивается коэффициент виртуальной инерции.

Последствие этого можно увидеть на фиг. 9D, которая показывает, каким образом изменяется мощность в моделируемой сети постоянного тока в зависимости от значений коэффициента k_{VI} виртуальной инерции. В этом примере кривые m, n, o, p и q соответствуют коэффициенту k_{VI} , имеющему соответствующие значения, равные 0, 0,5, 1, 2 и 3. Можно увидеть, что, когда значение коэффициента k_{VI} увеличивается, негативное влияние изменения мощности в моделируемой сети переменного тока на мощность моделируемой сети постоянного тока уменьшается. В частности, меньше энергии выделяется из конденсаторов электросети постоянного тока. Это происходит благодаря тому факту, что больше энергии выделяется из виртуального конденсатора. Виртуальная ёмкость служит для стабилизации и улучшения инерции сети постоянного тока.

Фиг. 10А - 10 D показывают моделирование, с помощью регулирования, напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, в которых сравниваются характеристики двух систем. Первая система включает в себя модульный многоуровневый преобразователь по настоящему изобретению, сконфигурированный таким образом, как в вышеуказанном моделировании.

Коэффициент виртуальной инерции настроен и установлен так, что $k_{VI} = 1$. Вторая система включает в себя модульный многоуровневый преобразователь предшествующего уровня техники, в котором сегмент постоянного тока аналогичным образом соединен с идеальным источником питания постоянного тока, а сегмент переменного тока преобразователя соединен с источником напряжения переменного тока. В этой второй системе реальный конденсатор подключен параллельно с моделируемой сетью постоянного тока. Значение ёмкости реального конденсатора выбрано равным ёмкости виртуального конденсатора C_{VI} первой системы. Таким образом, производится сравнение между влияниями виртуального конденсатора C_{VI}

и реального конденсатора, связанного с ММС, параллельно подключенного к моделируемой сети постоянного тока.

Скачок возмущения мощности накладывается посредством источника питания постоянного тока на обе системы, как можно видеть на фиг. 10D в виде пунктирной кривой z.

На фиг. 10A кривые r и s представляют изменение напряжения моделируемой сети постоянного тока для первой и второй систем соответственно. На фигуре можно увидеть, что изменение напряжения моделируемой сети постоянного тока является одинаковым для обеих систем.

Поскольку эти системы конфигурированы таким образом, что значения реальной и виртуальной ёмкостей являются одинаковыми, отклик по мощности моделируемой сети переменного тока является одинаковым для обеих систем. На фиг. 10C этот отклик представлен кривой v, а кривая w представляет скачок возмущения мощности на моделируемой сети постоянного тока.

С помощью кривой t фиг. 10B показывает увеличение общей энергии в первой системе, имеющей виртуальную ёмкость, представляющую энергию, сохраняемую в виртуальном конденсаторе. В то время как во второй системе, которая представлена кривой u, никакого изменения общей энергии не наблюдается, при условии, что для этого преобразователя нет вклада внутренней энергии в моделируемую сеть постоянного тока.

На фиг. 10D кривые y и x представляют моделируемую мощность сети постоянного тока для первой и второй систем, соответственно. На фигуре можно увидеть, что наличие виртуального конденсатора улучшает отклик по мощности на возмущение мощности в моделируемой сети постоянного тока, как представлено кривой z. Таким образом, возмущение имеет меньшее вредное влияние на моделируемую сеть постоянного тока и мощность указанной сети постоянного тока регулируется лучше.

Вариант преобразователя по настоящему изобретению показан на фиг. 11, где модуль управления включает в себя ограничитель 80 энергии, который принимает в качестве входного сигнала внутреннюю энергию W_{Σ} преобразователя, заданное значение

$W_{\Sigma lim}^{+}$ максимальной внутренней энергии для преобразователя, и минимальное заданное значение $W_{\Sigma lim}^{-}$ минимальной внутренней энергии для преобразователя. Ограничитель 80 энергии формирует заданное значение P_{EL}^{*} предела мощности, ассоциированное с пределом P_{EL} мощности. Этот ограничитель 80 энергии служит для установления границы по внутренней энергии W_{Σ} между заданными значениями максимальной и минимальной величин внутренней энергии для преобразователя.

Предел P_{EL} по мощности проявляется как возмущение в отношении управления энергией как нарушение нормальной работы. Таким образом, номинальное заданное значение $W_{\Sigma 0}^{*}$ для энергии, сохраняемой в конденсаторах преобразователя, корректируется так, чтобы обеспечить компьютер 10 для вычисления заданного значения внутренней энергии со скорректированным номинальным заданным значением $W_{\Sigma 0}^{*}$ для величины энергии, сохраняемой в конденсаторах.

Это даёт:

$$P_{ac} = P_m + P_{EL}, \text{ так что}$$

$$P_i - P_m - P_{EL} = P_c + P_w = \frac{1}{2} C_{dc} \frac{dv_{dc}^2}{dt} + \frac{dW_{\Sigma}}{dt}$$

Кроме того, скорректированное номинальное заданное значение $W_{\Sigma 0}^*$ для энергии, сохраняемой в конденсаторах, выражается следующим образом:

$$W_{\Sigma}^* = \frac{1}{2} 6C_{tot} k_{VI} (v_{dc}^2 - v_{dc0}^2) + W_{\Sigma 0}^*$$

С помощью подстановки в приведённых выше уравнениях получаем следующее выражение:

$$P_i - P_m - P_{EL} = \frac{1}{2} C_{dc} \frac{dv_{dc}^2}{dt} + \frac{1}{2} 6C_{tot} k_{VI} \frac{dv_{dc}^2}{dt} - P_{EL}$$

т.е.:

$$P_i - P_m = \frac{1}{2} (C_{dc} + C_{VI}) \frac{dv_{dc}^2}{dt}$$

Таким образом, можно заметить, что ограничитель 80 энергии не изменяет характеристику преобразователя в пределах границ максимальной и минимальной внутренней энергии. Характеристика преобразователя аналогична характеристике преобразователя, в котором виртуальный конденсатор C_{VI} настраиваемой ёмкости C_{VI} подключен параллельно с электросетью 120 постоянного тока.

(57) Формула изобретения

1. Модульный многоуровневый преобразователь (2) напряжения для преобразования напряжения переменного тока (AC) в напряжение постоянного тока (DC) и наоборот, содержащий сегмент (2C) постоянного тока для присоединения к электросети (120) постоянного тока и сегмент (2A) переменного тока для присоединения к электросети (110) переменного тока, указанный преобразователь содержит ряд ветвей, каждая ветвь содержит верхнее плечо и нижнее плечо, каждое плечо содержит множество подмодулей, которые являются индивидуально управляемыми с помощью управляющего элемента, определенного для каждого подмодуля, и каждый подмодуль содержит конденсатор, подключаемый последовательно в указанном плече, когда управляющий элемент подмодуля находится в активном состоянии ("ON"), при этом каждое плечо является подходящим для моделирования в качестве модулируемого источника напряжения, связанного с коэффициентом загрузки, зависящим от количества конденсаторов, подключенных последовательно в плече, каждый модулируемый источник напряжения связан параллельным соединением с модулируемым конденсатором, соответствующим общей ёмкости плеча, при этом преобразователь также содержит модуль управления преобразователя, выполненный с возможностью регулирования напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора каждой ветви и для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока посредством управления указанными управляющими элементами подмодулей преобразователя, отличающийся тем, что модуль управления преобразователя содержит компьютер (10) для вычисления заданного значения для внутренней энергии преобразователя, сохраняемой в конденсаторах подмодулей указанных плеч, посредством применения функции, содержащей настраиваемый входной параметр, при этом модуль управления выполнен с возможностью получать, исходя из указанного заданного значения энергии, заданное значение для напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора, используемого для регулирования напряжения в точках

общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, а также напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора.

2. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что настраиваемый входной параметр является настраиваемым коэффициентом k_{VI} виртуальной инерции.

3. Преобразователь по п. 2, отличающийся тем, что компьютер (10) выполнен с возможностью вычислять заданное значение W_{Σ}^* внутренней энергии для преобразователя, используя выражение:

$$W_{\Sigma}^* = \frac{1}{2} 6C_{tot} k_{VI} (v_{dc}^2 - v_{dc0}^2) + W_{\Sigma0}^*$$

где C_{tot} - общая ёмкость модулируемого конденсатора в плече, v_{dc} - измеренное напряжение электросети постоянного тока, v_{dc0} - номинальное значение напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, а $W_{\Sigma0}^*$ - номинальное заданное значение для энергии, сохраняемой в конденсаторах преобразователя.

4. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что модуль управления включает в себя регулятор (20) для регулирования внутренней энергии преобразователя, при этом регулятор имеет в качестве входа результат сравнения между указанным заданным значением для напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора, возведенным в квадрат, и усредненным значением квадратов напряжений на выводах модулируемых конденсаторов, и для формирования заданного значения мощности для конденсаторов указанного преобразователя.

5. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что модуль управления выполнен с возможностью выполнять изменение переменной для того, чтобы управлять промежуточными переменными тока и напряжения i_{diff} , i_{gd} и v_{diff} , v_{gd} , где i_{diff} и v_{diff} ассоциированы с электросетью постоянного тока, а i_{gd} и v_{gd} ассоциированы с электросетью переменного тока.

6. Преобразователь по п. 5, отличающийся тем, что модуль управления включает в себя регулятор (40) для регулирования тока i_{gd} , имеющий в качестве входа заданное значение тока i_{gd}^* , соответствующее току i_{gd} .

7. Преобразователь по п. 5, отличающийся тем, что модуль управления включает в себя регулятор (50) для регулирования тока i_{diff} , имеющий в качестве входа заданное значение тока i_{diff}^* , соответствующее току i_{diff} .

8. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что модуль управления включает в себя регулятор (30) для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, при этом регулятор имеет в качестве входа результат сравнения между заданным значением для напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, возведенным в квадрат, и значением, взятым из электросети постоянного тока, аналогичным образом возведенным в квадрат, и для формирования заданного значения для рабочей мощности указанного преобразователя.

9. Преобразователь по п. 8, отличающийся тем, что настраиваемым входным параметром является настраиваемый коэффициент k_{VI} виртуальной инерции, при этом модуль управления включает в себя элемент (100) для настройки коэффициента усиления регулятора (30) для регулирования напряжения в точках общего присоединения между

преобразователем и электросетью постоянного тока в зависимости от значения коэффициента k_{VI} виртуальной инерции.

10. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что модуль управления включает в себя ограничитель для ограничения внутренней энергии преобразователя, ограничитель имеет в качестве входа указанную внутреннюю энергию преобразователя, заданное значение для максимальной внутренней энергии преобразователя и заданное значение для минимальной внутренней энергии преобразователя, а также для формирования заданного значения ограничения по мощности.

11. Способ управления модульным многоуровневым преобразователем напряжения, характеризующийся тем, что преобразователь предназначен для преобразования напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока и наоборот, преобразователь включает в себя сегмент постоянного тока для присоединения к электросети постоянного тока и сегмент переменного тока для присоединения к электросети переменного тока, преобразователь содержит ряд ветвей, каждая ветвь содержит верхнее плечо и нижнее плечо, каждое плечо содержит множество подмодулей, которые являются индивидуально управляемыми с помощью управляющего элемента подмодуля и содержат конденсатор, подключенный последовательно в плече, когда управляющий элемент подмодуля находится во включенном состоянии (ON), при этом каждое плечо является пригодным для моделирования с помощью модулируемого источника напряжения, ассоциированного с коэффициентом загрузки, зависящим от количества конденсаторов, соединённых последовательно в плече, причем каждый модулируемый источник напряжения связан параллельным соединением с модулируемым конденсатором, соответствующим общей ёмкости плеча, при этом указанный способ включает медленное управление преобразователем, при котором регулируют напряжение на выводах каждого модулируемого конденсатора каждой ветви и регулируют напряжение в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока путем управления указанными управляющими элементами подмодулей преобразователя, отличающийся тем, что вычисляют заданное значение для внутренней энергии преобразователя, сохраняемой в конденсаторах подмодулей плечей, с помощью функции, имеющей настраиваемый входной параметр, и вычисляют заданное значение для напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора, исходя из указанного заданного значения для внутренней энергии преобразователя, при этом указанное заданное значение для напряжения на выводах каждого модулируемого преобразователя используют для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, а также напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора.

12. Способ по п. 11, отличающийся тем, что настраиваемым входным параметром является настраиваемый коэффициент k_{VI} виртуальной инерции.

13. Способ по п. 12, отличающийся тем, что заданное значение W_{Σ}^* для внутренней энергии преобразователя вычисляют исходя из следующего выражения:

$$W_{\Sigma}^* = \frac{1}{2} 6C_{tot} k_{VI} (v_{dc}^2 - v_{dc0}^2) + W_{\Sigma 0}^*$$

где C_{tot} - общая ёмкость модулируемого конденсатора в плече, v_{dc} - измеренное напряжение электросети постоянного тока, v_{dc0} - номинальное значение напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного

тока и $W_{\Sigma 0}^*$ - номинальное заданное значение для энергии, сохраняемой в конденсаторах преобразователя.

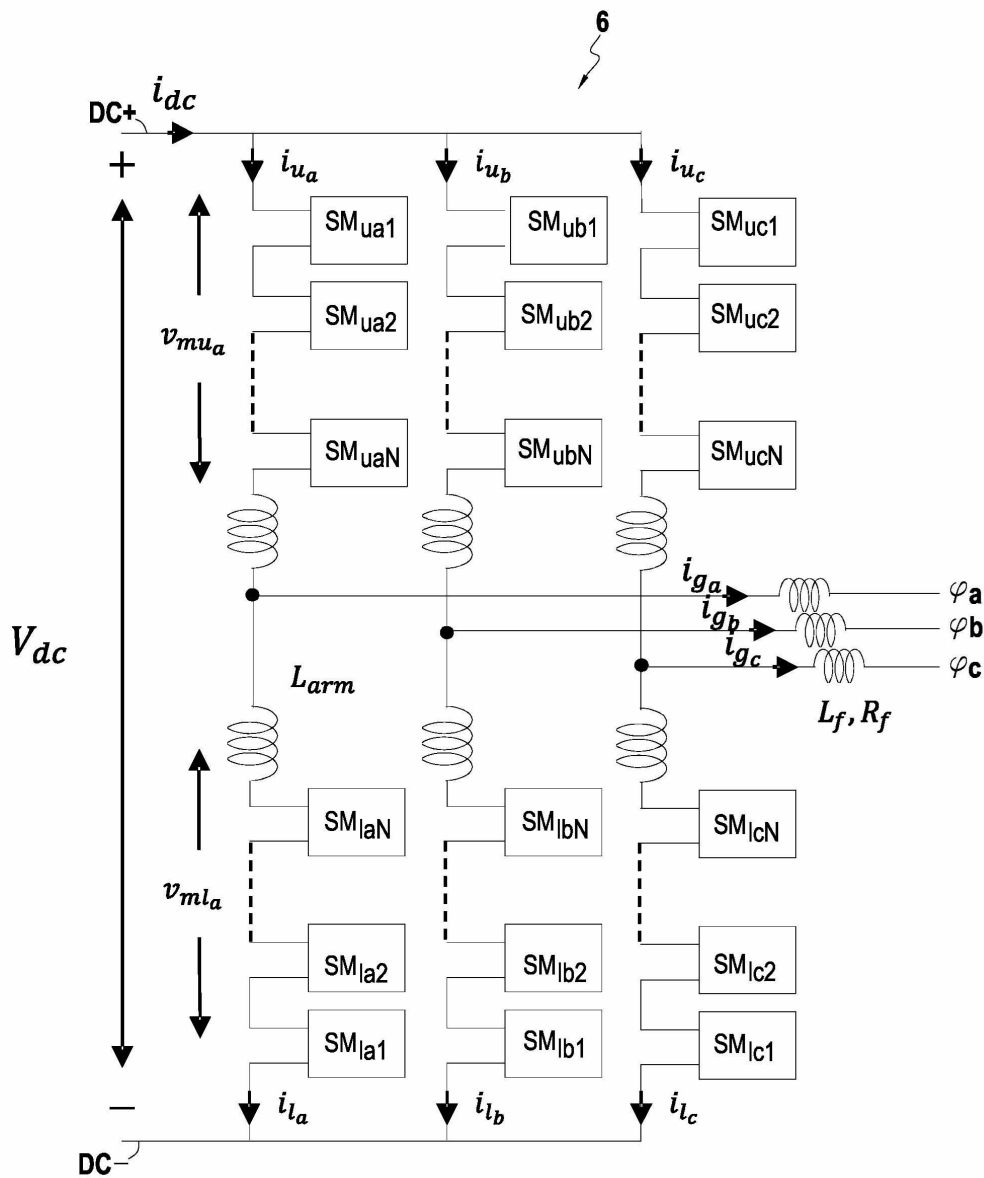
14. Способ по п. 11, отличающийся тем, что регулируют напряжение в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, используя в качестве входа результат сравнения между заданным значением для напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, возведенным в квадрат, и значением, взятым из электросети постоянного тока, аналогичным образом возведенным в квадрат, и формируют заданное значение для рабочей мощности указанного преобразователя.

15. Способ по п. 11, отличающийся тем, что настраивают коэффициент усиления для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока в зависимости от указанного значения коэффициента виртуальной инерции.

16. Модуль управления для управления модульным многоуровневым преобразователем по п. 1, характеризующийся тем, что содержит указанный компьютер (10) для вычисления заданного значения для внутренней энергии преобразователя, сохраняемой в конденсаторах подмодулей плечей, с использованием функции, имеющей настраиваемый входной параметр, при этом указанный модуль управления выполнен с возможностью определять, исходя из заданного значения для внутренней энергии преобразователя, заданное значение для напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора, используемое для регулирования напряжения в точках общего присоединения между преобразователем и электросетью постоянного тока, и напряжения на выводах каждого модулируемого конденсатора.

1

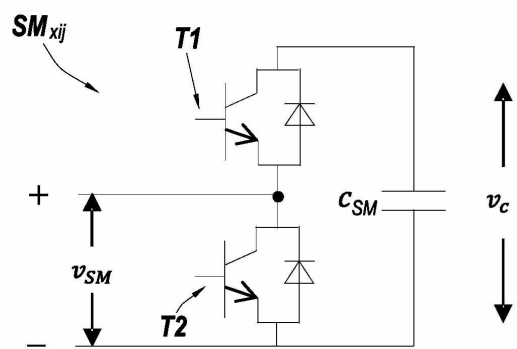
1/11



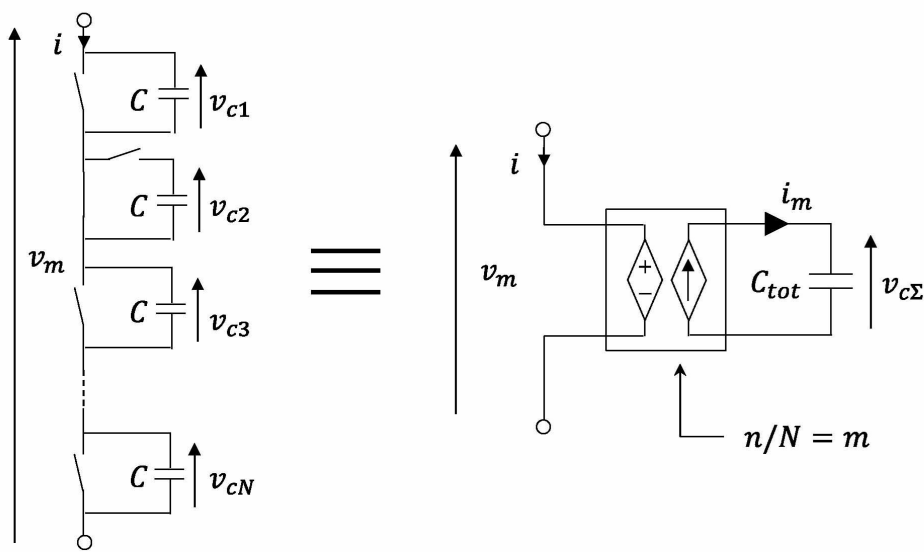
Фиг. 1
АНАЛОГ

2

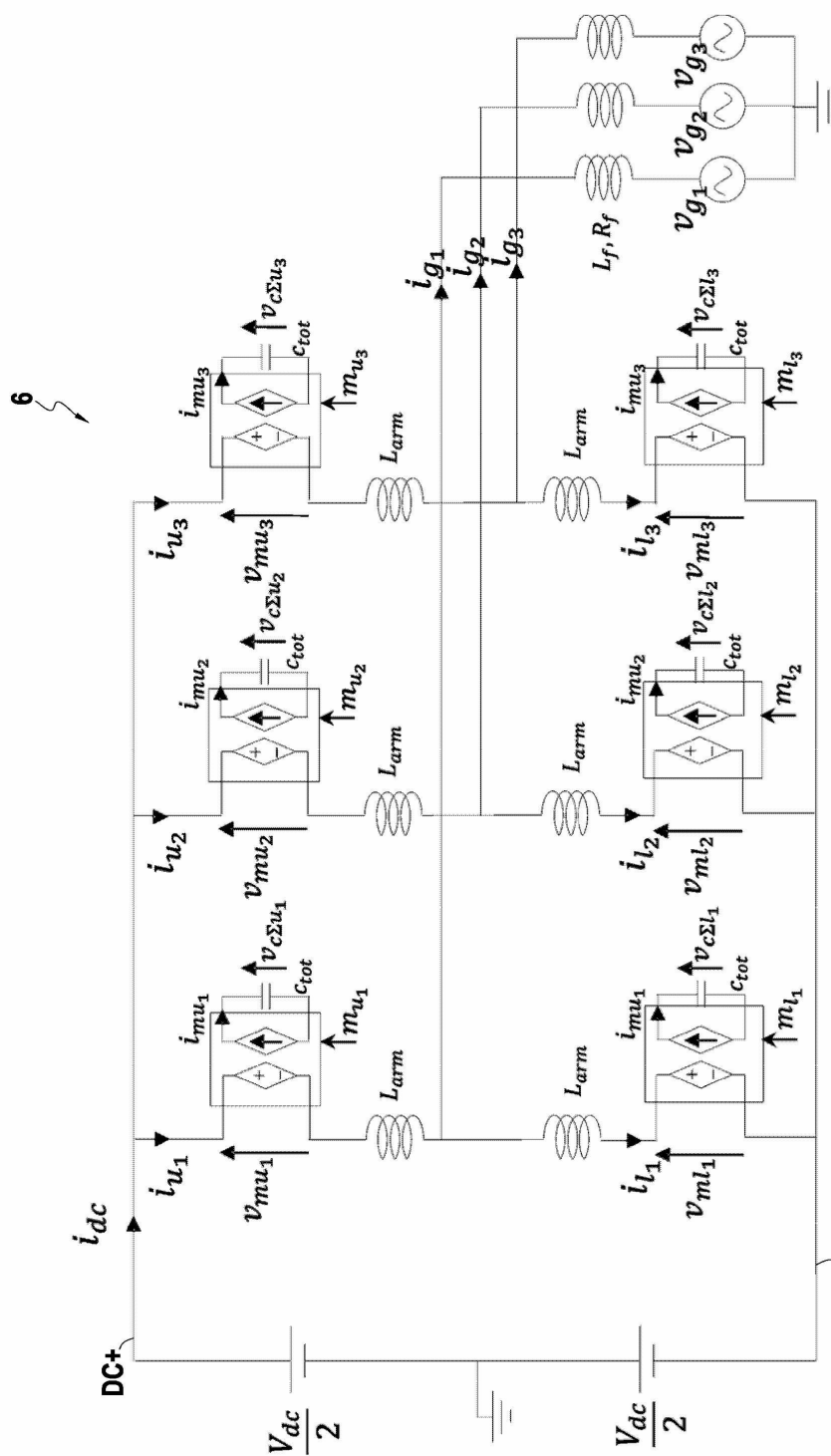
2/11



Фиг. 2
АНАЛОГ

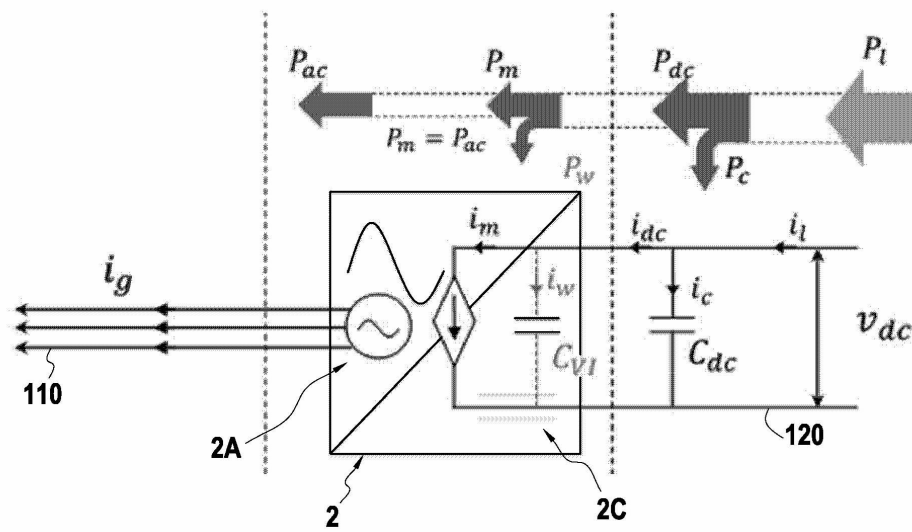


Фиг. 3
АНАЛОГ



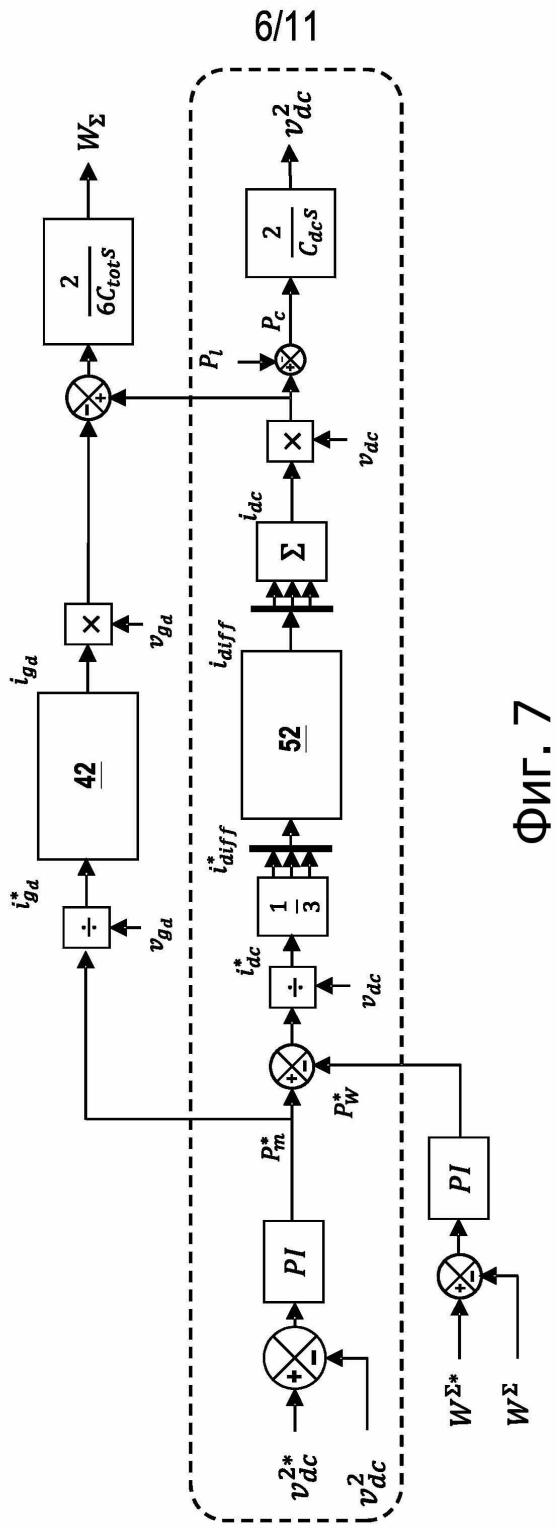
ФИГ. 4
АНАЛОГ

4/11



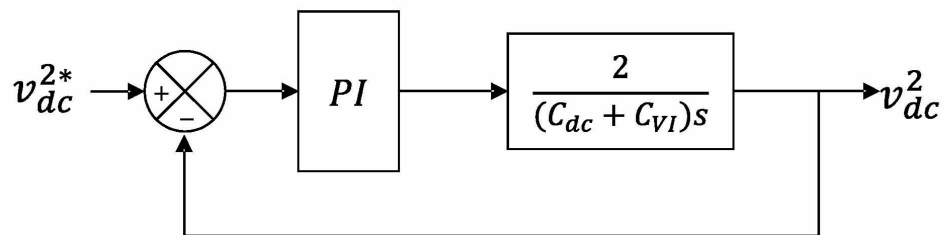
Фиг. 5



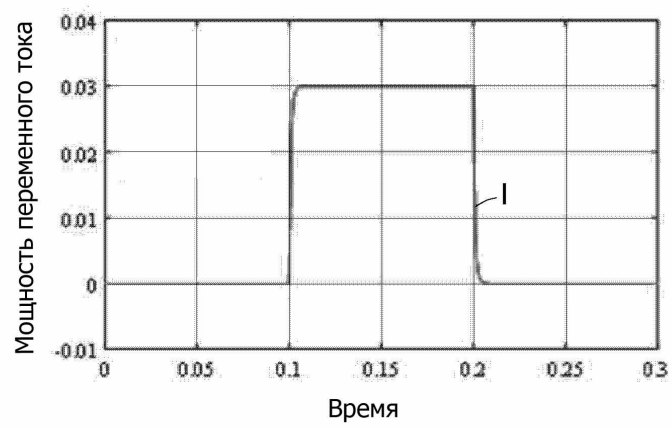


ФИГ. 7

7/11

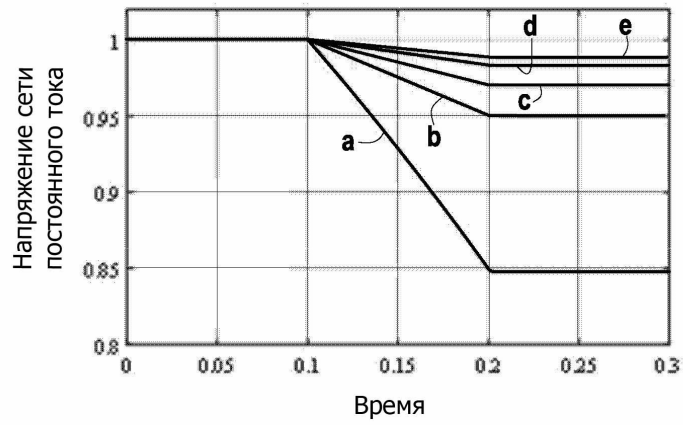


Фиг. 8

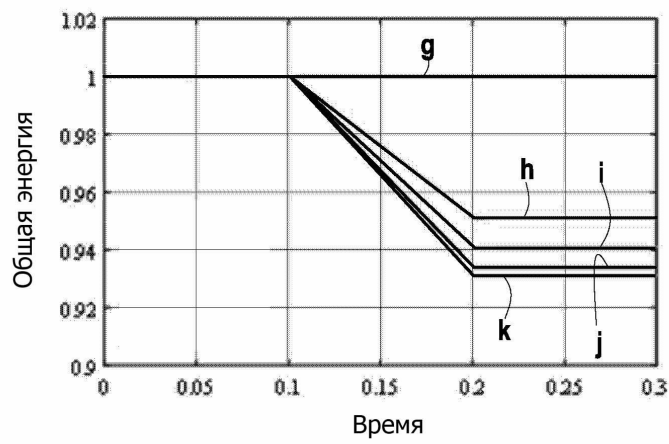


Фиг. 9А

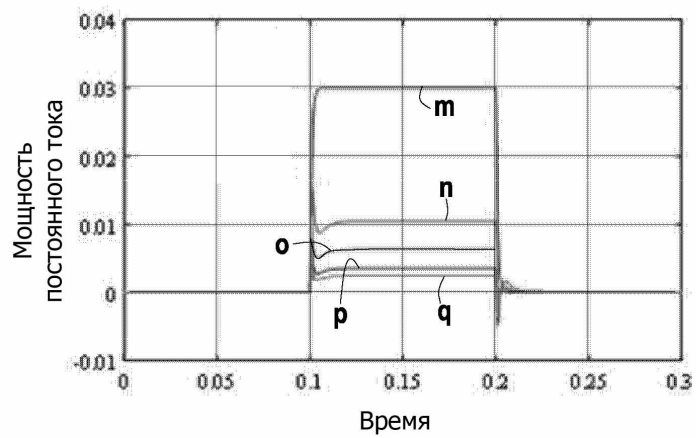
8/11



Фиг. 9В

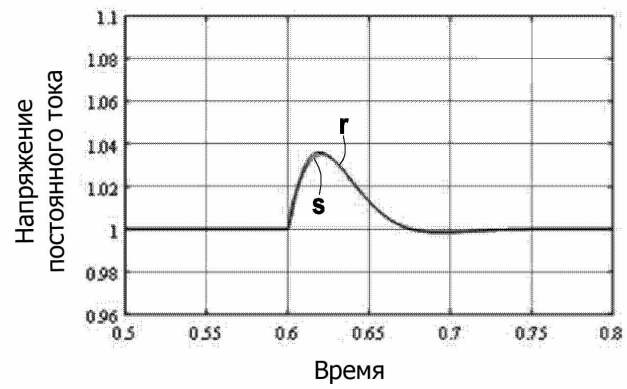


Фиг. 9С

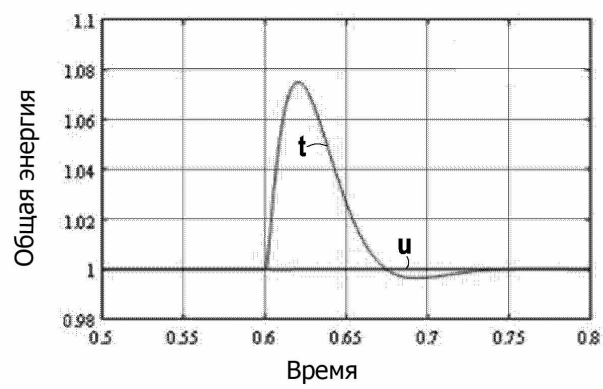


Фиг. 9D

9/11

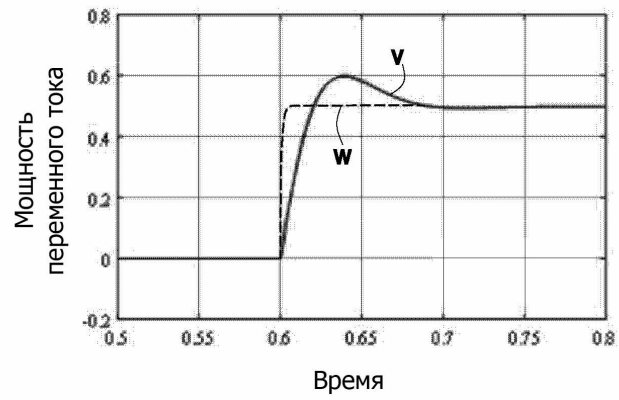


Фиг. 10А

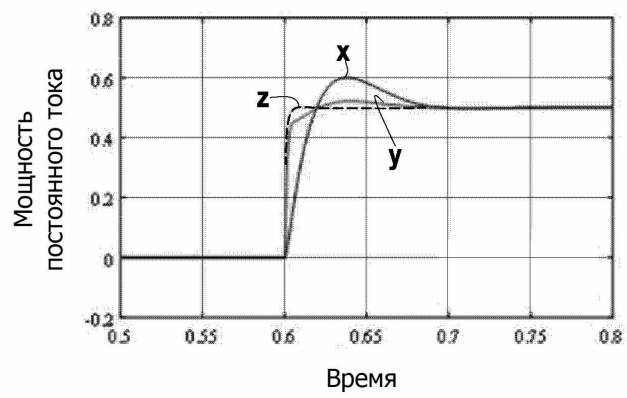


Фиг. 10В

10/11



Фиг. 10C



Фиг. 10D

