



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013148166/08, 29.10.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.10.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.10.2013

(45) Опубликовано: 20.02.2015 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2361264 C2, 10.07.2009. RU 2234726 C1, 20.08.2004. RU 2364916 C1, 20.08.2009. RU 2308821 C2, 20.10.2007. US 2003/0085692 A1, 08.03.2003

Адрес для переписки:

634034, г.Томск, ул. Белинского, 53, НИИ АЭМ,
Земану С.К.

(72) Автор(ы):

Шадрин Георгий Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники" (ТУСУР) (RU)

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ФАЗОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники, в частности к регулированию переменного напряжения и тока. Технический результат заключается в расширении диапазона регулирования напряжения при индуктивной нагрузке независимо от ее параметров и создании надежного регулятора переменного напряжения, позволяющего реализовать этот способ, обеспечивая высокие энергетические показатели. Технический результат достигается тем, что в способе фазового регулирования переменного напряжения путем поочередного подключения реактивной нагрузки к питающей сети с помощью однополупериодных регулирующих ключей последовательной цепи и последующего замыкания ее накоротко однополупериодными

нулевыми ключами параллельной цепи в начале наступившего полупериода напряжения нулевым ключом предыдущего полупериода нагрузку замыкают накоротко, затем при заданном угле регулирования включают регулирующий ключ предыдущего полупериода, обеспечивая контур рекуперации электромагнитной энергии в сеть, при этом в устройстве фазового регулирования переменного напряжения регулирующий и нулевой ключи попарно соединены по схеме моста, одна диагональ которого связана с питающей сетью, а другая - с нагрузкой через датчик тока, причем в противоположных плечах регулирующие ключи зашунтированы обратными диодами. 2 н.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2 542 672 C1

RU 2 542 672 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013148166/08, 29.10.2013

(24) Effective date for property rights:
29.10.2013

Priority:

(22) Date of filing: 29.10.2013

(45) Date of publication: 20.02.2015 Bull. № 5

Mail address:

634034, g.Tomsk, ul. Belinskogo, 53, NII AEhM,
Zemanu S.K.

(72) Inventor(s):

Shadrin Georgij Alekseevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravlenija i radioelektroniki" (TUSUR) (RU)

(54) **METHOD AND DEVICE FOR PHASE CONTROL OVER VARIABLE VOLTAGE**

(57) Abstract:

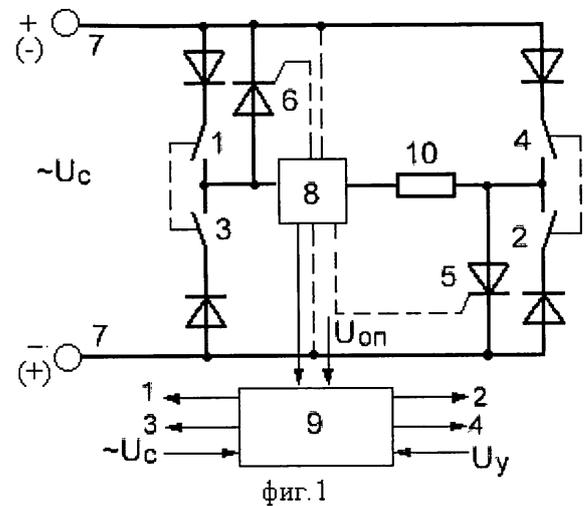
FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: this method comprises alternating connection of reactive load to supply circuit with the help of single half-wave control switches of serial circuit and its short-circuiting by single half-wave zero switches of parallel circuit. Then, the load is short-circuited at the start of existing voltage half-wave. Then, at preset control angle, control switch of previous half-period is switched on to provide for electromagnetic circuit power recuperation to the circuit. Proposed device control and zero switches are connected in pairs to bridge circuit, one diagonal of the latter being connected with supply circuit and another diagonal being connected with load via current transducer. Note here that control switches are shunted by inverter diodes.

EFFECT: expanded control range at inductive load irrespective of its parameters, reliable AC voltage

controller:

2 cl, 2 dwg



RU 2 542 672 C1

RU 2 542 672 C1

Изобретение относится к области электротехники, в частности к регулированию переменного напряжения и тока, и может быть использовано при глубоком регулировании напряжения во многих областях промышленности, в том числе в сварочных установках и выпрямителях.

5 Известен способ фазового регулирования напряжения на нагрузке с помощью биполярного ключа («Устройства автоматики на тиристорах» / В.А. Скаржепа, В.В. Морозов. - Киев: Техника, 1974, рис.60 и 62, с.97 и 100), при котором в течение каждого полупериода напряжения сети в заданный момент подключают нагрузку путем замыкания ключа, который размыкается при нулевом значении тока.

10 Недостатками указанного фазового способа регулирования напряжения является ограниченный диапазон регулирования, большой уровень высших гармоник (мощности искажения), дополнительное потребление реактивной мощности. Рабочий диапазон

изменения угла включения $\alpha_{k.min} = \varphi_H = \arctg \frac{\omega \cdot L_H}{R_H}$ ограничивается критическим углом.

15 Этот диапазон уменьшается с ростом индуктивной составляющей нагрузки.

Прерывистый ток активно-индуктивной нагрузки рассчитывается по уравнению:
 $i_H = (U_m / Z_H) \cdot \{ \sin(\alpha - \alpha_K) - \sin(\alpha_K - \varphi_H) \cdot \exp[-(\alpha - \alpha_K) / \text{tg} \varphi_H] \},$

20 где $\alpha = \omega \cdot t$, α_K - угол регулирования; $Z_H = \sqrt{R_H^2 + (\omega \cdot L_H)^2} \omega$.

В частности, при активной нагрузке и угле включения $\alpha_K = 90^\circ$ мощности достигают следующих значений: активная $P_{(1)} = 50\%$, реактивная $Q_{(1)} = 32\%$, а мощность искажений (высших гармоник) $N = 39\%$.

25 Известен способ регулирования напряжения на нагрузке, выбранный в качестве прототипа, путем поочередного подключения реактивной нагрузки к питающей сети с помощью встречно-параллельных ключей последовательной цепи, последующего замыкания ее накоротко встречно-параллельными ключами параллельной цепи и повторного включения одного из ключей последовательной цепи (а.с. №541157 и а.с. №1686417).

30 Известен регулятор переменного напряжения с регулирующим и нулевым полностью управляемыми ключами, например, на биполярных тиристорах с отсекающими диодами и коммутирующими конденсаторами, установленными между одноименными электродами тиристоров, выбранный в качестве прототипа (см. а.с. №517122, или а.с. №1686417).

35 Недостатком способа-прототипа является то, что при фазовом регулировании напряжения по углу включения двухключевой регулятор на встречно-параллельных тиристорных ключах с емкостной коммутацией не работоспособен. Невозможно запереть регулирующий ключ после смены полярности напряжения сети, поскольку образуется короткозамкнутый контур сети через регулирующий тиристорный ключ наступившего полупериода и тиристорный нулевой ключ предыдущего полупериода, особенно в динамических режимах.

40 Основной задачей при фазовом управлении является расширение диапазона регулирования напряжения при индуктивной нагрузке независимо от ее параметров и создание надежного регулятора переменного напряжения, позволяющего реализовать этот способ.

Поставленная цель достигается тем, что в способе фазового регулирования переменного напряжения путем поочередного подключения реактивной нагрузки к питающей сети с помощью однополупериодных регулирующих ключей

последовательной цепи и последующего замыкания ее накоротко однополупериодными нулевыми ключами параллельной цепи в начале каждого наступившего полупериода напряжения нулевым ключом предыдущего полупериода нагрузку замыкают накоротко, затем при заданном угле коммутации включают регулирующий ключ предыдущего полупериода, обеспечивая контур рекуперации избыточной электромагнитной энергии в сеть, а в момент перехода тока нагрузки через нуль замыкают регулирующий ключ наступившего полупериода, создавая контур потребления энергии из сети.

Устройство фазового регулирования переменного напряжения, содержащее блок управления, связанный с датчиком тока, и спаренные регулирующие и нулевые однополупериодные полностью управляемые ключи, решает поставленную задачу тем, что регулирующие и нулевые ключи попарно соединены по схеме моста, одна диагональ которого связана с питающей сетью, а другая - с нагрузкой через датчик тока, причем в противоположных плечах регулирующие ключи зашунтированы обратными диодами.

В качестве полностью управляемых ключей могут применяться биполярные и полевые транзисторы типа MOSFET, IGBT, запираемые тиристоры типов GTO, GCT, IGCT или обычные тиристоры с отсекающими диодами и конденсаторами, установленными между общими точками соединения тиристоров с диодами.

Сущность изобретения поясняется структурной схемой устройства регулирования напряжения на Фиг.1 и временными диаграммами с алгоритмом работы управляемых ключей, приведенными на фиг.2.

Устройство (фиг.1) выполнено на однополупериодных управляемых ключах: двух регулирующих ключах 1, 2 и двух встречно-соединенных с ними нулевых ключах 3, 4, которые работают в противофазе с ключами 1, 2, при этом регулирующие ключи 1, 2 зашунтированы обратными диодами 5 и 6, а все ключи соединены по мостовой схеме.

Ключи 1-4 подсоединены одной диагональю моста к питающей сети 7. Другая диагональ, образованная одноименными электродами ключей, нагружена на активно-индуктивную нагрузку 10 и датчик тока 8, связанный с блоком управления 9.

На фиг.2а обозначено: кривой штриховой линией - напряжение нагрузки в режиме потребления энергии, а вертикальной штриховой линией - режим рекуперации энергии в питающую сеть.

На фиг.2д-ж представлены зоны замкнутого состояния ключей, поясняющие способ регулирования напряжения по моменту начала подключения нагрузки к питающей сети.

Наступивший полупериод соответствует положительной полуволне синусоидального напряжения сети U_C (на фиг.2, б, в, г - горизонтальная штриховка), а предыдущий (второй) полупериод - отрицательной полуволне (фиг.2, д, е, ж - косая штриховка).

Сущность фазового способа регулирования выходного напряжения 11 (фиг.2) состоит в следующем.

В начале наступившего полупериода напряжения сети 7 с момента $\alpha=0$ сигналом с блока управления 9 замыкается нулевой ключ 4 предыдущего (второго) полупериода и через диод 6 (фиг.2, е) образуется короткозамкнутый контур нагрузки 10. По контуру продолжает протекать ток 12 нагрузки, состоящий из тока 13, потребляемого из сети, и экспоненциального тока 14, протекающего в короткозамкнутом контуре нагрузки (фиг.2, а). Уравнения для мгновенных значений токов, полученные методом припасовывания, следующие:

$$\text{ток нагрузки } i_H(\alpha) = i_C(\alpha) + i_3(\alpha),$$

$$\text{ток сети } i_c(\alpha) = \frac{k_2}{k_1^2 + 1} (k_1 \sin \alpha - \cos \alpha + \delta \cdot e^{-k_1 \alpha}),$$

$$\text{ток коротки } i_s(\alpha) = \frac{k_2 \cdot \lambda}{k_1^2 + 1} \cdot e^{k_1 \alpha}.$$

где $k_1 = R_H / L_H$; $k_2 = U_m / \omega \cdot L_H$; δ - коэффициент, учитывающий параметры схемы и начальные условия припасовывания; $\alpha = \omega \cdot t$.

При заданном угле коммутации $\alpha = \alpha_K$ сигналами с блока управления 9 одновременно размыкается нулевой ключ 4, а замыкается регулирующий ключ 2 отрицательного полупериода напряжения (связь регулирующих и нулевых ключей отмечена пунктиром).

На интервале $\alpha_K \leq \alpha \leq \varphi$ ток 13 (12) нагрузки 10 протекает встречно с напряжением сети 7 и спадает до нуля при $\alpha = \varphi$ со скоростью, зависящей от постоянной времени нагрузки. Избыточная электромагнитная энергия рекуперирована в сеть, при этом регулирующий ключ 2 размыкается и запирается диод 6, открытый в течение полупериода тока $\varphi \leq \alpha \leq \pi + \varphi$.

В момент $\alpha = \varphi$ перехода тока 12 через нуль сигналом с блока управления 9 замыкается регулирующий ключ 1 и через него и диод 5 начинает протекать ток 13, потребляемый из сети.

На интервале $\alpha_K \leq \alpha \leq \pi$ из питающей сети потребляется энергия, а кривая выходного напряжения 11 формируется в диапазоне зон рекуперации и потребления энергии. После изменения полярности напряжения сети 7 в момент $\alpha = \pi$ одновременно размыкается регулирующий ключ 1 и замыкается нулевой ключ 3.

Поскольку напряжение на нагрузке в каждый полупериод складывается из двух зон: зоны рекуперации и зоны потребления энергии из сети, то изменение реактивной составляющей нагрузки вызовет лишь изменение этих зон. В диапазоне этих зон нагрузка постоянно подключена к сети, поэтому их относительная продолжительность не влияет на форму выходного напряжения.

Среднее и действующее значения напряжения 11 на нагрузке определяются из

$$\text{уравнений: } U_{\text{н.ср}} = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \alpha_K),$$

$$U_n = \frac{U_m}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\pi - \alpha_K + 0,5 \sin \alpha_K}.$$

Ток 14, вызванный ЭДС самоиндукции, спадает по экспоненте в контуре: 10-8-5-3-10, рассеиваясь на активных сопротивлениях контура.

При угле $\alpha = \pi + \alpha_K$ начинает формироваться отрицательная полуволна выходного напряжения 11, при этом снова замыкается регулирующий ключ 1, образуя контур рекуперации энергии: 1-10-8-5-(+)(-) сети 7 (фиг.2а, д-ж).

С момента $\alpha = \pi + \varphi$ в работу вступает регулирующий ключ 2 и диод 6, по которым в диапазоне $\pi + \varphi \leq \alpha \leq 2\pi$ протекает ток 12 нагрузки 10.

В зависимости от схемы и типа применяемых ключей вместо диодов 5 и 6 можно использовать управляемые диоды - тиристоры, отпираемые сигналами с датчика 8 тока, как показано пунктиром на фиг.1.

Из приведенного следует, что в отличие от прототипа при фазовом регулировании напряжения по моменту замыкания регулирующего ключа в предлагаемом способе диапазон регулирования не зависит от характера нагрузки. При этом способе постоянно

имеется контур протекания тока нагрузки, вследствие чего между сетью и нагрузкой происходит свободный обмен энергией.

Сигнал напряжения с датчика тока 8 сравнивается с опорным напряжением U_{OP} , и разностный сигнал с блока управления 9 воздействует на длительность импульсов управления ключами 1-4, а также действует на систему защиты.

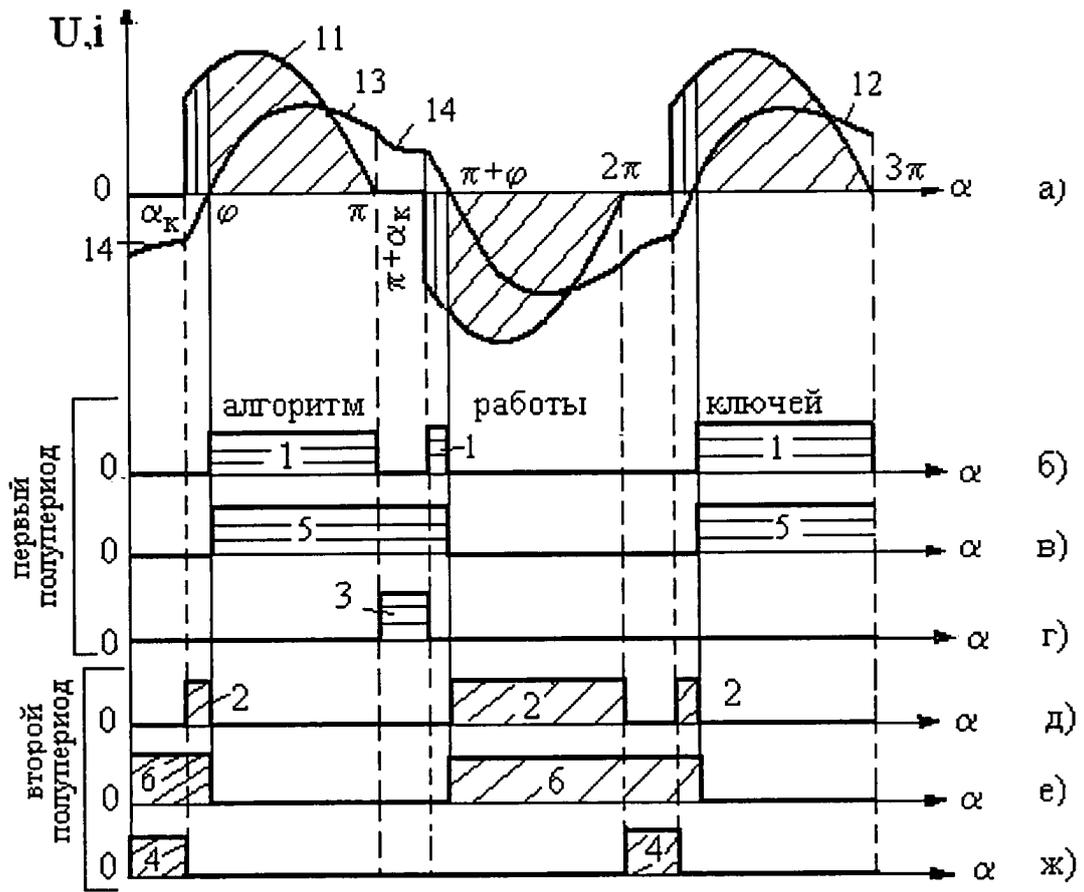
Устройство при такой схеме соединений и связей становится надежным в работе, поскольку отсутствует возможность появления сквозных контуров короткого замыкания сети в статических и динамических режимах через регулирующий ключ наступившего полупериода и нулевой ключ предыдущего полупериода напряжения сети.

Энергетические показатели устройства здесь выше, поскольку на интервалах короткозамкнутой нагрузки ток по ней протекает, а из сети не потребляется.

Формула изобретения

1. Способ фазового регулирования переменного напряжения путем поочередного подключения реактивной нагрузки к питающей сети с помощью однополупериодных регулирующих ключей последовательной цепи и последующего замыкания ее накоротко однополупериодными нулевыми ключами параллельной цепи, отличающийся тем, что в начале наступившего полупериода напряжения нулевым ключом предыдущего полупериода нагрузку замыкают накоротко, затем при заданном угле коммутации включают регулирующий ключ предыдущего полупериода, обеспечивая контур рекуперации электромагнитной энергии в сеть, а в момент перехода тока нагрузки через нуль замыкают регулирующий ключ наступившего полупериода, создавая контур потребления энергии из сети.

2. Устройство фазового регулирования переменного напряжения, содержащее блок управления, который связан с датчиком тока, и спаренные регулирующие и нулевые однополупериодные полностью управляемые ключи, отличающееся тем, что регулирующий и нулевой ключи попарно соединены по схеме моста, одна диагональ которого связана с питающей сетью, а другая - с нагрузкой через датчик тока, причем в противоположных плечах регулирующие ключи зашунтированы обратными диодами.



фиг. 2