

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2736579

### СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ ПО МНОГОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Шклярский Ярослав Элиевич (RU), Барданов Алексей Игоревич (RU), Выдрова Алиса Александровна (RU)*

Заявка № 2020123345

Приоритет изобретения 14 июля 2020 г.

Дата государственной регистрации в  
Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 18 ноября 2020 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 14 июля 2040 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H02J 1/08 (2020.08); H02M 5/40 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020123345, 14.07.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
14.07.2020

Дата регистрации:  
18.11.2020

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 14.07.2020

(45) Опубликовано: 18.11.2020 Бюл. № 32

Адрес для переписки:  
199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д.  
2, Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Шклярский Ярослав Элиевич (RU),  
Барданов Алексей Игоревич (RU),  
Выдрова Алиса Александровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Санкт-Петербургский горный  
университет» (RU)

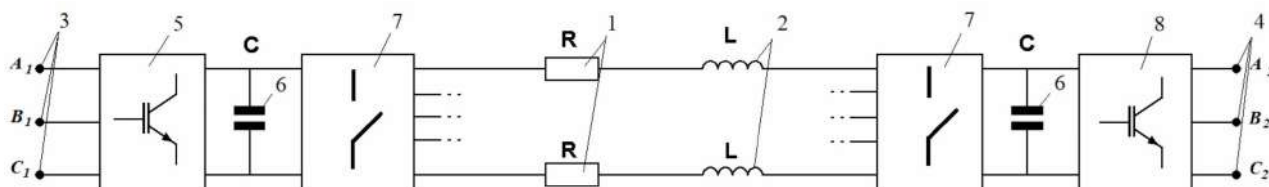
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2658675 C1, 22.06.2018. DE  
10103031 A1, 25.07.2002. RU 2134009 C1,  
27.07.1999. WO 0184689 A1, 08.11.2001.

## (54) СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ ПО МНОГОПРОВОДНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники, в частности к системам электроснабжения сетей постоянного тока. Технический результат заключается в повышении длительного допустимого тока и пропускной способности многопроводной линии электропередачи. Достигается тем, что при передаче электроэнергии одновременно используются три и более проводов, при этом не менее одного провода подключают к одному из полюсов источника питания, который работает

в режиме перегрузки по току, при этом не менее двух проводов подключают к другому полюсу источника питания, который работает в режиме неполной загрузки по току, провода переключают таким образом, что за период времени, длительность которого составляет не менее трех постоянных времени переходного процесса заряда сглаживающего конденсатора, каждый из проводов линии электропередачи находится в режиме перегрузки по току равную долю периода. 2 н.п. ф-лы, 7 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H02J 1/08* (2006.01)  
*H02M 5/40* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H02J 1/08 (2020.08); H02M 5/40 (2020.08)*

(21)(22) Application: 2020123345, 14.07.2020

(24) Effective date for property rights:  
14.07.2020

Registration date:  
18.11.2020

Priority:

(22) Date of filing: 14.07.2020

(45) Date of publication: 18.11.2020 Bull. № 32

Mail address:

199106, g. Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, d. 2,  
Patentno-litsenziyonnyj otdel

(72) Inventor(s):

**Shkliarskii Iaroslav Elievich (RU),  
Bardanov Aleksei Igorevich (RU),  
Vydrova Alisa Aleksandrovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi  
universitet» (RU)**

(54) **METHOD OF TRANSMITTING ELECTRICITY WITH DIRECT CURRENT THROUGH A MULTI-WIRE POWER LINE AND A DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION**

(57) Abstract:

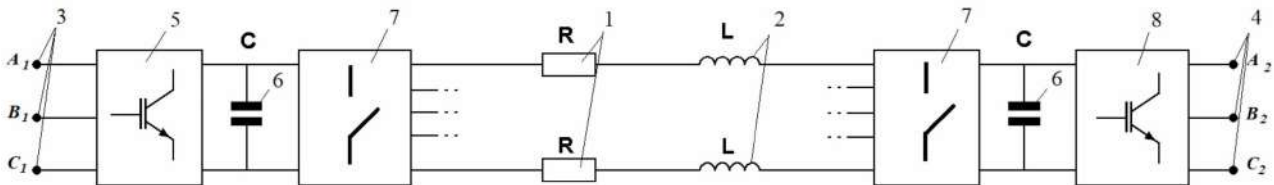
FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to the field of electric engineering, in particular, to the DC power supply systems. During power transmission three or more wires are simultaneously used, at least at least one wire is connected to one of power supply poles, which operates in overcurrent mode, wherein at least two wires are connected to another pole of power supply, which operates in partial current loading mode, wires are

switched so that for period of time, duration of which is not less than three time constants of transient process of charging smoothing capacitor, each of power transmission line wires is in current overload mode equal to share of period.

EFFECT: technical result consists in improvement of long-term permissible current and transmission capacity of multi-wire power transmission line.

2 cl, 7 dwg



Фиг. 1

RU 2 736 579 C1

RU 2 736 579 C1

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к системам электроснабжения сетей постоянного тока. Способ может быть использован в системах электроснабжения для повышения длительно допустимого тока и пропускной способности многопроводных линий электропередачи постоянного тока.

5 Известен способ передачи электрической энергии в трехфазной системе на расстояние (патент RU № 2307438, опубликован 27.09.2007), заключающийся в том, что напряжение в одной из фаз трехфазной системы сдвигается на треть периода, а другой фазе на две трети периода с помощью специальных линий задержки, состоящих из однофазных  
10 коаксиальных проводов в трубе из магнитомягкого материала, что позволяет регулировать время задержки с помощью внешнего магнитного поля или путем изменения конфигурации трубы, таким образом, разность фаз между отдельными проводами линии становится равной нулю, затем напряжение передается по коаксиальному трехпроводному кабелю на требуемое расстояние, затем, после  
15 обратного преобразования двумя линиями задержки, подается на клеммы потребителей, этим достигается уменьшение полосы отчуждения вокруг линии электропередачи и снижение потерь на коронарное излучение за счет прокладывания трех проводов в коаксиальном кабеле.

Основным недостатком является необходимость точного сдвига трехфазного напряжения по фазам, так как возникновение малейшей разности фаз, приведет к  
20 возникновению разности потенциалов между проводами и возможному повреждению линии электропередачи в следствие короткого замыкания, еще одним существенным недостатком можно считать необходимость использования специального трехпроводного коаксиального кабеля, также следует отметить, что длительно допустимый ток, а следовательно и пропускная способность при таком способе передачи  
25 электроэнергетики ограничен действующим значением переменного тока.

Известны способ и устройство для передачи электрической энергии (варианты) (патент RU № 2474031, опубликован 27.01.2013), согласно которому электроэнергия передается конечному потребителю переменным по однопроводной линии электропередачи переменным током через выпрямитель и инвертор на частоте такой,  
30 чтобы в подключенном далее LC контуре, индуктивным элементом в котором является первичная обмотка трансформатора, создавался резонанс напряжений, что позволило бы значительно повысить напряжение на индуктивном элементе и, следовательно, на вторичной обмотке трансформатора, чем достигается снижение потерь в линии и повышение ее пропускной способности.

35 Основным недостатком способа является необходимость прохождения обратного тока через толщу земли, что ведет к возникновению блуждающих токов, приводящих к порче металлоконструкций, частично или полностью помещенных в землю, также к числу недостатков можно отнести то, что передача электроэнергии осуществляется всего по одному проводу, при обрыве которого передача электроэнергии прекращается  
40 и то, что пропускная способность линии электропередачи ограничена длительно допустимым током провода.

Известен способ и устройство управления гибридной системой передачи постоянного тока (патент RU № 2693530, опубликован 03.07.2019), заключающийся в том, что электроэнергия от источника передается постоянным током по двухпроводной линии  
45 постоянного тока нагрузке, так, что на конце линии формируется неизменная разность потенциалов, которая, преобразуется в трехфазное переменное напряжение посредством сетевого инвертора, при этом на передающей подстанции установлено выпрямительное устройство, включающее несколько независимых подмодулей, позволяющих

регулировать величину напряжения на нагрузке путем переключения числа подмодулей.

Основным недостатком данного способа является ограничение пропускной способности линии электропередачи длительно допустимым током проводов.

Известны способ и трехпроводная система электроснабжения постоянного тока (варианты) (патент RU № 2658675, опубликован 22.06.2018), принятый за прототип способа, заключающийся в том, что электроэнергия передается потребителю постоянным током от двух независимых источников постоянного напряжения по трем проводам. Один из проводов подключен к положительному полюсу одного из источников, а второй к отрицательному полюсу другого источника. При этом источники соединены последовательно, так, чтобы свободный положительный полюс одного из источников, подключался к свободному отрицательному полюсу другого источника, а последний провод, называемый общим, также присоединялся к этой точке. Нагрузка подключается между положительным и общим проводом, а параллельно с ней подключается выход преобразователя полярности, вход которого подключен между общим и отрицательным проводами, что позволяет равномерно распределить плотность тока по сечению проводников при передаче электроэнергии.

Недостатками данного способа являются необходимость применения преобразователя полярности при подключении нагрузки, а также необходимость задействовать дополнительные независимые источники напряжения при подключении дополнительных проводов.

Известен способ и устройство управления гибридной системой передачи постоянного тока (патент RU № 2693530, опубликован 03.07.2019), которое заключается в использовании группы выпрямляющих/инвертирующих подмодулей, соединенных последовательно, для управления напряжением и током двух или трехпроводной линией электропередачи постоянного тока, путем сравнения отклонения по мощности или по постоянному току от задания, что позволяет обеспечить надежную, регулируемую передачу электроэнергии постоянным током по двухпроводной линии.

Основным недостатком устройства является необходимость применения модульного многоуровневого преобразователя для реализации переключения уровней напряжения и потенциалов проводов линии.

Известна система для отбора электроэнергии от высоковольтной линии передачи постоянного тока (патент RU 2089986 C1, опубликован 10.09.1997), которая заключается в подключении двумя проводами линии постоянного тока через инвертор и трансформатор к однофазной линии переменного тока, с возможностью регулирования направления потока мощности за счет установки в выпрямительных устройствах пар выпрямительных диодов включенных встречно-направленно.

Основным недостатком устройства является то, что для работы инвертора в режиме источника тока и поддержания тока, подаваемого на первичную обмотку согласующего трансформатора, требуется последовательно включить в линию электропередачи постоянного тока катушку индуктивности, что усложняет конструкцию и снижает надежность устройства.

Известна электропередача постоянного тока (патент RU 2134009 C1, опубликован 27.07.1999), заключающаяся в том, что двухпроводная линия постоянного тока присоединяется к трехфазной системе через два шестипульсных тиристорных выпрямителя, соединенных последовательно и образующих двенадцатипульсный выпрямитель, который, в свою очередь, присоединен к двум трехобмоточным трансформаторам, первые вторичные обмотки которых, соединены в треугольник и звезду, соответственно, а вторые вторичные обмотки соединены друг с другом через

пассивные реактивные двухполюсники с такими частотными характеристиками, чтобы подавлять 5 и 7 гармоники во вторичных обмотках трансформаторов, что в совокупности позволяет повысить качество электроэнергии как на стороне постоянного тока, так и на стороне переменного тока.

5 Основным недостатком устройства является необходимость применения трехобмоточных трансформаторов со вторичными обмотками, соединенными через пассивные реактивные двухполюсники, параметры которых требуется тщательно соблюдать, чтобы получить требуемые частотные характеристики, что усложняет конструкцию устройства и как следствие, снижает его надежность.

10 Известна преобразовательная цепь с распределенным накопителем электроэнергии и способ для управления такой цепью (Converter circuit with distributed energy storage and method for controlling such a converter circuit) (патент DE10103031B4, опубликован 01.12.2011) принятая за прототип устройства, заключающаяся в том, что источник постоянного напряжения, который подключен параллельно к трем парам мощных  
15 полупроводниковых ключей, соединенных последовательно, присоединяется к трехфазной сети, каждая из фаз которой соединена с точкой потенциала между мощными полупроводниковыми переключающими блоками, что позволяет подключать положительный или отрицательный потенциал к любой из трех фаз.

Основным недостатком которого является то, что присоединение многопроводной  
20 линии электропередачи к выводам устройства возможно только по группам, всего тремя группами.

Техническим результатом способа является повышение длительного допустимого тока и пропускной способности многопроводной линии электропередачи.

Технический результат достигается тем, что при передаче электроэнергии  
25 одновременно используется три и более проводов, при этом не менее одного провода подключают к одному из полюсов источника питания, который работает в режиме перегрузки по току, при этом не менее двух проводов подключают к другому полюсу источника питания, который работает в режиме неполной загрузки по току, провода переключают таким образом, что за период времени, длительность которого составляет  
30 не менее трех постоянных времени переходного процесса заряда сглаживающего конденсатора, каждый из проводов линии электропередачи находится в режиме перегрузки по току равную долю периода, что обеспечивает равномерную загрузку проводов и повышает длительно допустимый ток линии электропередачи в соответствии с формулой:

$$35 \quad I_{max} = I_{доп} \sqrt{k(n - k)},$$

где:

$I_{max}$  - длительно допустимый ток линии электропередачи, работающей в режиме  
40 кратковременной перегрузки рабочих проводов по току;

$I_{доп}$  - длительно допустимый ток проводов линии;

$k$  - число проводов, работающих в режиме перегрузки по току;

$n$  - общее число проводов многопроводной линии электропередачи.

Техническим результатом устройства является подключение многопроводной линии  
45 электропередачи к источнику постоянного напряжения, с возможностью подключения каждого провода к положительному или отрицательному полюсу источника.

Технический результат достигается тем, что в качестве управляемых силовых ключей используют электромагнитные переключатели, а провода многопроводной линии

электропередачи присоединяются к общим точкам пар управляемых силовых ключей, число которых соответствует числу проводов многопроводной линии электропередачи, через плавкие вставки.

Способ и устройство поясняются следующими фигурами:

- 5     фиг. 1 - схема переключения проводов в многопроводной линии электропередачи;  
       фиг. 2 - принципиальная схема подключения многопроводной линии электропередачи к трехфазным сетям переменного тока;  
       фиг. 3 - схема переключения проводов в трехпроводной линии электропередачи в течение одно периода;
- 10    фиг. 4 - принципиальная схема лабораторного стенда;  
       фиг. 5 - зависимость температуры проводов от времени, полученная в ходе натурального эксперимента при протекании по проводам трехфазных переменных токов;  
       фиг. 6 - зависимость температуры проводов от времени, полученная в ходе натурального эксперимента при передаче по линии электроэнергии с повторно-кратковременной
- 15    перегрузкой проводов по току;  
       фиг. 7 - принципиальной электрической схема устройства переключения проводов, где:
- 1 - активное сопротивление проводов;  
 2 - индуктивность проводов;
- 20    3 - ввод системы электропередачи;  
       4 - вывод системы электропередачи;  
       5 - сетевой инвертор для преобразования переменного тока в постоянный;  
       6 - сглаживающий конденсатор;  
       7 - устройство переключения проводов;
- 25    8 - сетевой инвертор для преобразования постоянного тока в переменный;  
       9 - провода первой группы;  
       10 - провода второй группы;  
       11 - первая группа проводов;  
       12 - вторая группа проводов;
- 30    13 - автоматический выключатель;  
       14 - понижающий трансформатор;  
       15 - трехфазный двухпозиционный переключатель;  
       16 - трехфазный диодный выпрямитель;  
       17 - устройство переключения проводов;
- 35    18 - регулируемые активно-индуктивные сопротивления проводов;  
       19 - сглаживающий конденсатор;  
       20 - блок нагрузки с регулируемым сопротивлением;  
       21 - клеммы для присоединения системы постоянного тока;  
       22 - шины постоянного тока;
- 40    23 - пары управляемых силовых ключей;  
       24 - общие точки пар силовых ключей;  
       25 - плавкие вставки;  
       26 - клеммы для присоединения проводов линии электропередачи;  
       27 - первая группа пар ключей;
- 45    28 - вторая группа пар ключей.

Способ осуществляется следующим образом. Принципиальная схема линии электропередачи представлена на фиг. 1. Линия электропередачи с числом проводов  $n$ , большим, либо равным трем, одинаковыми активным сопротивлением проводов 1

и индуктивностью проводов 2, подключается одним концом к трехфазной электросети переменного тока - источнику электроэнергии через ввод системы электропередачи 3, а другим концом к трехфазной сети переменного тока - приемнику электроэнергии через вывод системы электропередачи 4 и передает электроэнергию постоянным током от источника к приемнику, для чего используются все провода одновременно. Электроэнергия преобразуется сетевым инвертором, для преобразования переменного тока в постоянный 5 (допускается применение пассивного выпрямителя), пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются конденсатором 6. Выпрямленное и сглаженное напряжение через устройство переключения проводов 7 подается на провода линии. На принимающем конце линии устанавливается второе устройство переключения проводов 7, подключенное инверсно, осуществляющее переключение проводов линии электропередачи таким образом, чтобы на выходе формировалось постоянное напряжение. Сглаживающий конденсатор 6, устанавливаемый на выходе устройства, поддерживает на нагрузке постоянное напряжение во время переключения проводов. Затем электроэнергия передается в трехфазную сеть - приемник электроэнергии посредством сетевого инвертора для преобразования постоянного тока в переменный 8.

Порядок переключения проводов линии поясняется следующим. Каждый из проводов линии электропередачи выдерживает длительно допустимый постоянный ток  $I_{доп}$ . Из них выбирается группа, включающая не менее чем один провод, которая подключается к одному из двух полюсов источника электроэнергии. По этой группе проводов будет протекать общий ток линии  $I_{лин}$ . В дальнейшем будем называть эту группу проводов - первой, а число проводов в этой группе обозначим  $k$ . Так как провода имеют одинаковое сечение, общий ток поделится по проводам поровну, а сила тока в каждом из проводов группы составит:

$$I_1 = \frac{I_{лин}}{k}, \quad (1)$$

где:  $k$  - число проводов первой группы;

$I_1$  - ток, протекающий по каждому из проводов первой группы;

$I_{лин}$  - общий ток линии электропередачи.

Провода, не входящие в первую группу, объединяются во вторую группу, которая подключается ко второму полюсу источнику питания. Число проводов в этой группе составляет  $n - k$ , а ток в проводах второй группы определяется по формуле:

$$I_2 = \frac{I_{лин}}{n - k}, \quad (2)$$

где:  $I_2$  - ток, протекающий по проводам второй группы;

$n$  - общее число проводов многопроводной линии электропередачи.

Число  $k$  проводов в первой группе выбирается меньшим половины общего числа проводов линии  $n$ . Тогда ток  $I_1$ , протекающий по каждому из проводов первой группы больше тока проводов  $I_2$ , протекающего по второй группе проводов, поэтому провода первой группы нагреваются сильнее, чем провода второй группы. Чтобы добиться равномерного нагрева провода первой и второй группы периодически меняются местами. Переключение проводов продемонстрировано на фигуре 2. Раз за период  $T'$ , который выбирается большим, чем три постоянных времени заряда сглаживающего конденсатора на стороне узла - приемника электроэнергии, один из проводов первой группы 9 переключается и становится проводом второй группы 10, в то время как один



из проводов второй группы 10 также переключается и становится проводом первой группы 9, таким образом количество проводов в каждой группе остается неизменным. При этом полный период переключения проводов  $T$ , в течении которого каждый из проводов равное время проводит ток  $I_1$ , оказывается в  $n$  раз больше, чем  $T'$ .

5 Длительность протекания большего тока по каждому из проводов первой группы можно определить по формуле:

$$T_1 = T \frac{k}{n}, \quad (3)$$

10 где:  $T_1$  - период, в течение которого каждый провод находится в первой группе и пропускает ток  $I_1$ ;

$T$  - период переключения проводов, в течение которого все провода совершат переключение.

15 Период, в течение которого каждый провод работает во второй группе, проводя ток равен  $I_2$  определится уравнением:

$$T_2 = T - T_1 = T \frac{n - k}{n}, \quad (4)$$

20 где:  $T_2$  - период, в течение которого каждый провод работает во второй группе и ток  $I_2$ .

Длительно допустимый ток линии электропередачи при этом определяется из условия, что количество теплоты, выделяемое за период переключения проводов  $T$  при протекании по ним длительно допустимого тока  $I_{доп}$  определенного конструктивными параметрами провода, было равно количеству теплоты, выделяемому в каждом проводе в предлагаемом режиме:

$$I_{доп}^2 RT = I_1^2 RT_1 + I_2^2 RT_2, \quad (5)$$

где:  $I_{доп}$  - длительно допустимый ток проводов линии.

30 Ток, который способна выдержать линия электропередачи, работающая в таком режиме, определится формулой 6:

$$I_{max} = \frac{I_1}{k} = \frac{I_2}{n - k} = I_{доп} \sqrt{k(n - k)}, \quad (6)$$

35 где:  $I_{max}$  - длительно допустимый ток линии электропередачи, работающей в режиме переключения проводов.

Если по линии передается ток  $I_{max}$ , больший чем ток  $I_{доп}$  провода работают в режиме повторно-кратковременной перегрузки. Температура проводов линии электропередачи растет, когда они находятся в первой группе, и снижается, когда они находятся во второй группе. В ходе работы линии устанавливается режим динамического равновесия проводов линии электропередачи, когда за время  $T_1$  температура проводов повышается также, на сколько она снижается за время  $T_2$ . Средняя температура проводов при этом остается на допустимом уровне.

45 Способ поясняется следующими примерами. Предложенный способ был реализован на лабораторном стенде для трехпроводной линии электропередачи. В результате опытов были получены зависимости температуры проводов от времени при различной мощности нагрузки (171 Вт и 228 Вт). Полученные результаты сравнивались с температурой проводов при передаче электроэнергии нагрузке, мощностью 187,5 Вт

трехфазным переменным током.

5 Схема переключения проводов в трехпроводной линии электропередачи в течение одно периода показана на фигуре 3. В первую группу проводов 11 входит один провод, а во вторую группу проводов 12 - два провода. Период переключения проводов был  
5 выбран равным 60 секунд. В течение периода каждый провод работал 20 секунд (одну треть периода) в первой группе и 40 секунд (две трети периода) во второй группе.

10 Схема лабораторного стенда представлена на фигуре 4. Для обеспечения автоматического отключения питания при возникновении короткого замыкания или перегрузки в стенде установлен автоматический выключатель 13. Переменное  
10 напряжение подается на понижающий трансформатор 14, осуществляющий преобразование действующего значения напряжения с 380 В до 36 В. Затем переменное напряжение подается на двухпозиционный трехфазный переключатель 15, откуда может  
15 быть подано либо непосредственно на нагрузку через линию электропередачи, либо на трехфазный диодный выпрямитель 16, после, чего выпрямленное напряжение  
15 непосредственно подается на устройство переключения проводов 17. К устройству переключения проводов подключены регулируемые активно-индуктивные  
сопротивления проводов 18, имитирующие линию электропередачи. Линия  
электропередачи присоединяется к другому трехфазному двухпозиционному  
переключателю 15, с которого напряжение может быть подано либо на регулируемый  
20 блок нагрузки 20, либо на другой трехфазный диодный выпрямитель 16, который в  
данном случае случит в качестве устройства переключения проводов, управляемого  
напряжением. После устройства переключения проводов установлен сглаживающий  
конденсатор 19, служащий для поддержания напряжения на нагрузке во время  
переключения проводов, а затем блок нагрузки с регулируемым сопротивлением 20.

25 Согласно уравнению 6 при передаче по одной и той-же трехпроводной линии электропередачи электроэнергии трехфазным переменным током и предлагаемым способом, длительно допустимый ток можно увеличить в корень из двух раз:

$$I_{max} = I_{доп}\sqrt{1(3-1)} = I_{доп}\sqrt{2}, \quad (7)$$

30 Результаты эксперимента представлены на фиг. 5 и фиг. 6. В режиме повторно-кратковременной перегрузки проводов по току температура проводов остается на  
одном уровне, совершая колебания вокруг некоторого среднего значения, так как  
среднее количество теплоты, выделяемое в проводах, остается неизменным. На фигурах  
отмечены уровни температуры, соответствующие различной мощности нагрузки. Видно,  
35 что способ передачи электроэнергии постоянным током с переключением проводов  
позволил питать нагрузку большей мощности при сохранении одинаковой температуры  
проводов.

40 Достоинством предлагаемого способа является возможность задействовать в передаче электроэнергии все провода многопроводной линии электропередачи, тем самым  
повысить длительно допустимый ток проводов и пропускную способность линии.

Устройство для переключения проводов многопроводной линии электропередачи  
с числом проводов  $n$  большим, или равным трем, содержит две клеммы для  
присоединения системы постоянного напряжения 21, к которым присоединяются две  
шины постоянного тока 22. Между шинами постоянного тока 22, параллельно друг  
45 другу, подключаются  $n$  пар управляемых силовых ключей 23. В качестве силовых  
ключей используют электромагнитные переключатели. К общим точкам пар  
управляемых силовых ключей 24, одним концом присоединены плавкие вставки 25.  
Другие концы плавких вставок 25 соединены с клеммами для присоединения проводов

линии электропередачи 26, число которых соответствует числу проводов многопроводной линии электропередачи.

Устройство работает следующим образом. Устройство включается между системой постоянного тока и многопроводной линией электропередачи. Электрическая энергия передаются со входа устройства на выход. В прямом включении клеммы для присоединения системы постоянного напряжения 21 являются вводом электротехнического устройства, а клеммы для присоединения проводов линии электропередачи 25 являются выводом электротехнического устройства. В инверсном включении ввод и вывод устройства меняются местами и электроэнергия передается от линии электропередачи в систему постоянного тока.

Рассмотрим работу устройства в прямом включении. Постоянное напряжение из системы постоянного тока поступает на шины постоянного тока 22 через клеммы для присоединения системы постоянного тока 21. Таким образом на одной из шин постоянного тока 22 оказывается либо высокий, либо низкий потенциал системы постоянного тока. Каждый ключ в парах управляемых силовых ключей 23 работает в противофазе, когда один из двух ключей в паре замкнут, другой остается разомкнутым, не допуская возникновения короткого замыкания в системе постоянного тока. При реализации пар управляемых силовых ключей 23 с помощью электромагнитных реле, их силовые контакты должны быть шунтированы антипараллельными диодами, обеспечивающими протекание тока на время коммутации. Замыкая один из двух управляемых силовых ключей в парах, можно сообщить общей точке пары силовых ключей 24 потенциал одной из двух шин постоянного тока 22. Далее, через плавкие вставки 25, соответствующие потенциалы передаются клеммам для присоединения проводов линии электропередачи 26 и проводам линии. Контролируя состояние каждой пары управляемых силовых ключей 23 отдельно, можно сформировать две группы пар управляемых силовых ключей: первую группу пар ключей 27 которые будут сообщать общим точкам пар управляемых силовых ключей 24 потенциал одной из двух шин постоянного тока 22 и вторую группу пар управляемых силовых ключей 28, которые будут сообщать общим точкам пар управляемых силовых ключей 24 потенциал другой шины постоянного тока 22. Таким образом на любой из проводов многопроводной линии электропередачи, подключенных к клеммам для присоединения проводов линии электропередачи 26, может быть подан либо высокий, либо низкий потенциал системы постоянного тока, что позволит сформировать в проводах линии электропередачи требуемые токи. Перевод любой пары управляемых силовых ключей 23 из одной группы в другую и обратно осуществляется путем изменения состояния управляемых силовых ключей в парах: открытый управляемый силовой ключ закрывается, а закрытый управляемый силовой ключ открывается.

В инверсном включении устройство работает следующим образом. Электрические потенциалы проводов многопроводной линии электропередачи, присоединенные к клеммам для присоединения проводов линии электропередачи 26 периодически изменяются. Поэтому электрический потенциал общих точек пар управляемых силовых ключей 24 также периодически изменяется. Пары управляемых силовых ключей 24 работают в противофазе и меняют свое состояние таким образом, чтобы одной из двух шин постоянного тока 22 передавался высокий потенциал, в то время другой шине постоянного тока передавался низкий потенциал. При этом электроэнергия передается от линии электропередачи, через клеммы для присоединения проводов линии электропередачи 26, через общие точки пар управляемых силовых ключей 24, управляемые силовые ключи, шины постоянного тока 23 и через клеммы для

присоединения системы постоянного тока 21 в систему постоянного тока, к которой присоединено устройство. Состояние каждой пары силовых ключей 23 зависит от потенциала, передаваемого общей точке пары управляемых силовых ключей 24, через клемму для присоединения проводов линии электропередачи 26 и через плавкие вставки 25 проводам многопроводной линии электропередачи. Если провод передает высокий потенциал, а пара управляемых силовых ключей 23 подключает его к шине постоянного тока 22 с низким потенциалом или наоборот (провод с низким потенциалом подключается к шине с высоким потенциалом), то в устройстве возникает короткое замыкание, что приводит к нарушению передачи электроэнергии.

При возникновении короткого замыкания в линии электропередачи, ток одного или нескольких проводов увеличивается в разы, что приводит к перегоранию одной из плавких вставок 25. Таким образом, провод, в котором возникло короткое замыкание, отсоединяется, поврежденный участок отключается и перестает участвовать в передаче электроэнергии.

Предложенный способ передачи электроэнергии постоянным током по многопроводной линии электропередачи и устройство для его осуществления позволяет повысить пропускную способность линии электропередачи по сравнению с электропередачей переменным током, за счет повышения длительно допустимого тока, а также позволяет использовать много проводные линии электропередачи для передачи постоянным током, позволяя задействовать весь потенциал проводов линии электропередачи.

#### (57) Формула изобретения

1. Способ передачи электроэнергии постоянным током, включающий передачу электроэнергии от источника постоянного напряжения с формированием на нагрузке постоянной разности потенциалов, отличающийся тем, что при передаче электроэнергии одновременно используются три и более проводов, при этом не менее одного провода подключают к одному из полюсов источника питания, который работает в режиме перегрузки по току, при этом не менее двух проводов подключают к другому полюсу источника питания, который работает в режиме неполной загрузки по току, провода переключают таким образом, что за период времени, длительность которого составляет не менее трех постоянных времени переходного процесса заряда сглаживающего конденсатора, каждый из проводов линии электропередачи находится в режиме перегрузки по току равную долю периода, что обеспечивает равномерную загрузку проводов и повышает длительно допустимый ток линии электропередачи в соответствии с формулой:

$$I_{max} = I_{доп} \sqrt{k(n - k)},$$

где:

$I_{max}$  – длительно допустимый ток линии электропередачи, работающей в режиме кратковременной перегрузки рабочих проводов по току;

$I_{доп}$  – длительно допустимый ток проводов линии;

$k$  – число проводов, работающих в режиме перегрузки по току;

$n$  – общее число проводов многопроводной линии электропередачи.

2. Устройство переключения проводов многопроводной линии электропередачи, включающее две клеммы для присоединения системы постоянного напряжения, две присоединенные к ним шины постоянного тока, не менее трех пар управляемых силовых

ключей, присоединенных к шинам постоянного тока параллельно друг другу, к общим точкам которых подключены клеммы для присоединения проводов линии электропередачи, отличающееся тем, что в качестве управляемых силовых ключей используют электромагнитные переключатели, а провода многопроводной линии электропередачи присоединяются к общим точкам пар управляемых силовых ключей, число которых соответствует числу проводов многопроводной линии электропередачи, через плавкие вставки.

10

15

20

25

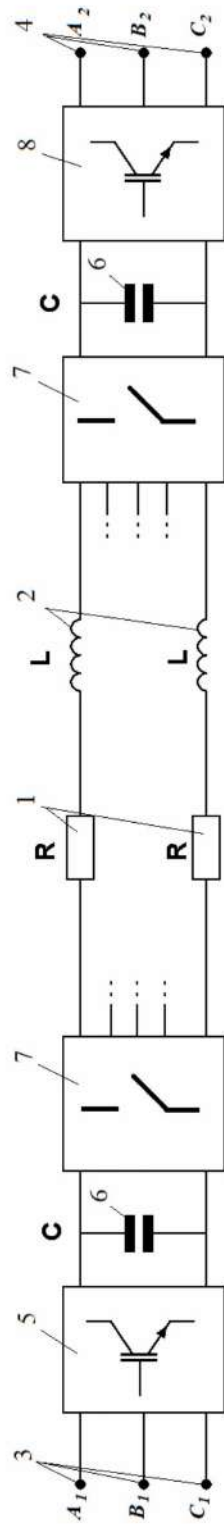
30

35

40

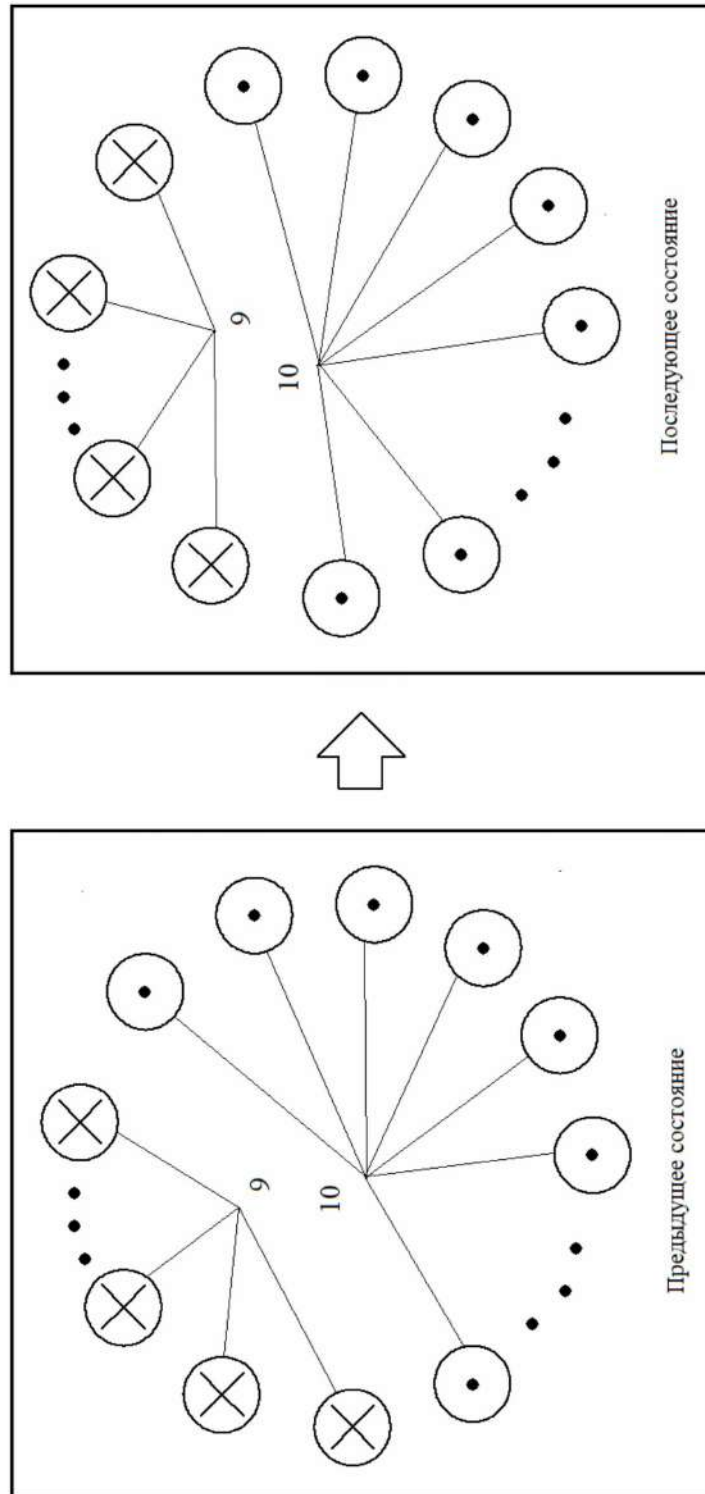
45

1

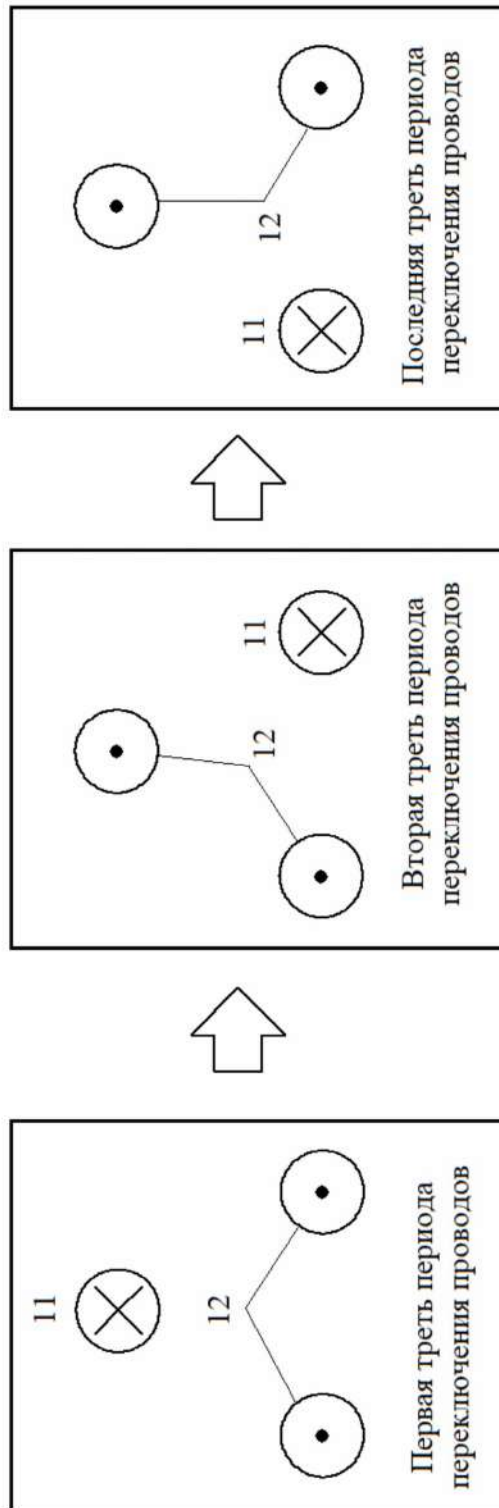


Фиг. 1

2

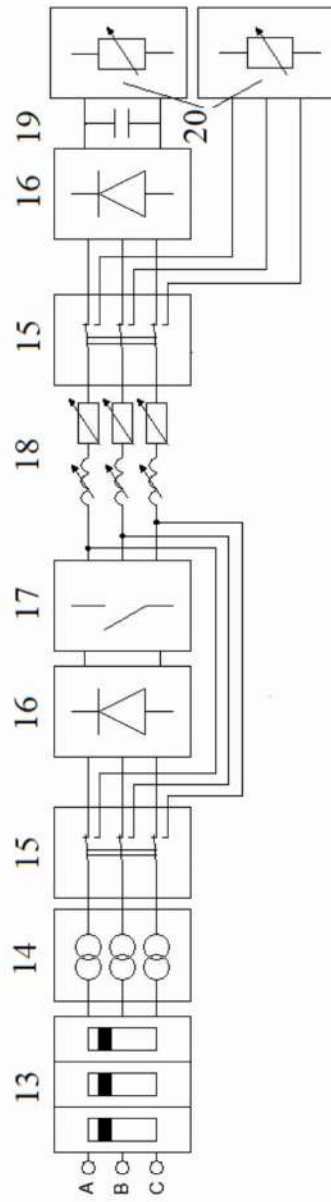


Фиг. 2

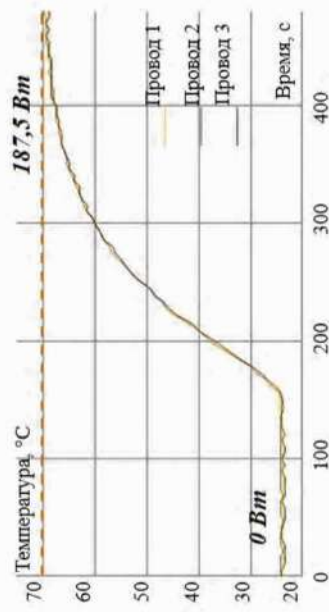


Фиг. 3

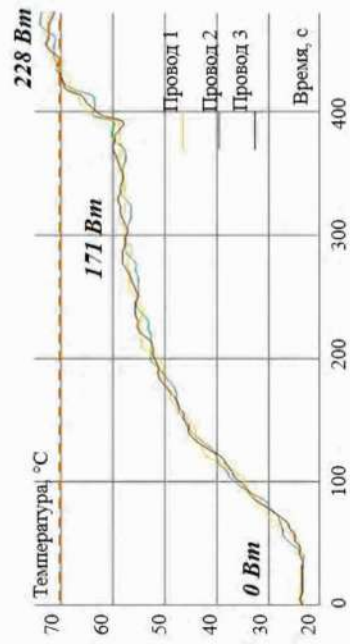




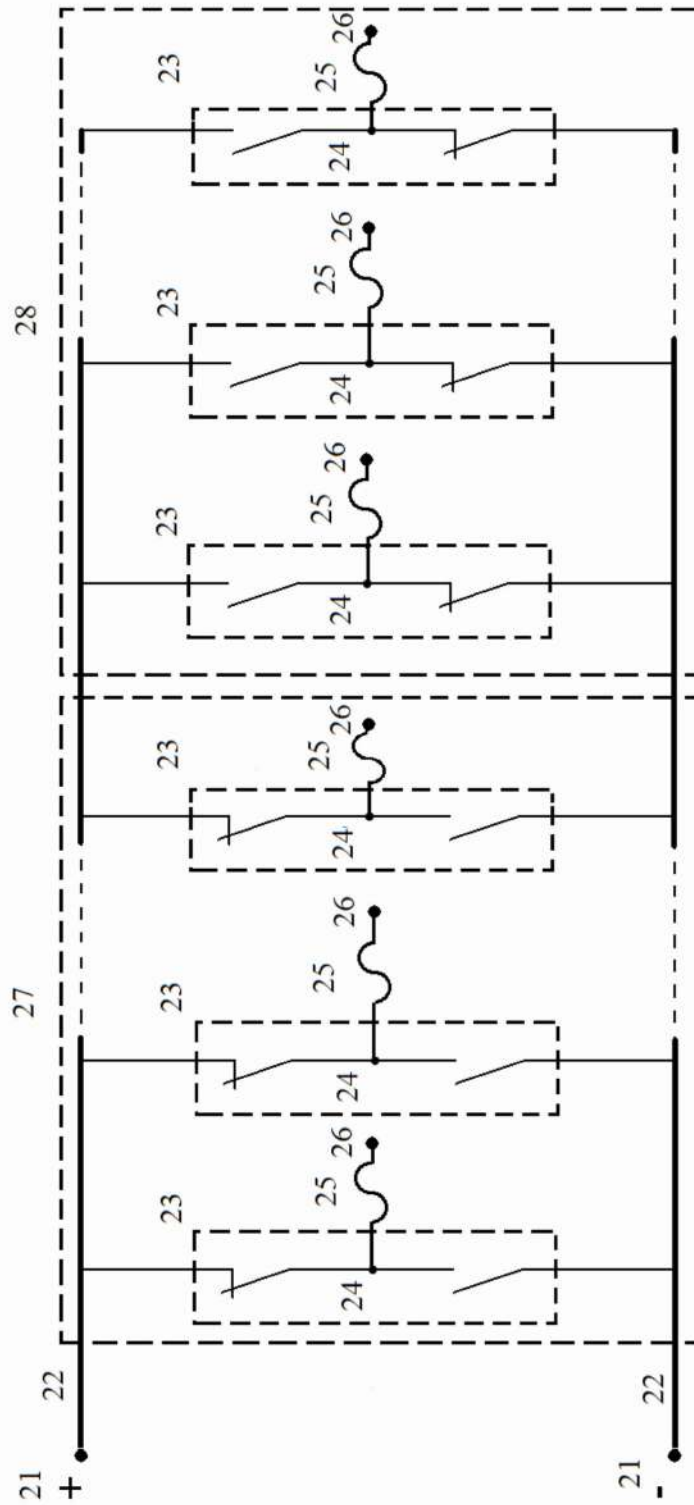
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7