



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02M 1/08 (2021.01)

(21)(22) Заявка: 2019119398, 15.11.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.11.2017

Дата регистрации:
03.09.2021

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
23.11.2016 EP 16200251.3

(43) Дата публикации заявки: 24.12.2020 Бюл. № 36

(45) Опубликовано: 03.09.2021 Бюл. № 25

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 24.06.2019

(86) Заявка РСТ:
EP 2017/079331 (15.11.2017)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2018/095782 (31.05.2018)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ЭНГЕЛЬ, Штефан (DE),
ДЕ ДОНКЕР, В. Рик (BE)

(73) Патентообладатель(и):

МАШИНЕНФАБРИК РАЙНХАУЗЕН
ГМБХ (DE)

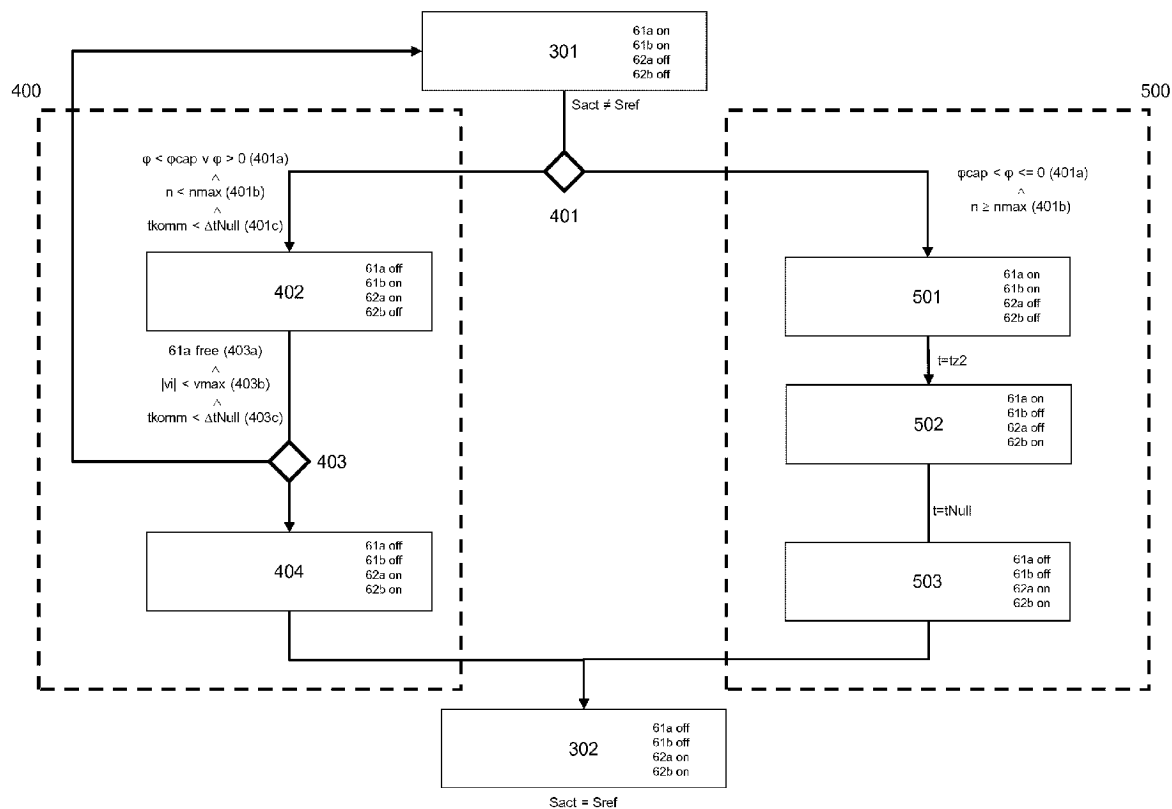
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2094840 C1, 27.10.1997. RU 144231
U1, 10.08.2014. SU 1003039 A, 07.03.1983. KR
101389457 B1, 28.04.2014.

(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЕМ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ НА ТИРИСТОРНЫХ
ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу управления модулем переключения на тиристорных полупроводниковых переключающих элементах. В частности, изобретение относится к способу управления по меньшей мере одним модулем переключения, причем модуль переключения состоит из первой коммутационной ячейки и

второй коммутационной ячейки, каждая из которых через первый контактный вывод и второй контактный вывод связана с регулировочной обмоткой регулировочного трансформатора. Каждый модуль переключения снабжен входной линией и выходной линией. 2 н. и 8 з.п. ф-лы, 10 ил.



ФИГ. 4



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H02M 1/08 (2021.01)

(21)(22) Application: **2019119398, 15.11.2017**

(24) Effective date for property rights:
15.11.2017

Registration date:
03.09.2021

Priority:

(30) Convention priority:
23.11.2016 EP 16200251.3

(43) Application published: **24.12.2020 Bull. № 36**

(45) Date of publication: **03.09.2021 Bull. № 25**

(85) Commencement of national phase: **24.06.2019**

(86) PCT application:
EP 2017/079331 (15.11.2017)

(87) PCT publication:
WO 2018/095782 (31.05.2018)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B.Spasskaya, 25, stroenie 3,
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i
Partnery"**

(72) Inventor(s):

**ENGEL, Stefan (DE),
DE DONCKER, W. Rik (BE)**

(73) Proprietor(s):

**MASCHINENFABRIK REINHAUSEN GMBH
(DE)**

(54) **METHOD FOR CONTROLLING SWITCHING MODULE ON THYRISTOR SWITCHING ELEMENTS**

(57) Abstract:

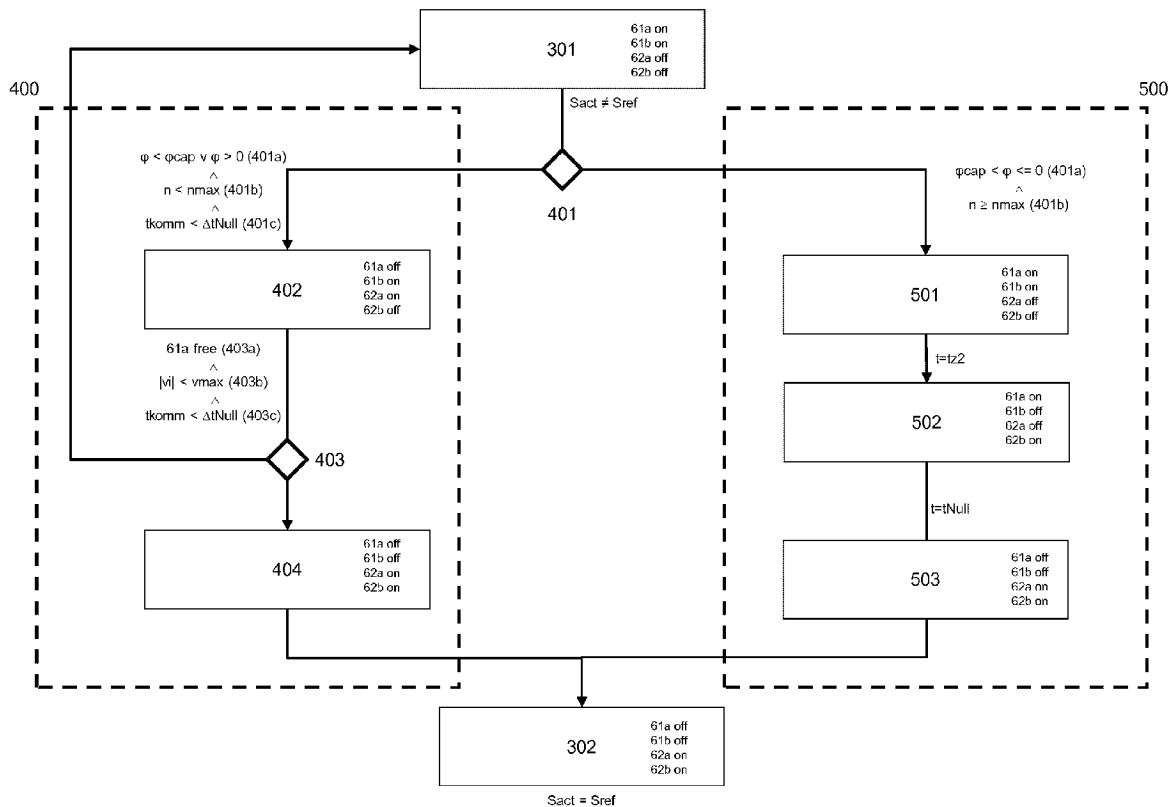
FIELD: semiconductors.

SUBSTANCE: invention relates to a method for controlling a switching module on thyristor semiconductor switching elements. In particular, the invention relates to a method for controlling at least one switching module, wherein the switching module consists of the first switching cell and the second switching cell, each of which is connected to adjusting

winding of an adjusting transformer through the first contact terminal and the second contact terminal. Each switching module is equipped with an input line and an output line.

EFFECT: obtaining the method for controlling the switching module.

10 cl, 10 dwg



ФИГ. 4

л Данное изобретение относится к способу управления модулем переключения на тиристорных полупроводниковых переключающих элементах. В частности, изобретение относится к способу управления по меньшей мере одним модулем переключения, причем этот модуль переключения содержит первую коммутационную ячейку и вторую коммутационную ячейку, каждая из которых соответственно через первый контактный вывод и второй контактный вывод связаны с регулировочной обмоткой регулировочного трансформатора. Каждый модуль переключения снабжен входной линией и выходной линией.

В публикации „Control of Thyristor-Based Commutation Cells" (Контроль коммутационных ячеек на основе тириستоров), опубликованной в рамках IEEE Energy Conversion Congress & Exposition (Raleigh, NC, USA, Sept. 2012) описан способ управления коммутационной ячейкой. Описанная системная конфигурация содержит трансформатор с первичной стороной, состоящей из основной обмотки и регулировочной обмотки, и вторичной стороной с вторичной обмоткой. Регулировочная обмотка первичной стороны может посредством системы из четырех полупроводниковых переключающих элементов тремя различными способами соединяться с основной обмоткой. В первом коммутационном режиме регулировочная обмотка может быть последовательно включена с основной обмоткой. Во втором коммутационном режиме регулировочная обмотка может включаться встречно-параллельно с основной обмоткой. В третьем коммутационном режиме регулировочная обмотка может быть отключена от цепи, т.е. через регулировочную обмотку ток не течет. Сообразно с этим указанные четыре полупроводниковых переключающих элемента и регулировочная обмотка вместе образуют модуль переключения. Этот модуль переключения содержит две коммутационные ячейки. Каждая коммутационная ячейка содержит верхнюю и нижнюю токоведущие линии. Обе эти токоведущие линии посредством встречновключенной тиристорной пары могут переключаться в проводящее или запертое состояние. В зависимости от того, в каком состоянии находятся эти тиристорные пары, либо верхняя, либо нижняя токоведущая линия проводит ток длительное время.

В этой публикации описаны две возможные коммутационные стратегии для переключения тока с одной сначала проводящей токоведущей линии на сначала запертую токоведущую линию. Согласно первой коммутационной стратегии, как только установятся благоприятные для переключения условия, выжидается заранее определенный момент коммутации. Если этот момент коммутации наступил, то проводящая перед этим тиристорная пара деактивируется, и выжидается время запаздывания, которое гарантирует, что не произойдет никакого неожиданного обратного переключения тириستоров. По истечении времени запаздывания запертая до того тиристорная пара активируется, происходит переключение тока с проводящей до этого токоведущей линии на запертую до этого токоведущую линию, и переключение завершено. Если благоприятные для переключения условия не выполняются, то инициируется переключение согласно второй коммутационной стратегии, называемой также принудительной коммутацией или переключением через короткое замыкание.

В US 3,619,765 описана регулирующая установка, а также способ подключения ответвлений обмотки трансформатора внутри электрического контура. Трансформатор соединяет источник напряжения переменного тока с нагрузкой. С каждым ответвлением обмотки этого трансформатора связан полупроводниковый переключательный элемент, состоящий из двух встречно-параллельно расположенных тиристоров.

Согласно этому способу, коммутационные операции, повышающие напряжение нагрузки, допускаются лишь в том случае, когда поток мощности направлен от

источника напряжения переменного тока к нагрузке. Коммутационные операции, снижающие напряжение нагрузки, допускаются лишь тогда, когда поток мощности направлен от нагрузки к источнику напряжения переменного тока. Дополнительно подавляются коммутационные операции вблизи переходов через нуль тока нагрузки и
 5 напряжения переменного тока. Таким образом предотвращается закорачивание ответвлений обмотки при переключении с первого ответвления обмотки на второе ответвление обмотки.

Известные из уровня техники способы управления коммутационными ячейками не учитывают при этом несинусоидальных, в частности, быстро изменяющихся токов
 10 нагрузки. Несинусоидальные токи нагрузки могут в известных способах вследствие внезапного изменение направления тока вызывать неожиданные короткие замыкания подлежащих подключению частей обмотки.

Тиристоры являются известными силовыми полупроводниковыми приборами, которые в силовой полупроводниковой технике рассчитаны на коммутацию больших
 15 электрических токов и напряжений. В дальнейшем в связи с тиристором используются следующие понятия:

«основное напряжение» - напряжение между анодом и катодом тиристора;

«главный ток» - ток через катод тиристора;

«управляющее напряжение» - напряжение между затвором и катодом тиристора,
 20 которое положительно, когда затвор имеет более высокий потенциал по сравнению с катодом;

«управляющий ток» - ток через затвор тиристора;

«ток включения» - управляющий ток, текущий в затвор, управляющий ток тиристора в этом случае положителен;

25 «направление пропускания» - направление от анода к катоду;

«прямое напряжение» - основное напряжение, поляризованное в направлении пропускания, в таком случае основное напряжение является положительным;

«прямой ток» - главный ток, текущий в направлении пропускания, в этом случае главный ток положителен;

30 «обратное направление» - направление от катода к аноду;

«напряжение в обратном проводящем состоянии» - основное напряжение, поляризованное в обратном направлении, в таком случае основное напряжение отрицательно;

«запертое состояние» и «проводящее состояние» - два стабильных рабочих состояния,
 35 которые может принимать тиристор, если течет прямой ток;

«ток срабатывания», «ток удержания» и «время восстановления» - характеристические параметры соответствующего тиристора; обычно указываются в его техпаспорте.

Тиристор, как известно, может приводиться в проводящее состояние, что называют также отпиранием или включением, за счет того, что прикладывается прямое
 40 напряжение, и по меньшей мере кратковременно, обычно примерно на 10 мкс прикладывается положительное управляющее напряжение, и генерируется ток включения до тех пор, пока прямой ток не превысит ток срабатывания. Теперь тиристор остается в проводящем состоянии даже тогда, когда управляющий ток прекратится или даже изменит полярность, однако, только до тех пор, пока прямой ток не достигнет
 45 тока удержания и приложено прямое напряжение. Однако, как только основное напряжение изменит полярность так, что из прямого напряжения превратится в напряжение в обратном проводящем состоянии, или если прямой ток не достигает тока удержания, то тиристор переходит в запертое состояние, что называют также гашением

или выключением. Кроме того, в дальнейшем «деактивировать» означает деактивировать управление затвором, чтобы воспрепятствовать включению тиристора. И, соответственно, «активировать» означает сделать возможным включение путем управления затвором тиристора.

5 Нормальные тиристоры, которые называются также тиристорами с естественной коммутацией, могут, как известно, гаситься только вышеописанным образом. Тиристоры с выключением по управляющему электроду (затвору)) [GTO (gate turn off)] могут дополнительно гаситься за счет того, что создается гасящий ток. Тем самым, нормальные тиристоры обычно гасятся самое раннее тогда, когда главный ток достигнет
10 следующего перехода через нуль, тогда как GTO-тиристоры могут быть погашены в любой момент времени. Нормальные тиристоры в настоящее время рассчитаны, например, на токи до 2,2 кА и более и на напряжения до 7 кВ и более, тогда как GTO-тиристоры в настоящее время могут быть рассчитаны на более слабые токи и напряжения, и стоят дороже.

15 После гашения тиристоры требуется определенный промежуток времени, пока он снова не сможет принять напряжение в направлении пропускания. Этот промежуток времени называется временем восстановления запирающих свойств и складывается из времени восстановления (восстановления носителей) и запаса по надежности.

Под управлением коммутационной ячейкой в дальнейшем в общем понимается, что
20 эта коммутационная ячейка управляется таким образом, что может быть надежно достигнуто желаемое коммутационное положение.

Далее, различают нормальное переключение и принудительную коммутацию. Понятие «нормальное переключение» используется в том случае, если ток через проводящий до того коммутирующий элемент коммутационной ячейки прямо и в течение короткого
25 времени переключается на запертый до того коммутирующий элемент. Физическое переключение, при котором ток переключается с одной ветви нагрузки на другую, при нормальном переключении происходит при этом во временной области, в которой ток нагрузки и индуцированное напряжение имеют различные знаки. При принудительной коммутации, напротив, переключение происходит через преднамеренное
30 кратковременное короткое замыкание. Во время возрастающего и после перехода напряжения через нуль снова убывающего тока короткого замыкания проводящий до того коммутирующий элемент и, соответственно, его тиристоры имеют достаточно времени на восстановление. Такая принудительная коммутация может, в противоположность нормальному переключению, осуществляться в любой момент
35 времени.

В основе изобретения лежит задача создания способа управления модулем переключения на полупроводниковых переключающих элементах, чтобы снизить электрическую нагрузку на отдельные полупроводниковые переключающие элементы.

Эта задача решается посредством способа с признаками, приведенными в
40 независимом пункте 1 формулы изобретения.

В свете вышеизложенного данное изобретение, согласно первому аспекту, предлагает способ управления по меньшей мере одним модулем переключения, состоящим из первой коммутационной ячейки и второй коммутационной ячейки. Эти коммутационные ячейки соответственно через первый контактный вывод и второй контактный вывод
45 связаны с регулировочной обмоткой регулировочного трансформатора. Каждый модуль переключения снабжен входной линией и выходной линией. Коммутационные ячейки содержат при этом первый коммутирующий элемент и второй коммутирующий элемент, каждый из которых состоит из двух включенных встречно-параллельно тириستоров.

В рамках этого способа управления модулем переключения определяются следующие величины:

- напряжение переменного тока, которое обозначается как напряжение ответвления ответвления и которое приложено между первым и вторым входными контактными выводами, и которое представляет собой напряжение на регулировочной обмотке регулировочного трансформатора;

- напряжение переменного тока, которое обозначается как индуцированное напряжение, и которое представляет собой индуцированное напряжение в регулировочной обмотке;

- переменный ток, который называется током нагрузки и который течет из выходной линии;

- фазовый сдвиг между током нагрузки и напряжением ответвления.

В рамках способа переключения тока с первого коммутирующего элемента на второй коммутирующий элемент согласно первой коммутационной стратегии после получения команды на переключение выполняется первая проверка. При этом проверяется, находится ли этот фазовый сдвиг между током нагрузки и напряжением ответвления вне предельного диапазона. Результат первой проверки оценивается как положительный, если этот фазовый сдвиг лежит вне предельного диапазона.

Дополнительно проводится вторая проверка, которая выясняет, больше ли промежуток времени до следующего ожидаемого перехода через нуль напряжения ответвления, чем интервал коммутации, и результат оценивается как положительный, если это имеет место. При этом интервал коммутации представляет собой сумму времени перекрытия и времени восстановления запирающих свойств тиристоров. Время перекрытия описывает то время, когда при переключении оба коммутирующих элемента являются проводящими. Время восстановления запирающих свойств тиристоров складывается из времени восстановления тиристоров, а также запаса по надежности. При этом запас по надежности тоже может быть переменным и, например, зависеть от величины индуцированного напряжения или тока в тиристоре в определенный момент времени. Результат этой проверки оценивается как положительный, если время до ожидаемого следующего перехода через нуль напряжения ответвления больше, чем интервал коммутации.

Если результаты первой и второй проверок положительны, то готовится процесс переключения тем, что деактивируется первый тиристор, который относится к первому коммутирующему элементу, и в направлении блокировки к нему приложено индуцированное напряжение. Второй тиристор, который относится к второму коммутирующему элементу, и к которому в запирающем направлении к нему приложено индуцированное напряжение, активируется.

После подготовки процесса переключения, пока время до ожидаемого следующего перехода через нуль напряжения ответвления больше, чем указанный интервал коммутации, производится третья проверка, выясняющая, был ли выключен первый тиристор.

Эта проверка оценивается положительно, если указанное условие соблюдается.

Если результат третьей проверки оценивается как положительный, то инициируется переключение тем, что активируется третий тиристор, который включен встречно-параллельно второму тиристору, и деактивируется четвертый тиристор, который включен встречно-параллельно первому тиристору.

В том случае, если первая и/или вторая проверка не оценивается как положительная, то согласно первой коммутационной стратегии никакое переключение не инициируется.

В том случае, если третья проверка не оценивается как положительная, то переключение согласно первой коммутационной стратегии прерывается.

Указанное напряжение ответвления может измеряться непосредственно, например, с помощью датчика напряжения. Индуцированное напряжение может измеряться непосредственно в том случае, если ток через регулировочную обмотку не течет. Если ток в регулировочной обмотке течет, то индуцированное напряжение может определяться путем измерения тока нагрузки, а также напряжения ответвления на основе модели. Еще одной возможностью определения напряжения ответвления и индуцированного напряжения является, например, измерение тока нагрузки и напряжения ответвления на еще одной (регулирующей) обмотке трансформатора и применение известных вычислений на основе модели индуцированного напряжения и напряжения ответвления, например, с использованием матрицы проводимости трансформатора.

Тиристор считается активированным, если его затвор управляется, чтобы обеспечить включение. Аналогично, тиристор считается деактивированным, если его затвор не управляется, чтобы предотвратить включение тиристора.

Тиристоры могут быть выполнены, например, как нормальные тиристоры или как светоправляемые тиристоры.

Эти активация и деактивация тириستоров происходят с использованием блока управления. Этот блок управления выполнен также с возможностью определения релевантных параметров, например, напряжения ответвления или тока нагрузки с помощью предназначенных для этого соответствующих сенсоров. По определенным посредством этих сенсоров параметрам и, соответственно, данным могут определяться другие релевантные управляющие параметры, например, индуцированное напряжение или фазовый сдвиг между током нагрузки и напряжением ответвления с использованием известных из уровня техники способов определения и вычисления. Ради простоты и наглядности сенсоры, используемые для определения этих параметров, более подробно не рассматриваются, так как специалисту и так ясно, какие сенсоры можно использовать, чтобы определять эти релевантные параметры.

Данное изобретение обеспечивает надежную работу переключателей ответвления и других устройств с помощью модулей переключения на тиристорах даже при несинусоидальных токах нагрузки, без возникновения нежелательного короткого замыкания между первым и вторым контактными выводами. Короткое замыкание регулировочной обмотки вследствие небольшого полного электрического сопротивления обмотки ведет к большим токам короткого замыкания. Эти большие токи короткого замыкания нежелательны, так как коммутирующие элементы/тиристоры при оптимизированном проектировании системы не рассчитаны на длительно текущие и большие токи короткого замыкания. Обычно возникающие большие токи короткого замыкания ведут к большой нагрузке на коммутирующие элементы/тиристоры, что оказывает отрицательное влияние на срок их службы. Это происходит, прежде всего, тогда, когда требуются частые операции переключения. Сообразно с этим необходимо максимально избегать коротких замыканий.

Далее, предлагаемый способ гарантирует, что в любой момент времени по меньшей мере один тиристор каждой коммутационной ячейки является проводящим в направлении тока. Кроме того, благодаря предлагаемому изобретением способу возможно использование также тириستоров меньших размеров, что создает дополнительные свободные места в плане конструктивного пространства и изоляционных промежутков.

Один вариант выполнения предлагаемого способа предусматривает, что переключение прерывается за счет того, что второй тиристор деактивируется, а первый тиристор активируется. Благодаря этому гарантируется, что система возвращается в стабильное исходное состояние.

5 Один вариант выполнения предлагаемого способа предусматривает, что после подготовки процесса переключения за то время, пока время до ожидаемого следующего перехода через нуль напряжения ответвления больше, чем интервал коммутации, выполняется четвертая проверка. При этом проверяется, не находится ли величина
10 напряжения ответвления ниже предельного значения напряжения ответвления, и результат оценивается как положительный, если это так. Если результат третьей проверки и четвертой проверки оценивается как положительный, то инициируется переключение. В противном случае переключение прерывается за счет того, что второй тиристор деактивируется, а первый тиристор активируется.

Предпочтительно ограничивать максимальное напряжение ответвления до момента
15 переключения, чтобы тем самым минимизировать нагрузку на тиристоры. Предпочтительно предельное значение напряжения ответвления, за счет которого минимизируется нагрузка по напряжению тириستоров, составляет 30% или 40% или 50% или 60% или 70% от максимального значения напряжения ответвления. Эта минимизация нагрузки по напряжению тиристоров при этом ведет к более
20 благоприятной конструкции, увеличенному сроку службы, а также к повышению надежности всей системы.

Один вариант выполнения предлагаемого способа предусматривает, что если переключение согласно первой коммутационной стратегии прерывалось чаще заданного
25 числа раз, и/или если фазовый сдвиг между током нагрузки и напряжением ответвления недостаточно большой, то переключение осуществляется согласно второй коммутационной стратегии. При этой второй коммутационной стратегии после получения команды на переключение ожидается момент включения при принудительной коммутации. При достижении этого момента включения при принудительной коммутации четвертый тиристор деактивируется, и активируется третий тиристор.
30 После перехода через нуль напряжения ответвления первый тиристор деактивируется, а второй тиристор активируется.

Такое осуществление принудительной коммутации может быть необходимым, например, тогда, когда возникает критический режим работы регулировочного трансформатора или нагрузки, питаемой через этот регулировочный трансформатор,
35 и непременно необходимо незамедлительное регулирование для надежной работы всей системы. В этом случае посредством блока управления может инициироваться немедленная принудительная коммутация.

Если последовательно происходит многократное прерывание нормального переключения, то можно сделать вывод о том, что внешние условия системы, например,
40 фазовый сдвиг, искажения (несинусоидальность) токов и напряжений не допускают нормального переключения, и не следует ожидать быстрого изменения этих условий системы. В этом случае блок управления тоже может инициировать принудительную коммутацию.

Для оценки критических рабочих состояний регулировочного трансформатора или
45 питаемой им нагрузки в блоке управления могут сохраняться другие параметры и предельные значения, например, для релевантных параметров системы.

Предпочтительно для заданного количества прерванных коммутационных стратегий выбирается, например, значение 3, 5, 7 или 10.

Один предпочтительный вариант выполнения предлагаемого способа предусматривает, что момент включения при принудительной коммутации определяется в соответствии с функцией от времени восстановления запирающих свойств тиристоров, а также от максимальной токовой нагрузки, которая получается при второй коммутационной стратегии. Указанное время восстановления запирающих свойств тиристоров складывается в этом случае из времени восстановления тиристоров, а также запаса по надежности. При этом запас по надежности тоже может быть переменным и, например, зависеть от величины напряжения или тока в тиристоре в определенный момент времени.

Один предпочтительный вариант выполнения предлагаемого способа предусматривает, что указанный интервал коммутации соответствует сумме времени перекрытия и времени восстановления запирающих свойств тиристоров.

Один предпочтительный вариант выполнения предлагаемого способа предусматривает, что время перекрытия зависит от угла α включения и от тока нагрузки, и это время, в течение которого оба коммутирующих элемента коммутационной ячейки являются проводящими во время процесса переключения.

Один предпочтительный вариант выполнения предлагаемого способа предусматривает, что для предельного значения фазового сдвига ϕ между током нагрузки и напряжением ответвления справедливо:

$\phi_{\text{ср}} < \phi < 0$ при $\phi_{\text{ср}} < 0$,

где $\phi_{\text{ср}}$ - отрицательное емкостное предельное значение.

Это отрицательное емкостное предельное значение может составлять, например, -5° , $-7,5^\circ$, -10° , $-12,5^\circ$, -15° или -40° .

Согласно второму аспекту, изобретение предлагает компьютерный программный продукт, причем этот компьютерный программный продукт предоставлен на энергонезависимом считываемом компьютере носителя, и блок управления инициирует осуществление способа согласно первому предлагаемому изобретением аспекту.

Разъяснения по одному из аспектов данного изобретения, в частности, по отдельным признакам этого аспекта, справедливы соответственно и для других аспектов этого изобретения.

В дальнейшем варианты выполнения этого изобретения в качестве примеров будут рассмотрены подробнее с привлечение прилагаемых чертежей. Однако, явствующие из них отдельные признаки не ограничиваются этими отдельными вариантами выполнения, но могут объединяться или комбинироваться с другими вышеописанными отдельными признаками, или с отдельными признаками других вариантов выполнения. Подробности на чертежах являются разъясняющими и не должны рассматриваться как ограничивающие. Содержащиеся в формуле изобретения ссылочные обозначения никоим образом не должны ограничивать объем защиты этого изобретения, они лишь ссылаются на показанные на чертежах признаки и способствуют пониманию этого изобретения.

На чертежах показано следующее.

Фиг. 1 схематичное изображение регулировочного трансформатора с модулями переключения на силовых электронных приборах;

Фиг. 2а конструкция модуля переключения на силовых электронных приборах, включая регулировочную обмотку;

Фиг. 2б эквивалентная электрическая схема, включая электрические параметры рассматриваемого модуля переключения;

Фиг. 3 схематичная конструкция коммутационной ячейки;

Фиг. 4 блок-схема предлагаемого способа для управления переключением;

Фиг. 5а кривая изменения во времени тока и напряжения в коммутационной ячейке по Фиг. 3, включая релевантные для осуществления этого способа моменты времени t_0 - t_5 при нормальном переключении согласно этому способу по Фиг. 4;

5 Фиг. 5b состояния тиристоров, а также состояния коммутационной ячейки при нормальном переключении согласно этому способу по Фиг. 4;

Фиг. 6 состояния тиристоров, а также состояния коммутационной ячейки при принудительной коммутации согласно этому способу по Фиг. 4;

10 Фиг. 7 момент включения t (в градусах), в который инициируется принудительная коммутация в зависимости от времени восстановления запирающих свойств тиристоров, а также от максимального тока нагрузки и максимального значения тока $\hat{I}_{SC}$ короткого замыкания; и

Фиг. 8. области, в которых возможно нормальное переключение в случае индуктивной, а также емкостной нагрузки.

15 На Фиг. 1 схематично показана конструкция регулировочного трансформатора 1. Этот регулировочный трансформатор 1 состоит из регулируемой первичной стороны 1а и вторичной стороны 1b. Первичная сторона 1а содержит основную обмотку 2, а также модуль 5 переключения. Вторичная сторона 1b содержит вторичную обмотку 3. Модуль 5 переключения содержит регулировочную обмотку 8, а также коммутирующие
20 элементы 61, 62, 63, 64. Выходное напряжение v_{sek} , которое падает во вторичной обмотке 3, зависит от входного напряжения v_{prim} в первичной стороне регулировочного трансформатора 1, а также от коэффициента передачи этого регулировочного трансформатора 1. На коэффициент передачи регулировочного трансформатора 1, тем самым, на выходное напряжение v_{sek} можно оказывать влияние путем соединения
25 основной обмотки 2 с регулировочной обмоткой 8. Для соединения регулировочной обмотки 8 с основной обмоткой 2 посредством коммутирующих элементов 61, 62, 63, 64 получается три возможных конфигурации. В первой конфигурации регулировочная обмотка 8 может включаться последовательно с основной обмоткой 2. Во второй конфигурации регулировочная обмотка 8 может включаться встречно основной обмотке
30 2. В третьей конфигурации регулировочная обмотка 8 может выключаться из цепи. В этом случае через регулировочную обмотку 8 ток не течет. Управление коммутационными ячейками 9а, 9b осуществляется посредством блока 50 управления. При необходимости могут последовательно подключаться также несколько коммутирующих элементов 5 (модулей переключения?). Далее, возможно также
35 регулирование вторичной стороны 3 регулировочного трансформатора 1 посредством одного или нескольких модулей 5 переключения.

На Фиг. 2а схематично показана конструкция модуля 5 переключения. Модуль 5 переключения содержит две коммутационные ячейки 9а, 9b, а также регулировочную обмотку 8. Каждая коммутационная ячейка 9а, 9b имеет первую ветвь 6а, 6b нагрузки, а также расположенную параллельно ей вторую ветвь 7а, 7b нагрузки. Регулировочная обмотка 8 расположена между первым контактным выводом 10 и вторым контактным выводом 20. Модуль 5 переключения содержит к тому же входную линию 4а в модуль 5 переключения и выходную линию 4b из этого модуля 5 переключения.

45 На Фиг. 2b представлены электрические параметры, которые в дальнейшем будут использованы для пояснения способа управления переключением. Ток i_L нагрузки (синусоидальный переменный ток) характеризует ток нагрузки, который течет во входной линии 4а из основной обмотки 2 в модуль 5 переключения, а в выходной линии 4b - из модуля 5 переключения. Ток i_L нагрузки определяется как положительный,

когда он, как показано на Фиг. 2b, течет по выходной линии 4b из модуля 5 переключения. Напряжение v_t ответвления (синусоидальное напряжение ответвления), в регулировочной обмотке 8 падает и приложено между контактными выводами 10 и 20. Напряжение v_t ответвления характеризуется как положительное, когда падение напряжения падает от контактного вывода 10 в направлении контактного вывода 20. Регулировочная обмотка 8 в эквивалентной схеме как источник синусоидального напряжения смоделирована последовательно с паразитной индуктивностью $L_{\alpha,eff}$ регулировочного трансформатора 1. Индуцированное напряжение v_i при этом представляет собой индуцированное напряжение регулировочной обмотки 8, а $L_{\alpha,eff}$ - эффективную паразитную индуктивность регулировочного трансформатора 1 во время процесса переключения.

На Фиг. 3 схематично показана конструкция коммутационной ячейки 9a. Между первым контактным выводом 10 и выходной линией 4 расположен верхний коммутирующий элемент 61, а между вторым контактным выводом 20 и выходной линией 4 расположен нижний коммутирующий элемент 62. Каждый коммутирующий элемент 61, 62 состоит из одного верхнего тиристора 61a, 62a и одного нижнего тиристора 61b, 62b, которые соединены друг с другом встречно-параллельно. Каждый тиристор 61a, 61b, 62a, 62b имеет один анодный вывод А, один катодный вывод К и один вывод G затвора. Каждый коммутирующий элемент 61, 62 может принимать два коммутационных состояния: проводящее состояние или запертое состояние. В нормальном состоянии ток i_L нагрузки в зависимости от коммутационного состояния коммутирующих элементов 61, 62 течет либо через верхний коммутирующий элемент 61 в первой ветви 6a нагрузки, либо через нижний коммутирующий элемент 62 во второй ветви 7a нагрузки. Во время процесса переключения ток кратковременно течет через оба коммутирующих элемента 61, 62 в ветвях 6a и 7a нагрузки.

В дальнейшем предлагаемый способ переключения тока в коммутационной ячейке 9a по Фиг. 3 с целью изменения коэффициента передачи регулировочного трансформатора 1 будет рассмотрен подробнее. В качестве примера способ при этом описывается для переключения тока i_L нагрузки с верхнего, в этом случае первого коммутирующего элемента 61 на нижний, в этом случае второй коммутирующий элемент 62. Перед процессом переключения оба встречно-параллельных тиристора 61a, 61b первого коммутирующего элемента 61 сообразно с этим активированы, и первый коммутирующий элемент 61 является проводящим. Далее, оба встречно-параллельных тиристора 62a, 62b второго коммутирующего элемента 62 деактивированы, и этот второй коммутирующий элемент 62 является запертым. Следующие варианты выполнения действительны для переключения тока i_L нагрузки с первого коммутирующего элемента 61 на второй коммутирующий элемент 62 в отрицательной полуволне напряжения v_t ответвления. Для примыкающей коммутационной ячейки 9b справедливо, что нижний коммутирующий элемент 64 включен как проводящий, а верхний коммутирующий элемент 63 включен как запирающий. Кроме того, в дальнейшем преобладает емкостной характер нагрузки, причем ток i_L нагрузки опережает напряжение v_t ответвления. Релевантные ограничения и, соответственно, видоизменения индуктивного характера нагрузки, при котором ток i_L нагрузки отстает от напряжения v_t ответвления, будут описаны в дальнейшем в соответствующем месте.

Другие возможные случаи переключения могут быть отражены аналогично с учетом следующих правил:

- переключение с второго коммутирующего элемента 62 на первый коммутирующий элемент 61 путем замены тиристора 61a на тиристор 62a, замены тиристора 61b на

тиристор 62b, а также инвертирования индуцированного напряжения v_i ;

- коммутирование в положительной полуволне напряжения v_t ответвления путем замены тиристора 61a на тиристор 61b, замены тиристора 62a на тиристор 62b, а также инвертирования тока i_L нагрузки и индуцированного напряжения v_i ;

- 5 - рассмотрение случая, когда примыкающая коммутационная ячейка 63 проводит, а коммутационная ячейка 64 запирает, причем индуцированное напряжение повышается на составляющую

$$L_{\alpha,eff} \frac{di_L}{dt}$$

- 10 - при одновременном переключении в обеих коммутационных ячейках 9a, 9b вследствие симметричной конструкции обеих коммутационных ячеек 9a, 9b справедливо следующее:

тиристор 63a $\hat{=}$ тиристор 62a;

- 15 тиристор 63b $\hat{=}$ тиристор 62b;

тиристор 64a $\hat{=}$ тиристор 61a; и

тиристор 64b $\hat{=}$ тиристор 61b.

- На Фиг. 4 показана общая блок-схема способа. Протекание во времени процесса переключения, включая изменения напряжения v_t ответвления и тока i_L нагрузки, 20 представлено на Фиг. 5a. Состояние тиристоров, а также состояния коммутационной ячейки для фаз процесса переключения показаны на Фиг. 5b.

- В исходном состоянии 301 тиристоры 61a и 61b активированы, первый коммутирующий элемент 61 является, тем самым, проводящим. Тиристоры 62a и 62b деактивированы, второй коммутирующий элемент 62 является, тем самым, запирающим. 25 Ток i_L нагрузки, а также индуцированное напряжение v_i имеют оба отрицательный знак, ток i_L нагрузки течет через тиристор 61a.

- В момент времени $t=t_0$ (см. Фиг. 5a) с помощью блока 50 управления выполняется запрос на коммутацию для переключения тока i_L нагрузки с первой ветви 6a нагрузки на вторую ветвь 7a нагрузки. Актуальное состояние S_{act} тиристоров 61a, 61b, 62a, 62b, 30 тем самым, больше не соответствует желаемому состоянию S_{ref} . Момент времени t_0 , в который происходит этот запрос на коммутацию, может при этом быть любым моментом времени в отрицательной полуволне напряжения v_t ответвления. Согласно этому способу, теперь пытаются осуществить переключение согласно первой коммутационной стратегии 400, в дальнейшем обозначаемой как нормальное 35 переключение.

Сначала для этого в ходе проверки 401 устанавливается, выполнены ли основные предпосылки для нормального процесса переключения. Предпосылками для нормального процесса переключения являются:

- 40 - достаточно большой фазовый сдвиг ϕ между током i_L нагрузки и напряжением v_t ответвления;
- достаточное расстояние до следующего перехода через нуль напряжения v_t ответвления;
- нормальное переключение уже не прерывалось многократно (n_{max});

- 45 Достаточно большой фазовый сдвиг для переключения имеет место тогда, когда фазовый угол меньше, чем отрицательное емкостное предельное значение $\phi_{сар}$. Это условие необходимо для того, чтобы обеспечить надежное восстановление и надежное возбуждение способности к запираанию тиристора 61b в ходе коммутации. Указанное предельное значение $\phi_{сар}$ может быть определено следующим образом.

Сначала берется минимальный угол включения, при котором возможно нормальное переключение. Он рассчитывается для емкостного случая по следующей формуле:

$$\alpha_{\min} = \varphi + \delta_{61a} - \omega \cdot \gamma(iL, \alpha_{\min}) \quad (1)$$

где:

$\alpha_{\min}$: минимальный угол включения, в рад,

δ_{61a} : время восстановления запирающих свойств тиристора 61a, в рад,

γ : время перекрытия в зависимости от угла α включения и тока iL нагрузки, которое описывает время, в течение которого при переключении оба коммутирующих элемента 61, 62 являются проводящими,

ω : частота индуцированного напряжения v_i , в рад/сек,

φ : фазовый сдвиг между током iL нагрузки и напряжением v_t ответвления.

Время перекрытия γ рассчитывается при этом с использованием эквивалентной схемы по Фиг. 2b следующим образом:

$$\gamma = (-\arccos(iL \cdot \omega \cdot L_{\alpha, \text{eff}} / V_s + \cos \alpha) - \alpha) / \omega$$

причем:

V_s : максимальное значение индуцированного напряжения v_i .

Максимальный угол включения, для которого возможно нормальное переключение, ограничивается формулой:

$$\alpha_{\max} + \omega \cdot \gamma(iL, \alpha_{\max}) = -\delta_{61b} \quad (2)$$

причем:

$\alpha_{\max}$: максимальный угол включения, в рад,

δ_{61b} : время восстановления запирающих свойств тиристора 61b, в рад.

Максимальный фазовый сдвиг, для которого возможно нормальное переключение, получается, таким образом, из уравнений (1) и (2). Если считать, что время восстановления запирающих свойств тиристора 61a и тиристора 61b одинаково, то, тем самым, для предельного значения $\varphi_{\text{ср}}$ получается:

$$\varphi_{\text{ср}} = -2 \cdot \delta \quad (3)$$

причем:

$\varphi_{\text{ср}}$: отрицательное емкостное предельное значение фазового сдвига φ ,

δ : время восстановления запирающих свойств тиристорov, в рад.

В случае емкостного характера нагрузки справедливо следующее условие:

$$\varphi > 0$$

Достаточное расстояние до следующего ожидаемого перехода через нуль напряжения v_t ответвления имеется тогда, когда время до следующего ожидаемого перехода через нуль напряжения v_t ответвления больше, чем интервал коммутации $t_{\text{комм}}$. При этом $t_{\text{комм}}$ представляет собой сумму времени перекрытия γ и времени t_{p1} восстановления запирающих свойств. Если считать, что все тиристоры располагают одинаковым временем восстановления запирающих свойств, то справедливо равенство:

$$t_{\text{комм}} = \gamma + t_{p1}$$

причем:

$t_{\text{комм}}$: интервал коммутации

t_{p1} : время восстановления запирающих свойств тиристорov, в секундах.

Чтобы обеспечить достаточное расстояние до следующего перехода через нуль напряжения v_t ответвления, должно выполняться нижеприведенное условие.

$$t_{\text{комм}} < \Delta t_{\text{Null}}$$

причем:

Δt_{Null} : время до следующего ожидаемого перехода через нуль напряжения v_t .

Как будет описано ниже, переключение прерывается, если не выполняются

соответствующие условия для надежного нормального переключения. Если такое нормальное переключение многократно подряд прерывается, то это позволяет сделать вывод о том, что такие внешние условия системы, как, например, фазовый сдвиг, или искажения тока i_L нагрузки и напряжения v_t ответвления не допускают нормального переключения. Чтобы заблаговременно распознать этот случай, перед иницированием нормального процесса переключения проводится проверка, имело ли уже место многократное прерывание коммутации. Многократно в этой связи может означать, например, трижды, пять раз или семь раз.

Если вышеназванные условия выполнены, то результат проверки 401 оценивается как положительный, и осуществляется нормальный процесс переключения. Для этого на этапе 402 производится подготовка к нормальному переключению так, что в момент времени t_1 на Фиг. 5a тиристор 61a деактивируется, а тиристор 62a активируется. Активация тиристора 62a необходима для того, чтобы в случае неожиданного изменения направления тока i_L нагрузки создать цепь нагрузки. Соответствующая конфигурация коммутационной ячейки в момент времени t_1 представлена на Фиг. 5b.

После подготовки переключения согласно этапу 402 для обеспечения безупречного осуществления переключения на этапе 403 выполняется еще одна проверка. При этом проверяется, выполнены ли условия для иницирования переключения. Такими условиями являются:

- прежде деактивированный тиристор 61a восстановился;
- имеется достаточное расстояние до следующего перехода через нуль напряжения v_t ответвления; и
- величина индуцированного напряжения v_i при иницировании переключения лежит ниже предельного значения напряжения v_{max} ответвления;

Для восстановления тиристор 61a не должен проводить ток в течение конкретного промежутка времени tr_1 (время восстановления запирающих свойств) при деактивированном управлении затвором. Время tr_1 восстановления запирающих свойств складывается из времени восстановления тиристора, а также запаса по надежности. При этом запас по надежности тоже может быть переменным. В данном случае коммутации тиристор 61a только после изменения знака тока i_L нагрузки больше не проводит никакого тока. Это имеет место в момент времени t_2 , в который знак тока i_L нагрузки меняется с отрицательного на положительный, и тиристор 61b берет на себя ток i_L нагрузки в верхней ветви нагрузки.

Согласно нормальной коммутационной стратегии, теперь контролируют, чтобы на время tr_1 восстановления запирающих свойств тиристора 61a никакой ток не тек через этот тиристор 61a. Это осуществляется, например, путем наблюдения за направлением тока i_L нагрузки или путем измерения тока непосредственно на тиристоре 61a.

Поскольку на время tr_1 восстановления запирающих свойств тиристора 61a никакой ток не тек через этот тиристор 61a, то гарантируется, что этот тиристор 61a восстановился, и предотвращено нежелательное повторное или возвратное включение тиристора 61a при переключении с верхней на нижнюю ба, бв ветвь нагрузки.

Далее, как уже было на этапе 401, перед иницированием переключения выполняется проверка, достаточное ли имеется расстояние до следующего ожидаемого перехода напряжения через нуль согласно условию:

$$tkomm < \Delta t_{Null}$$

Помимо обеих вышеназванных проверок предпочтительно контролируется также величина напряжения v_t ответвления. Эта величина напряжения v_t ответвления при иницировании переключения является определяющим фактором для нагрузки

тиристоров. Таким образом, величина напряжения ответвления, которое возникает при переключении и которое должны выдерживать тиристоры, предпочтительно ограничивается заранее заданным значением, чтобы повысить срок жизни, а также надежность тиристоров и, тем самым, снизить затраты на всю систему. В качестве максимального напряжения ответвления, при котором может инициироваться переключение, предпочтительно выбирается 50% от номинального напряжения v_t .

Если соблюдены все три вышеназванных условия, то в момент времени t_3 на этапе 404 инициируется переключение с верхней ветви 6a нагрузки на нижнюю ветвь 6b нагрузки, и при этом тиристор 61b деактивируется, а тиристор 62b активируется. Как только тиристор 62b активируется, ток через тиристор 61b уменьшается до тех пор, пока весь ток i_L нагрузки не потечет через тиристор 62b. Это имеет место по истечении времени перекрытия γ в момент времени t_4a (см. также Фиг. 5b, момент времени t_4a/t_4b). После момента времени t_4a у тиристора 61b перед следующим ожидаемым переходом через нуль напряжения v_t ответвления еще достаточно времени (по меньшей мере время tr_1 восстановления запирающих свойств), чтобы восстановиться. По истечении времени tr_1 восстановления запирающих свойств в момент времени t_4b тиристор 61b, сообразно с этим, достиг своей полной способности к запираанию. Тем самым предотвращается повторное, нежелательное включение тиристора 61b при последующем переходе через нуль напряжения v_t ответвления. В момент времени t_5 напряжение v_t ответвления изменяет свой знак, ток i_L нагрузки течет далее в нижней ветви 6b нагрузки. Таким образом, переключение завершено, и достигнуто конечное состояние 302, в котором текущее состояние S_{act} тиристоров 61a, 61b, 62a, 62b соответствует заданному посредством управления состоянию S_{ref} .

Если в рамках проверки (этап 403) установлено, что не все условия выполнены, то переключение прерывается. Для этого тиристор 61a активируется, а тиристор 62a деактивируется. Тем самым, система после прерывания переключения снова находится в своем исходном состоянии 301.

В том случае, если условия проверки 401 не выполняются, и/или процесс переключения уже многократно прерывался (число прерываний n больше заданного числа n_{max}), однако, несмотря на это переключение с верхней на нижнюю ветвь нагрузки должно быть произведено, может осуществляться альтернативный процесс переключения 500, в дальнейшем называемый также принудительной коммутацией 500. Необходимость принудительной коммутации 500 может возникнуть, например, в том случае, если создан критический режим работы регулировочного трансформатора 1 или питаемой посредством регулировочного трансформатора 1 нагрузки, и непременно необходимо незамедлительное регулирование для надежной работы всей системы. Для принудительной коммутации 500 после получения команды на переключение тока i_L нагрузки с верхнего коммутирующего элемента на нижний на этапе 501 происходит ожидание, пока не наступят необходимые предпосылки для принудительной коммутации. Необходимыми условиями для принудительной коммутации являются:

- достаточно большое расстояние до перехода через нуль напряжения v_t ответвления, так что у тиристора 61b достаточно времени на восстановление; и
- достаточно маленькое расстояние до перехода через нуль напряжения v_t ответвления, чтобы избежать излишне больших токов во время процесса переключения;

Как только эти условия будут выполнены, согласно этому альтернативному способу переключения выполняется принудительное переключение. Эти состояния тиристоров, а также коммутирующих элементов 61, 62 на отдельных этапах принудительной коммутации отражены на Фиг. 6.

В момент времени t_0 напряжение v_t ответвления находится в своей отрицательной полуволне, ток i_L нагрузки тоже отрицателен, верхний коммутирующий элемент 61 является проводящим, нижний коммутирующий элемент 62 является запирающим, тиристор 61a пропускает ток i_L нагрузки. На этапе 501 сначала ожидается момент времени t_{z2} для инициирования принудительной коммутации 500, в который выполнены необходимые условия для принудительной коммутации 500. Оптимальный момент времени t_{z2} как функция времени t_{p1} восстановления запирающих свойств, а также максимальной токовой нагрузки может быть взят, например, с Фиг. 7. Ток i_{Lmax} соответствует при этом теоретически возможной максимальной величине тока i_L нагрузки, величина $\hat{I}_{SC}$ представляет собой максимальное значение тока короткого замыкания, который возникает в коммутационной ячейке после активации тиристора 62b. Согласно Фиг. 6 сначала происходит перемена знака тока i_L нагрузки, так что тиристор 61b в момент времени t_1 , после произошедшей смены направления тока i_L нагрузки, пропускает ток i_L нагрузки.

Как только достигнут оптимальный момент t_{z2} включения, на этапе 502 происходит инициирование принудительной коммутации, причем тиристор 61b деактивируется, а тиристор 62b активируется. За счет активации тиристора 62b вызывается кратковременное короткое замыкание между контактными выводами 10 и 20, так что в момент времени t_3 , который следует непосредственно после момента t_{z2} включения, создается кратковременный ток короткого замыкания через тиристоры 61a и 62b (ср. Фиг. 6, t_3). После перехода через нуль индуцированного напряжения v_i в момент времени t_4 ток короткого замыкания снова падает. На Фиг. 4 это обозначено моментом времени $t=t_{Null}$. У тиристора 61b во время этого имеется достаточно времени, чтобы выполнить условия для его восстановления. В момент времени t_5 принудительная коммутация завершена, тиристор 61a деактивируется, а тиристор 62a активируется (этап 503 на Фиг. 4). Система находится в желаемом состоянии 302, в котором текущее состояние S_{act} тиристоров 61a, 61b, 62a, 62b соответствует заданному посредством управления состоянию S_{ref} .

Условия и процессы для нормального переключения при индуктивном характере нагрузки, т.е. ток i_L нагрузки отстает от напряжения v_t ответвления, могут быть выведены из вышеописанного емкостного характера нагрузки простым образом. Для этого следует сослаться на Фиг. 8, на которой слева показан емкостной характер нагрузки, а справа - индуктивный характер нагрузки. Собственный, физический процесс переключения, как пояснялось, возможен только в областях, в которых ток i_L нагрузки и напряжение v_t ответвления имеют различные знаки. Эти области на Фиг. 8 обозначены позициями Ia, Ib, Pa и Pb. Область Ia в случае емкостной нагрузки, в которой напряжение v_t ответвления отрицательно, а ток i_L нагрузки положителен, корреспондирует при этом с областью Ib в случае индуктивной нагрузки. Аналогично этому корреспондируют области Pa и Pb. Таким образом, вышеизложенное для области Ia в случае емкостной нагрузки аналогично справедливо и для области Ib в случае индуктивной нагрузки.

Следует отметить, что при индуктивной нагрузке, в том случае, если подан запрос на коммутацию для нормального переключения вне областей Ib и Pb, всегда происходит прерывание переключения. Это обусловлено тем, что проведенная на этапе 403 проверка может не оказаться положительной, так как первый тиристор 61a, который относится к первому коммутирующему элементу 61, и к которому в направлении блокировки приложено индуцированное напряжение v_i , ни в коем случае не может восстановиться перед переходом через нуль напряжения v_t ответвления, поскольку этот переход через нуль напряжения v_t ответвления происходит перед переходом через нуль тока i_L

нагрузки. В этом случае запрос на коммутацию сохраняется и может быть выполнен после перехода напряжения через нуль, т.е. в областях Ib или IIb.

Для принудительной коммутации при индуктивном характере нагрузки не возникает никаких дополнительных особенностей.

- 5 Перечень ссылочных обозначений
- 1 регулировочный трансформатор, первичная сторона, вторичная сторона
- 1a первичная сторона
- 1b вторичная сторона
- 2 основная обмотка
- 10 3 вторичная обмотка
- 4a входная линия
- 4b выходная линия
- 5 модуль переключения
- 6a,6b первая ветвь нагрузки
- 15 7a,7b вторая ветвь нагрузки
- 8 регулировочная обмотка
- 9a,9b коммутационная ячейка
- 10 первый контактный вывод
- 20 второй контактный вывод
- 50 блок управления
- 61 коммутирующий элемент
- 62 коммутирующий элемент
- 63 коммутирующий элемент
- 64 коммутирующий элемент
- 25 61a, 61b, 62a, 62b... тиристоры
- 301 исходное состояние
- 302 конечное состояние
- 400 коммутационная стратегия
- 401 проверка
- 30 402 этап
- 403 проверка
- 404 этап
- 405 альтернативный способ переключения, принудительная коммутация
- 501 этап
- 35 502 этап
- 503 этап
- A анодный вывод
- K катодный вывод
- G вывод затвора
- 40 iL ток нагрузки
- ISC максимальное значение тока короткого замыкания
- $L_{\alpha, \text{eff}}$ паразитная индуктивность регулировочного трансформатора
- v_i индуцированное напряжение
- v_{max} предельное значение напряжения ответвления
- 45 v_{prim} входное напряжение
- v_{sek} выходное напряжение
- v_t напряжение ответвления
- Sact текущее состояние

S_{ref} желаемое состояние

$t_0...t_5$ моменты времени

Δt_{Null} временное расстояние до следующего ожидаемого перехода через нуль напряжения v_t

- 5 ϕ фазовый сдвиг между током i_L нагрузки и напряжением v_t ответвления
 $\phi_{сар}$ отрицательное емкостное предельное значение фазового сдвига ϕ
 α угол включения тиристорov, в радианах
 α_{min} минимальный угол включения при переключении в емкостной области
 α_{max} максимальный угол включения при переключении в емкостной области
10 δ время восстановления запирающих свойств тиристорov, в рад
 γ время перекрытия в зависимости от угла α включения и тока i_L нагрузки, которое описывает то время в процессе переключения, когда оба коммутирующих элемента 61, 62 являются проводящими
 ω частота индуцированного напряжения v_i , в рад/сек
15 t_{p1} время восстановления запирающих свойств тиристорov, в сек
 $t_{комм}$ интервал коммутации, определяемый суммой времени перекрытия γ и времени t_{p1} восстановления запирающих свойств тиристорov
 t_{z2} момент включения при принудительной коммутации

20 (57) Формула изобретения

1. Способ управления по меньшей мере одним модулем (5) переключения, состоящим из первой коммутационной ячейки (9a) и второй коммутационной ячейки (9b), каждая из которых связана с регулировочной обмоткой (8) регулировочного трансформатора (1) посредством первого контактного вывода (10) и второго контактного вывода (20),
25 при этом каждый модуль (5) переключения снабжен входной линией (4a) и выходной линией (4b), и при этом упомянутые коммутационные ячейки (9a, 9b) содержат:

- первый коммутирующий элемент (61), содержащий два встречно-параллельно включенных тиристора (61a, 61b);
- второй коммутирующий элемент (62), содержащий два встречно-параллельно включенных тиристора (62a, 62b);
- 30 охарактеризованный тем, что включает в себя следующие этапы, на которых:
 - определяют напряжение (v_t) ответвления, которое приложено между первым контактным выводом (10) и вторым контактным выводом (20), и которое представляет собой напряжение в регулировочной обмотке (8) регулировочного трансформатора (1);
 - 35 - определяют индуцированное напряжение (v_i), представляющее собой индуцированное напряжение в регулировочной обмотке (8);
 - определяют ток (i_L) нагрузки, который течет из выходной линии (4b) коммутационной ячейки (9a);
 - 40 - определяют фазовый сдвиг (ϕ) между током (i_L) нагрузки и напряжением (v_t) ответвления;
 - после получения команды на переключение для переключения тока с первого коммутирующего элемента (61) на второй коммутирующий элемент (62) согласно первой коммутационной стратегии (400) выполняют первую проверку, причем первая проверка (401a) устанавливает:
 - 45 находится ли фазовый сдвиг (ϕ) между током (i_L) нагрузки и упомянутым напряжением (v_t) вне предельного диапазона, и
 - результат первой проверки (401a) оценивается как положительный, если упомянутый

фазовый сдвиг (ϕ) находится вне предельного диапазона;

- выполняют вторую проверку (401с), причем вторая проверка (401с) устанавливает: больше ли время до следующего ожидаемого перехода через нуль упомянутого напряжения (v_t), чем интервал ($t_{\text{комм}}$) коммутации, и

5 результат оценивается как положительный, если это так,

- если первая и вторая проверки (401а, 401с) положительные, на этапе (402) подготавливают процесс переключения тем, что деактивируют первый тиристор (61а, 61b), принадлежащий первому коммутирующему элементу (61) и находящийся в запирающем направлении по отношению к индуцированному напряжению (v_i), и
10 активируют второй тиристор (62а, 62b), принадлежащий второму коммутирующему элементу (62) и находящийся в запирающем направлении по отношению к упомянутому напряжению (v_i);

- после подготовки процесса переключения затем на этапе (402):

пока время до ожидаемого следующего перехода через нуль напряжения (v_t) ответвления больше, чем интервал ($t_{\text{комм}}$) коммутации (403с), выполняют третью
15 проверку, чтобы установить, был ли выключен первый тиристор (61а, 61b), и упомянутая проверка (403а) оценивается как положительная, если это так; и

если третья проверка оценивается как положительная, на этапе (404) инициируют переключение тем, что активируют третий тиристор (62а, 62b), который включен
20 встречно-параллельно второму тиристор (62а, 62b), и деактивируют четвертый тиристор (61а, 61b), который включен встречно-параллельно первому тиристор (61а, 61b); и

если первая проверка (401а) и/или вторая проверка (402с) не оцениваются как положительные, то не инициируют никакого переключения, или, если третья проверка (403а) не оценивается как положительная, то прерывают переключение согласно первой
25 коммутационной стратегии.

2. Способ по предыдущему пункту, в котором переключение прерывают тем, что деактивируют второй тиристор (62а, 62b) и активируют первый тиристор (61а, 61b).

3. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором после этапа (402) для подготовки процесса переключения

30 - пока время до ожидаемого следующего перехода через нуль напряжения (v_t) ответвления больше, чем интервал ($t_{\text{комм}}$) коммутации, выполняют четвертую проверку, устанавливающую, находится ли величина индуцированного напряжения (v_i) ниже предельного значения напряжения (v_{max}) ответвления, и результат оценивается как положительный, если это так;

35 - если результат третьей проверки и результат четвертой проверки оцениваются как положительный, инициируют переключение, и

- в противном случае переключение прерывается тем, что деактивируют второй тиристор (62а, 62b), и активируют первый тиристор (61а, 61b).

4. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором

40 - если переключение согласно первой коммутационной стратегии (400) было прервано чаще заданного числа раз (n_{max}), и/или

- фазовый сдвиг между током (i_L) нагрузки и напряжением (v_t) ответвления находится в пределах предельного диапазона,

- осуществляют переключение согласно второму процессу переключения (500), причем

45 - после получения команды на переключение:

ожидают момент (t_{z2}) включения на этапе (501);

на этапе (502) при достижении момента (t_{z2}) включения четвертый тиристор деактивируется, и третий тиристор активируется;

на этапе (503) после перехода через нуль напряжения (v_t) ответвления первый тиристор деактивируется, а второй тиристор активируется.

5. Способ по предыдущему пункту, в котором

- определяют момент (t_{z2}) включения в соответствии с функцией от времени (t_{p1}) восстановления запирающих свойств тиристоров, и максимальной токовой нагрузки, которая получается при второй коммутационной стратегии (500).

6. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором интервал (t_{komm}) коммутации соответствует сумме из времени (γ) перекрытия и времени (t_{p1}) восстановления запирающих свойств тиристоров.

7. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором время (γ) перекрытия зависит от угла (α) включения и тока (i_L) нагрузки, и описывает время, в которое оба коммутирующих элемента (61, 62) коммутационной ячейки (9a) являются проводящими во время процесса переключения.

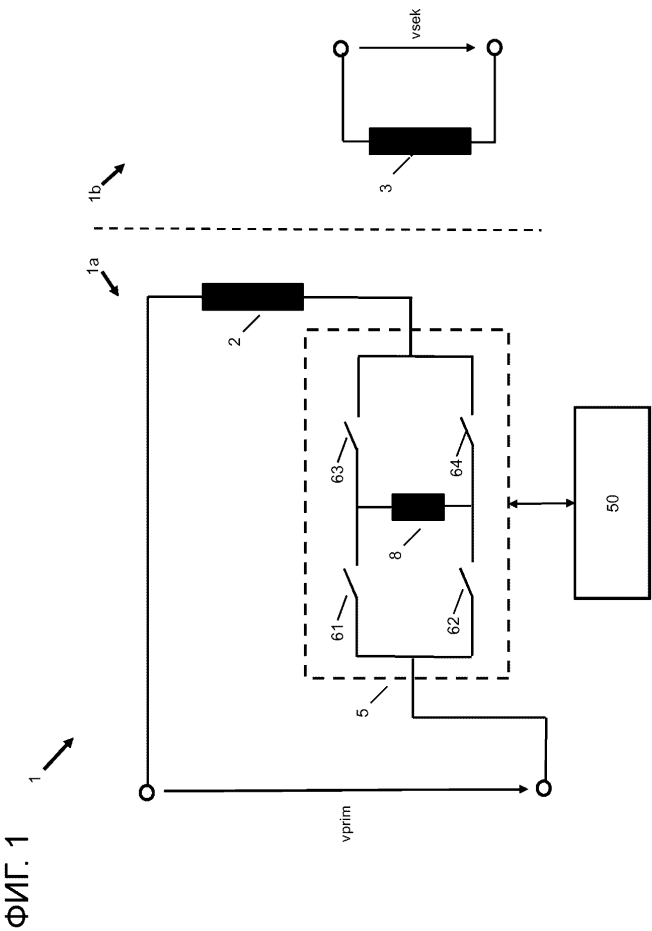
8. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором для предельного диапазона фазового сдвига (ϕ) между током (i_L) нагрузки и напряжением (v_t) ответвления справедливо:

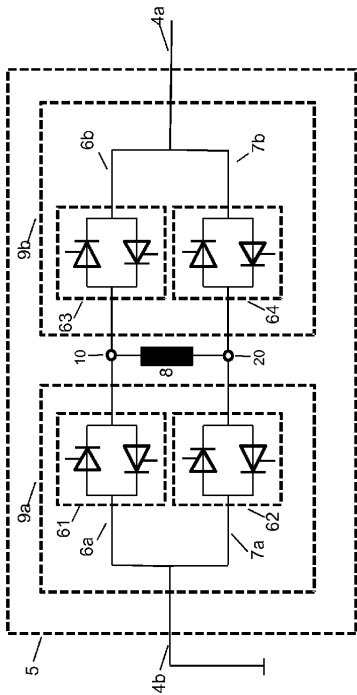
$\phi_{сар} < \phi < 0$ при $\phi_{сар} < 0$.

9. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором

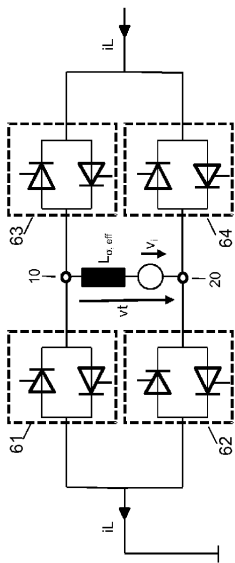
- тиристор активируется, когда управляют выводом (G) затвора, чтобы обеспечить включение, и
- тиристор деактивируется, когда его выводом (G) затвора не управляют, чтобы предотвратить включение тиристора.

10. Энергонезависимый считываемый компьютером носитель, содержащий сохраненные на нем выполняемые компьютером инструкции, чтобы заставить блок (50) управления выполнять способ по любому из пп. 1-9.



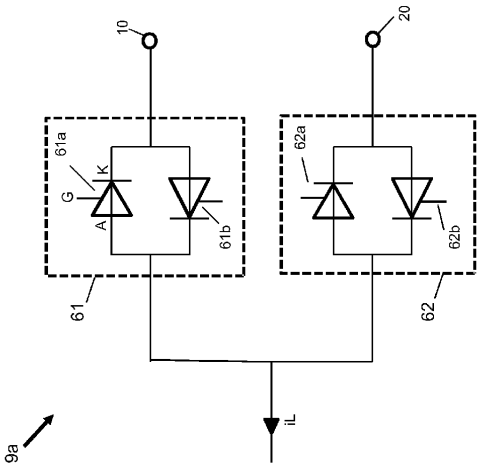


ФИГ. 2а



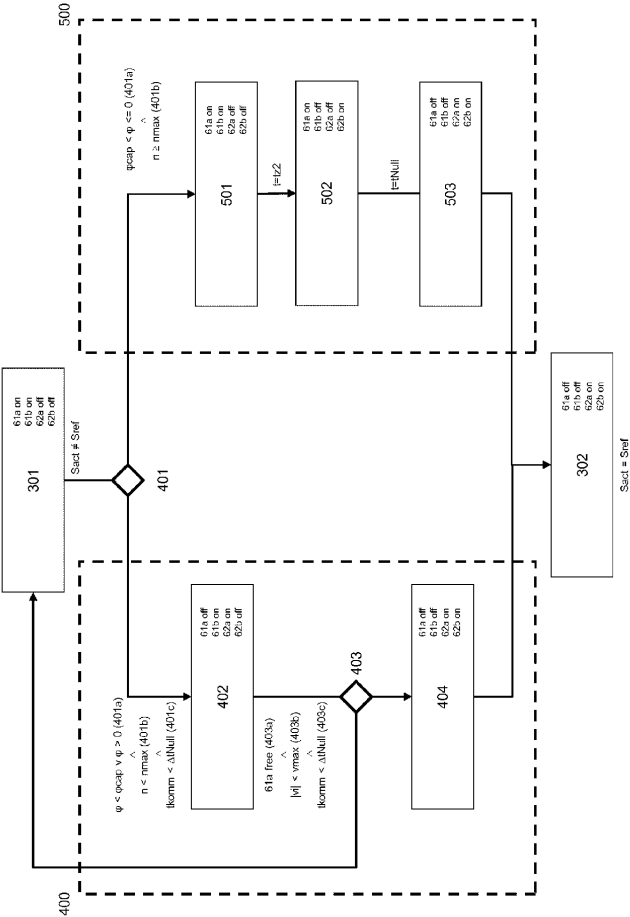
ФИГ. 2б

3/9

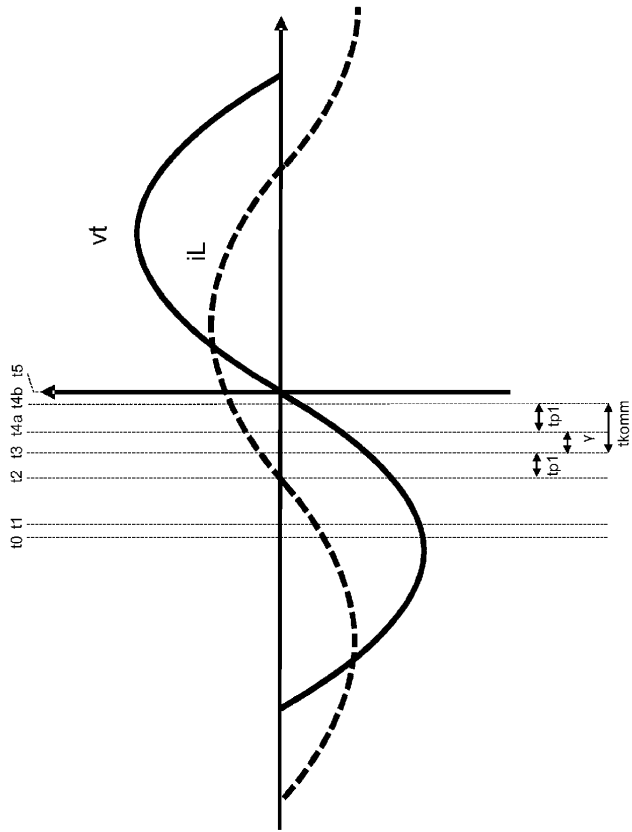


ФИГ. 3

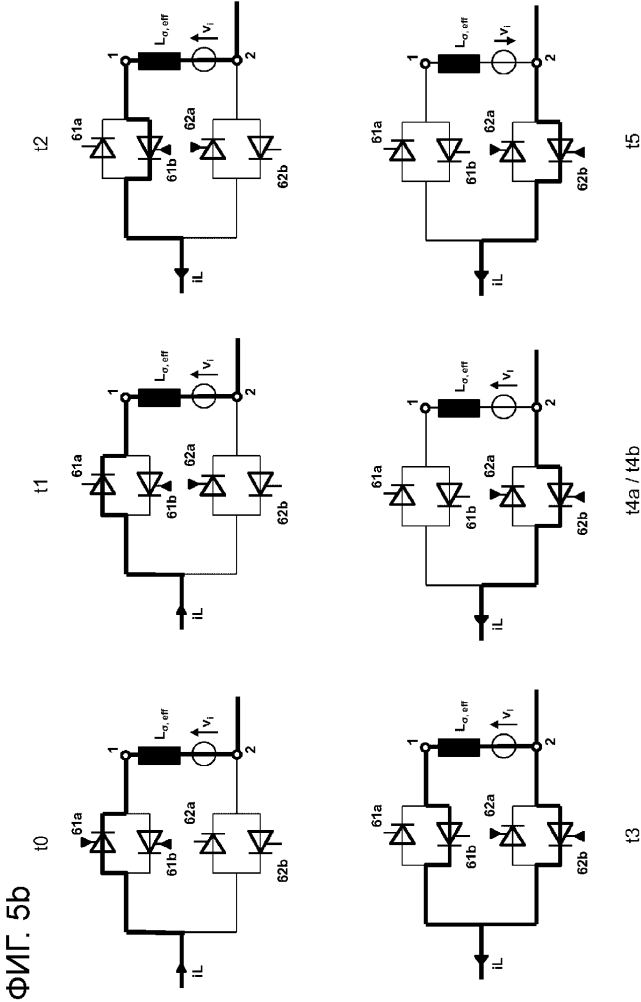
ФИГ. 4



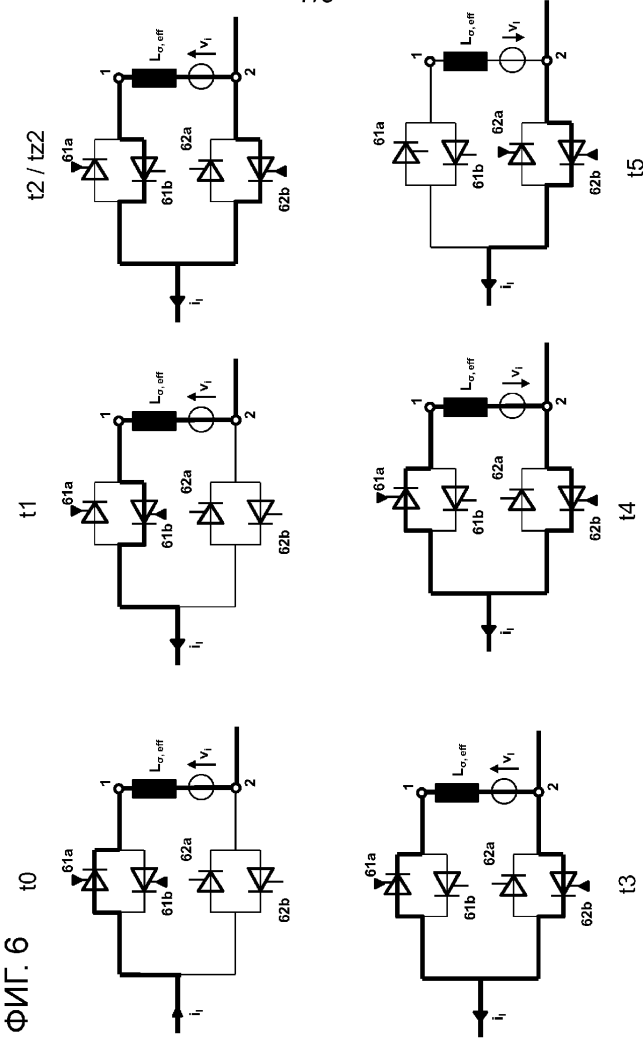
ФИГ. 5а



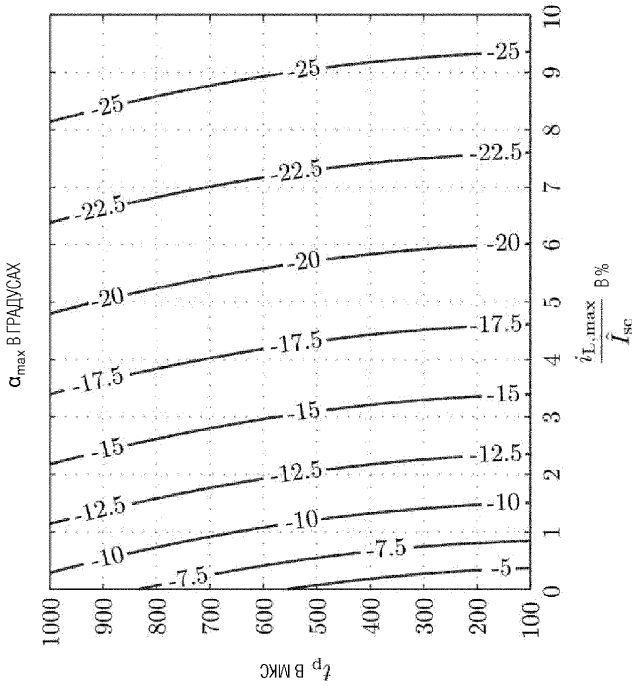
6/9



7/9



ФИГ. 7



ФИГ. 8

