



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007110475/09, 21.03.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.03.2007

(45) Опубликовано: 10.12.2008 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2284640 C2, 27.09.2006. SU 1467720
A1, 23.03.1989. GB 2328565 A, 24.02.1999.

Адрес для переписки:

432071, г.Ульяновск, а/я 2280, Е.М. Силкину

(72) Автор(ы):

Силкин Евгений Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

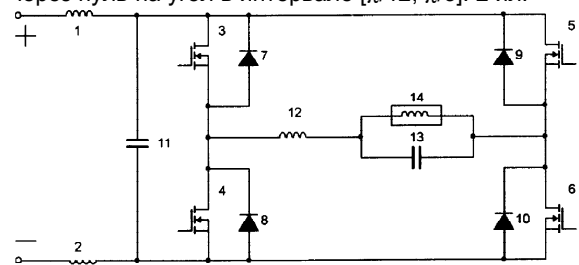
Закрытое акционерное общество "Электроника
силовая" (RU)

(54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕРТОРОМ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнологии и может быть использовано при проектировании систем управления с вентильными преобразователями частоты для индукционных нагревателей. Технический результат - изобретение повышает надежность работы инвертора. Способ управления инвертором на управляемых вентилях с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения, работающим на нагрузку в виде параллельного колебательного контура с высокой добротностью в интервале $[1, 30]$, подключенного к выходу инвертора через дополнительный дроссель, имеющий индуктивность величины kL , где k - числовой коэффициент, принимающий значения в интервале $[1/2, 5]$, а L - эквивалентная индуктивность нагрузки, заключается в формировании и поочередной подаче импульсов управления на управляемые вентили,

формирующие прямую и обратную полуволны переменного напряжения на нагрузке. Измеряют мгновенное значение переменного напряжения на нагрузке. Определяют моменты перехода мгновенного значения переменного напряжения на нагрузку через нуль. Очередные импульсы управления формируют и подают и очередные управляемые вентили включают с опережением относительно моментов перехода мгновенного значения переменного напряжения на нагрузку через нуль на угол в интервале $[\pi/12, \pi/3]$. 2 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

H02M 7/53846 (2007.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2007110475/09, 21.03.2007**(24) Effective date for property rights: **21.03.2007**(45) Date of publication: **10.12.2008 Bull. 34**

Mail address:

432071, g.Ul'janovsk, a/ja 2280, E.M. Silkinu

(72) Inventor(s):

Silkin Evgenij Mikhajlovich (RU)

(73) Proprietor(s):

**Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo
"Ehlektronika silovaja" (RU)****(54) METHOD OF INVERTER CONTROL**

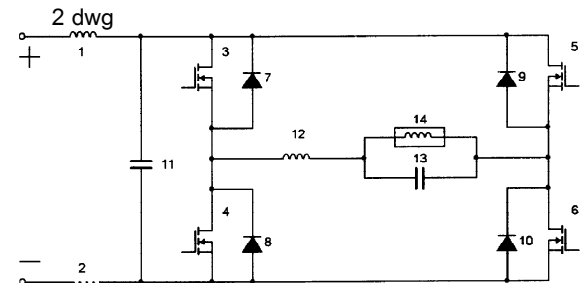
(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention may be used in design of control systems with valve frequency converters for induction heaters. Method of inverter control on controlled valves with source of DC supply voltage at the inlet that has characteristic of voltage source and operates for the load as parallel oscillating circuit with high factor of merit in the interval of $[1, 30]$, connected to the inverter outlet through additional throttle that has inductivity of value kL , where k - numerical coefficient that accepts values in the interval of $[1/2, 5]$, and L - equivalent inductivity of load, consists in generation and alternate supply of control pulses to controlled valves, which form direct and reverse half-waves of AC voltage at the load. Instantaneous value of AC voltage is measured at the load. Moments of AC

voltage instantaneous value transition through zero at the load are determined. Alternate control pulses are generated and supplied, and alternate controlled valves are switched on with advance, in relation to moments of AC voltage instantaneous value transition through zero at the load by angle in interval of $[\pi/12, \pi/3]$.

EFFECT: invention increases reliability of inverter operation.



Фиг. 1

RU 2 341 002 C1

RU 2 341 002 C1

Изобретение относится к электротехнологии и может быть использовано при проектировании систем управления с вентильными преобразователями частоты для индукционных нагревателей и других электротехнологических нагрузок. Изобретение повышает надежность работы автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией.

Известен способ управления инвертором на управляемых вентилях с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения, работающим на нагрузку в виде параллельного колебательного контура с высокой добротностью, подключенного к выходу инвертора через последовательную цепь, содержащую дополнительный дроссель и конденсатор, заключающийся в формировании и поочередной подаче импульсов управления на управляемые вентили, формирующие прямую и обратную полуволны переменного напряжения на нагрузке (Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок. / Е.И.Беркович, Г.В.Ивенский, Ю.С.Иоффе и др. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - С.50).

Недостатком способа управления инвертором является низкая надежность работы инвертора на изменяющуюся электротехнологическую нагрузку, что обусловлено возможностью перегрузок управляемых вентилях в режимах перекрытия токов управляемых вентилях и встречно-параллельных диодов.

Известен способ управления инвертором на управляемых вентилях с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения, работающим на нагрузку в виде параллельного колебательного контура с высокой добротностью, подключенного к выходу инвертора через последовательную цепь, содержащую дополнительный дроссель и конденсатор, заключающийся в формировании и поочередной подаче импульсов управления на управляемые вентили, формирующие прямую и обратную полуволны переменного напряжения на нагрузке, изменении частоты подачи импульсов управления на управляемые вентили (Тиристорные преобразователи частоты / А.К.Белкин, Т.П.Костюкова, Л.Э.Рогинская и др. - М.: Энергоатомиздат, 2000. - С.34).

Недостатком способа управления инвертором является низкая надежность работы инвертора на изменяющуюся электротехнологическую нагрузку, что обусловлено возможностью перегрузок управляемых вентилях в режимах перекрытия токов управляемых вентилях и встречно-параллельных диодов.

Известен способ управления инвертором на управляемых вентилях с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения, работающим на нагрузку в виде параллельного колебательного контура с высокой добротностью, подключенного к выходу инвертора через последовательную цепь, содержащую дополнительный дроссель и конденсатор, заключающийся в формировании и поочередной подаче импульсов управления на управляемые вентили, формирующие прямую и обратную полуволны переменного напряжения на нагрузке, изменении частоты подачи импульсов управления на управляемые вентили в функции тока управляемых вентилях (Патанов Д.А. Общие проблемы снижения коммутационных потерь в инверторах напряжения. // Схемотехника. - 2001. - №5. - С.48).

Недостатком способа управления инвертором является низкая надежность работы инвертора на изменяющуюся электротехнологическую нагрузку, что обусловлено возможностью перегрузок управляемых вентилях в режимах перекрытия токов управляемых вентилях и встречно-параллельных диодов.

Наиболее близким по технической сущности к изобретению является способ управления инвертором на управляемых вентилях с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения, работающим на нагрузку в виде параллельного колебательного контура с высокой добротностью, подключенного к выходу инвертора через последовательную цепь, содержащую дополнительный дроссель и конденсатор, заключающийся в формировании и поочередной подаче импульсов управления на управляемые вентили, формирующие прямую и обратную полуволны

переменного напряжения на нагрузке, изменении частоты подачи импульсов управления на управляемые вентили в функции технологического параметра (Лавлесс Д.Л., Кук З.Э., Руднев В.И. Характеристики и параметры источников питания для эффективного индукционного нагрева // Силовая электроника. - 2007. - №1. - С.96).

5 Указанный способ управления инвертором выбран в качестве прототипа изобретения.

Недостатком прототипа является низкая надежность работы инвертора на изменяющуюся электротехнологическую нагрузку, что обусловлено возможностью перегрузок управляемых вентилях в режимах перекрытия токов управляемых вентилях и встречно-параллельных диодов, высокими уровнями токов управляемых вентилях и встречно-параллельных диодов при выполнении инвертора на заданную мощность из-за низких уровней выходного напряжения, высокими потерями энергии в управляемых вентилях и встречно-параллельных диодах из-за высоких амплитуд протекающих токов, возможными сбоями в системе управления инвертором из-за перенапряжений и высоких амплитуд протекающих токов через управляемые вентили и встречно-параллельные диоды.

15 Изобретение направлено на решение задачи повышения надежности работы автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией, что является целью изобретения.

Указанная цель достигается тем, что в способе управления инвертором на управляемых вентилиях с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения, работающим на нагрузку в виде параллельного колебательного контура с высокой добротностью в интервале $[1, 30]$, подключенного к выходу инвертора через дополнительный дроссель, имеющий индуктивность величины kL , где k - числовой коэффициент, принимающий значения в интервале $[1/2, 5]$, а L - эквивалентная индуктивность нагрузки, заключающемся в формировании и поочередной подаче импульсов управления на управляемые вентили, формирующие прямую и обратную полуволны переменного напряжения на нагрузке, измеряют мгновенное значение переменного напряжения на нагрузке, определяют моменты перехода мгновенного значения переменного напряжения на нагрузке через нуль, очередные импульсы управления формируют и подают и очередные управляемые вентили включают с опережением относительно моментов перехода мгновенного значения переменного напряжения на нагрузке через нуль на угол в интервале $[\pi/12, \pi/3]$.

35 Существенным отличием, характеризующим изобретение, является повышение надежности работы автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией, что достигается снижением уровней токов и перенапряжений на управляемых вентилях и встречно-параллельных диодах, исключением режимов перегрева структуры управляемых вентилях и встречно-параллельных диодов, перекрытия токов управляемых вентилях и встречно-параллельных диодов и сбоев в системе управления инвертора.

40 Повышение надежности работы инвертора тока является полученным техническим результатом, обусловленным новыми действиями в способе управления, порядком их осуществления, то есть отличительными признаками полезной модели. При заявляемом способе управления инвертор приобретает свойства инвертора нового класса, отличительной особенностью которого является питание от источника постоянного напряжения на входе, имеющего характеристику источника напряжения. Таким образом, отличительные признаки заявляемого способа управления автономным инвертором являются существенными.

45 На фиг.1 приведена схема автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией, на фиг.2 представлены временные диаграммы, поясняющие принцип управления инвертором на управляемых вентилях с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения.

50 Способ управления автономным согласованным инвертором с резонансной коммутацией на управляемых вентилях с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения, работающим на нагрузку в виде

параллельного колебательного контура с высокой добротностью в интервале [1, 30], подключенного к выходу инвертора через дополнительный дроссель, имеющий индуктивность величины kL , где k - числовой коэффициент, принимающий значения в интервале [1/2, 5], а L - эквивалентная индуктивность нагрузки, реализуется

5 следующими действиями. Формируются и поочередно подаются импульсы управления на управляемые вентили, формирующие прямую и обратную полуволны переменного напряжения на нагрузке. Измеряют мгновенное значение переменного напряжения на нагрузке. Определяют моменты перехода мгновенного значения переменного напряжения на нагрузке через нуль. Очередные импульсы управления формируют и подают и
10 очередные управляемые вентили включают с опережением относительно моментов перехода мгновенного значения переменного напряжения на нагрузке через нуль на угол в интервале [$\pi/12$, $\pi/3$].

Автономный согласованный инвертор с резонансной коммутацией содержит подключенный к входным выводам инвертора через дроссели фильтра 1, 2 однофазный
15 мост на четырех управляемых вентилях 3-6 с встречно-параллельными диодами 7-10, зашунтированный конденсатором фильтра 11, выходные выводы переменного тока однофазного моста соединены с выходными выводами инвертора через коммутирующий дроссель 12, выходные выводы инвертора зашунтированы компенсирующим конденсатором 13. Нагрузка 14 подключена к выходным выводам инвертора.

20 Автономный согласованный инвертор с резонансной коммутацией в установившемся режиме работает следующим образом. Импульсы управления на управляемые вентили 3, 6 и 4, 5 поступают поочередно с частотой, равной частоте выходного сигнала инвертора. Значения индуктивностей дросселей фильтра 1, 2 выбраны достаточными для качественной фильтрации тока и напряжения на входе однофазного моста.

25 Компенсирующий конденсатор 13 обеспечивает параллельную компенсацию реактивной мощности индукционного нагревателя (нагрузки) 14 и последовательную компенсацию реактивной мощности коммутирующего дросселя 12. Коммутирующий дроссель 12 может выполняться в виде самостоятельного элемента или представлять собой индуктивность нагрузки (части нагрузки) и(или) соединительных отводящих шин (кабелей).

30 Полный цикл (период) выходного сигнала автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией состоит из двух равных временных интервалов (полупериодов - $T/2$, где T - период выходного напряжения), соответствующих различным сочетаниям включенного и выключенного состояния управляемых вентилях 3-6 и встречно-
35 параллельных диодов 7-10. В каждом полупериоде, в общем случае, можно выделить три различных по характеру электромагнитных процессов временных интервала (одновременной работы двух управляемых вентилях однофазного моста, двух смежных встречно-параллельных диодов, а также паузы в работе управляемых вентилях и встречно-
40 параллельных диодов). Основной интервал соответствует интервалу одновременной проводимости двух управляемых вентилях однофазного моста 3, 6 или 4, 5. Два других интервала целесообразно устанавливать малой длительности выбором параметров элементов, что обеспечивает высокие энергетические показатели устройства. На интервале одновременной проводимости двух смежных встречно-параллельных диодов к
45 выключившимся управляемым вентилям прикладывается небольшое обратное (отрицательное) напряжение, равное падению напряжения на встречно-параллельном диоде, и управляемые вентили могут восстанавливать свои управляющие свойства (при использовании однооперационных вентилях). В этом случае длительность второго интервала устанавливается исходя из требуемого времени выключения используемых управляемых вентилях 3-6.

В момент включения (начало полупериода), например, управляемых вентилях 3, 6
50 напряжение на компенсирующем конденсаторе 13 имеет условно отрицательную полярность (положительный потенциал на правой по схеме обкладке компенсирующего конденсатора 13). Напряжение на компенсирующем конденсаторе 13 изменяется по колебательному закону. Уровень напряжения на компенсирующем конденсаторе 13 в

момент включения управляемых вентилях 3, 6 ниже уровня амплитудного значения напряжения. Включение управляемых вентилях 3, 6 осуществляется с опережением относительно момента перехода мгновенного значения напряжения на компенсирующем конденсаторе 13 относительно нулевого уровня. Ток через параллельный нагрузочный контур, образованный индукционным нагревателем 14 и компенсирующим конденсатором 13, начинает протекать от конденсатора фильтра 11 автономного согласованного резонансного инвертора по цепи 11-3-12-(13, 14)-6-11. Конденсатор фильтра 11 имеет достаточную емкость для качественного сглаживания напряжения на входе однофазного моста. Заряд конденсатора фильтра 11 осуществляется от источника питания автономного согласованного резонансного инвертора по цепи + -1-11-2- -. Компенсирующий конденсатор 13 разряжается и колебательно перезаряжается до напряжения условно положительной полярности (положительный потенциал на левой по схеме обкладке). Параметры цепи 11-3-12-(13, 14)-6-11 и угол опережения s выбираются такими, чтобы электромагнитные процессы в ней также имели колебательный характер. То есть указанная цепь представляют собой последовательный колебательный контур, образованный коммутирующим дросселем 12 и некомпенсированной частью емкости компенсирующего конденсатора 13. Ток управляемых вентилях 3, 6 вначале возрастает, а затем спадает по квазиколебательному закону. В момент равенства тока управляемых вентилях 3, 6 нулю они выключаются. В момент выключения управляемых вентилях 3, 6 заканчивается первый интервал полупериода (одновременной проводимости управляемых вентилях однофазного моста). После выключения управляемых вентилях 3, 6 включаются встречно-параллельные диоды 7, 10. Возникает колебательный ток разряда компенсирующего конденсатора 13 по цепи 13-12-7-11-10-13. Одновременно компенсирующий конденсатор 13 продолжает перезаряжаться через нагрузку 14. На интервале одновременной проводимости двух смежных встречно-параллельных диодов 7, 10 к выключившимся управляемым вентилям 3, 6 прикладывается небольшое обратное (отрицательное) напряжение, равное падению напряжения на соответствующем встречно-параллельном диоде 7, 10, и управляемые вентили 3, 6 могут восстанавливать свои управляющие свойства (при использовании однооперационных вентилях). К моменту выключения встречно-параллельных диодов 7, 10 заканчивается второй интервал полупериода. Далее через интервал паузы (третий интервал полупериода) с опережением относительно момента перехода мгновенного значения напряжения на компенсирующем конденсаторе 13 через нуль включаются управляемые вентили 4, 5. Компенсирующий конденсатор 13 в указанный момент времени заряжен с условно положительной полярностью напряжения и колебательно перезаряжается до напряжения противоположной полярности (отрицательный потенциал на левой по схеме обкладке). С момента включения управляемых вентилях 4, 5 заканчивается первый полупериод в работе инвертора. Во втором полупериоде, при работе управляемых вентилях 4, 5 и встречно-параллельных диодов 8, 9, электромагнитные процессы в автономном согласованном резонансном инверторе протекают аналогично, но токи через нагрузочный контур (13, 14) с индукционным нагревателем 14 на временных интервалах во втором полупериоде имеют противоположное направление. По окончании второго полупериода снова включаются управляемые вентили 3, 6. Далее электромагнитные процессы в инверторе (новый период выходного сигнала) полностью повторяются.

Управляемые вентили 3-6 при реализации автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией могут быть выполнены как однооперационными симметричными или не имеющими обратной блокирующей способности (тиристоры различных типов, реверсивно-включаемые динисторы, газоразрядные вентили), так и двухоперационными, то есть полностью управляемыми симметричными или несимметричными (запираемые тиристоры, транзисторы различных типов, комбинированные ключи). Двухоперационные вентили также могут быть включены только в два плеча или в одну из групп (анодную или катодную) однофазного моста инвертора. При этом в двух других плечах или другой группе однофазного моста могут быть применены однооперационные вентили. В схеме

инвертора, управляемого по заявляемому способу, могут отсутствовать встречно-параллельные диоды.

На диаграммах фиг.2 использованы следующие обозначения. Сигналы управления управляемых вентилей обозначены как $u_{3,6}$ и $u_{4,5}$, напряжение на нагрузке u_{14} , ток, потребляемый колебательным контуром i , напряжение в диагонали переменного тока моста инвертора u , текущее время t , период выходного переменного напряжения T . Интервал опережения определяется выражением $s T/2\pi$, где s - угол опережения в радианах в интервале $[\pi/12, \pi/3]$.

Автономный согласованный инвертор с резонансной коммутацией, таким образом, работает по принципу самовозбуждающегося инвертора. При этом инвертор питается от источника постоянного напряжения на входе, имеющего характеристику источника напряжения. Автономный инвертор по характеру электромагнитных процессов относится к новому классу согласованных инверторов с резонансной коммутацией. Включение и выключение управляемых вентилей осуществляется при нулевом токе через них. Угол опережения s выбирается в оптимальном для данного класса инверторов интервале $[\pi/12, \pi/3]$.

По сравнению с прототипом при управлении по заявляемому способу существенно повышается надежность работы автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией. Это достигается снижением величин токов управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов за счет использования параллельной компенсации реактивности индукционного нагревателя (нагрузки), уровней перенапряжений на управляемых вентилях, возникающих при их выключении, уровней электромагнитных помех, возникающих при выключении управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов, обеспечением симметричного ограничения тока источника питания инвертора при аварийных замыканиях выходных выводов инвертора на корпус нагрузки за счет дросселей фильтра. Повышается устойчивость работы автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией и уменьшается вероятность срывов инвертирования при работе на изменяющуюся в широких пределах электротехнологическую нагрузку (например, индукционный нагреватель). За счет использования принципа самовозбуждения исключается вероятность возникновения режимов перекрытия токов управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов, а также сбоев в системе управления инвертора. Снижаются потери энергии в полупроводниковых структурах управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов.

Повышение надежности работы автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией оценивается по времени наработки на отказ. Согласно экспериментальных исследований и экспертных оценок время наработки на отказ инвертора с управлением по заявляемому способу может быть увеличено на 30-40%.

По сравнению с прототипом дополнительно повышается коэффициент полезного действия инвертора за счет уменьшения коммутационных и статических потерь энергии в управляемых вентилях и встречно-параллельных диодах (снижение уровней коммутационных перенапряжений, начальных скоростей нарастания и скоростей спада тока при включениях и выключениях управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов, рекуперация части энергии перенапряжений в нагрузку).

Дополнительно (по сравнению с прототипом) может быть существенно упрощена конструкция энергетической (силовой) части инвертора за счет обеспечения возможности использования управляемых вентилей и встречно-параллельных диодов со сниженными требованиями к их параметрам и более низкой ценой при выполнении инвертора на заданную мощность.

Может быть расширена область применения способа управления за счет применения в установках для индукционного нагрева деталей больших размеров, что обусловлено возможностью получения высоких уровней выходных напряжений автономного согласованного инвертора с резонансной коммутацией. В результате также может быть дополнительно повышен и коэффициент полезного действия инвертора.

Формула изобретения

Способ управления инвертором на управляемых вентилях с источником постоянного напряжения питания на входе, имеющим характеристику источника напряжения, работающим на нагрузку в виде параллельного колебательного контура с высокой добротностью в интервале $[1, 30]$, подключенного к выходу инвертора через дополнительный дроссель, имеющий индуктивность величины kL , где k - числовой коэффициент, принимающий значения в интервале $[1/2, 5]$, а L - эквивалентная индуктивность нагрузки, заключающийся в формировании и поочередной подаче импульсов управления на управляемые вентили, формирующие прямую и обратную полуволны переменного напряжения на нагрузке, отличающийся тем, что измеряют мгновенное значение переменного напряжения на нагрузке, определяют моменты перехода мгновенного значения переменного напряжения на нагрузке через нуль, очередные импульсы управления формируют и подают и очередные управляемые вентили включают с опережением относительно моментов перехода мгновенного значения переменного напряжения на нагрузке через нуль на угол в интервале $[\pi/12, \pi/3]$.

20

25

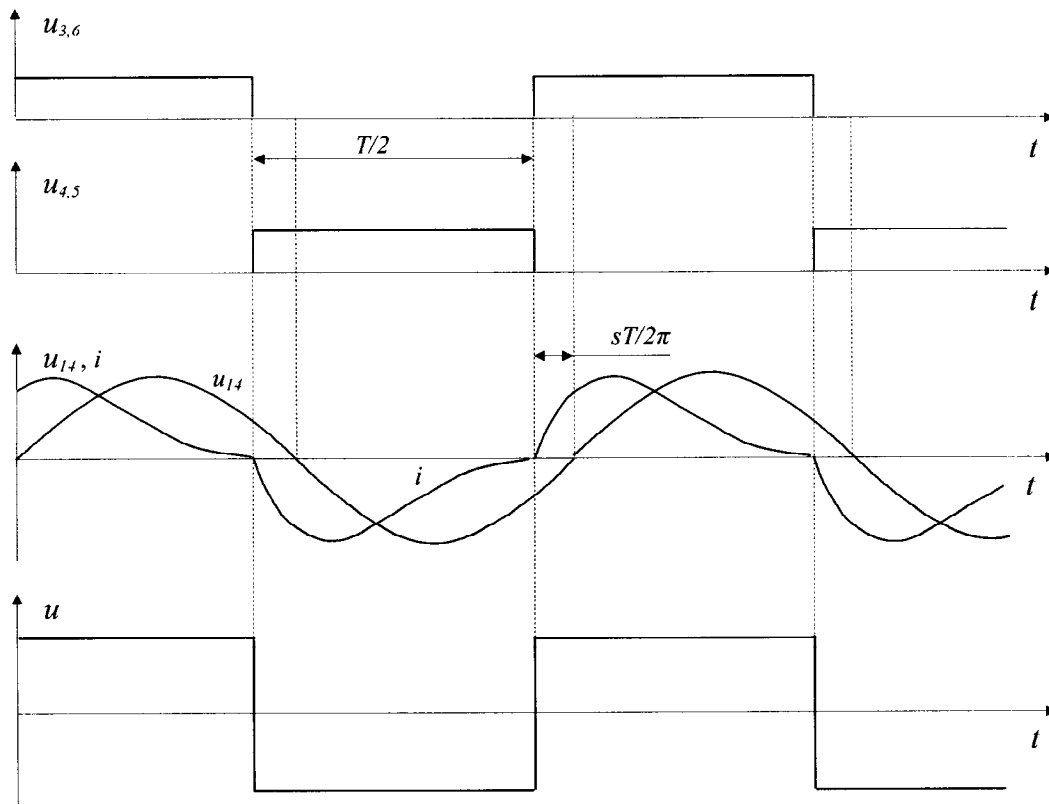
30

35

40

45

50



Фиг. 2