РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 2 479 058 (13) C2

(51) МПК
H01F 29/04 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2011111525/07, 27.08.2008**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.08.2008

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **27.08.2008**

(43) Дата публикации заявки: **10.10.2012** Бюл. № 28

(45) Опубликовано: **10.04.2013** Бюл. № **10**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **WO 97/05536 A, 13.02.1997. CN 201004369 Y, 09.01.2008. SU 642691 A, 15.01.1979.**

(85) Дата начала рассмотрения заявки PCT на национальной фазе: **28.03.2011**

(86) Заявка PCT:
EP 2008/007002 (27.08.2008)

(87) Публикация заявки PCT:
WO 2010/022750 (04.03.2010)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову, рег.№ 595

(72) Автор(ы):
БРЮКЛЬ Оливер (DE),
ДОНАЛЬ Дитер (DE),
ЛЕССМАНН-МИСКЕ Ханс-Хеннинг (DE)

(73) Патентообладатель(и):
МАШИНЕНФАБРИК РАЙНХАУЗЕН ГМБХ (DE)

RU 2479058 C2

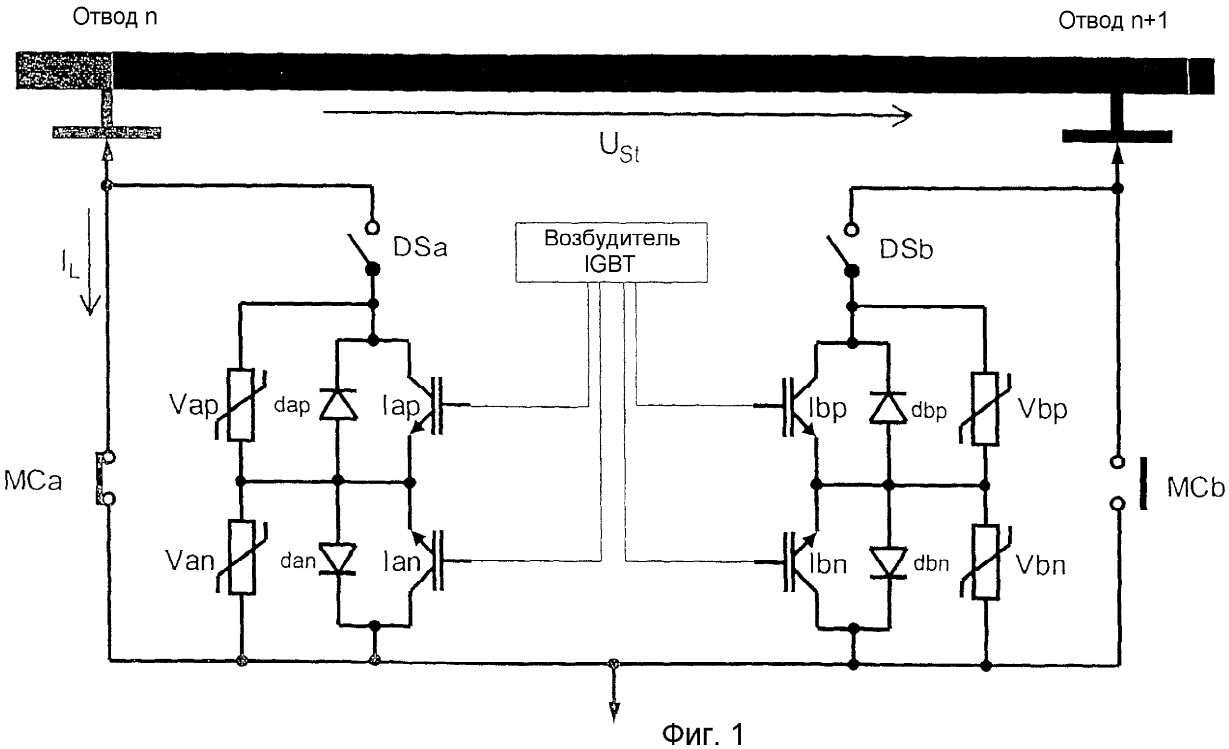
(54) ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ СТУПЕНЕЙ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к переключателю ступеней обмоток трансформатора с полупроводниковыми переключающими элементами для безобрывного переключения между двумя отводами (отвод n, отвод n+1) обмотки трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения, причем каждый из обоих отводов обмотки через соответствующий механический переключатель (DS) и последовательно с ним расположенную схему последовательного соединения из двух противоположно включенных IGBT (I_P, I_n) соединен с общим нагрузочным выводом. В соответствии с изобретением каждый IGBT шунтируется соответствующим одним параллельно к нему подключенным, особым образом рассчитанным варистором (V_p, V_n). Технический результат - отсутствие необходимости в специальной настройке на соответствующий номинальный ток. 2 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2479058 C2

Принципиальная схема 1



Фиг. 1

RU 2479058 C2

RU 2479058 C2

RUSSIAN FEDERATION

(19) **RU** (11) **2 479 058** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
H01F 29/04 (2006.01)

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2011111525/07, 27.08.2008**

(24) Effective date for property rights:
27.08.2008

Priority:
(22) Date of filing: **27.08.2008**

(43) Application published: **10.10.2012** Bull. 28

(45) Date of publication: **10.04.2013 Bull. 10**

(85) Commencement of national phase: **28.03.2011**

(86) PCT application:
EP 2008/007002 (27.08.2008)

(87) PCT publication:
WO 2010/022750 (04.03.2010)

Mail address:
129090, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery", pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595

(72) Inventor(s):
BRJuKL' Oliver (DE),
DONAL' Diter (DE),
LESSMANN-MISKE Khans-Khenning (DE)

(73) Proprietor(s):
MAShINENFABRIK RAJNKhAUZEN GMBKh (DE)

(54) TRANSFORMER WINDING STAGES SWITCH WITH SEMICONDUCTOR SWITCHING ELEMENTS

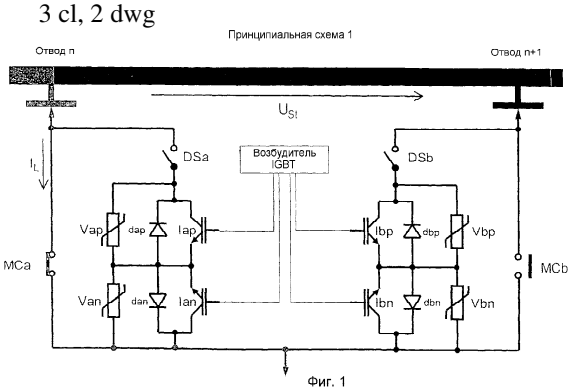
(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to a transformer winding stages switch with semiconductor switching elements for continuous switching between the two branches (branch n, branch n+1) of winding of a transformer with staged voltage control each winding branch is connected to the common load output via the corresponding mechanical switch (DS) and a series circuit of two oppositely placed IGBTs (I_P, I_n), the circuit linked in series to the mechanical switch. According to the invention, each IGBT is shunted with a corresponding varistor (V_p, V_n), connected in parallel thereto and calculated in a special way.

EFFECT: no need for special setting to corresponding rated current.

3 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2479058 C2

RU 2479058 C2

Изобретение относится к переключателю ступеней обмоток трансформатора с полупроводниковыми переключающими элементами для безобрывного переключения между отводами обмотки трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения.

Переключатель ступеней обмоток трансформатора с полупроводниковыми переключающими элементами, который выполнен как гибридный IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором) переключатель, известен из WO 01/22447. Описанный там переключатель ступеней работает по принципу переключателя рабочей нагрузки, при котором можно отказаться от накопителя энергии. Он содержит в качестве гибридного переключателя механическую часть и электрическую часть.

Механическая часть, которая собственно является сущностью WO 01/22447, содержит механические переключающие контакты; центральная часть является подвижным ползунковым контактом, который перемещается вдоль контактной рабочей шины, соединенной с точкой соединения звездой (нейтралью), посредством моторного привода и при этом соединяет стационарные контактные элементы. Собственно переключение нагрузки осуществляется посредством двух IGBT с соответственно четырьмя диодами в схеме Греца (мостовая схема выпрямления на четырех диодах).

Этот известный принцип гибридного переключателя является механически затратным и предъявляющим высокие требования, чтобы гарантировать необходимую коммутацию нагрузки точно при переходе через нуль нагрузочного тока.

Из WO 97/05536 известно другое переключающее устройство на IGBT, при котором отводы регулирующей обмотки силового трансформатора связаны через схему последовательного соединения двух IGBT с общим нагрузочным выводом.

Это известное переключающее устройство работает согласно принципу широтно-импульсной модуляции; при этом осуществляется ограничение контурного тока посредством переходной реактивности обмотки с отводами.

Это известное переключающее устройство и лежащий в его основе принцип переключения требуют конкретного согласования переключателя ступеней обмоток трансформатора с соответствующим трансформатором со ступенчатым регулированием напряжения, который должен монтироваться. Иными словами, трансформатор со ступенчатым регулированием напряжения и переключатель ступеней обмоток трансформатора согласованы друг с другом и взаимодействуют электрически. Поэтому это известное переключающее устройство не может изготавливаться как отдельный универсально применимый прибор.

Из GB-A-2424766 известны различные переключающие устройства для переключателя ступеней обмоток трансформатора, которые содержат различным образом подсоединенные варисторы. В одной форме выполнения варисторы включены параллельно соответствующим переключающим элементам и служат для деления напряжения.

Задача изобретения - предложить переключатель ступеней обмоток трансформатора вышеописанного типа, который прост в реализации, обладает высокой функциональностью и в котором не требуется обязательно выполнять переключение только точно при переходе через нуль нагрузочного тока. Другая задача изобретения - предложить такой переключатель ступеней обмоток трансформатора, который не должен специально настраиваться на соответствующий

номинальный нагрузочный ток и соответствующие обмотки подсоединяемого трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения, а может почти сразу после выпуска в качестве работоспособного прибора подключаться к различным трансформаторам со ступенчатым регулированием напряжения.

Эта задача решается переключателем ступеней обмоток трансформатора с признаками первого пункта формулы изобретения. Зависимые пункты касаются особенно предпочтительных вариантов осуществления изобретения.

Изобретение исходит из двух блоков переключения, причем каждый блок переключения состоит соответственно из двух взаимосвязанных антипараллельных IGBT. С каждым отдельным IGBT параллельно соединен варистор. При этом варистор рассчитан таким образом, что варисторное напряжение меньше, чем максимальное напряжение блокирования соответствующего параллельного IGBT, но больше, чем максимальное мгновенное значение напряжения ступени.

Особенно предпочтительным образом оба взаимосвязанных IGBT антипараллельного блока переключения в форме компактного стека.

Кроме того, особенно предпочтительным является размещение соответствующего варистора, в смысле по возможности обладающего малой индуктивностью параллельного участка, непосредственно рядом с конкретным IGBT и встраивание в стек. Таким способом можно реализовать очень короткие проводящие соединения между IGBT и параллельно расположенным варистором. Это устройство обеспечивает возможность, и при полном мгновенном значении нагрузочного тока, очень быстрого "жесткого" отключения протекающего через IGBT нагрузочного тока с коммутацией в течение интервала от 0,1 до 1 мкс на имеющий чрезвычайно малую индуктивность подключенный варистор, который сам имеет лишь чрезвычайно малую задержку срабатывания в нс-диапазоне.

"Жесткое переключение" IGBT снижает решающим образом преобразуемую в IGBT энергию потерь переключения и обеспечивает возможность - как поясняется далее более подробно - предложенного принципа переключения переключателя ступеней обмоток трансформатора (OLTC) при каждом произвольном значении мгновенного нагрузочного тока, без дополнительного переходного импеданса переключения в OLTC, не требуя знания паразитной реактивности обмотки с отводами, без необходимости настройки OLTC на соответствующий номинальный нагрузочный ток или напряжение ступени и без необходимости временного согласования с точностью до микросекунд отключающейся и принимающей группы соединений IGBT.

Хотя из DE 10118743 A1 и множества других публикаций уже известны варисторы в соединении с IGBT, однако они, согласно уровню техники, служат исключительно тому, чтобы полупроводники защищать от перенапряжений, то есть обладают только функцией ограничения напряжения.

В изобретении, напротив, функция варистора, включенного параллельно каждому IGBT, является иной: после коммутации подводимого созданного сетевым напряжением нагрузочного тока отключающим IGBT на параллельно включенный варистор (малый контур коммутации), обтекаемый нагрузочным током варистор формирует, согласно своей вольтамперной (I-U) характеристике, напряжение, которое демонстрирует относительно незначительную зависимость от мгновенного значения тока и во время процесса переключения OLTC остается практически постоянным.

При этом варисторы выбираются таким образом, что варисторное напряжение, которое проявляется при нагрузке пиковым значением максимального тока, еще имеет достаточный безопасный промежуток по отношению к максимальному

запирающему напряжению IGBT.

С другой стороны, напряжение фиксации (ограничения) варисторов (U_{Var} при 1 мА) должно быть заметно выше пикового значения максимального напряжения ступени, чтобы нагрузочный ток отключаемой OLTC-стороны через напряжение ступени мог коммутироваться на принимающую нагрузочный ток сторону (большой контур коммутации).

Разность ΔU между мгновенным значением падения напряжения на варисторе и мгновенным значением напряжения ступени обуславливает за счет особого определения (расчета) параметров варисторов коммутацию нагрузочного тока через паразитную индуктивность обмотки с отводами и индуктивность линии на принимающую сторону переключателя ступеней и определяет di/dt процесса коммутации $(di/dt = \Delta U / L_{Kom})$.

Очевидно, что варисторы в рамках предложенного изобретения используются не так, как это известно в уровне техники, для снижения переходных перенапряжений. В предложенном изобретении варисторы берут на себя следующие не типичные для их назначения и не вытекающие из уровня техники функции:

- прием нагрузочного тока от жестко отключающихся IGBT,
- формирование падения напряжения, которое независимо от мгновенного значения нагрузочного тока должно находиться в диапазоне напряжения между максимальным запирающим напряжением IGBT и пиковым значением максимального напряжения ступени,
- предоставление области "напряжение-время", которая нагрузочный ток от токоведущей стороны переключателя ступеней через противоположно направленное напряжение ступени коммутирует на принимающую сторону переключателя ступеней.

За счет изобретения обеспечивается очень простое и экономичное проектирование силовых электронных групп соединений, потому что принимающий энергию объем в случае варистора является гибко изменяемым и несравнимо больше, чем намного меньший дорогостоящий и соразмерно объему лишь с трудом варьируемый объем IGBT-чипа.

В качестве дополнительного положительного эффекта пропускания нагрузочного тока через варисторы предоставление требуемой области "напряжение-время" коммутации посредством варисторов и прием причитающейся при этом энергии потерь также варисторами приводит к очень большому полю допусков в отношении синхронизации момента времени отключения отключающейся группы IGBT и момента времени включения принимающей группы IGBT.

Если в течение года эксплуатации за счет старения компонентов и смещения рабочей точки в управляющей электронике возникал бы режим переключения с перекрытием или пропуском с порядком величины примерно ±10 мкс, то отсюда не возникает никакой угрозы функционированию в случае соответствующего изобретению принципа переключения.

Подводя итоги, изобретение имеет следующие преимущества:

- возможность переключения при любом произвольном мгновенном значении нагрузочного тока без термических перегрузок IGBT,
- чрезвычайно быстрый процесс коммутации нагрузочного тока стороны переключателя ступеней A→B или B→A в течение примерно 10 мкс,
- исключение помеховых колебаний,
- отсутствует специфическое для задачи согласование каждого переключателя ступеней с конкретными номинальными данными ступеней для заказного случая

(напряжение ступени, номинальный ток пропускания, паразитная индуктивность), если предельные значения для напряжения ступени и номинального тока пропускания не превышаются,

- надежный, безопасный принцип коммутации с очень большим диапазоном допусков по отношению к дрейфу времени переключения между обеими группами соединений IGBT. Не требуется дополнительная юстировка спустя длительное время работы.

Изобретение далее поясняется более подробно со ссылками на чертежи, на которых показано следующее:

фиг.1 - схема первого соответствующего изобретению переключателя ступеней обмоток трансформатора,

фиг.2 - схема второго видоизмененного в рамках изобретения переключателя ступеней обмоток трансформатора.

Как показано на фиг.1, каждый из обоих отводов n, n+1 обмотки через механический переключатель DS_a, DS_b соединен со схемой последовательного соединения из соответственно двух противоположно включенных IGBT I_{an} и I_{ap} на стороне n, а также I_{bn} и I_{bp} на стороне n+1 с выводом переключателя ступеней обмоток трансформатора. Параллельно к каждому из обоих последовательно соединенных IGBT I_{an} и I_{ap} одной стороны и I_{bn} и I_{bp} другой стороны включен соответственно диод d_{an}, d_{ap} или d_{bn}, d_{bp}. При этом диоды одной стороны, то есть d_{an} и d_{ap} или d_{bn} и d_{bp} включены противоположно друг к другу, то есть в противоположном направлении пропускания.

Вновь параллельно к каждой из этих схем параллельного соединения IGBT и диода предусмотрен соответственно варистор V_{an}, V_{ap} или V_{bn}, V_{bp}.

Наконец, также представлены соответствующие шунтирующие все переключающее устройство в стационарном режиме продолжительные главные контакты MC_a или MC_b каждой стороны. IGBT обеих сторон I_{an}, I_{ap}; I_{bn}, I_{bp} управляются посредством общего, показанного лишь схематично, известного из уровня техники возбудителя IGBT.

Далее последовательность переключения, например, с отвода n на отвод n+1, поясняется более подробно: в основном положении нагрузочный ток протекает через продолжительный главный контакт MC_a от отвода n к отводу Y переключателя ступеней обмоток трансформатора.

На первом этапе последовательности переключения свободные коммутационные контакты DS_a и DS_b замыкаются.

Затем на затворы IGBT I_{an} и I_{ap} прикладывается отпирающее напряжение. Теперь отпирается продолжительный главный контакт MC_a и коммутирует нагрузочный ток IL на группу IGBT I_{an}/I_{ap}. Спустя менее чем 10 мс продолжительности протекания тока IL через группу IGBT I_{an}/I_{ap} эти IGBT получают команду отключения, а группа IGBT I_{bn}/I_{bp} одновременно (по меньшей мере в стандартном случае) - команду включения.

Напряжение, формируемое на отключающемся IGBT, переносится на параллельно расположенный варистор. Если через несколько 100 нс достигается напряжение фиксации варистора, то варистор переходит в проводящее состояние, благодаря чему вводится прием нагрузочного тока посредством IGBT I_{an} и I_{ap}.

Варистор в соответствии с изобретением рассчитывается таким образом, что напряжение варистора, обтекаемого нагрузочным током, с одной стороны, ниже, чем максимальное блокирующее напряжение параллельного IGBT, но, с другой стороны,

больше, чем максимальное мгновенное значение напряжения ступени.

Превышение мгновенного значения варисторного напряжения над мгновенным значением напряжения ступени обуславливает коммутацию нагрузочного тока с почти постоянным di/dt от стороны A и перевод через напряжение ступени и паразитную индуктивность обмотки с отводами L_σ (большой контур коммутации) с одинаковым di/dt (в этом случае положительным) на сторону B. Несмотря на непрерывно снижающийся ток, который протекает через варистор на стороне A, варисторное напряжение в первом приближении остается постоянным.

Спустя примерно 10 мкс весь нагрузочный ток коммутируется от обтекаемого током варистора стороны A на проводящие IGBT стороны B. При приближении тока стороны A к значению 0 напряжение на группе соединений A изменяется следующим образом.

Варисторное напряжение спадает, переходное состояние $L_\sigma \frac{di}{dt}$ исчезает и на группе A IGBT-варистора появляется напряжение ступени, которое создается в зависимости от полярности на блокирующем IGBT, параллельном к нему диоде и соответствующем также параллельно расположенном варисторе. Даже при нагрузке пиковым значением напряжения ступени варистор еще не допускает никакого значительного протекания тока.

Спустя менее чем 10 мс после силовой электронной коммутации нагрузочного тока со стороны A на сторону B замыкается продолжительный главный контакт MC_b и шунтирует группу IGBT B. Затем IGBT I_{bn}/I_{bp} через управление затвором переключаются в непроводящее состояние.

Последовательность переключения заканчивается размыканием механических свободных коммутационных контактов DS_a и DS_b, которые защищают IGBT от переходных нагрузок по напряжению, которые могут действовать на обмотке с отводами.

На фиг.2 показана видоизмененная схема соответствующего изобретению переключателя ступеней обмоток трансформатора, в которой оба варистора соответствующей одной стороны V_{an}, V_{ap} или V_{bn}, V_{bp} сведены к соответствующему общему варистору V_a или V_b. При этом соответствующий механический переключатель каждой стороны DS_a или DS_b и соответствующий варистор сопоставленной стороны V_a или V_b также образуют схему последовательного соединения к общему нагрузочному выводу.

Формула изобретения

1. Переключатель ступеней обмоток трансформатора с полупроводниковыми переключающими элементами для безобрывного переключения между отводами обмотки трансформатора со ступенчатым регулированием напряжения,

причем переключатель ступеней обмоток трансформатора содержит две нагрузочные ветви, соединяемые с соответствующими отводами обмотки, причем полупроводниковые переключающие элементы представляют собой IGBT (I_{an}, I_{ap}; I_{bn}, I_{bp}),

причем каждая из обеих нагрузочных ветвей через схему последовательного соединения из двух противоположно включенных IGBT (I_{an}, I_{ap}; I_{bn}, I_{bp}) электрически соединена с общим нагрузочным выводом,

причем параллельно каждому IGBT (I_{an}, I_{ap}; I_{bn}, I_{bp}) включен диод (d_{an},d_{ap}, d_{bn}, d_{bp}), причем оба диода в каждой нагрузочной ветви (d_{an}, d_{ap} или d_{bn}, d_{bp}) включены

противоположно друг другу, отличающийся тем,

что соответствующий механический переключатель (DS_a, DS_b) соединен последовательно со схемой последовательного соединения из IGBT (I_{an}, I_{ap}; I_{bn}, I_{bp}) и параллельных диодов (d_{an}, d_{ap}; d_{bn}, d_{bp}) в каждой нагрузочной ветви,

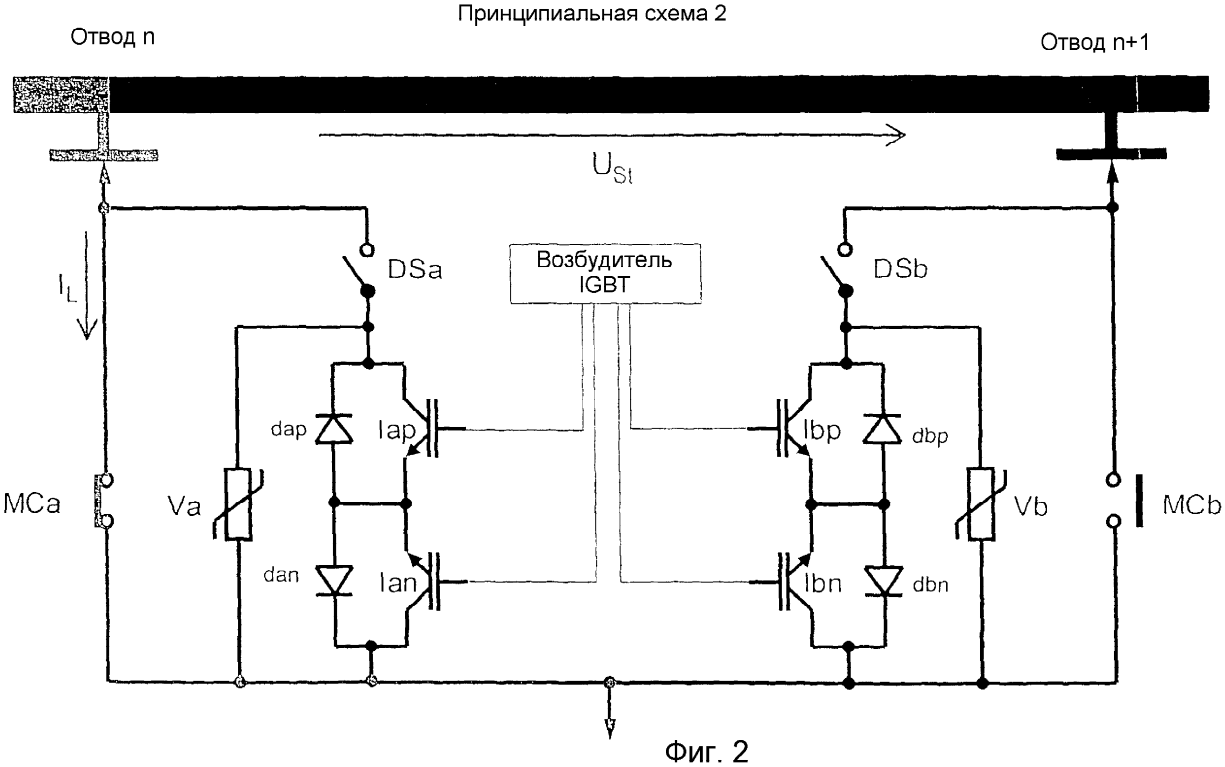
что параллельно каждой схеме параллельного соединения из IGBT (I_{an}, I_{ap}; I_{bn}, I_{bp}) и диода (d_{an}, d_{ap}; d_{bn}, d_{bp}) включен соответственно варистор (V_{an},V_{ap}; V_{bn}, V_{bp}) и

что варисторы (V_{an}, V_{ap}; V_{bn}, V_{bp} или V_a, V_b) выбраны таким образом, что их варисторное напряжение меньше, чем максимальное блокирующее напряжение соответствующего параллельного IGBT, но больше, чем максимальное мгновенное значение напряжения ступени.

2. Переключатель ступеней обмоток трансформатора по п.1, отличающийся тем, что каждый IGBT (I_{an}, I_{ap}; I_{bn}, I_{bp}) совместно с параллельно к нему подключенным варистором, а также диодом (d_{an}, d_{ap}; d_{bn}, d_{bp}) конструктивно объединен в стек.

3. Переключатель ступеней обмоток трансформатора по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что параллельно к каждой из обеих нагрузочных ветвей предусмотрен соответственно механический продолжительный главный контакт (MC_a, MC_b).

Принципиальная схема 2



Фиг. 2