



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2007101701/09**, **11.04.2005**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.04.2005(30) Конвенционный приоритет:
18.06.2004 EP 04405373.4(43) Дата публикации заявки: **27.07.2008**(45) Опубликовано: **10.02.2009 Бюл. № 4**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **JP 11032426 A, 02.02.1999. EP 1398861
A, 17.03.2004. SU 1244746 A1, 15.07.1986.**(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
18.01.2007(86) Заявка РСТ:
CH 2005/000203 (11.04.2005)(87) Публикация РСТ:
WO 2005/124961 (29.12.2005)Адрес для переписки:
**103735, Москва, ул.Ильинка, 5/2, ООО
"Союзпатент", пат.пов. Ю.Б.Перегудовой, рег.
№ 1103**(72) Автор(ы):
**КНАПП Герольд (CH),
ХОХШТУЛЬ Герхард (DE),
ВИЗЕР Рудольф (CH),
МАЙСЕНК Люк (CH)**(73) Патентообладатель(и):
АББ ШВАЙЦ АГ (CH)(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СХЕМЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ДЛЯ КОММУТАЦИИ ТРЕХ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

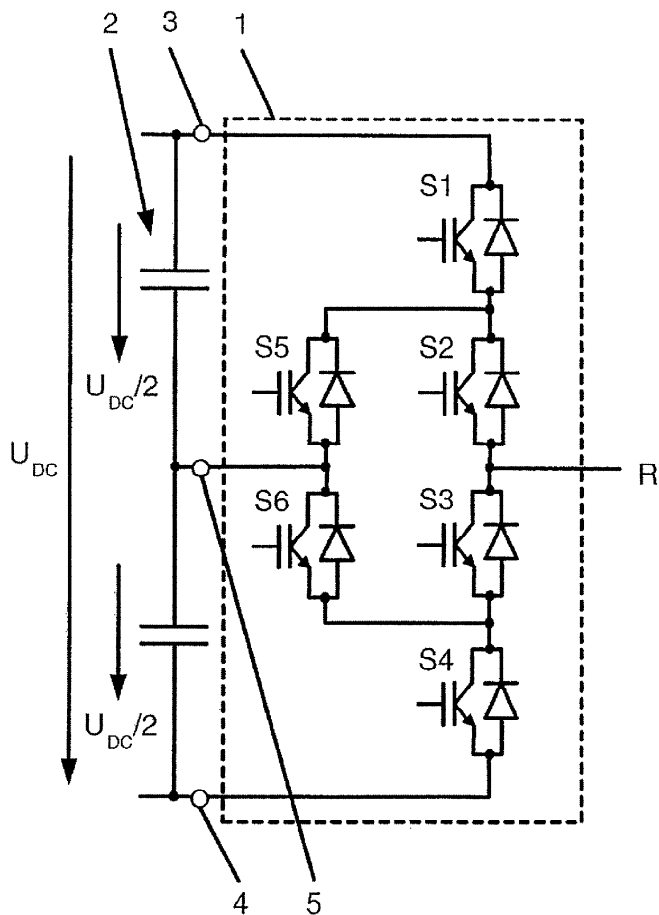
(57) Реферат:

Предложен способ обнаружения и устранения повреждений в схеме преобразователя для коммутации трех уровней напряжения, в котором схема преобразователя содержит на каждую фазу (R, S, T) подсистему (1) преобразователя, при этом детектируют верхнюю (А) или нижнюю (В) цепь тока повреждения в подсистеме (1) преобразователя, причем верхняя цепь (А) тока повреждения проходит через первый (S1), второй (S2), третий (S3) и шестой (S6) силовые полупроводниковые выключатели подсистемы (1) преобразователя или через первый (S1) и пятый (S5) силовые полупроводниковые выключатели подсистемы (1) преобразователя (1), а нижняя цепь (В) тока повреждения проходит через второй (S2), третий (S3), четвертый (S4) и пятый (S5) силовые полупроводниковые выключатели подсистемы (1)

преобразователя или через четвертый (S4) и шестой (S6) силовые полупроводниковые выключатели подсистемы (1) преобразователя, причем силовые полупроводниковые выключатели (S1, S2, S3, S4, S5, S6) включают после последовательности ошибочных коммутаций. Во избежание короткого замыкания всех фаз схемы преобразователя и для достижения ее надежного эксплуатационного состояния в случае повреждения, в случае детектирования верхней (А) или нижней (В) цепи тока повреждения после последовательности ошибочных коммутаций сначала фиксируют имеющееся при детектировании состояние коммутации каждого силового полупроводникового выключателя (S1, S2, S3, S4, S5, S6). В случае детектирования верхней цепи (А) тока повреждения отключают первый силовой полупроводниковый выключатель

(S1), а затем третий силовой полупроводниковый выключатель (S3), а при детектировании нижней цепи (B) тока повреждения отключают четвертый силовой полупроводниковый выключатель (S4), а

затем второй силовой полупроводниковый выключатель (S2). Технический результат - повышение надежности. 9 з.п. ф-лы, 8 ил.



Фиг. 1b

RU 2346369 C2

RU 2346369 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
H02H 7/122 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2007101701/09, 11.04.2005**

(24) Effective date for property rights: **11.04.2005**

(30) Priority:
18.06.2004 EP 04405373.4

(43) Application published: **27.07.2008**

(45) Date of publication: **10.02.2009 Bull. 4**

(85) Commencement of national phase: **18.01.2007**

(86) PCT application:
CH 2005/000203 (11.04.2005)

(87) PCT publication:
WO 2005/124961 (29.12.2005)

Mail address:
**103735, Moskva, ul.Ill'inka, 5/2, OOO
"Sojuzpatent", pat.pov. Ju.B.Peregudovoj,
reg. № 1103**

(72) Inventor(s):
**KNAPP Gerol'd (CH),
KhOKhShTUL' Gerkhard (DE),
VIZER Rudol'f (CH),
MAJSENK Ljuk (CH)**

(73) Proprietor(s):
ABB ShVAJTs AG (CH)

(54) METHOD OF DETECTING AND REMOVING FAULTS IN CONVERTER CIRCUIT FOR THREE LEVEL VOLTAGE COMMUTATION

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

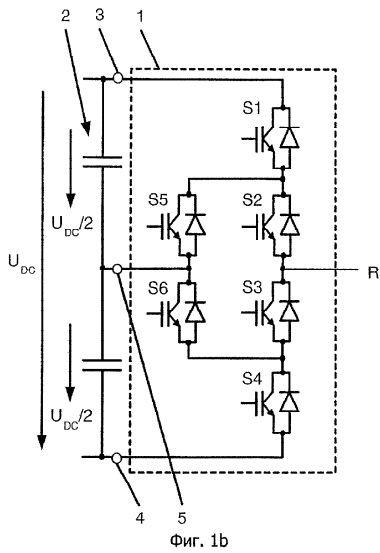
SUBSTANCE: proposed is a method of detecting and removing faults in a converter circuit for three level voltage commutation with the converter circuit containing a converter subsystem per each phase (R, S, T). Detected is the upper (A) or the lower (B) fault current circuit of the converter subsystem (1) with the upper fault current circuit (A) passing through the first (S1), the second (S2), the third (S3) and the sixth (S6) semiconductor power switches of the converter subsystem (1) or through the first (S1) and the fifth (S5) semiconductor power switches of the converter subsystem (1) and the lower fault current circuit (B) passing through the second (S2), the third (S3), the fourth (S4) and the fifth (S5) semiconductor power switches of the converter subsystem (1) or through the fourth (S4) and the sixth (S6) semiconductor power switches of the converter subsystem (1),

the semiconductor power switches (S1, S2, S3, S4, S5, S6) closure being actuated by sequences of faulty commutations. To provide for avoidance of short circuiting with all the phases of the converter circuit as well as for the latter's reliable operability under fault conditions in case of the upper (A) or the lower (B) fault current circuit having been detected after a sequence of faulty commutations the commutation status of each semiconductor switch (S1, S2, S3, S4, S5, S6) occurring during detection is registered the first thing. If the upper fault current circuit (A) has been detected the first (S1) and the third (S3) semiconductor power switches are cut off successively; in case of the lower fault current circuit (B) detection the fourth semiconductor power switch (S4) is cut off first followed by the second semiconductor power switch (S2).

EFFECT: enhanced reliability.
10 cl, 8 dwg

RU 2 346 369 C 2

RU 2 346 369 C 2



Фиг. 1б

Область техники

Изобретение относится к области управления схемами преобразователя. Оно основано на способе обнаружения и устранения повреждений в схеме преобразователя для коммутации трех уровней напряжения согласно ограничительной части п.1 формулы.

5 Уровень техники

Силовые полупроводниковые выключатели в настоящее время все шире используются в технике преобразователей и, в частности, в схемах преобразователя для коммутации трех уровней напряжения. Такая схема преобразователя для коммутации трех уровней напряжения раскрыта в DE 69902227 T2. На фиг.1а изображена традиционная подсистема преобразователя для одной фазы схемы преобразователя, причем изображенная на 10 фиг.1а подсистема преобразователя соответствует подсистеме преобразователя из DE 69902227 T2. На фиг.1а в схеме преобразователя предусмотрена образованная двумя последовательно включенными конденсаторами цепь постоянного напряжения, причем цепь постоянного напряжения содержит первый и второй главные выводы, а также 15 промежуточный вывод, образованный двумя соседними и соединенными между собой конденсаторами. Значения емкостей обоих конденсаторов выбраны обычно одинаковыми по величине. Между первым и вторым главными выводами приложено постоянное напряжение, причем между первым главным и промежуточным выводами, т.е. к первому конденсатору, приложена, следовательно, половина $U_{DC}/2$ постоянного напряжения, а 20 между промежуточным и вторым главным выводами, т.е. к другому конденсатору, приложена, следовательно, также половина постоянного напряжения. Постоянное напряжение обозначено на фиг.1а U_{DC} .

Каждая подсистема преобразователя в схеме преобразователя из DE 69902227 T2 и на 25 фиг.1а содержит первый, второй, третий, четвертый, пятый и шестой силовые полупроводниковые выключатели, причем первый, второй, третий и четвертый силовые полупроводниковые выключатели включены последовательно, первый силовой полупроводниковый выключатель соединен с первым главным выводом, а четвертый силовой полупроводниковый выключатель - со вторым главным выводом. Точка 30 соединения второго силового полупроводникового выключателя с третьим силовым полупроводниковым выключателем образует фазовый вывод. Кроме того, пятый и шестой силовые полупроводниковые выключатели включены последовательно и образуют клеммную коммутационную группу, причем точка соединения пятого силового полупроводникового выключателя с шестым силовым полупроводниковым выключателем соединена с промежуточным выводом, пятый силовой полупроводниковый выключатель 35 соединен с точкой соединения первого силового полупроводникового выключателя со вторым силовым полупроводниковым выключателем, а шестой силовой полупроводниковый выключатель соединен с точкой соединения третьего силового полупроводникового выключателя с четвертым силовым полупроводниковым выключателем. Первый, второй, третий и четвертый силовые полупроводниковые 40 выключатели представляют собой управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели, образованные соответственно биполярным транзистором с изолированным затвором (IGBT) и включенным встречно-параллельно биполярному транзистору диодом. Пятый и шестой силовые полупроводниковые выключатели из DE 69902227 T2 представляют собой неуправляемые однонаправленные 45 силовые полупроводниковые выключатели, образованные соответственно диодом. В этом случае пятый и шестой силовые полупроводниковые выключатели образуют пассивную клеммную коммутационную группу. Возможно также, чтобы пятый и шестой силовые полупроводниковые выключатели представляли собой управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели, образованные соответственно биполярным 50 транзистором с изолированным затвором (IGBT) и включенным встречно-параллельно биполярному транзистору диодом. Тогда пятый и шестой силовые полупроводниковые выключатели образуют активную клеммную коммутационную группу.

В DE 69902227 T2 раскрыт далее способ обнаружения и устранения повреждений в

схеме преобразователя для коммутации трех уровней напряжения. Прежде всего, при возникновении повреждения, например, из-за поврежденного силового полупроводникового выключателя детектируют, находится ли повреждение в верхней или нижней цепи тока повреждения схемы преобразователя. При этом верхняя цепь тока повреждения
5 образована током повреждения, проходящим через первый, второй, третий и шестой силовые полупроводниковые выключатели, или током повреждения, проходящим через первый и пятый силовые полупроводниковые выключатели. Далее нижняя цепь тока повреждения образована током повреждения, проходящим через второй, третий,
10 четвертый и пятый силовые полупроводниковые выключатели, или током повреждения, проходящим через четвертый и шестой силовые полупроводниковые выключатели. Для обнаружения и устранения повреждения после последовательности ошибочных коммутаций отключают силовой полупроводниковый выключатель или силовые полупроводниковые выключатели, которые выходят из насыщения. Для этого необходим контроль каждого силового полупроводникового выключателя за выходом из насыщения
15 посредством устройства контроля за выходом из насыщения. Такой выход силового полупроводникового выключателя, в частности IGBT, из насыщения происходит, например, тогда, когда в главной цепи тока, т.е. между анодом и катодом или между коллектором и эмиттером IGBT, возникает повреждение, например короткое замыкание. Само собой, возможны также другие повреждения. В таком случае ток в главной цепи обычно очень
20 быстро возрастает до высокой амплитуды, что означает, что интеграл тока в зависимости от времени принимает недопустимо высокие значения. Во время этого возникающего сверхтока IGBT выходит из насыщения, причем напряжение анод-катод в IGBT быстро возрастает, в частности, до значения коммутируемого напряжения. За счет этого возникает крайне критическое состояние IGBT: во-первых, IGBT пропускает в главной
25 цепи тока через анод и катод высокий ток (сверхток); во-вторых, одновременно между анодом и катодом IGBT приложено высокое напряжение. Это приводит к предельно высокой мгновенной мощности потерь, что может разрушить IGBT. После отключения вышедшего из насыщения силового полупроводникового выключателя или силовых полупроводниковых выключателей они после последовательности ошибочных коммутаций
30 включаются таким образом, что возникает межфазное короткое замыкание в каждой подсистеме преобразователя, т.е. схема преобразователя короткозамкнута тогда на каждой из своих фаз.

За счет короткого замыкания всех фаз схемы преобразователя из DE 69902227 T2 в затронутой повреждением подсистеме преобразователя и в других подсистемах
35 преобразователя может возникнуть ток короткого замыкания, однако указанный ток короткого замыкания нагружает силовые полупроводниковые выключатели. Нагруженный таким образом силовой полупроводниковый выключатель может из-за этого быстро состариться или может быть даже поврежден, что сильно нарушает готовность схемы преобразователя к работе или, в худшем случае, вообще исключает ее.

40 В JP 11032426 раскрыт способ обнаружения и устранения повреждений в схеме преобразователя для коммутации трех уровней напряжения. Во избежание перенапряжения в одном из силовых полупроводниковых выключателей при обнаружении сверхтока через первый и второй силовые полупроводниковые выключатели и при обнаружении сверхтока через третий и четвертый силовые полупроводниковые
45 выключатели сначала отключают первый и четвертый силовые полупроводниковые выключатели, а затем второй и третий силовые полупроводниковые выключатели.

Раскрытие изобретения

Задачей изобретения является создание способа обнаружения и устранения повреждений в схеме преобразователя для коммутации трех уровней напряжения,
50 который, в основном, обходился бы без короткого замыкания всех фаз схемы преобразователя для достижения надежного эксплуатационного состояния схемы преобразователя в случае повреждения. Эта задача решается посредством признаков п.1 формулы. В зависимых пунктах приведены предпочтительные усовершенствования

изобретения.

В способе обнаружения и устранения повреждений в схеме преобразователя для коммутации трех уровней напряжения схема преобразователя содержит на каждую фазу подсистему преобразователя и включает в себя образованную двумя последовательно включенными конденсаторами цепь постоянного напряжения, причем цепь постоянного напряжения содержит первый и второй главные выводы, а также промежуточный вывод, образованный двумя соседними и соединенными между собой конденсаторами. Далее каждая подсистема преобразователя содержит первый, второй, третий и четвертый управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели и пятый и шестой силовые полупроводниковые выключатели, причем первый, второй, третий и четвертый силовые полупроводниковые выключатели включены последовательно. Первый силовой полупроводниковый выключатель соединен с первым главным выводом, а четвертый силовой полупроводниковый выключатель соединен со вторым главным выводом. Далее пятый и шестой силовые полупроводниковые выключатели включены последовательно, причем точка соединения пятого силового полупроводникового выключателя с шестым силовым полупроводниковым выключателем соединена с промежуточным выводом, пятый силовой полупроводниковый выключатель соединен с точкой соединения первого силового полупроводникового выключателя со вторым силовым полупроводниковым выключателем, а шестой силовой полупроводниковый выключатель соединен с точкой соединения третьего силового полупроводникового выключателя с четвертым силовым полупроводниковым выключателем. Кроме того, детектируют верхнюю или нижнюю цепь тока повреждения в подсистеме преобразователя при возникновении повреждения в подсистеме преобразователя, причем верхняя цепь тока повреждения ведет через первый, второй, третий и шестой силовые полупроводниковые выключатели или через первый и пятый силовые полупроводниковые выключатели, а нижняя цепь тока повреждения ведет через второй, третий, четвертый и пятый силовые полупроводниковые выключатели или через четвертый и шестой силовые полупроводниковые выключатели. К тому же силовые полупроводниковые выключатели включают после последовательности ошибочных коммутаций. Согласно изобретению после последовательности ошибочных коммутаций в случае детектирования верхней или нижней цепи тока повреждения фиксируют имеющееся при детектировании состояние коммутации каждого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя. За счет этого достигается то, что сначала не происходит никакого дальнейшего управления управляемыми двунаправленными силовыми полупроводниковыми выключателями и, тем самым, также никакой коммутационной операции. В случае детектирования верхней цепи тока повреждения в подсистеме преобразователя отключают согласно изобретению первый силовой полупроводниковый выключатель, а затем третий силовой полупроводниковый выключатель подсистемы преобразователя. В случае детектирования нижней цепи тока повреждения в подсистеме преобразователя отключают согласно изобретению четвертый силовой полупроводниковый выключатель, а затем второй силовой полупроводниковый выключатель подсистемы преобразователя. Предпочтительно за счет этого достигается то, что затронутая повреждением подсистема преобразователя и, тем самым, вся схема преобразователя переходят в надежное эксплуатационное состояние. Преимущественно силовые полупроводниковые выключатели не затронутых повреждением подсистем преобразователя в схеме преобразователя отключают. Это позволяет в значительной степени избежать образования тока короткого замыкания в затронутой повреждением подсистеме преобразователя, а также в других подсистемах преобразователя, за счет чего силовые полупроводниковые выключатели затронутой повреждением подсистемы преобразователя, а также силовые полупроводниковые выключатели других подсистем преобразователя подвергаются меньшей нагрузке. Тем самым можно предпочтительно замедлить старение силовых полупроводниковых выключателей или в значительной степени предотвратить их повреждение. В целом, повышается готовность схемы преобразователя к работе.

Кроме того, за счет отключения соответствующих двух силовых полупроводниковых выключателей при детектировании верхней или нижней цепи тока повреждения образуется разрядная цепь тока нагрузки, протекающего в нормальном режиме схемы преобразователя, причем цепь постоянного напряжения за счет отключения

5 соответствующих двух силовых полупроводниковых выключателей защищена к тому же от короткого замыкания.

Эта и другие задачи, преимущества и признаки настоящего изобретения становятся очевидными из нижеследующего подробного описания предпочтительных вариантов его осуществления в сочетании с чертежами.

10 Краткое описание чертежей

На чертежах изображены:

фиг.1а - первый вариант выполнения традиционной подсистемы преобразователя известной схемы преобразователя для коммутации трех уровней напряжения;

фиг.1b - второй вариант выполнения традиционной подсистемы преобразователя известной схемы преобразователя для коммутации трех уровней напряжения;

15 фиг.2а - пример возникновения тока в подсистеме преобразователя, показанной на фиг.1b, при повреждении первого силового полупроводникового выключателя подсистемы преобразователя;

фиг.2b - возникновение тока при повреждении, показанном на фиг.2а, после произошедшей последовательности ошибочных коммутаций, согласно способу обнаружения и устранения повреждений;

фиг.3а - пример возникновения тока в подсистеме преобразователя, показанной на фиг.1b, при повреждении второго силового полупроводникового выключателя подсистемы преобразователя;

25 фиг.3b - возникновение тока при повреждении, показанном на фиг.3а, после произошедшей последовательности ошибочных коммутаций согласно способу обнаружения и устранения повреждений;

фиг.4а - пример логической схемы для детектирования верхней и нижней цепей тока повреждения для подсистемы преобразователя, показанной на фиг.1а;

30 фиг.4b - пример логической схемы для детектирования верхней и нижней цепей тока повреждения для подсистемы преобразователя, показанной на фиг.1b.

Используемые на чертежах ссылочные позиции и их значения перечислены в перечне ссылочных позиций. В принципе, на фигурах одинаковые элементы обозначены одинаковыми ссылочными позициями. Описанные варианты выполнения являются

35 примерами объекта изобретения и не обладают ограничивающим действием.

Осуществление изобретения

На фиг.1а изображен уже описанный выше подробно вариант выполнения традиционной подсистемы 1 преобразователя известной схемы преобразователя для коммутации трех уровней напряжения. Схема преобразователя имеет на каждую фазу R, S, T подсистему 1 преобразователя, причем на фиг.1а показана только подсистема 1 преобразователя для фазы R. Схема преобразователя включает в себя образованную двумя последовательно включенными конденсаторами цепь 2 постоянного напряжения, причем цепь 2 постоянного напряжения содержит первый главный вывод 3 и второй главный вывод 4, а также промежуточный вывод 5, образованный двумя соседними и соединенными между собой

45 конденсаторами. Далее подсистема 1 преобразователя содержит первый S1, второй S2, третий S3 и четвертый S4 управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели и пятый S5 и шестой S6 силовые полупроводниковые выключатели. Соответствующий управляемый двунаправленный силовой полупроводниковый выключатель S1, S2, S3, S4 образован, в частности, биполярным транзистором с

50 изолированным затвором (IGBT) и включенным встречно-параллельно биполярному транзистору диодом. Возможно также выполнение описанного выше управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя, например, в виде силового МОП-транзистора с дополнительно встречно-параллельно включенным диодом. На фиг.1а

пятый S5 и шестой S6 силовые полупроводниковые выключатели представляют собой неуправляемые однонаправленные силовые полупроводниковые выключатели, образованные соответственно диодом. В этом случае пятый и шестой силовые полупроводниковые выключатели образуют пассивную клеммную коммутационную группу.

5 На фиг.1а первый S1, второй S2, третий S3 и четвертый S4 силовые полупроводниковые выключатели включены последовательно, первый силовой полупроводниковый выключатель S1 соединен с первым главным выводом 3, а четвертый силовой полупроводниковый выключатель S4 соединен со вторым главным выводом 4. Далее пятый S5 и шестой S6 силовые полупроводниковые выключатели включены
10 последовательно, причем точка соединения пятого силового полупроводникового выключателя S5 с шестым силовым полупроводниковым выключателем S6 соединена с промежуточным выводом 5, пятый силовой полупроводниковый выключатель S5 соединен с точкой соединения первого силового полупроводникового выключателя S1 со вторым силовым полупроводниковым выключателем S2, а шестой силовой полупроводниковый
15 выключатель S6 соединен с точкой соединения третьего силового полупроводникового выключателя S3 с четвертым силовым полупроводниковым выключателем S4.

На фиг.1b изображен второй вариант выполнения традиционной подсистемы 1 преобразователя известной схемы преобразователя для коммутации трех уровней
20 напряжения. В отличие от первого варианта выполнения подсистемы преобразователя, показанного на фиг.1а, пятый S5 и шестой S6 силовые полупроводниковые выключатели представляют собой управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели, образованные соответственно биполярным транзистором с изолированным затвором (IGBT) и включенным встречно-параллельно биполярному транзистору диодом. На фиг.1b пятый S5 и шестой S6 силовые полупроводниковые выключатели образуют
25 активную клеммную коммутационную группу.

В способе обнаружения и устранения повреждений в схеме преобразователя для коммутации трех уровней напряжения при возникновении повреждения в подсистеме 1 преобразователя детектируют верхнюю А или нижнюю В цепь тока повреждения в подсистеме 1 преобразователя, причем верхняя цепь А тока повреждения ведет через
30 первый S1, второй S2, третий S3 и шестой S6 силовые полупроводниковые выключатели или через первый S1 и пятый S5 силовые полупроводниковые выключатели, а нижняя цепь В тока повреждения ведет через второй S2, третий S3, четвертый S4 и пятый S5 силовые полупроводниковые выключатели или через четвертый S4 и шестой S6 силовые полупроводниковые выключатели. Далее управляемые двунаправленные силовые
35 полупроводниковые выключатели S1, S2, S3, S4, S5, S6, т.е. в варианте выполнения, показанном на фиг.1а, силовые полупроводниковые выключатели S1, S2, S3, S4, а в варианте выполнения на фиг.1b силовые полупроводниковые выключатели S1, S2, S3, S4, S5, S6, включаются после последовательности ошибочных коммутаций. Например, на фиг.2а показано возникновение тока в подсистеме преобразователя, показанной на
40 фиг.1b, при повреждении первого силового полупроводникового выключателя S1 подсистемы 1 преобразователя. Этот поврежденный первый силовой полупроводниковый выключатель S1 обозначен звездочкой. При этом, как уже упомянуто, образуется одна из верхних цепей А тока повреждения, например, через первый S1, второй S2, третий S3 и шестой S6 силовые полупроводниковые выключатели. Далее на фиг.2а для полноты
45 обозначена также первоначальная цепь тока до повреждения для тока С нагрузки к фазе.

Согласно изобретению после последовательности ошибочных коммутаций в случае детектирования верхней А или нижней В цепи тока повреждения фиксируют имеющееся при детектировании состояние коммутации каждого управляемого двунаправленного
50 силового полупроводникового выключателя S1, S2, S3, S4. За счет этого достигается то, что, прежде всего, не происходит никакого дальнейшего управления управляемыми двунаправленными силовыми полупроводниковыми выключателями S1, S2, S3, S4 и, тем самым, также никакой коммутационной операции. В случае детектирования верхней цепи А тока повреждения после последовательности ошибочных коммутаций отключают первый

силовой полупроводниковый выключатель S1, а затем третий силовой полупроводниковый выключатель S3. Кроме того, в случае детектирования нижней цепи В тока повреждения после последовательности ошибочных коммутаций отключают четвертый силовой полупроводниковый выключатель S4, а затем второй силовой полупроводниковый выключатель S2. В результате затронутая повреждением подсистема 1 преобразователя и, тем самым, вся схема преобразователя переходят в надежное эксплуатационное состояние. Образования тока короткого замыкания в затронутой повреждением подсистеме 1 преобразователя, а также в других подсистемах 1 преобразователя можно избежать, что означает, что силовые полупроводниковые выключатели S1, S2, S3, S4, S5, S6 затронутой повреждением подсистемы 1 преобразователя, а также силовые полупроводниковые выключатели других подсистем 1 преобразователя других фаз R, S, T подвергаются меньшей нагрузке. Старение силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6 можно, тем самым, замедлить или в значительной степени предотвратить их повреждение. В целом, повышается готовность схемы преобразователя к работе. К тому же упрощается обслуживание схемы преобразователя, поскольку, как правило, при повреждении повреждается меньше силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6 и, следовательно, приходится меньше заменять их.

Кроме того, за счет отключения соответствующих двух силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4 при детектировании верхней А или нижней В цепи тока повреждения образуется разрядная цепь для тока С нагрузки, протекающего в нормальном режиме схемы преобразователя, причем цепь постоянного напряжения защищена к тому же от короткого замыкания за счет отключения соответствующих двух силовых полупроводниковых выключателей. На фиг.2b в качестве примера этого показано образование тока при повреждении, показанном на фиг.2a, после произошедшей и подробно описанной выше последовательности ошибочных коммутаций в соответствии с предложенным способом обнаружения и устранения повреждений. Здесь первый S1 и третий S3 силовые полупроводниковые выключатели отключены, причем четвертый силовой полупроводниковый выключатель S4 выключен в любом случае, к третьему S3 и четвертому S4 силовым полупроводниковым выключателям приложена соответственно половина $U_{DC}/2$ постоянного напряжения цепи постоянного напряжения, а ток С нагрузки течет через поврежденный первый S1 и второй S2 силовые полупроводниковые выключатели, как до повреждения первого силового полупроводникового выключателя S1. Таким образом, в целом, достигается надежное эксплуатационное состояние затронутой повреждением подсистемы 1 преобразователя и за счет этого также всей схемы преобразователя.

На фиг.3a в качестве примера показано образование тока в подсистеме 1 преобразователя, представленной на фиг.1b, при повреждении ее второго силового полупроводникового выключателя S2, обозначенного звездочкой. При этом, как уже сказано, одна из нижних цепей В тока повреждения образуется, например, через второй S2, третий S3, четвертый S4 и пятый S5 силовые полупроводниковые выключатели. Далее на фиг.3a для полноты обозначена первоначальная цепь тока С нагрузки к фазе до повреждения.

На фиг.3b в качестве примера показано образование тока при повреждении, проиллюстрированном на фиг.3a, после произошедшей и подробно описанной выше последовательности ошибочных коммутаций с помощью предложенного способа обнаружения и устранения повреждений. Здесь четвертый S4 и второй S2 силовые полупроводниковые выключатели отключены, причем первый силовой полупроводниковый выключатель S1 выключен в любом случае, к первому S1 и четвертому S4 силовым полупроводниковым выключателям приложена соответственно половина $U_{DC}/2$ постоянного напряжения цепи постоянного напряжения, а ток С нагрузки течет через пятый S5 и поврежденный второй S2 силовые полупроводниковые выключатели, как до повреждения второго силового полупроводникового выключателя S2. Таким образом, в целом, достигается надежное эксплуатационное состояние затронутой повреждением

подсистемы 1 преобразователя и за счет этого также всей схемы преобразователя даже при повреждении в нижней цепи В тока повреждения.

На фиг.1b, как уже описано выше, пятый S5 и шестой S6 силовые полупроводниковые выключатели представляют собой управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели. В способе согласно изобретению в случае детектирования верхней цепи А тока повреждения после последовательности ошибочных коммутаций включают шестой силовой полупроводниковый выключатель S6 перед отключением первого силового полупроводникового выключателя S1, в частности, тогда, когда шестой силовой полупроводниковый выключатель S6 предварительно еще не был включен. В случае детектирования нижней цепи В тока повреждения после последовательности ошибочных коммутаций включают пятый силовой полупроводниковый выключатель S5 перед отключением четвертого силового полупроводникового выключателя S4, в частности, тогда, когда пятый силовой полупроводниковый выключатель S5 предварительно еще не был включен. Этим достигается уже упомянутое надежное эксплуатационное состояние подсистемы преобразователя, показанной на фиг.1b, и, тем самым, также всей схемы преобразователя.

Оказалось предпочтительным, что в случае детектирования верхней цепи А тока повреждения третий силовой полупроводниковый выключатель S3 отключают с выбираемым временем t_v задержки относительно первого силового полупроводникового выключателя S1, а в случае детектирования нижней цепи В тока повреждения второй силовой полупроводниковый выключатель S2 отключают с выбираемым временем t_v задержки относительно четвертого силового полупроводникового выключателя S4. Благодаря этому первый силовой полупроводниковый выключатель S1 уже отключен, когда отключается третий силовой полупроводниковый выключатель S3, а четвертый силовой полупроводниковый выключатель S4 уже отключен, когда отключается второй силовой полупроводниковый выключатель S2. Предпочтительно время t_v задержки выбирают порядка 1-5 мкс.

Согласно изобретению отключают управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели S1, S2, S3, S4, S5, S6 не затронутых повреждением подсистем 1 преобразователя схемы преобразователя, в результате чего гарантировано предотвращение образования тока короткого замыкания в не затронутых повреждением подсистемах 1 преобразователя, как это происходит в способе, известном из уровня техники, за счет короткого замыкания всех фаз R, S, T схемы преобразователя. Силовые полупроводниковые выключатели S1, S2, S3, S4, S5, S6 не затронутых повреждением подсистем 1 преобразователя подвержены, тем самым, по сравнению с известными способами меньшей нагрузке. Предпочтительно при отключении управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6 не затронутых повреждением подсистем 1 преобразователя схемы преобразователя соответствующий «внешний» управляемый двунаправленный силовой полупроводниковый выключатель S1, S4, т.е. первый S1 или четвертый S4, отключается перед соответствующим «внутренним» управляемым двунаправленным силовым полупроводниковым выключателем S2, S3, т.е. вторым S2 и третьим S3.

Ниже подробно описаны возможности детектирования верхней А и нижней В цепей тока повреждения.

Для детектирования верхней А или нижней В цепи тока повреждения контролируют выход из насыщения каждого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S1, S2, S3, S4, S5, S6 подсистем 1 преобразователя фаз R, S, T, а также направление тока через промежуточный вывод 5 каждой подсистемы 1 преобразователя. Для контроля направления тока через промежуточный вывод 5 контролируют преимущественно пороговое значение тока или сравнивают ток с пороговым значением для детектирования направления тока даже «зашумленного» тока. Верхнюю цепь А тока повреждения детектируют тогда, когда первый S1, второй S2, третий S3, пятый S5 или шестой S6 управляемый двунаправленный силовой полупроводниковый

выключатель вышел из насыщения и детектируется ток через промежуточный вывод 5 в направлении цепи 2 постоянного напряжения. Напротив, нижнюю цепь В тока повреждения детектируют при выходе из насыщения второго S2, третьего S3, четвертого S4, пятого S5 или шестого S6 управляемого двунаправленного силового полупроводникового

5 выключателя и когда ток через промежуточный вывод 5 имеет направление из цепи 2 постоянного напряжения. Для контроля направления тока через промежуточный вывод 5 на этом выводе 5 предусмотрен предпочтительно соответствующий датчик.

В качестве альтернативы описанному выше детектированию верхней А или нижней В цепи тока повреждения также контролируют выход из насыщения каждого управляемого
10 двунаправленного силового полупроводникового выключателя S1, S2, S3, S4, S5, S6, но при этом контролируют ток через первый главный вывод 3 и ток через второй главный вывод 4. Для контроля соответствующего тока через первый 3 или второй 4 главные выходы контролируют предпочтительно пороговое значение соответствующего тока, для того чтобы гарантированно детектировать соответствующий ток, даже «зашумленный» ток.
15 Верхнюю цепь А тока повреждения детектируют тогда, когда первый S1, второй S2, третий S3, пятый S5 или шестой S6 управляемый двунаправленный силовой полупроводниковый выключатель вышел из насыщения, и детектируется ток через первый главный вывод 3. Напротив, нижнюю цепь В тока повреждения детектируют тогда, когда второй S2, третий S3, четвертый S4, пятый S5 или шестой S6 управляемые двунаправленные силовые
20 полупроводниковые выключатели вышли из насыщения, и детектируется ток через второй главный вывод 4. Для контроля тока в верхней А или нижней В цепи тока повреждения на первом 3 и втором 4 главных выводах предусмотрен предпочтительно соответствующий датчик, который должен быть в состоянии детектировать только ток, но не его направление. Такой датчик тока является простым и, тем самым, стабильным.

25 В качестве альтернативы описанному выше детектированию верхней А или нижней В цепи тока повреждения сначала контролируют пороговое значение $U_{ce,th}$ напряжения U_{ce} анод-катод каждого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S1, S2, S3, S4, S5, S6. В частности, этот контроль напряжения U_{ce} анод-катод осуществляют в подсистеме 1 преобразователя, показанной на фиг.1а, у
30 управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, а в подсистеме 1 преобразователя, показанной на фиг.1b, - у управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6. На фиг.4а изображен пример логической схемы для детектирования верхней А и нижней В цепей тока повреждения для подсистемы 1 преобразователя, показанной на фиг.1а. На
35 фиг.4b изображен пример логической схемы для детектирования верхней А и нижней В цепей тока повреждения для подсистемы 1 преобразователя, показанной на фиг.1b. Изображенные на фиг.4а сигналы SS1, SS2, SS3, SS4 состояния коммутации управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4 и
40 изображенные на фиг.4b сигналы SS1, SS2, SS3, SS4, SS5, SS6 состояния коммутации управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6 являются логическими величинами, причем сигнал SS1, SS2, SS3, SS4, SS5, SS6 состояния коммутации является логическим нулем для выключенного соответствующего управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S1, S2, S3, S4, S5, S6 и логической единицей для включенного соответствующего управляемого
45 двунаправленного силового полупроводникового выключателя S1, S2, S3, S4, S5, S6. Кроме того, изображенные на фиг.4а сигналы $S_{U_{ce}1}$, $S_{U_{ce}2}$, $S_{U_{ce}3}$, $S_{U_{ce}4}$ порогового значения для управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, контролируемых на пороговое значение $U_{ce, th}$ соответствующего напряжения U_{ce} анод-катод, и изображенные на фиг.4b сигналы $S_{U_{ce}1}$, $S_{U_{ce}2}$, $S_{U_{ce}3}$,
50 $S_{U_{ce}4}$, $S_{U_{ce}5}$, $S_{U_{ce}6}$ пороговых значений соответствующих управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6 являются логическими величинами, причем сигнал $S_{U_{ce}1}$, $S_{U_{ce}2}$, $S_{U_{ce}3}$, $S_{U_{ce}4}$, $S_{U_{ce}5}$, $S_{U_{ce}6}$ порогового значения является логическим нулем для напряжения U_{ce} анод-катод

соответствующего силового полупроводникового выключателя S1, S2, S3, S4, S5, S6, превышающего пороговое значение U_{ce} , и логической единицей для напряжения U_{ce} анод-катод соответствующего силового полупроводникового выключателя S1, S2, S3, S4, S5, S6 ниже порогового значения U_{ce} , th.

5 Верхнюю цепь А тока повреждения детектирую согласно изобретению при превышении порогового значения U_{ce} , th у одного или нескольких включенных управляемых
двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6 и
выключенного четвертого управляемого двунаправленного силового полупроводникового
10 выключателя S4, когда превышено пороговое значение U_{ce} , th или превышено пороговое значение U_{ce} , th у одного или нескольких включенных управляемых двунаправленных
15 силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6 и включенного первого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S1. Верхнюю цепь А тока повреждения детектируют согласно изобретению также при переходе вниз за пороговое значение U_{ce} , th у одного или нескольких выключенных управляемых
20 двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4 и выключенного четвертого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S4, когда превышено пороговое значение U_{ce} , th или при переходе вниз за пороговое значение U_{ce} , th у одного или нескольких выключенных управляемых
25 двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4 и включенного первого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S1.

Напротив, нижнюю цепь В тока повреждения детектируют согласно изобретению, когда
превышено пороговое значение U_{ce} , th у одного или нескольких включенных управляемых
двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6 и у
25 выключенного первого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S1 превышено пороговое значение U_{ce} , th, или когда превышено пороговое значение U_{ce} , th у одного или нескольких включенных управляемых двунаправленных
30 силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4, S5, S6 и включенного четвертого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S4. Нижнюю цепь В тока повреждения детектируют согласно изобретению также при переходе вниз за пороговое значение U_{ce} , th у одного или нескольких выключенных
35 управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4 и выключенного первого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S1 с превышенным пороговым значением U_{ce} , th или при переходе вниз за пороговое значение U_{ce} , th у одного или нескольких выключенных управляемых
40 двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей S1, S2, S3, S4 и включенного четвертого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя S4. Предпочтительно благодаря этому виду детектирования верхней А и нижней В цепей тока повреждения можно полностью отказаться от датчиков тока для детектирования, так что можно сократить затраты на проводные соединения и материал и выполнить
45 подсистему преобразователя проще и дешевле. Кроме того, уменьшается подсистема 1 преобразователя к помехам и, тем самым, всей схемы преобразователя, что приводит к повышенной готовности преобразователя к работе.

Перечень ссылочных позиций

- 1 - подсистема преобразователя
- 45 2 - цепь постоянного напряжения
- 3 - первый главный вывод
- 4 - второй главный вывод
- 5 - промежуточный вывод
- S1 - первый силовой полупроводниковый выключатель
- 50 S2 - второй силовой полупроводниковый выключатель
- S3 - третий силовой полупроводниковый выключатель
- S4 - четвертый силовой полупроводниковый выключатель
- S5 - пятый силовой полупроводниковый выключатель

S6 - шестой силовой полупроводниковый выключатель

A - верхняя цепь тока повреждения

B - нижняя цепь тока повреждения

C - цепь тока нагрузки

5

Формула изобретения

1. Способ обнаружения и устранения повреждений в схеме преобразователя для коммутации трех уровней напряжения, в котором схема преобразователя содержит на каждую фазу (R, S, T) подсистему (1) преобразователя и включает в себя образованную

10 двумя последовательно включенными конденсаторами цепь (2) постоянного напряжения, причем цепь (2) постоянного напряжения содержит первый (3) и второй (4) главные выводы, а также промежуточный вывод (5), образованный двумя соседними и соединенными между собой конденсаторами, каждая подсистема содержит первый (S1),

15 второй (S2), третий (S3) и четвертый (S4) управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели и пятый (S5) и шестой (S6) силовые полупроводниковые выключатели, причем первый (S1), второй (S2), третий (S3) и четвертый (S4) силовые полупроводниковые выключатели включены последовательно, первый силовой полупроводниковый выключатель (S1) соединен с первым главным выводом (3), а четвертый силовой полупроводниковый выключатель (S4) соединен со вторым главным

20 выводом (4), пятый (S5) и шестой (S6) силовые полупроводниковые выключатели включены последовательно, точка соединения пятого силового полупроводникового выключателя (S5) с шестым силовым полупроводниковым выключателем (S6) соединена с промежуточным выводом (5), пятый силовой полупроводниковый выключатель (S5) соединен с точкой соединения первого силового полупроводникового выключателя (S1) со

25 вторым силовым полупроводниковым выключателем (S2), а шестой силовой полупроводниковый выключатель (S6) соединен с точкой соединения третьего силового полупроводникового выключателя (S3) с четвертым силовым полупроводниковым выключателем (S4), при этом детектируют верхнюю (A) или нижнюю (B) цепь тока повреждения в подсистеме (1) преобразователя, причем верхняя цепь (A) тока повреждения проходит через первый (S1), второй (S2), третий (S3) и шестой (S6)

30 силовые полупроводниковые выключатели или через первый (S1) и пятый (S5) силовые полупроводниковые выключатели, а нижняя цепь (B) тока повреждения проходит через второй (S2), третий (S3), четвертый (S4) и пятый (S5) силовые полупроводниковые выключатели или через четвертый (S4) и шестой (S6) силовые полупроводниковые

35 выключатели, отличающийся тем, что после последовательности ошибочных коммутаций в случае детектирования верхней (A) или нижней (B) цепи тока повреждения фиксируют имеющееся при детектировании состояние коммутации каждого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя (S1, S2, S3, S4), при этом в случае детектирования верхней цепи (A) тока повреждения отключают первый силовой полупроводниковый выключатель (S1), а затем третий силовой полупроводниковый

40 выключатель (S3), а в случае детектирования нижней цепи (B) тока повреждения отключают четвертый силовой полупроводниковый выключатель (S4), а затем второй силовой полупроводниковый выключатель (S2).

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что пятый (S5) и шестой (S6) силовые

45 полупроводниковые выключатели представляют собой управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели, причем в случае детектирования верхней цепи (A) тока повреждения перед отключением первого силового полупроводникового выключателя (S1) включают шестой силовой полупроводниковый выключатель (S6), а в случае детектирования нижней цепи (B) тока повреждения перед отключением четвертого

50 силового полупроводникового выключателя (S4) включают пятый силовой полупроводниковый выключатель (S5).

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в случае детектирования верхней цепи (A) тока повреждения третий силовой полупроводниковый выключатель (S3) отключают с

выбираемым временем (t_v) задержки относительно первого силового полупроводникового выключателя (S1), при этом в случае детектирования нижней цепи (B) тока повреждения второй силовой полупроводниковый выключатель (S2) отключают с выбираемым временем (t_v) задержки относительно четвертого силового полупроводникового выключателя (S4).

5 4. Способ по п.3, отличающийся тем, что время (t_v) задержки выбирают порядка 1-5 мкс.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что отключают управляемые двунаправленные силовые полупроводниковые выключатели (S1, S2, S3, S4, S5, S6) не затронутых повреждением подсистем (1) преобразователя.

10 6. Способ по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что для детектирования верхней (A) или нижней (B) цепи тока повреждения контролируют выход из насыщения каждого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя (S1, S2, S3, S4, S5, S6), при этом контролируют направление тока через промежуточный вывод (5).

15 7. Способ по п.6, отличающийся тем, что верхнюю цепь (A) тока повреждения детектируют при выходе из насыщения первого (S1), второго (S2), третьего (S3), пятого (S5) или шестого (S6) управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя и токе через промежуточный вывод (5) в направлении цепи (2) постоянного напряжения, а нижнюю цепь (B) тока повреждения детектируют при выходе из насыщения второго (S2), третьего (S3), четвертого (S4), пятого (S5) или шестого (S6) управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя и токе через
20 промежуточный вывод (5) от направления цепи (2) постоянного напряжения.

8. Способ по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что для детектирования верхней (A) или нижней (B) цепи тока повреждения контролируют выход из насыщения каждого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя (S1, S2, S3, S4, S5, S6), при этом контролируют ток через первый главный вывод (3) и ток через
25 второй главный вывод (4).

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что верхнюю (A) цепь тока повреждения детектируют при выходе из насыщения первого (S1), второго (S2), третьего (S3), пятого (S5) или шестого (S6) управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя и токе через первый главный вывод (3), а нижнюю цепь (B) тока повреждения
30 детектируют при выходе из насыщения второго (S2), третьего (S3), четвертого (S4), пятого (S5) или шестого (S6) управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя и токе через второй главный вывод (4).

10. Способ по любому из пп.1-5, отличающийся тем, что контролируют пороговое значение (U_{ce} , t_h) напряжения (U_{ce}) анод-катод каждого управляемого двунаправленного
35 силового полупроводникового выключателя (S1, S2, S3, S4, S5, S6), при этом верхнюю цепь (A) тока повреждения детектируют:

(a1) когда превышено пороговое значение (U_{ce} , t_h) у одного или нескольких включенных управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей (S1, S2, S3, S4, S5, S6), и у выключенного четвертого управляемого двунаправленного
40 силового полупроводникового выключателя (S4) превышено пороговое значение (U_{ce} , t_h), или

(b1) когда превышено пороговое значение (U_{ce} , t_h) у одного или нескольких включенных управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей (S1, S2, S3, S4, S5, S6) и включенного первого управляемого двунаправленного силового
45 полупроводникового выключателя (S1), или

(c1) при переходе вниз за пороговое значение (U_{ce} , t_h) у одного или нескольких выключенных управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей (S1, S2, S3, S4), и когда у выключенного четвертого управляемого двунаправленного
50 силового полупроводникового выключателя (S4) превышено пороговое значение (U_{ce} , t_h), или

(d1) при переходе вниз за пороговое значение (U_{ce} , t_h) у одного или нескольких выключенных управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей (S1, S2, S3, S4) и у включенного первого управляемого двунаправленного силового

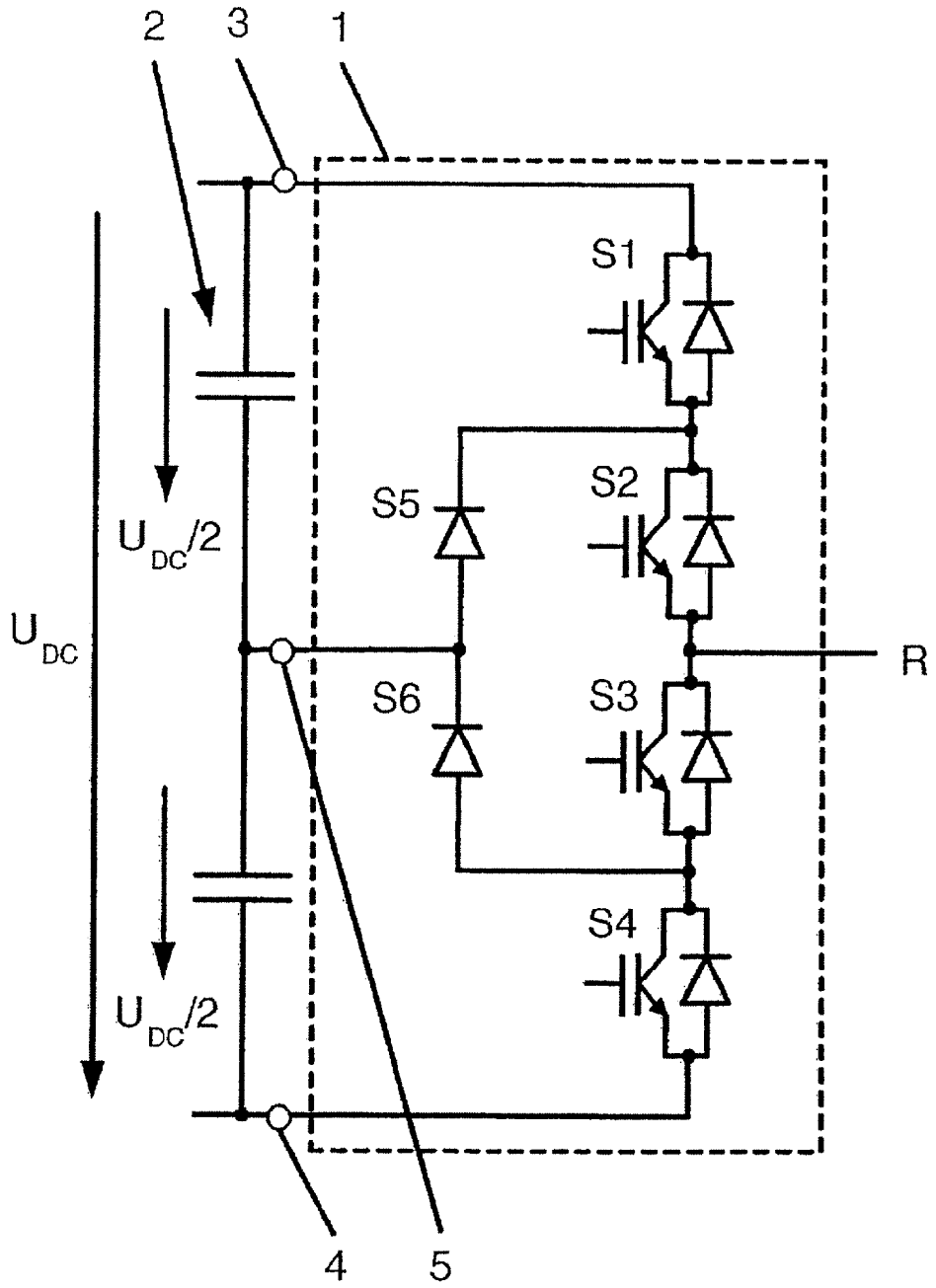
полупроводникового выключателя (S1),

при этом нижнюю цепь (B) тока повреждения детектируют:

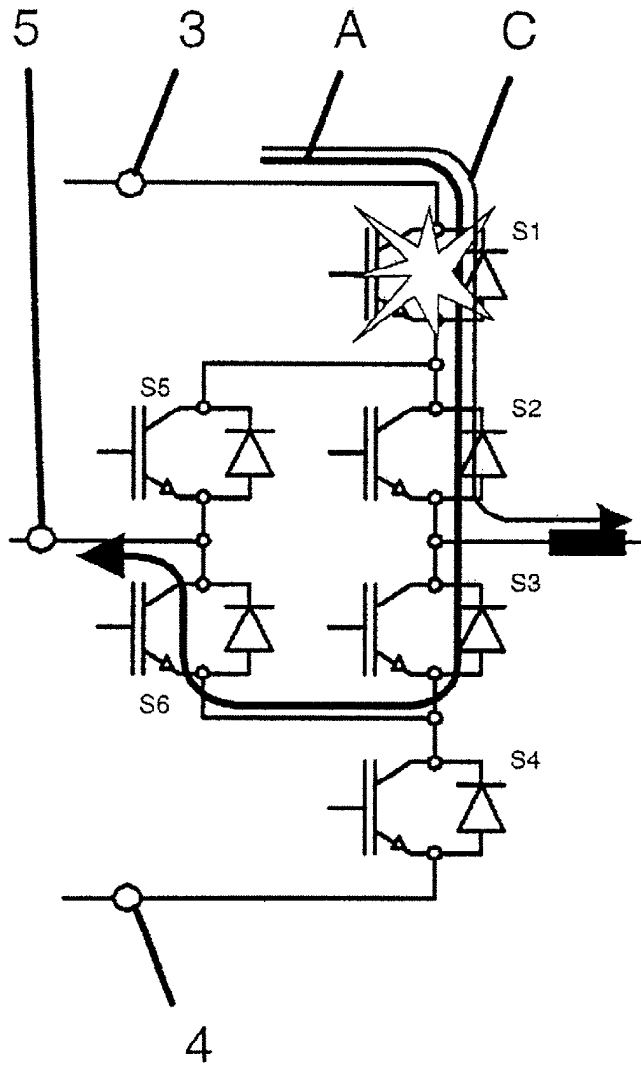
(a2) когда превышено пороговое значение (U_{se} , th) у одного или нескольких включенных управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей (S1, S2, S3, S4, S5, S6), и у выключенного первого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя (S1) превышено пороговое значение (U_{se} , th), или

(b2) когда превышено пороговое значение (U_{se} , th) у одного или нескольких включенных управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей (S1, S2, S3, S4, S5, S6) и у включенного четвертого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя (S4), или

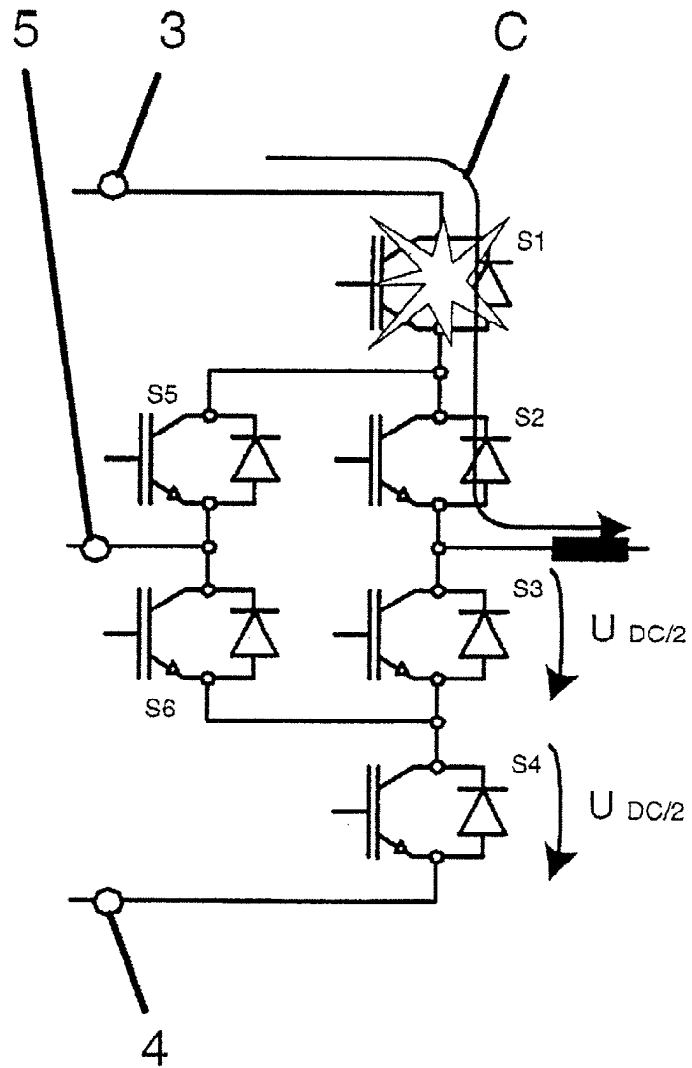
(c2) при переходе вниз за пороговое значение (U_{se} , th) у одного или нескольких выключенных управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей (S1, S2, S3, S4) и при превышении порогового значения (U_{se} , th) у выключенного первого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя (S1), или (d2) при переходе вниз за пороговое значение (U_{se} , th) у одного или нескольких выключенных управляемых двунаправленных силовых полупроводниковых выключателей (S1, S2, S3, S4) и у включенного четвертого управляемого двунаправленного силового полупроводникового выключателя (S4).



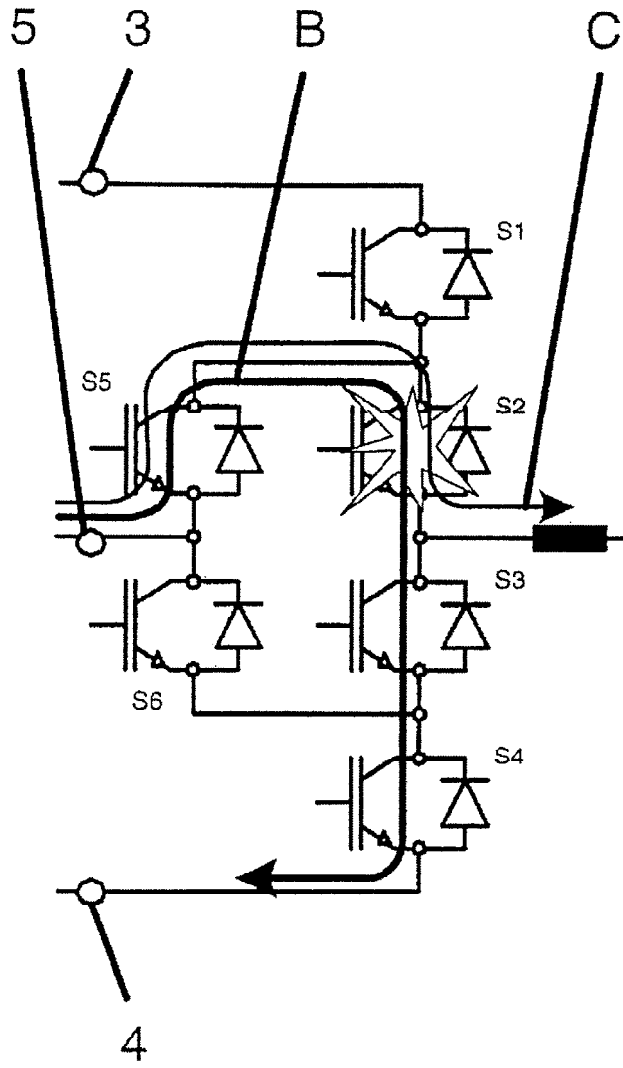
Фиг. 1а



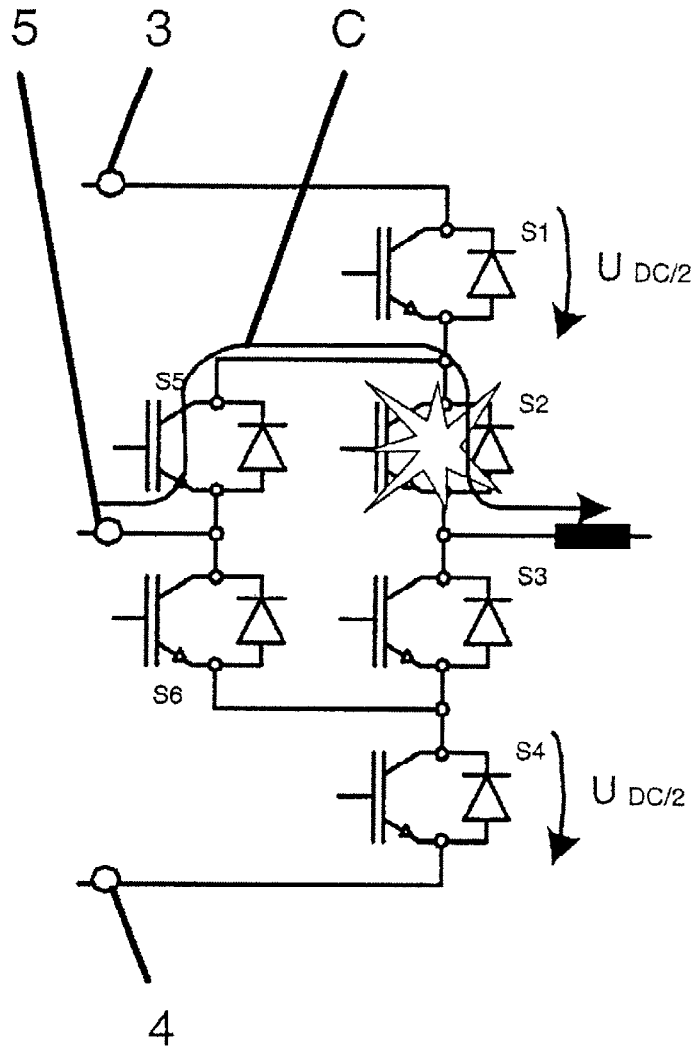
Фиг. 2а



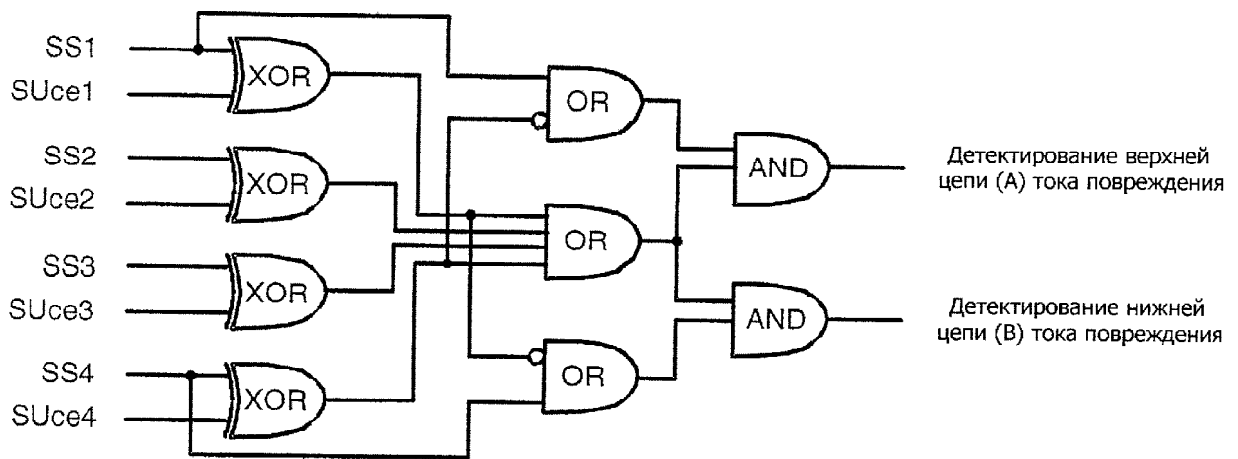
Фиг. 2b



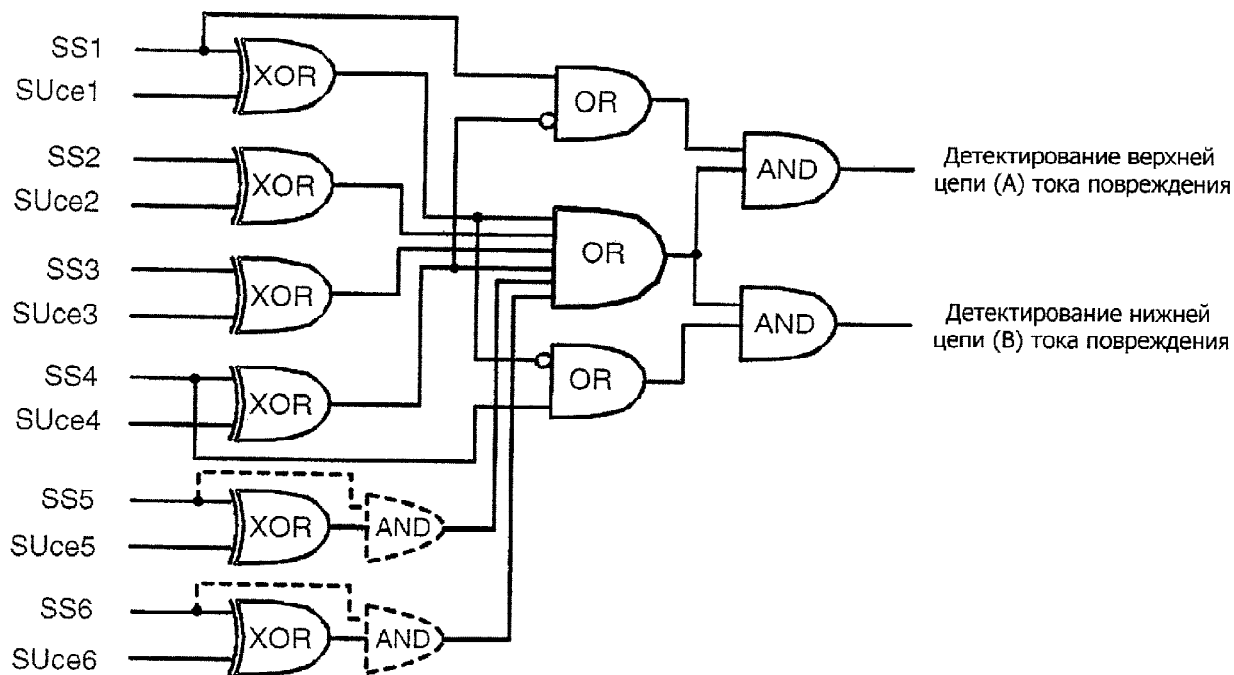
Фиг. 3а



Фиг. 3б



Фиг. 4а



Фиг. 4б