



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014128803/07, 15.12.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.12.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.12.2011

(45) Опубликовано: 20.03.2016 Бюл. № 8

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: WO 2011105177 A1, 01.09.2011. CN
201868889 U, 15.06.2011. SU776582 A, 30.10.1980.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 15.07.2014

(86) Заявка РСТ:
EP 2011/072903 (15.12.2011)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2013/087110 (20.06.2013)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

**ШУСТЕР Доминик (DE),
ГАМБАХ Херберт (DE)**

(73) Патентообладатель(и):

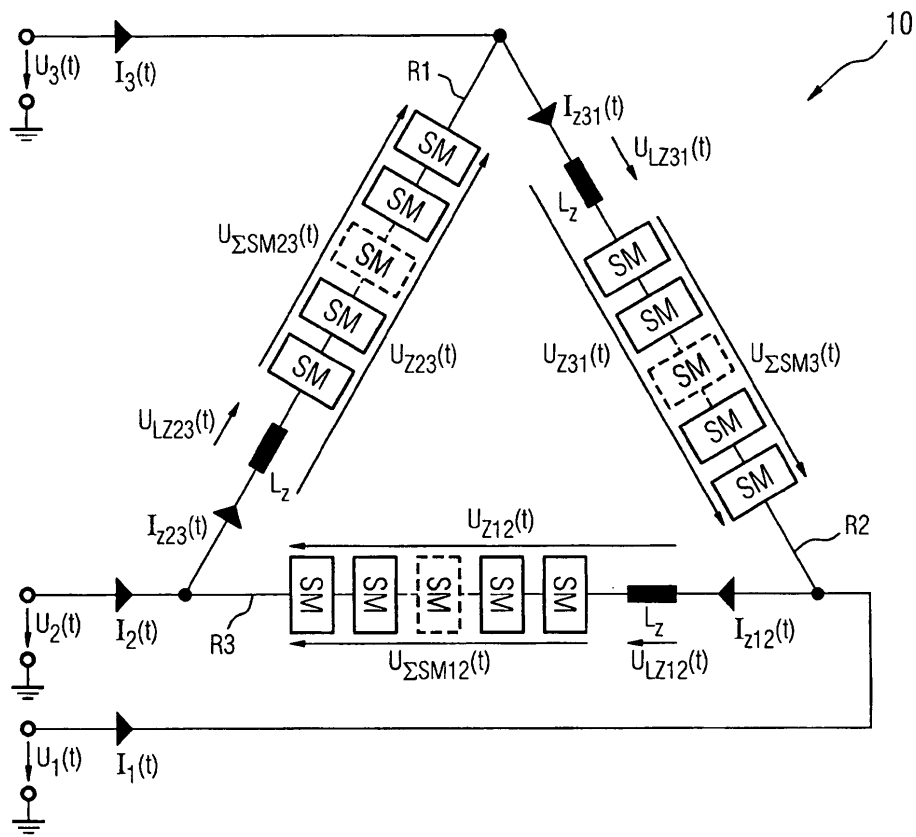
СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)

(54) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С КОНФИГУРАЦИЕЙ ТРЕУГОЛЬНИКА

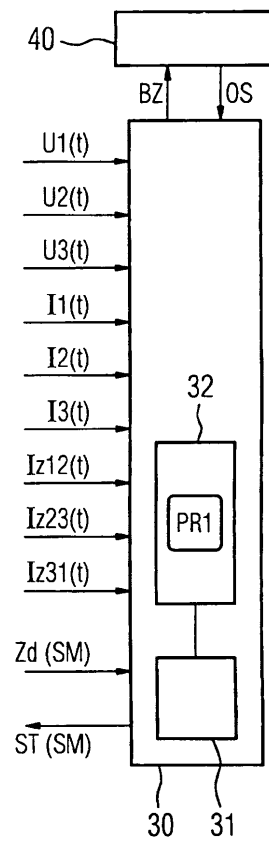
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники, в том числе к преобразователю (10) для трехфазного напряжения с тремя электрически включенными в треугольник последовательными соединениями (R1, R2, R3), каждое из которых содержит по меньшей мере два последовательно включенных переключающих модуля (SM), и управляющим устройством (30), соединенным с переключающими модулями (SM), которое может управлять переключающими модулями (SM) таким образом, что в последовательных

соединениях (R1, R2, R3) протекают токи ветвей с основной частотой трехфазного напряжения и с по меньшей мере одной дополнительной гармоникой тока, причем дополнительная гармоника тока рассчитана таким образом, что она протекает в последовательных соединениях (R1, R2, R3) преобразователя (10) по контуру и остается в преобразователе. Технический результат - уменьшение размаха пульсаций энергии в преобразовательных ветвях. 2 н. и 8 з.п. ф-лы, 8 ил.



ФИГ.1





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2014128803/07, 15.12.2011**(24) Effective date for property rights:
15.12.2011

Priority:

(22) Date of filing: **15.12.2011**(45) Date of publication: **20.03.2016** Bull. № 8(85) Commencement of national phase: **15.07.2014**(86) PCT application:
EP 2011/072903 (15.12.2011)(87) PCT publication:
WO 2013/087110 (20.06.2013)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**SHUSTER Dominik (DE),
GAMBAKH KHerbert (DE)**

(73) Proprietor(s):

SIMENS AKTSIENGEZELLSHAFT (DE)(54) **CONVERTER IN DELTA CONFIGURATION**

(57) Abstract:

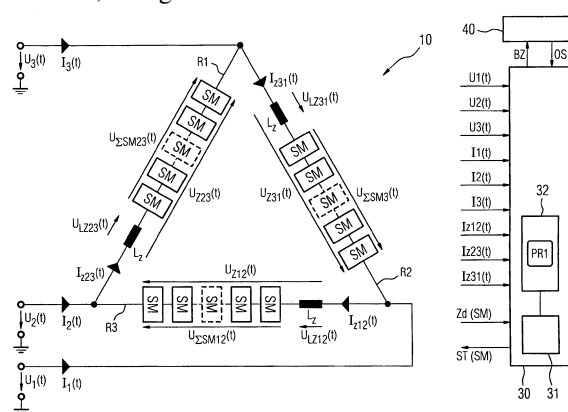
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: invention relates to converter (10) of three-phase voltage with three in-series connections (R1, R2, R3) delta-coupled electrically, each of them comprises at least two in-series switching modules (SM) and control device (30) connected to switching modules (SM) and capable to control these switching modules (SM) so that in serial connections (R1, R2, R3) branch currents pass with the main frequency of three-phase voltage with at least one additional current harmonic, moreover this additional current harmonic is calculated so that it passes in serial connections (R1, R2, R3) of the converter (10) along the outline and remains in the converter.

EFFECT: reduced deviation of energy pulsations

in converting branches.

10 cl, 8 dwg



ФИГ. 1

Изобретение относится к преобразователю с конфигурацией треугольника для трехфазного напряжения. Преобразователи с конфигурацией треугольника могут, например, использоваться для компенсации реактивной мощности, гармоник и фликкер-эффекта.

5 Преобразователь для трехфазного напряжения описан, например, в публикации "SVC PLUS: An MMC STATCOM for Network and Grid Access Applications" (M. Pereira et al., 2011 IEEE Trondheim Power Tech). Этот известный преобразователь используется в качестве компенсатора.

10 Во время работы преобразователя с конфигурацией треугольника в известных в настоящее время способах регулирования и управления возникает пульсация энергии в преобразовательных ветвях преобразователя.

В основе изобретения лежит задача обеспечить преобразователь с конфигурацией треугольника, в которой размах энергии этой пульсации энергии может быть уменьшен по сравнению с обычными преобразователями.

15 Эта задача в соответствии с изобретением достигается преобразователем с признаками п. 1 формулы изобретения. Предпочтительные варианты осуществления преобразователя согласно изобретению раскрыты в зависимых пунктах формулы изобретения.

20 Согласно этому в соответствии с изобретением предусмотрен преобразователь с тремя электрически включенными в треугольник последовательными соединениями, каждое из которых содержит по меньшей мере два последовательно включенных переключающих модуля, и управляющим устройством, соединенным с переключающими модулями, которое может управлять переключающими модулями таким образом, что в последовательных соединениях протекают токи ветвей с основной частотой
25 трехфазного напряжения и с по меньшей мере одной дополнительной гармоникой тока, причем дополнительная гармоника тока рассчитана таким образом, что она протекает в последовательных соединениях преобразователя по контуру и остается внутри преобразователя.

30 Существенное преимущество соответствующего изобретению преобразователя состоит в том, что в нем, в отличие от известных преобразователей, размах энергии за счет ввода дополнительных гармоник тока может быть снижен. Это поясняется далее более подробно. В квазистационарном состоянии сумма энергии, накопленной в конденсаторах каждой ветви, пульсирует относительно средней энергии ветви, обусловленной расчетом, а также управлением/регулированием преобразователя. В
35 течение каждого периода каждая ветвь преобразователя имеет, таким образом, момент времени, в который сумма энергии, накопленной в ветви, максимальна и является большей, чем ее временное среднее значение. Также в течение каждого периода сетевого напряжения возникает момент времени, в который сумма энергии, накопленной в ветви, минимальна и является меньшей, чем ее временное среднее значение. Разность между
40 максимальной и минимальной энергией ветви, то есть размах энергии, задается при квазистационарном и симметричном рассмотрении рабочей точкой преобразователя. Предусмотренные в соответствии с изобретением дополнительные гармоники тока могут простым и выгодным образом снижать размах энергии, не проявляясь при этом внешним образом и не создавая помех, так как они в соответствии с изобретением
45 протекают по контуру, так что они не могут выходить из преобразователя на его выходные выводы.

Преобразователи с конфигурацией треугольника в общем случае, в противоположность другим преобразователям в мостовой конфигурации, не могут в

стационарном режиме работы передавать или преобразовывать действительную мощность (не считая их собственную мощность потерь). Поэтому в качестве предпочтительного рассматривается, когда такой преобразователь используется для компенсации реактивной мощности, гармоник или фликкер-эффекта. Иными словами, в случае такого преобразователя, речь идет предпочтительным образом о компенсаторе, в частности компенсаторе реактивной мощности, гармоник или фликкер-эффекта, или о составной части такого компенсатора.

Особенно предпочтительным образом такой преобразователь представляет собой каскадный полномостовой преобразователь.

В отношении конструкции преобразователя, в качестве предпочтительного рассматривается, если преобразователь содержит модуль определения гармоник, который на основе соответствующего рабочего состояния преобразователя определяет по меньшей мере одну дополнительную гармонику тока, причем дополнительная гармоника тока рассчитывается таким образом, что она в последовательных соединениях преобразователя протекает по контуру и остается в преобразователе, и при этом управляющее устройство управляет переключающими модулями таким образом, что по меньшей мере одна дополнительная гармоника тока, определенная модулем определения гармоник, протекает в последовательных соединениях преобразователя по контуру.

Дополнительные гармоники тока предпочтительным образом рассчитываются по их величине и фазовому положению таким образом, что размах энергии в каждом из последовательных соединений меньше, чем без дополнительных гармоник тока.

Каждый из переключающих модулей предпочтительным образом содержит по меньшей мере четыре транзистора и конденсатор.

В качестве изобретения также рассматривается способ работы преобразователя для трехфазного напряжения с тремя электрически включенными в треугольник последовательными соединениями, каждое из которых содержит по меньшей мере два последовательно включенных переключающих модуля.

В соответствии с изобретением в отношении такого способа предусмотрено, что переключающие модули управляются таким образом, что в последовательных соединениях протекают токи ветвей с основной частотой трехфазного напряжения и заданной величиной и/или заданной временной характеристикой, на основе соответствующего рабочего состояния преобразователя определяется по меньшей мере одна дополнительная гармоника тока, причем дополнительная гармоника тока рассчитывается таким образом, что она протекает в последовательных соединениях преобразователя по контуру и остается в преобразователе, и переключающие модули управляются таким образом, что соответственно определенная по меньшей мере одна дополнительная гармоника тока протекает в последовательных соединениях по контуру.

В отношении преимуществ соответствующего изобретению способа можно сослаться на обсужденные выше преимущества соответствующего изобретению преобразователя, так как преимущества соответствующего изобретению преобразователя по существу соответствуют таковым для соответствующего изобретению способа.

В качестве предпочтительного рассматривается, если дополнительные гармоники тока рассчитываются по их величине и фазовому положению таким образом, что размах энергии в каждом из последовательных соединений меньше, чем без дополнительных гармоник тока.

Предпочтительным образом, один или более токов гармоник, частота которых соответствует делимому на три кратному значению основной или сетевой частоты

трехфазного напряжения, вводятся в токи ветвей последовательных соединений ($R1$, $R2$, $R3$).

Также в качестве предпочтительного рассматривается, если к преобразователю прикладываются одно или более напряжений гармоник, частота которых соответствует делимой на три гармонике основной или сетевой частоты трехфазного напряжения.

Особенно предпочтительным образом с помощью преобразователя выполняется компенсация, в частности компенсация реактивной мощности, гармоники или фликкер-эффекта.

Изобретение поясняется более подробно со ссылкой на примеры выполнения; при этом в качестве примера на чертежах представлено следующее:

Фиг. 1 - первый пример выполнения соответствующего изобретению преобразователя с управляющим устройством и с соединенным с управляющим устройством модулем определения гармоник,

Фиг. 2 - схематичное представление гармоник тока, протекающих по контуру в преобразователе согласно фиг. 1,

Фиг. 3 - токи, протекающие в преобразователе согласно фиг. 1, и приложенные напряжения при работе преобразователя без модуля определения гармоник,

Фиг. 4 - токи, протекающие в преобразователе согласно фиг. 1, и приложенные напряжения при работе модуля определения гармоник, то есть с протекающими в контуре дополнительными гармониками тока,

Фиг. 5 - пример выполнения переключающего модуля для преобразователя согласно фиг. 1,

Фиг. 6 - второй пример выполнения преобразователя, соответствующего изобретению, в котором модуль определения гармоник реализован в управляющем устройстве,

Фиг. 7 - третий пример выполнения преобразователя, соответствующего изобретению, в котором модуль определения гармоник образован посредством модуля программного обеспечения, и

Фиг. 8 - четвертый пример выполнения преобразователя, соответствующего изобретению, в котором модуль определения гармоник непосредственно обрабатывает сигналы измерений или данные измерений.

На чертежах для ясности одинаковые или аналогичные компоненты всегда обозначаются теми же ссылочными позициями.

Фиг. 1 показывает трехфазный преобразователь 10 для трехфазного напряжения. Фазные напряжения трехфазного напряжения на фиг. 1 обозначены ссылочными позициями $U1(t)$, $U2(t)$ и $U3(t)$. Вызванные фазными напряжениями $U1(t)$, $U2(t)$ и $U3(t)$ фазные токи обозначены ссылочными позициями $I1(t)$, $I2(t)$ и $I3(t)$.

Преобразователь 10 содержит три электрически соединенных в треугольник последовательных соединения $R1$, $R2$, $R3$, каждое из которых содержит по меньшей мере два последовательно соединенных переключающих модуля SM и индуктивность L .

С переключающими модулями SM соединено управляющее устройство 30, которое может управлять переключающими модулями SM посредством индивидуальных для переключающих модулей управляющих сигналов $ST(SM)$ таким образом, что в последовательных соединениях $R1$, $R2$, $R3$ протекают токи $Iz12(t)$, $Iz31(t)$ и $Iz23(t)$ ветвей с основной частотой трехфазного напряжения и дополнительные гармоники тока. Как будет объяснено ниже более подробно, дополнительные гармоники тока могут рассчитываться так, что они протекают в последовательных соединениях $R1$, $R2$, $R3$ преобразователя 10 по контуру и остаются в преобразователе 10 и не вводятся в фазные

токи $I_1(t)$, $I_2(t)$ и $I_3(t)$.

Для формирования дополнительных гармоник тока, преобразователь 10 имеет модуль 40 определения гармоник, который на основе соответствующего рабочего состояния преобразователя для каждого из последовательных соединений R1, R2, R3

5 определяет соответственно по меньшей мере одну дополнительную гармонику тока.

Управляющее устройство 30 соединено через отдельные линии управления с каждым из переключающих модулей SM трех последовательных соединений R1, R2, R3.

Соединительные линии не показаны на фиг. 1 для ясности. Для управления переключающими модулями SM, управляющее устройство 30 генерирует управляющие

10 сигналы $ST(SM)$, которые передаются через линии управления (не показаны) на переключающие модули.

Для определения оптимальных управляющих сигналов $ST(SM)$, управляющее устройство 30 нагружается на входной стороне множеством сигналов измерений и/или данных измерений. Например, речь идет о сигналах измерений и/или данных измерений,

15 которые задают переменные напряжения $U_1(t)$, $U_2(t)$ и $U_3(t)$, приложенные к преобразователю, протекающие фазные токи $I_1(t)$, $I_2(t)$ и $I_3(t)$ и/или токи $I_{z12}(t)$, $I_{z23}(t)$ и $I_{z31}(t)$ ветвей.

Кроме того, управляющее устройство 30, - например, с помощью вышеупомянутых линий управления или других сигнальных линий - таким образом соединено с

20 переключающими модулями SM трех последовательных соединений R1, R2, R3, что данные $Z_d(SM)$ состояния, описывающие соответствующее состояние переключающих модулей, могут передаваться на управляющее устройство 30.

Управляющее устройство 30, таким образом, знает, на основе приложенных на входе данных, какие напряжения и токи присутствуют, а также, в каком рабочем состоянии

25 находятся отдельные переключающие модули SM трех последовательных соединений R1, R2 и R3.

На основе приложенных на входной стороне сигналов измерений и/или данных измерений и приложенных на входной стороне данных состояния, управляющее устройство 30 может управлять переключающими модулями SM таким образом, что

30 достигается желательное поведение преобразователя, например желательный режим компенсации, в частности желательный режим компенсации реактивной мощности, гармоники или фликкер-эффекта.

Для того чтобы выполнять описанные задачи управления, управляющее устройство 30 может, например, включать в себя вычислительное устройство (например, в форме

35 устройства обработки данных или компьютера) 31, которое запрограммировано таким образом, что оно в зависимости от приложенных на входной стороне сигналов измерений, данных измерений или данных состояния определяет соответствующее оптимальное управление переключающими модулями SM и таким образом формирует необходимые для управления управляющие сигналы $ST(SM)$. Соответствующая

40 управляющая программа (или модуль управляющей программы) PR1 для управления вычислительным устройством может быть сохранена в памяти 32, находящейся в управляющем устройстве 30.

Вышеупомянутый модуль 40 определения гармоник получает от управляющего устройства 30 через линию управления данные BZ рабочего состояния, которые

45 описывают рабочее состояние преобразователя 10. Модуль 40 определения гармоник генерирует, в зависимости от данных BZ рабочего состояния, данные OS содержания гармоник, которые для каждого из трех последовательных соединений R1, R2 и R3 определяют соответственно по меньшей мере одну дополнительную гармонику тока,

которая должна дополнительно протекать в соответствующем последовательном соединении R1, R2 и R3.

Управляющее устройство 30 обрабатывает полученные от модуля 40 определения гармоник данные OS содержания гармоник и изменяет управление переключающими модулями SM последовательных соединений R1, R2 и R3 с помощью управляющих сигналов ST(SM) таким образом, что в последовательных соединениях протекают не только те токи ветвей, которые требовались бы для желательного режима работы преобразователя, но и в дополнение протекают также дополнительные гармоники тока, которые должны определяться модулем 40 определения гармоник.

Дополнительные гармоники тока, которые определяются модулем 40 определения гармоник, рассчитаны относительно их величины и фазового положения таким образом, что дополнительные гармоники тока протекают в трех последовательных соединениях R1, R2 и R3 по контуру. Это схематично показано на фиг. 2.

Из фиг. 2 можно видеть, что дополнительные гармоники I_{zos} тока протекают только внутри трех последовательных соединений R1, R2 и R3 и не покидают преобразователь.

Дополнительные гармоники I_{zos} тока перекрываются с «необходимыми» для работы преобразователя 10 токами ветвей в последовательных соединениях R1, R2 и R3 таким образом, что размах ΔW энергии в каждом из трех последовательных соединений R1, R2 и R3 становится меньше, чем это было бы без дополнительных гармоник I_{zos} тока.

Это детально показано на фиг. 3 и 4.

На фиг. 3 и 4 переменная $U_{\Sigma SM}(t)$ обозначает для примера напряжение на одной из групп переключающих модулей одного из последовательных соединений R1, R2 или R3, $I_z(t)$ - ток ветви, протекающий через соответствующую группу переключающих модулей, $P(t)$ - результирующую мощность в соответствующей группе переключающих модулей и $\int P(t)dt$ - соответствующий интеграл по мощности, из которого получается соответствующий размах ΔW энергии.

На фиг. 3 показаны характеристики без дополнительных гармоник I_{zos} тока, то есть случай, когда в последовательных соединениях R1, R2 и R3 протекают только те токи ветвей, которые необходимы для преобразования.

На фиг. 4 показаны характеристики для идентичной рабочей точки с дополнительными гармониками I_{zos} тока, то есть случай, когда токи ветвей модулируются гармоникам тока посредством соответствующего управления переключающих модулей SM. Видно, что размах ΔW энергии из-за дополнительных гармоник тока меньше, чем это имеет место без соответствующих гармоник тока (см. фиг. 3).

На фиг. 5 показан пример выполнения для переключающего модуля SM. Переключающий модуль SM включает в себя четыре транзистора T1-T4, четыре диода D и конденсатор C, на котором падает напряжение U_c конденсатора. Для управления, один из транзисторов (здесь транзистор T2) нагружается управляющим напряжением U_{SM} управляющего устройства 30 согласно фиг. 1.

Способ работы модуля 40 определения гармоник согласно фиг. 1 будет пояснен более подробно ниже.

Размах ΔW энергии в квазистационарном состоянии зависит только от частоты и амплитуды системы переменного напряжения, а также от фазового угла, частоты и амплитуды токов в системе переменного напряжения. Для последовательного соединения R1 на фиг. 1, например, для случая использования чисто в качестве компенсатора реактивной мощности и пренебрегая потерями преобразователя справедливо:

$$\Delta W = \max \left| \int P(t) dt \right| - \min \left| \int P(t) dt \right| \quad (1)$$

При

$$P(t) = U_{\Sigma M12}(t) \cdot I_{Z12}(t), \quad (2)$$

$$I_{Z12}(t) = -\hat{I}_{Z12} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi), \quad (3)$$

$$U_{\Sigma M12}(t) = \hat{U}_{Z12} \cdot \sin(\omega \cdot t) - L_Z \cdot \left(\hat{I}_{Z12} \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \omega \right) \quad (4)$$

Описанная пульсация энергии в симметричном квазистационарном состоянии будет протекать во всех ветвях преобразователя идентично, но со сдвигом фазы. Из этого следует пульсация разности энергий двух ветвей, "разность энергий ветвей". Временная характеристика разности энергий двух ветвей тогда зависит непосредственно от временной характеристики энергии ветви, а также сдвига фаз напряжений и токов на отводе переменного напряжения ветвей.

Энергия, накопленная в ветви, распределяется предпочтительно равномерно в среднем по времени на конденсаторах переключающих модулей соответствующей ветви. Таким образом, напряжения конденсаторов переключающих модулей ветви поддерживаются примерно равными.

Отдельные конденсаторы рассчитаны на определенное максимальное напряжение U_{\max} . Отсюда следует максимально накапливаемая в ветви энергия W_{\max} , которая зависит от количества подмодулей N в ветви, а также емкости C отдельных подмодулей.

$$W_{\max} = N \cdot \frac{C}{2} \cdot (U_{C,\max})^2 \quad (5)$$

При превышении максимальной энергии W_{\max} , преобразователь должен быть выключен из-за риска его разрушения.

Существует также нижний предел для энергии ветви, он следует из напряжения $U_{\Sigma SM}(t)$, предоставляемого набором модулей.

$$W_{\min}(t) = \frac{\left(U_{\Sigma SM}(t) \cdot \frac{1}{k} \right)^2}{N} \cdot \frac{C}{2}, \text{ при } k < 1 \text{ для всех } t \quad (6)$$

Глубина модуляции k обязательно меньше единицы, ее конкретное значение вытекает из качества регулирования преобразователя и требований к его режиму регулирования. Если минимальная энергия снижается, преобразователь больше не может выполнять регулирование.

При коротких замыканиях и других неисправностях, на клеммах преобразователя большое количество энергии должно приниматься из отдельных ветвей или отдаваться в них. Этот факт вытекает из требований подключенных сетей или систем для соответствующей требованиям обработки возникающих больших токов.

Минимальная энергия $W_{\min+res}$ ветви тем самым задается и соответствует минимально необходимой для поддержания способности регулирования энергии W_{\min} ветви плюс энергию $W_{res,neg}$, отдаваемую в наихудшем случае, в случае ошибки.

$$W_{\min+res} = W_{\min} + W_{res,neg} \quad (7)$$

Энергия W_{\max} , максимально накапливаемая в ветви преобразователя, также физически

задается. Первоначально, это сумма вышеуказанной минимальной энергии $W_{\min+\text{res}}$ плюс максимальный размах ΔW энергии, возникающий в нормальном режиме. К ней должна добавляться резервная энергия $W_{\text{res,pos}}$ для случаев неисправностей, которые увеличивают энергию ветви:

$$W_{\max} = \Delta W_{\max} + W_{\min+\text{res}} + W_{\text{res,pos}} \quad (8)$$

Как уже упоминалось выше, отдельные конденсаторы в переключающих модулях ветвей преобразователя специфицированы для определенного максимального напряжения $U_{C,\max}$. Отсюда следует максимально накапливаемая в ветви энергия, которая зависит от количества переключающих модулей N в ветви. При этом для N и емкости конденсаторов C переключающего модуля должно быть справедливым, что энергия ветви, возникающая при работе или в случае неисправности преобразователя, всегда меньше, чем максимально сохраняемая в ветви энергия:

$$W_{\max} = \Delta W_{\max} + W_{\min+\text{res}} + W_{\text{res,pos}} \leq N \cdot \frac{C}{2} \cdot (U_{C,\max})^2 \quad (9)$$

При несоблюдении этого условия преобразователь должен был бы отключаться, так как он в противном случае был бы разрушен.

Можно видеть, что тем самым специфицированный режим работы с наибольшим размахом энергии задает минимальное число модулей и емкость модуля преобразователя. За счет уменьшения максимального размаха энергии, как это достигается посредством модуля 40 определения гармоник, тем самым может достигаться уменьшение количества модулей в каждой ветви преобразователя и снижение расходов на установку.

В преобразователе, каждый переключающий модуль обтекается токами ветви. Поэтому за счет уменьшения количества модулей также возможно соответствующее уменьшение потерь преобразователя.

В качестве побочного эффекта, снижение количества модулей может также оказывать положительное влияние на распределение потерь проводимости полупроводников отдельных переключающих модулей, и, таким образом, обеспечиваются несколько более высокие токи ветвей, то есть более высокие мощности преобразователя.

Чтобы сформировать описанные гармоники, протекающие по контуру, предпочтительным образом делимые на три токи гармоник (по отношению к частоте приложенной к преобразователю системы переменного тока согласно фиг. 1) вводятся в токи ветвей. Они образуют синфазный компонент и, следовательно, оказывают идентичное влияние на все ветви. Предпочтительно формируются токи третьей и девятой гармоник.

Для стационарного режима работы преобразователя, например, в качестве исключительно компенсатора реактивной мощности, справедливы приведенные выше формулы (предположения: используется третья гармоника тока, потерями преобразователя пренебрегаем):

$$I_{Z12}(t) = \hat{I}_{Z12} \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) + \hat{I}_3 \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t + \varphi_3) \quad (10)$$

$$U_{\Sigma M12}(t) = \hat{U}_{Z12} \cdot \sin(\omega \cdot t) - L_Z \cdot \left(\hat{I}_{Z12} \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \cdot \omega + \hat{I}_3 \cdot \cos(3 \cdot \omega \cdot t + \varphi_3) \cdot 3 \cdot \omega \right) \quad (11)$$

Посредством тщательного выбора амплитуды и фазового положения одной или более из упомянутых гармоник, характеристика мощности в каждой ветви

преобразователя может изменяться таким образом, что устанавливается размах энергии, который меньше, чем без возникновения указанных гармоник, как показано в качестве примера на фиг. 3 и 4. За счет этого возникающая максимальная энергия W_{\max} снижается.

Таким образом, при проектировании преобразователя, количество последовательных переключений и/или емкость C переключающего модуля могут быть уменьшены, тем самым снижая затраты и потери преобразователя.

Вводимые для уменьшения размаха энергии гармоник могут быть определены различными способами. Например, может использоваться управление по параметрической поверхности, которое в зависимости от текущего состояния преобразователя считывает оптимальные параметры гармоник и соответственно осуществляет управление. При этом соответствующая параметрическая поверхность может быть создана различными способами (например, аналитическим расчетом, численной оптимизацией и т.д.). Альтернативно - к примеру, для динамических процессов - может предусматриваться система регулирования, которая самостоятельно регулирует соответствующие гармоники.

Описанный способ расчета и генерации дополнительных вводимых гармоник может выполняться независимо от в остальном обычных способов регулирования/управления мощностью, напряжением, током, балансом энергии, как это управляется или регулируется в примере выполнения согласно фиг. 1 управляющей программой PR1, потому что гармоники накладываются на «нормальные» токи ветвей, которые рассчитываются согласно фиг. 1 с помощью управляющей программы PR1, и модулированные гармоники не оказывают влияния на регулируемые управляющей программой PR1 параметры и условия баланса.

Аналогичным образом, определение и/или генерации гармоник также могут выполняться как составная часть упомянутых регулирований/управлений.

Таким образом, нет никаких дополнительных затрат в потребляющей мощности части преобразователя (измерительных устройствах и т.д.) для реализации генерации гармоник. Она может, например, быть реализована в программном обеспечении и может быть дополнительно установлена без каких-либо аппаратных изменений в существующих системах.

На фиг. 6 показан второй пример выполнения соответствующего изобретению преобразователя 10. Преобразователь согласно фиг. 6 соответствует работе преобразователя согласно фиг. 1. В отличие от этого, модуль 40 определения гармоник реализован в управляющем устройстве 30.

На фиг. 7 показан третий пример выполнения соответствующего изобретению преобразователя 10, в котором модуль 40 определения гармоник образован модулем PR2 программного обеспечения, который хранится в памяти 32 вычислительного устройства 31 управляющего устройства 30. Для определения данных содержания гармоник или для определения дополнительных гармоник тока, которые требуются или предпочтительны для сокращения размаха энергии в последовательных соединениях R1, R2 и R3, вычислительное устройство 31 управляющего устройства 30 должно только вызвать и исполнить модуль PR2 программного обеспечения.

На фиг. 8 показан четвертый пример выполнения соответствующего изобретению преобразователя 10, в котором модуль 40 определения гармоник непосредственно обрабатывает сигналы измерений или данные измерений, которые также обрабатываются управляющим устройством 30. Поэтому модуль 40 определения гармоник может работать независимо от данных рабочего состояния, обеспечиваемых управляющим устройством 30. В остальном, работа модуля 40 определения гармоник

и преобразователя 10 соответствует в целом работе преобразователя 10 по фиг. 1.

Вышеописанная модуляция гармониками может осуществляться как в стационарном состоянии, так и в переходных процессах (например, в случае неисправности). На основе лучшей математической представимости, в приведенных выше примерах вычислений было показано квазистационарное состояние. Возможность ввода гармоник в переходном случае, однако, включается в описанные соображения.

Хотя изобретение было проиллюстрировано и подробно описано с помощью предпочтительных примеров выполнения, однако изобретение не ограничивается представленными примерами и специалист в данной области техники может получить другие модификации без отклонения от объема защиты изобретения.

Формула изобретения

1. Преобразователь (10) для трехфазного напряжения с

- тремя электрически включенными в треугольник последовательными соединениями (R1, R2, R3), каждое из которых содержит по меньшей мере два последовательно включенных переключающих модуля (SM), и

- управляющим устройством (30), соединенным с переключающими модулями (SM), которое выполнено с возможностью управлять переключающими модулями (SM) таким образом, что в последовательных соединениях (R1, R2, R3) протекают токи ветвей с основной частотой трехфазного напряжения и с по меньшей мере одной дополнительной гармоникой тока, причем дополнительная гармоника тока рассчитана таким образом, что она протекает в последовательных соединениях (R1, R2, R3) преобразователя (10) по контуру и остается в преобразователе.

2. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что преобразователь (10) образует компенсатор, в частности компенсатор реактивной мощности, гармоник или фликкер-эффекта.

3. Преобразователь по п. 1, отличающийся тем, что

- преобразователь (10) содержит модуль (40) определения гармоник, который на основе соответствующего рабочего состояния преобразователя определяет по меньшей мере одну дополнительную гармонику тока, причем дополнительная гармоника тока рассчитывается таким образом, что она в последовательных соединениях (R1, R2, R3) преобразователя (10) протекает по контуру и остается в преобразователе, и

- при этом упомянутое управляющее устройство (30) управляет переключающими модулями (SM) таким образом, что по меньшей мере одна дополнительная гармоника тока, определенная модулем (40) определения гармоник, протекает в последовательных соединениях (R1, R2, R3) преобразователя (10).

4. Преобразователь по п. 1 или 3, отличающийся тем, что дополнительные гармоники тока рассчитываются по их величине и фазовому положению таким образом, так что размах (ΔW) энергии в каждом из последовательных соединений (R1, R2, R3) меньше, чем без дополнительных гармоник тока.

5. Преобразователь по п. 4, отличающийся тем, что каждый из переключающих модулей (SM) содержит по меньшей мере четыре транзистора (T1-T4) и конденсатор (C).

6. Способ работы преобразователя для трехфазного напряжения с тремя электрически включенными в треугольник последовательными соединениями (R1, R2, R3), каждое из которых содержит по меньшей мере два последовательно включенных переключающих модуля (SM), отличающийся тем, что

- переключающими модулями (SM) управляют таким образом, что в

последовательных соединениях (R1, R2, R3) протекают токи ветвей с основной частотой трехфазного напряжения и заданной величиной и/или заданной временной характеристикой,

- на основе соответствующего рабочего состояния преобразователя определяют по меньшей мере одну дополнительную гармонику тока, причем дополнительную гармонику тока рассчитывают таким образом, что она протекает в последовательных соединениях (R1, R2, R3) преобразователя (10) по контуру и

остается в преобразователе (10), и

- переключающими модулями (SM) управляют таким образом, что в последовательных соединениях (R1, R2, R3) протекает определенная по меньшей мере одна дополнительная гармоника тока.

7. Способ по п. 6, отличающийся тем, что

дополнительные гармоники тока рассчитывают по их величине и фазовому положению так, что размах (ΔW) энергии в каждом из последовательных соединений (R1, R2, R3) меньше, чем без дополнительных гармоник тока.

8. Способ по п. 6 или 7, отличающийся тем, что

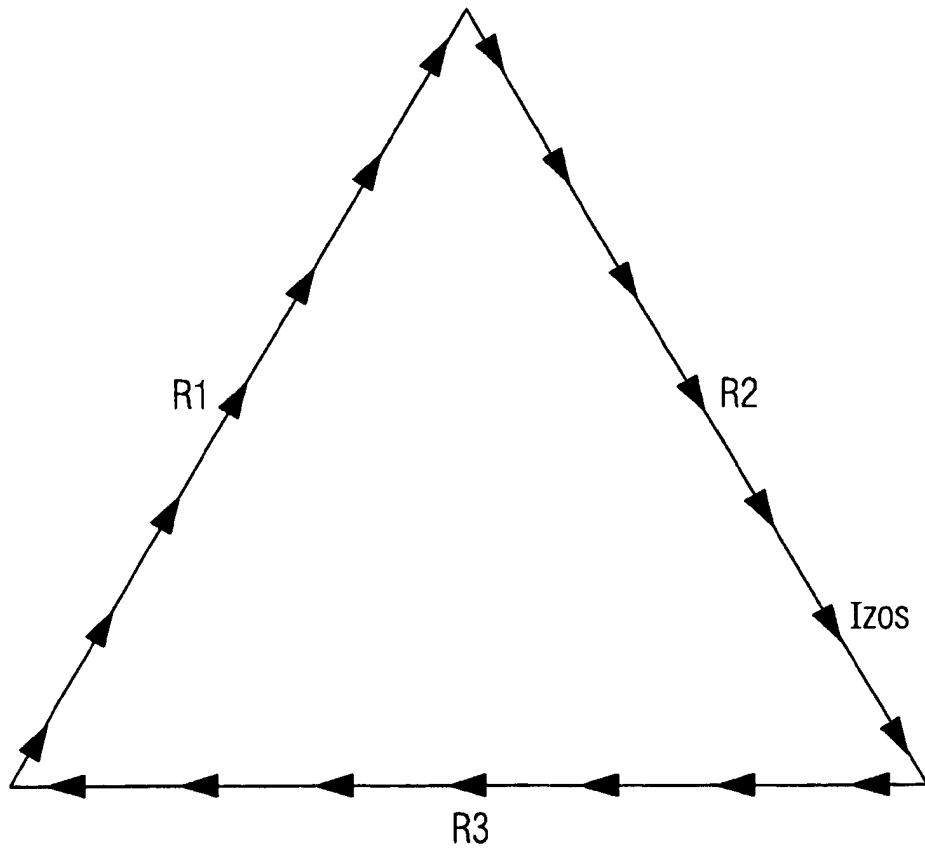
один или более токов гармоник, частота которых соответствует делимому на три кратному значению основной или сетевой частоты трехфазного напряжения, вводят в токи ветвей последовательных соединений (R1, R2, R3).

9. Способ по п. 8, отличающийся тем, что

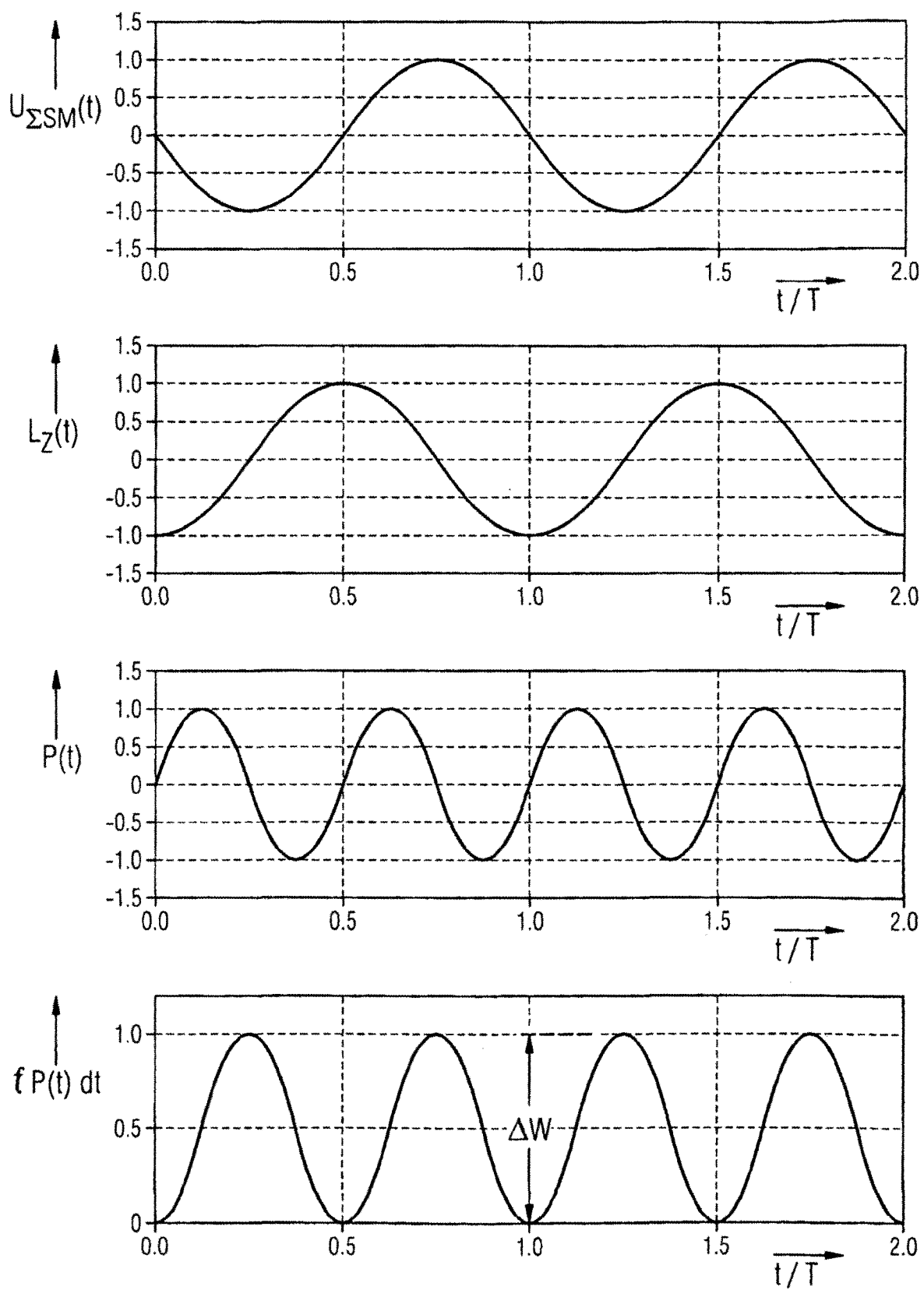
к преобразователю (10) прикладывают одно или более напряжений гармоник, частота которых соответствует делимой на три гармонике основной или соответственно сетевой частоты трехфазного напряжения.

10. Способ по п. 9, отличающийся тем, что

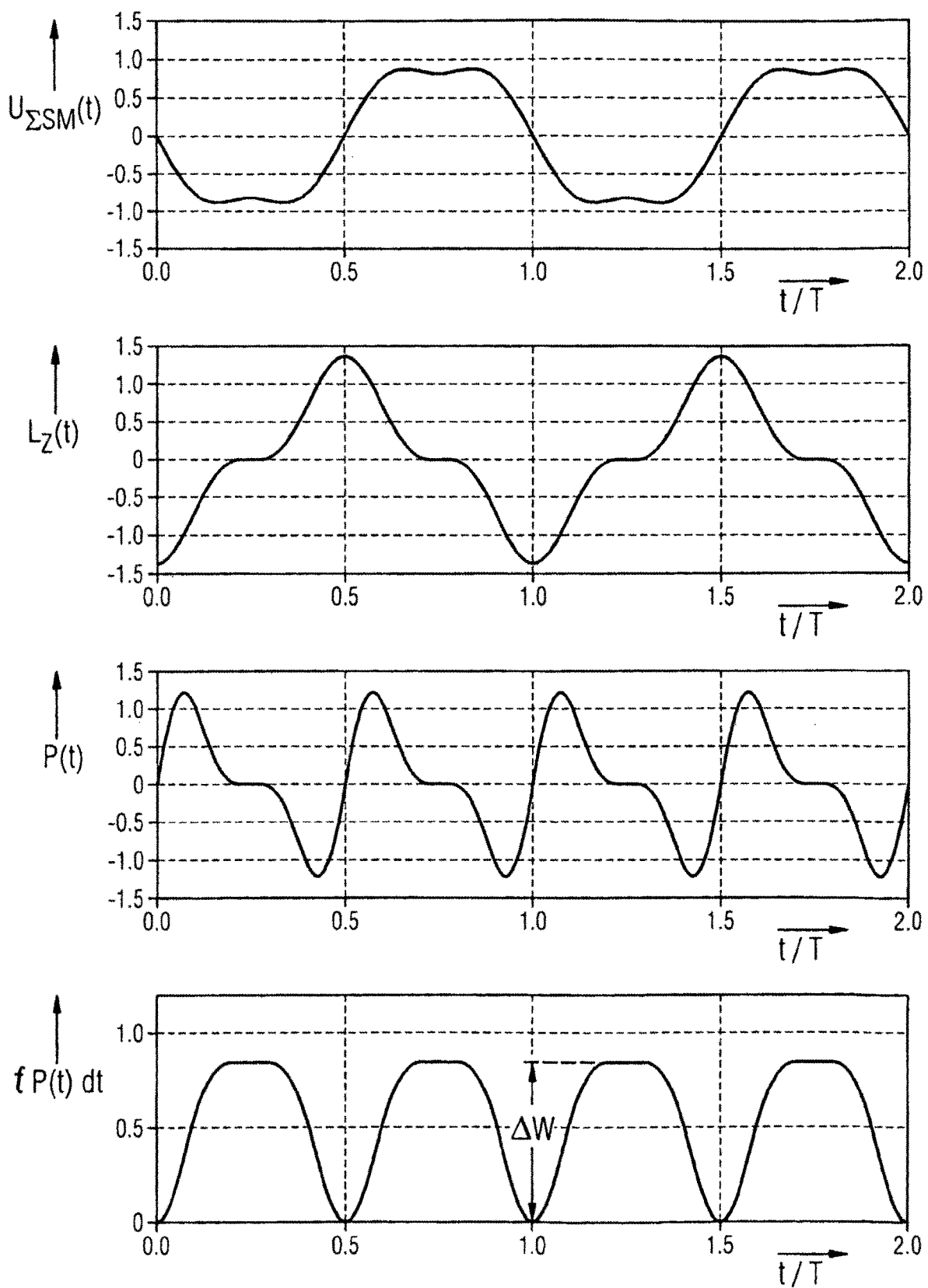
с помощью преобразователя (10) выполняют компенсацию, в частности компенсацию реактивной мощности, гармоники или фликкер-эффекта.



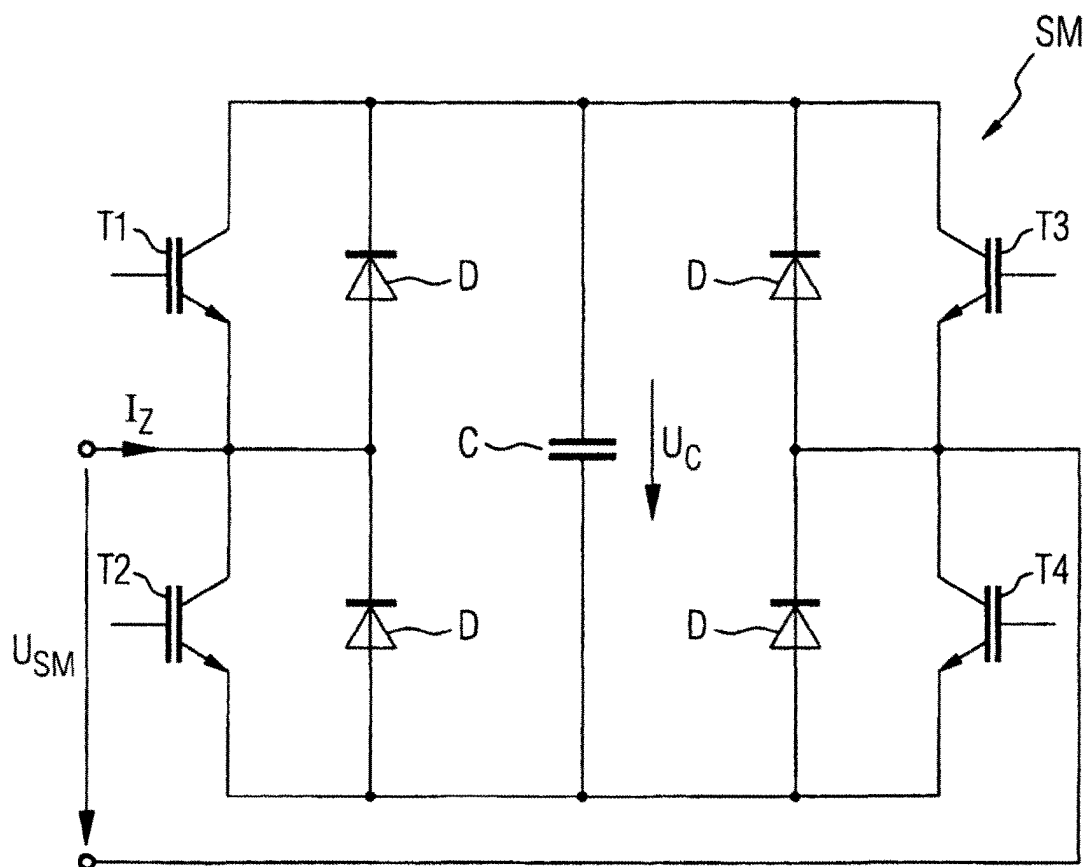
ФИГ.2



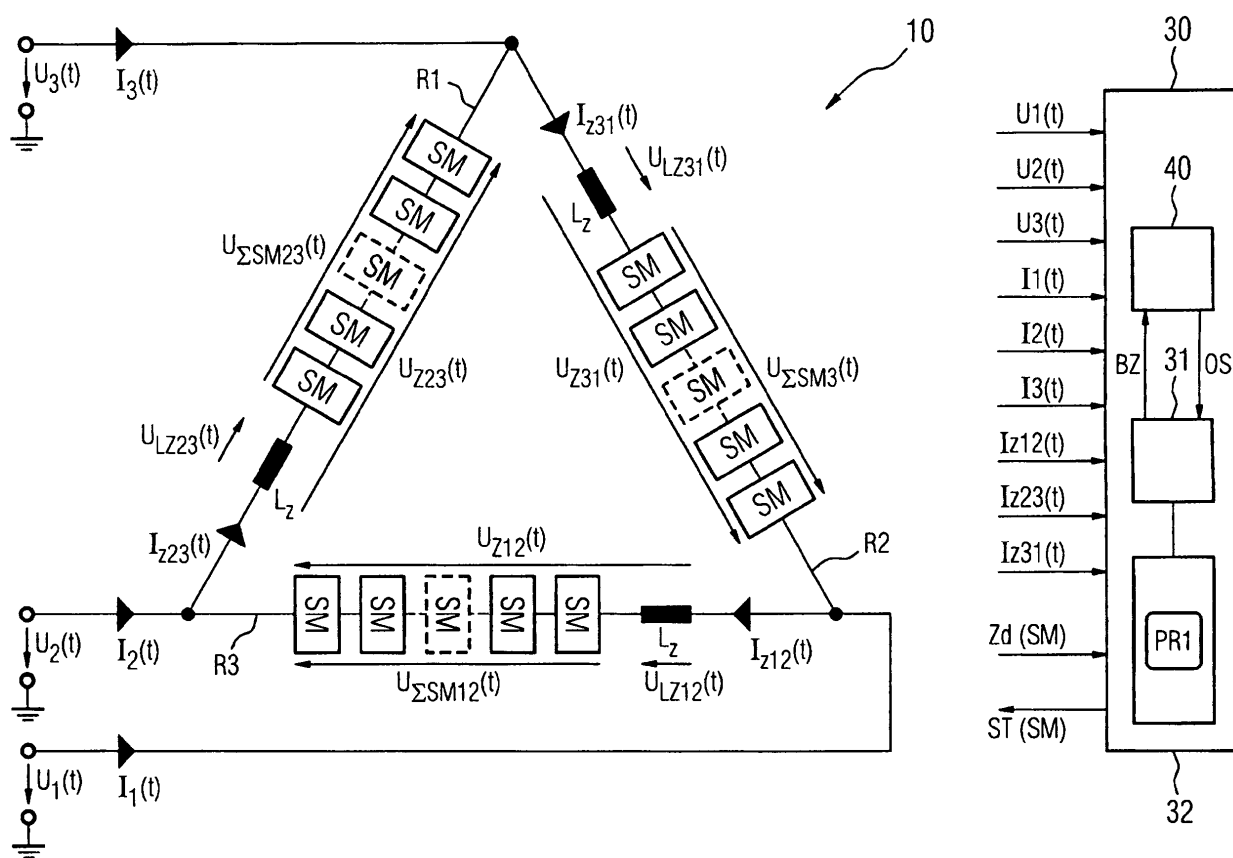
ФИГ.3



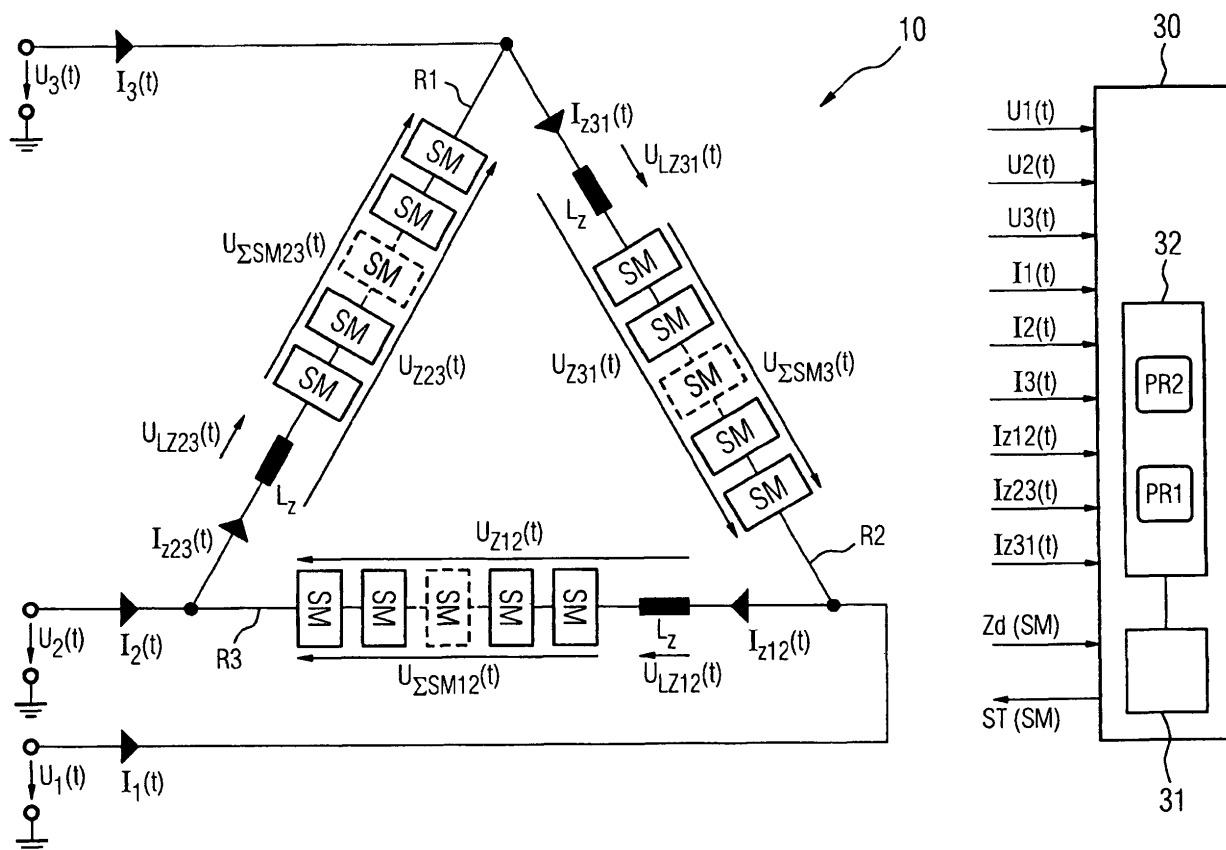
ФИГ.4



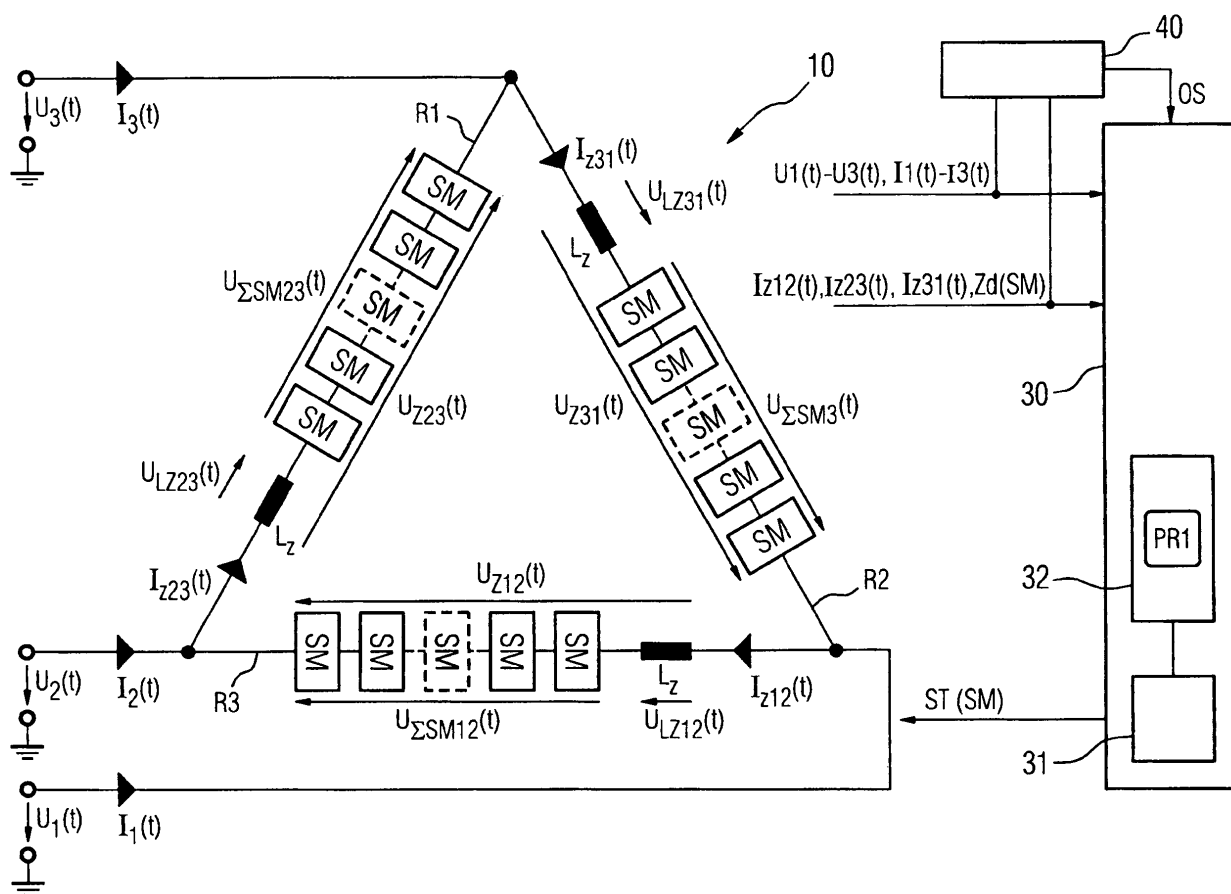
ФИГ.5



ФИГ.6



ФИГ.7



ФИГ.8