



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21), (22) Заявка: **2006107275/22**, **09.03.2006**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**09.03.2006**

(45) Опубликовано: **10.09.2006**

Адрес для переписки:  
**634003, г.Томск, 03, пл. Соляная, 2, ТГАСУ,  
патентный отдел**

(72) Автор(ы):

**Семенов Валерий Дмитриевич (RU),  
Рябков Сергей Александрович (RU),  
Левашов Евгений Алексеевич (RU),  
Русанов Валерий Викторович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Общество с ограниченной  
ответственностью  
"Научно-производственная фирма "Термит"  
(ООО "НПФ "Термит") (RU)**

**(54) ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ ИНДУКТОРА**

**Формула полезной модели**

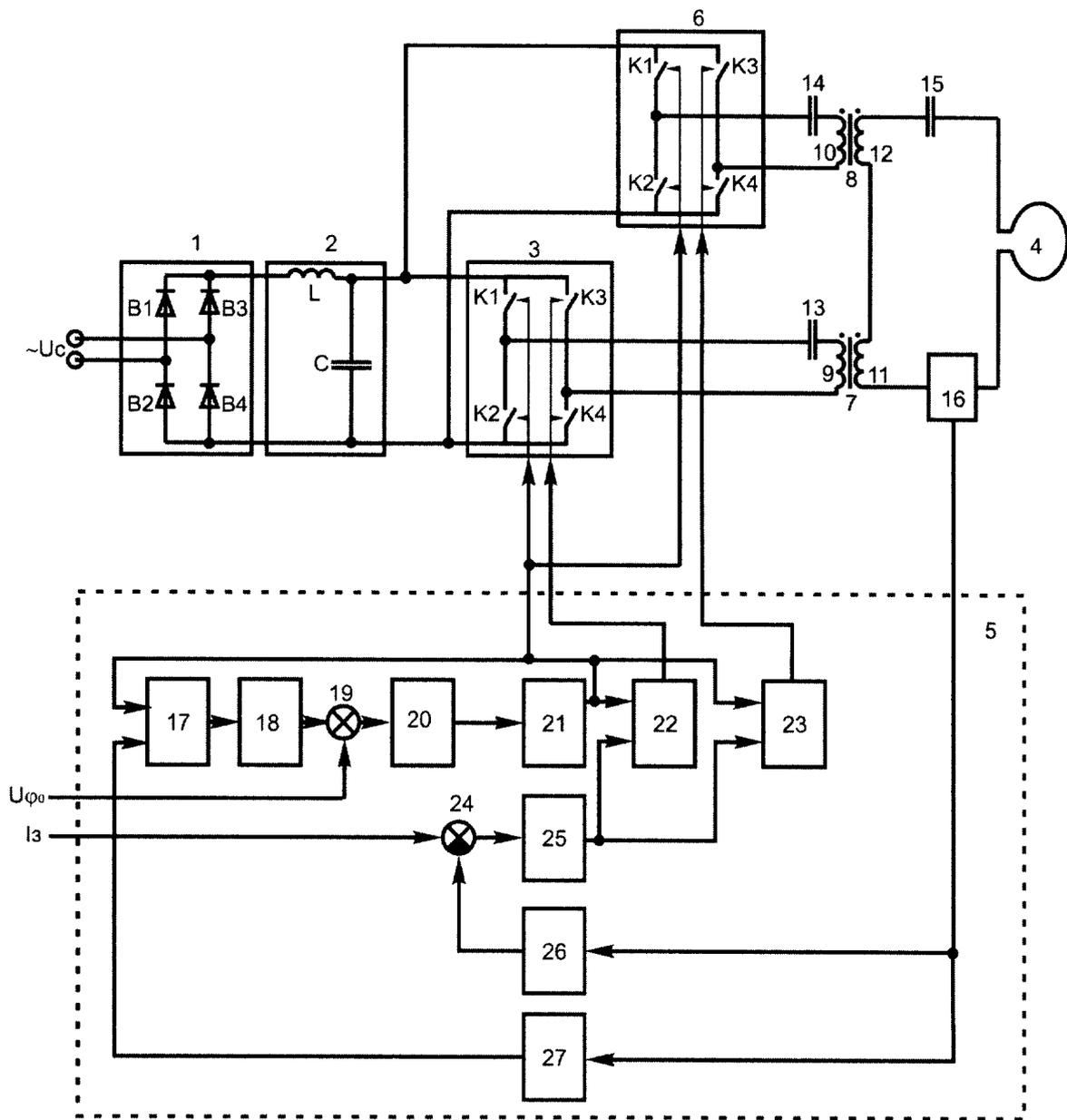
1. Преобразователь переменного тока для питания индуктора, содержащий входной сетевой выпрямитель, фильтр, первый инвертор, имеющий силовой вход, силовой выход и первый управляющий вход; индуктор и систему управления, имеющую первый задающий вход и первый управляющий выход, связанный с первым управляющим входом первого инвертора; при этом выход входного сетевого выпрямителя подключен к входу фильтра, выход которого подключен к силовому входу первого инвертора, отличающийся тем, что дополнительно содержит второй инвертор, имеющий силовой вход, силовой выход, первый и второй управляющие входы; первый и второй трансформаторы с первичной и вторичной обмотками; первый и второй разделительные конденсаторы; резонансный конденсатор колебательного контура и датчик тока; а система управления дополнительно имеет второй задающий вход, информационный вход, а также второй и третий управляющие выходы; при этом силовой вход второго инвертора подключен к выходу фильтра; силовые выходы первого и второго инверторов подключены соответственно к первичным обмоткам первого и второго трансформаторов через первый и второй разделительные конденсаторы; вторичные обмотки первого и второго трансформаторов соединены согласно и последовательно с резонансным конденсатором колебательного контура, индуктором и датчиком тока, выход которого подключен к информационному входу системы управления; при этом первый инвертор дополнительно снабжен вторым управляющим входом, связанным со вторым управляющим выходом системы управления, первые управляющие входы первого и второго инверторов объединены и подключены к первому управляющему выходу системы управления, а второй управляющий вход второго инвертора подключен к третьему управляющему выходу системы управления.

2. Преобразователь переменного тока для питания индуктора по п.1, отличающийся тем, что система управления содержит фазовый детектор, имеющий первый и второй входы и выход, фильтр фазового детектора, сумматор с первым и вторым входами и выходом; генератор управляемый напряжением; синхронизированный генератор; первое и второе фазосдвигающие устройства, имеющие первый и второй входы и выход соответственно, при этом выход первого фазосдвигающего устройства образует второй выход системы управления, а выход второго фазосдвигающего устройства образует третий выход системы управления; кроме того, система управления содержит также устройство сравнения с первым и вторым входами и одним выходом; усилительно-корректирующее звено и звено обратной связи, вход которого подключен к информационному входу системы управления, а его выход подключен к первому входу устройства сравнения, второй вход устройства сравнения образует первый задающий вход системы управления, а его выход подключен к входу усилительно-корректирующего звена, выходом подключенного к объединенным вторым входам первого и второго фазосдвигающих устройств; при этом выход фазового детектора соединен с входом фильтра фазового детектора, выход которого подключен к первому входу сумматора, второй вход которого образует второй задающий вход системы управления, а выход сумматора подключен к входу генератора управляемого напряжением, выход которого, в свою очередь, подключен к синхронизированному генератору, выход которого соединен с первыми входами первого и второго фазосдвигающих устройств и первым входом фазового детектора и образует первый выход системы управления; при этом ко второму входу фазового детектора подключен выход согласующего звена, вход которого подключен к информационному входу системы управления.

3. Преобразователь переменного тока для питания индуктора по п.1, отличающийся тем, что первое фазосдвигающее устройство содержит генератор пилообразного нарастающего напряжения, выходом подключенный к инвертирующему входу компаратора, выход которого соединен с первым входом логического элемента "Сумма по модулю 2", второй вход которого соединен с входом генератора пилообразного напряжения; при этом вход генератора пилообразного напряжения образует первый вход фазосдвигающего устройства, а второй (неинвертирующий) вход компаратора образует второй вход фазосдвигающего устройства; при этом противотактный выход фазосдвигающего устройства образован выходом логического элемента "Сумма по модулю 2" и его инверсией, полученной с помощью логического элемента "НЕ".

4. Преобразователь переменного тока для питания индуктора по п.1 или 3, отличающийся тем, что второе фазосдвигающее устройство содержит генератор пилообразного линейно падающего напряжения.

5. Преобразователь переменного тока для питания индуктора по п.1, отличающийся тем, что первый и второй инверторы выполнены однофазными мостовыми транзисторными с обратными диодами.



Полезная модель относится к преобразовательной технике и может быть использована в качестве источника питания для электротехнологических установок, например при производстве авторемонтных работ с использованием нескольких сменных индукторов.

Известен преобразователь переменного тока, выполненный в виде двух инверторных мостов со встречно-параллельными диодами и удвоением частоты, соединенных параллельно и работающих на общую нагрузку, [1. Тиристорные преобразователи частоты для индукционного нагрева металлов. Труды УАИ, вып.48, 1973. с.5-20.]. Этот преобразователь позволяет регулировать выходную мощность источника питания повышенной частоты в зависимости от изменения параметров нагрузки, путем введения фазового сдвига одного инвертора относительно другого.

Недостатком этого преобразователя является то, что параметры колебательного контура плохо согласуются с нагрузкой, изменяющейся в широких пределах, а инверторы при этом загружены неравномерно.

Известен преобразователь переменного тока для питания индуктора [2. RU, патент №2040105, МПК 6 Н 02 М 7/5387, опубликован 1995.07.20], содержащий сетевой выпрямитель, фильтр, транзисторный инвертор, входом подключенный к сетевому выпрямителю, а выходом - к инвертору; и блок управления, выходные выводы которого соединены с управляющими входами транзисторов, а входные (синхронизирующие) входы блока управления образованы датчиками напряжения, подключенными к коллекторам транзисторов одноименной группы. Этот преобразователь позволяет регулировать выходную мощность за счет введения паузы в алгоритм работы транзисторов.

Недостатком этого преобразователя является то, что он не обеспечивает необходимого диапазона регулирования мощности в индукторе, что особенно важно при использовании нескольких сменных индукторов с различными параметрами (индуктивность индуктора  $L_{и}$ , сопротивление нагрузки  $R_{н}$ , добротность колебательного контура  $Q$ ). Кроме того, величина напряжения на транзисторах инвертора определяется добротностью  $Q$  колебательного контура (сменного индуктора) и чем выше эта добротность, тем выше будет рабочее напряжение транзисторов, и тем выше будет их габаритная мощность, а значит и стоимость.

Наиболее близким по технической сути к заявляемой полезной модели является преобразователь переменного тока для питания индуктора [3. RU, патент №2031534, МПК 6 Н 02 М 5/45, опубликован 1995.03.20], взятый за прототип. Этот преобразователь переменного тока содержит выпрямитель с фильтром, мостовой однофазный транзисторный инвертор с индуктором в диагонали переменного тока. При этом транзисторы инвертора зашунтированы конденсаторами и встречными диодами. Кроме того, преобразователь содержит блок управления, включающий последовательно соединенные задающий генератор, триггер со счетным входом, при этом прямой и инверсный выходы триггера соединены с первыми входами двух логических элементов «И», а выходы элементов «И» подключены к управляющим электродам транзисторов через выходные каскады. Блок управления содержит также соединенные с задающим генератором, логический элемент «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ», логический элемент «НЕ», постоянный и переменный резисторы и конденсатор. При этом вторые входы логического элемента «И» соединены с выходом логического элемента «НЕ», а между первым и вторым входами элемента «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» включена последовательная цепь из постоянного и

переменного резисторов, второй вход элемента «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» соединен с корпусом блока управления через конденсатор.

Известный преобразователь (прототип) позволяет расширить диапазон регулирования выходных электрических параметров для питания индуктора за счет реализации блока управления, путем введения в него новых элементов и связей.

Недостатком прототипа является то, что он не обеспечивает необходимого изменения диапазона мощности в индукторе, особенно при использовании нескольких сменных индукторов, когда их параметры изменяются в широких пределах. Кроме того, габаритная мощность преобразователя увеличена в  $Q$  раз из-за того, что элементы колебательного контура (емкость резонансного конденсатора и индуктивность индуктора) включены соответственно на входе и выходе преобразователя. Величина добротности  $Q$  сменного индуктора может достигать значений  $2 \div 10$ , что увеличивает ток транзисторов, а значит и их габаритную мощность в  $Q$  раз и как следствие увеличивает стоимость транзисторов преобразователя.

Задачей полезной модели является создание преобразователя переменного тока, работающего на индуктор, параметры которого изменяются в широких пределах.

При решении этой задачи достигается технический результат, заключающийся в расширении диапазона регулирования мощности нагрузки без завышения габаритной мощности транзисторов при использовании сменных индукторов.

Для достижения технического результата полезная модель, как и прототип, содержит сетевой выпрямитель, фильтр, однофазный мостовой транзисторный инвертор с обратными диодами (первый инвертор), имеющий силовой вход, силовой выход и первый управляющий вход; индуктор и систему управления, имеющую первый задающий вход и первый управляющий выход, связанный с первым управляющим входом однофазного мостового транзисторного инвертора. При этом силовой вход выпрямителя соединен с зажимами сети переменного напряжения, а его выход подключен к входу фильтра, выход которого подключен к силовому входу первого инвертора.

В отличие от прототипа преобразователь переменного тока, заявляемый в качестве полезной модели, дополнительно содержит второй однофазный

мостовой транзисторный инвертор с обратными диодами (второй инвертор), имеющий силовой вход, силовой выход, первый и второй управляющие входы.

Преобразователь также содержит первый и второй трансформаторы с первичной и вторичной обмотками; первый и второй разделительные конденсаторы; резонансный конденсатор колебательного контура, датчик тока. При этом силовой вход второго инвертора подключен к выходу фильтра. Силовые выходы первого и второго инверторов подключены соответственно к первичным обмоткам первого и второго трансформаторов через первый и второй разделительные конденсаторы. Вторичные обмотки первого и второго трансформаторов соединены согласно и последовательно с резонансным конденсатором колебательного контура, индуктором и датчиком тока, выход которого подключен к информационному входу системы управления. При этом первый инвертор дополнительно снабжен вторым управляющим входом, связанным со вторым управляющим выходом системы управления. Первые управляющие входы первого и второго инверторов объединены и подключены к первому управляющему выходу системы управления, а второй управляющий вход второго инвертора подключен к третьему управляющему выходу системы управления.

Кроме того, система управления содержит фазовый детектор, имеющий первый и второй входы, фильтр фазового детектора, сумматор с первым и вторым входами и выходом, генератор управляемый напряжением; синхронизированный генератор, первое и второе фазосдвигающие устройства, имеющие первый и второй входы  
5 соответственно. При этом выход первого фазосдвигающего устройства образует второй выход системы управления, а выход второго фазосдвигающего устройства образует третий выход системы управления. Система управления содержит также устройство сравнения с первым и вторым входами и одним выходом;

10 усилительно-корректирующее звено и звено обратной связи, вход которого подключен к информационному входу системы управления, а выход подключен к первому входу устройства сравнения, второй вход которого образует первый задающий вход системы

15 управления, а выход устройства сравнения подключен к входу усилительно-корректирующего звена, выходом подключенного к объединенным вторым входам первого и второго фазосдвигающих устройств. При этом выход фазового детектора соединен с входом фильтра фазового детектора, выход которого подключен к первому входу сумматора, второй вход которого образует второй  
20 задающий вход системы управления, а его выход подключен к входу генератора управляемого напряжением, выход которого, в свою очередь, подключен к синхронизированному генератору, выход которого соединен с первыми входами первого и второго фазосдвигающих устройств и первым входом фазового детектора и образует первый выход системы управления. При этом ко второму входу фазового  
25 детектора подключен выход согласующего звена, вход которого образует информационный вход системы управления.

Кроме того, первое фазосдвигающее устройство содержит генератор пилообразного нарастающего напряжения, выходом подключенный к  
30 инвертирующему входу компаратора, выход которого соединен с первым входом логического элемента «Сумма по модулю 2», второй вход которого соединен с входом генератора пилообразного напряжения с линейно нарастающим напряжением. При этом вход генератора пилообразного напряжения образует первый вход фазосдвигающего устройства, а второй (неинвертирующий) вход компаратора  
35 образует второй вход фазосдвигающего устройства. Противотактный выход фазосдвигающего устройства образован выходом логического элемента «Сумма по модулю 2» и его инверсией, полученной с помощью логического элемента «НЕ».

Кроме того, второе фазосдвигающее устройство выполнено аналогично первому фазосдвигающему устройству. Отличительной его особенностью является генератор  
40 пилообразного напряжения, с линейно падающим напряжением. При этом сдвиг фаз управляющих импульсов будет осуществляться в сторону опережения на угол  $\beta$ , относительно напряжения синхронизированного генератора.

Совокупность существенных признаков преобразователя переменного тока для  
45 питания индуктора, заявляемого в качестве полезной модели, не известна заявителю из уровня техники, что позволяет сделать вывод о соответствии критерию «новизна» полезной модели.

Отличительные признаки полезной модели в совокупности с известными  
50 признаками обеспечивают технический результат, заключающийся в расширении диапазона регулирования мощности нагрузки при использовании сменных индукторов без завышения габаритной мощности транзисторов. Это достигается введением второго инвертора 6 и двух согласующих трансформаторов 7 и 8 с

разделительными конденсаторами 13, 14, а также наличием двух управляющих входов в первом 3 и втором 6 инверторах, что позволяет осуществить регулирование напряжения на нагрузке при фазовом сдвиге управляющих сигналов вторых входов инверторов относительно первых. Фазовые сдвиги обеспечиваются введенными первым 22 и вторым 23 фазосдвигающими устройствами. При чем фазовый сдвиг осуществляется на частоте, близкой к частоте резонансного контура, что обеспечивается подстройкой частоты управляющих импульсов с помощью введенного фазового детектора 17. При этом входное напряжение колебательного контура, снимаемое с вторичных обмоток 11, 12 трансформаторов 7, 8, плавно изменяется, примерно, в пределах от 5 до 100%, обеспечивая тем самым регулирование тока индуктора при широком изменении его параметров. При этом через преобразователь проходит только активная мощность нагрузки, т.к. реактивная мощность нагрузки скомпенсирована введенным резонансным конденсатором 15, установленным на вторичной стороне трансформаторов 7, 8. Это позволяет уменьшить габаритную мощность транзисторов преобразователя.

Сущность полезной модели поясняется чертежами, где на фиг.1 приведена структурно-функциональная схема преобразователя переменного тока для питания индуктора; на фиг.2 показан пример выполнения первого и второго фазосдвигающих устройств 22 и 23; на фиг.3 и 4 приведены временные диаграммы, поясняющие принцип работы фазосдвигающих устройств 22 и 23

соответственно; на фиг.5 приведены временные диаграммы, поясняющие принцип регулирования выходной мощности преобразователя.

Преобразователь переменного тока на фиг.1 содержит входной сетевой выпрямитель 1, фильтр 2, однофазный мостовой транзисторный инвертор 3 с обратными диодами (первый инвертор), имеющий силовой вход, силовой выход и первый управляющий вход; индуктор 4 и систему управления 5, имеющую первый задающий вход  $I_3$  и первый управляющий выход, связанный с первым управляющим входом однофазного мостового транзисторного инвертора 3. При этом силовой вход выпрямителя 1 соединен с зажимами сети переменного напряжения  $U_c$ , а его выход подключен к входу фильтра 2, выход которого подключен к силовому входу первого инвертора 3. Второй однофазный мостовой транзисторный инвертор 6 с обратными диодами (второй инвертор), имеет силовой вход, силовой выход первый и второй управляющие входы. Преобразователь содержит также первый 7 и второй 8 трансформаторы, имеющие первичные 9, 10 и вторичные 11, 12 обмотки соответственно. Кроме того, преобразователь переменного тока содержит первый 13 и второй 14 разделительные конденсаторы; резонансный конденсатор 15 колебательного контура, датчик тока 16. При этом силовой вход второго инвертора 6 подключен к выходу фильтра 2. Силовые выходы первого 3 и второго 6 инверторов подключены соответственно к первичным обмоткам 9, 10 первого 7 и второго 8 трансформаторов через первый 13 и второй 14 разделительные конденсаторы. Вторичные обмотки 11, 12 первого 7 и второго 8 трансформаторов соединены согласно и последовательно с резонансным конденсатором 15 колебательного контура, индуктором 4 и датчиком тока 16, выход которого подключен к информационному входу системы управления 5. При этом первый инвертор 3 дополнительно снабжен вторым управляющим входом, связанным со вторым управляющим выходом системы управления 5. Первые управляющие входы первого 3 и второго 6 инверторов объединены и подключены к первому управляющему выходу системы управления

5, а второй управляющий вход второго инвертора 6 подключен к третьему управляющему выходу системы управления 5.

Кроме того, система управления 5 содержит фазовый детектор 17, имеющий первый и второй входы и выход, фильтр фазового детектора 18; сумматор 19 с первым и вторым входами и выходом, генератор управляемый напряжением 20; синхронизированный генератор 21; первое 22 и второе 23 фазосдвигающие устройства, имеющие первый и второй входы и выход соответственно. При этом выход первого фазосдвигающего устройства 22 образует второй выход системы управления 5, а выход второго фазосдвигающего устройства 23 образует третий выход системы управления 5. Система управления 5 содержит также устройство сравнения 24 с первым и вторым входами и одним выходом; усилительно-корректирующее звено 25 и звено обратной связи 26, вход которого подключен к информационному входу системы управления 5, а выход подключен к первому входу устройства сравнения 24, второй вход устройства сравнения образует первый задающий вход системы управления 5, а его выход подключен к входу усилительно-корректирующего звена 25, выход которого подключен к объединенным вторым входам первого 22 и второго 23 фазосдвигающих устройств. При этом выход фазового детектора 17 соединен с входом фильтра фазового детектора 18, выход которого подключен к первому входу сумматора 19, второй вход которого образует второй задающий вход  $U_{\varphi 0}$  системы управления 5, а выход сумматора 19 подключен к входу генератора 20 управляемого напряжением, выход которого, в свою очередь, подключен к синхронизированному генератору 21, выход которого соединен с первыми входами первого 22 и второго 23 фазосдвигающих устройств и первым входом фазового детектора 17 и образует первый выход системы управления 5. При этом ко второму входу фазового детектора 17 подключен выход согласующего звена 27, вход которого образует информационный вход системы управления 5.

На фиг.2, 3, 4 использованы следующие обозначения: 28 - генератор пилообразного напряжения, 29 - компаратор, 30 - логический элемент

«Сумма по модулю 2», 31 - логический элемент «НЕ»;  $U_{21}$  - напряжение на выходе синхронизированного генератора,  $U_{25}$  - напряжение на выходе усилительно-корректирующего звена,  $U_{28(1)}$  - линейно нарастающее напряжение генератора пилообразного напряжения 28;  $U_{28(2)}$  - линейно падающее напряжение генератора пилообразного напряжения 28;  $U_{29}$  - напряжение на выходе компаратора 29;  $U_{30}$  - напряжение на выходе логического элемента 30 «Сумма по модулю 2»,  $U_{31}$  - напряжение на выходе логического элемента 31 «НЕ»;  $\alpha$  - угол фазового сдвига в сторону отставания фазы,  $\beta$  - угол фазового сдвига в сторону опережения фазы.

Фазосдвигающее устройство 22 (фиг.1) выполнено, например, как показано на фиг.2 и содержит генератор пилообразного нарастающего напряжения 28 (фиг.2), выходом подключенный к инвертирующему входу компаратора 29, выход которого соединен с первым входом логического элемента 30 «Сумма по модулю 2», второй вход которого соединен с входом генератора пилообразного напряжения 28 с линейно нарастающим напряжением. При этом вход генератора пилообразного напряжения 28 образует первый вход фазосдвигающего устройства 22, а второй (неинвертирующий) вход компаратора 29 образует второй вход фазосдвигающего устройства 22. Противотактный выход фазосдвигающего устройства 22 образован выходом

логического элемента 30 «Сумма по модулю 2» -  $U_{30}$  и его инверсией  $U_{31}$ , полученной с помощью логического элемента 31 «НЕ». Фазосдвигающее устройство 23 (фиг.1) выполнено аналогично фазосдвигающему устройству 22, как показано на фиг.2.

Отличительной его особенностью является генератор пилообразного напряжения 28 (фиг.2), с линейно падающим напряжением  $U_{28(2)}$ , как показано на фиг.4. При этом сдвиг фаз управляющих импульсов будет осуществляться в сторону опережения на угол  $\beta$ , относительно напряжения  $U_{21}$  синхронизированного генератора 21.

На фиг.5 использованы обозначения:  $i_{и}$  - ток индуктора 4;  $\varphi_0$  - фазовый сдвиг между управляющим сигналом  $U_{21}$  и током  $i_{и}$  индуктора 4; 3 {K1, K2, K3, K4 - управляющие сигналы на ключах первого инвертора 3;  $U_{11}$  - напряжение

на вторичной обмотке 11 трансформатора 7;  $U_m$  - амплитуда напряжения на вторичной обмотке 11 трансформатора 7; 6 {K1, K2, K3, K4 - управляющие сигналы на ключах второго инвертора 6;  $U_{12}$  - напряжение на вторичной обмотке 12 трансформатора 8;  $U_{(11+12)1}$  - суммарное напряжение на обмотках 11 и 12 трансформаторов 7 и 8 при  $\alpha_1$  и  $\beta_1$ , указанных на фиг.5;  $U_{(11+12)2}$  - суммарное напряжение на обмотках 11 и 12 трансформаторов 7 и 8 при  $\alpha_2$  и  $\beta_2$ , указанных на фиг.5.

Работа преобразователя переменного тока для питания индуктора рассмотрена на конкретном примере, в котором сетевой выпрямитель 1 выполнен по мостовой схеме на вентилях В1-В4; фильтр 2 выполнен в виде Г-образного LC - фильтра. Инверторы 3 и 6 выполнены по классической схеме автономного транзисторного инвертора напряжения с обратными диодами (на фиг.1 условно изображенными в виде ключей K1-K4). Управляющие входы ключей K1 и K2 первого 3 и второго 6 инверторов образуют первые входы инверторов и подключены к первому управляющему выходу системы управления 5. Ключи K1 и K2 обоих инверторов 3 и 6 управляются противотактно импульсной последовательностью, поступающей с первого управляющего выхода системы управления 5. Управляющие входы ключей K3 и K4 обоих инверторов 3 и 6 образуют вторые выходы инверторов 3 и 6. При этом ключи K3 и K4 первого инвертора управляются противотактно импульсной последовательностью, поступающей со второго управляющего выхода системы управления 5, сдвинутой относительно импульсной последовательности первого выхода системы управления 5 на регулируемый угол задержки  $\alpha$ . А ключи K3 и K4 второго инвертора управляются противотактно импульсной последовательностью, поступающей с третьего управляющего выхода системы управления 5, сдвинутой относительно импульсной последовательности первого выхода системы управления 5 на регулируемый угол опережения  $\beta$ . Фазовый детектор 17 выполнен по классической схеме синхронного выпрямителя. Фильтр фазового детектора 18 выполнен в виде апериодического звена, определяющего быстродействие фазовой автоподстройки.

Сумматор 19 и генератор управляемый напряжением 20 выполнены по классической схеме. Синхронизированный генератор 21 выполнен в виде счетного триггера. Фазосдвигающие устройства 22 и 23 выполнены, например, по схеме, представленной на фиг.2. Устройство сравнения 24 выполнено в виде сумматора с прямым и инверсным входами. Усилительно-корректирующее звено 25 выполнено в виде усилителя постоянного тока и последовательно включенного корректирующего звена, например, апериодического, обеспечивающего необходимый характер переходного процесса при регулировании тока индуктора. Звено обратной связи 26

выполнено, например, в виде детектора амплитуды. Согласующее звено 27 выполнено в виде усилителя переменного тока с ограничением.

Преобразователь переменного тока для питания индуктора работает следующим образом. Переменное напряжение  $U_c$  поступает на вход сетевого выпрямителя 1, выпрямляется, сглаживается и поступает на входы первого 3 и второго 6 инверторов, выходная частота которых зависит от системы управления 5, причем начальная частота задается сигналом  $U_{\varphi_0}$  на втором задающем входе системы управления 5.

Сигнал  $U_{\varphi_0}$  через сумматор 19 поступает на вход генератора управляемого напряжением (ГУН) 20, на выходе которого возникает частота  $f_0$ , которая должна быть выше резонансной частоты  $f_p$  колебательного контура, состоящего из резонансного конденсатора 15, индуктора 4 и датчика тока 16. Эта частота  $f_0$  поступает на вход синхронизированного генератора 21, с выхода которого поступает на первые управляющие входы первого инвертора 3 и второго инвертора 6.

Одновременно частота  $f_0$  поступает на входы фазосдвигающих устройств (ФСУ) - 22, 23 и на первый вход фазового детектора 17. С выхода ФСУ 22 и 23 сигнал с частотой  $f_0$  поступает на вторые входы инверторов, соответственно с ФСУ 22 - на второй вход первого инвертора 3, а с ФСУ 23 - на второй вход второго инвертора 6. На выходах трансформаторов 7 и 8 первого 3 и второго 6 инверторов формируется прямоугольное напряжение  $U_{11}$  и  $U_{12}$  (фиг.5) соответственно. Эти напряжения, в сумме равные напряжению  $U_{(11+12)1}$  или  $U_{(11+12)2}$  (фиг.5),

возбуждают в колебательном контуре вынужденные колебания тока, которые через датчик тока 16 и согласующее звено 27 поступают на второй вход фазового детектора 17. Выходной сигнал фазового детектора 17, пропорциональный разности фаз, через фильтр 18 и сумматор 19 воздействует на ГУН-20, изменяя его частоту и фазу так, что частота становится равной резонансной частоте  $f_p$  колебательного контура, а фаза тока сдвинута относительно напряжения на величину  $\varphi_0$  (фиг.5).

Таким образом, по рассмотренному контуру происходит подстройка частоты работы инверторов 3 и 6 к частоте колебательного контура - резонансный конденсатор 15, индуктор 4 и датчик тока 16. При изменении параметров индуктора 4, которое происходит под воздействием мощности, температуры или смены самого индуктора 4, частота работы инверторов подстраивается под изменяющуюся частоту контура.

Дальнейшая работа преобразователя рассмотрена при условии, что частота работы инверторов 3 и 6 совпадает с частотой колебательного контура. Пусть частота синхронизированного генератора 21 совпадает с резонансной частотой колебательного контура, что на фиг.5 представлено временными диаграммами  $U_{21}$  и  $i_{и}$ , причем фаза тока  $i_{и}$  отстает от сигнала  $U_{21}$  на некоторый угол  $\varphi_0$ . Соответственно на ключи К1 и К2 обоих инверторов 3 и 6 поступает противотактный управляющий сигнал 3 {К1, К2 и 6 {К1, К2, а управляющий сигнал на ключи К3 и К4 инвертора 3 определяется противотактным сигналом 3 {К3, К4, который зависит от сигнала  $U_{25}$  (фиг.3) на выходе усилительно-корректирующего звена 25. Если сигнал  $U_{25}=0$ , то угол  $\alpha$  сдвига фаз равен нулю и ключи инвертора 3 работают по алгоритму: на первом полупериоде замкнуты ключи К1, К3, а на втором - К2, К4. При таком алгоритме замыкания ключей К1-К4 на выходе инвертора 3 выходное напряжение будет равно нулю, а первичная обмотка 9 первого трансформатора 7 будет все время закороченной. Во втором инверторе 6 ключи К1, К2 управляются по сигналу 6 {К1, К2

с противотактного выхода синхронизированного генератора 21. Ключи К3, К4 управляются противотактным сигналом  $\beta$  {К3, К4, сдвиг фаз  $\beta$ , которого (фиг.4) зависит также от сигнала  $U_{25}$  с выхода усилительно-корректирующего

5 звена 25. Если сигнал  $U_{25}=0$ , то алгоритм работы ключей второго инвертора 6 будет следующим: на первом полупериоде замкнуты ключи К1, К3, а на втором - К2, К4. При этом на выходе инвертора 6 будет выходное напряжение равно нулю, а первичная обмотка 12 второго трансформатора 8 будет все время закорочена. При  
10 увеличении сигнала  $U_{25}$  (фиг.3) фазовый сдвиг  $\alpha$  противотактных сигналов  $U_{30}$ ,  $U_{31}$  на выходе первого ФСУ 22 будет увеличиваться в сторону отставания от сигнала  $U_{21}$ , синхронизированного генератора 21. При этом алгоритм работы ключей К1-К4 первого инвертора 3 будет изменяться. На первом полупериоде будут одновременно замкнуты ключи К1, К4 в течение  $\alpha_1$  (фиг.5), формируя на выходе трансформатора 7  
15 напряжение, амплитуда которого равна  $U_m = E \cdot W_2 / W_1$ , где  $E$  - напряжение на входе инвертора,  $W_1$  - число витков первичной обмотки 9,  $W_2$  - число витков вторичной обмотки 11. В оставшуюся часть полупериода будут замкнуты ключи К1, К3 и напряжение на выходе трансформатора 7 будет равно нулю (обмотка 9 закорочена).  
20 Во второй полупериод в течение угла сдвига фаз  $\alpha_1$  будут замкнуты ключи К2, К3, формируя на выходе трансформатора 7 (обмотка 11) отрицательное напряжение с амплитудой  $U_m = E \cdot W_2 / W_1$ , а в оставшуюся часть второго полупериода будут включены ключи К2, К4 и первичная обмотка 9 опять будет закорочена и напряжение  
25 на обмотке 11 будет равно нулю. Изменяя сигнал  $U_{25}$ , можно регулировать на полупериоде среднее значение напряжения на обмотке от 0 до  $U_m$ , по закону  $U_{cp} = U_m \cdot \gamma$ , где  $\gamma = \alpha_1 / \pi$  - относительная длительность импульса.

Аналогичные процессы будут происходить и во втором инверторе 6. При  
30 увеличении того же сигнала  $U_{25}$  (фиг.4) фазовый сдвиг (3 противотактных сигналов  $U_3$ ,  $U_{31}$  на выходе второго ФСУ 23 будет увеличиваться в сторону опережения от сигнала  $U_{21}$  синхронизированного генератора 21. При этом алгоритм работы ключей К1-К4 второго инвертора 6 будет изменяться. На первом полупериоде (фиг.5) будут  
35 одновременно замкнуты ключи К1, К3, замыкая первичную обмотку 10 трансформатора 8. Соответственно на обмотке 12 напряжение будет равно нулю. В оставшуюся часть  $\beta_1$  первого полупериода

будут замкнуты ключи К1, К4, и на вторичной обмотке будет формироваться  
40 напряжение, амплитуда которого будет равна  $U_m = E \cdot W_2 / W_1$ . Во второй полупериод аналогично, сначала будут замкнуты ключи К2, К4 второго инвертора 6, формируя на выходе трансформатора 8 напряжение, равное нулю, а в оставшуюся часть второго полупериода  $\beta_1$  будут замкнуты ключи К2, К3 второго инвертора 6, формируя на  
45 выходе трансформатора 8, напряжение, амплитуда которого будет равна  $U_m$ .

Напряжение на выходе трансформаторов 7 и 8, соответственно  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  при  $\alpha = \alpha_1$ ,  $\beta = \beta_1$  показано на фиг.5. Их сумма  $U_{(11+12)1}$ , которая подается на колебательный контур, также показана на фиг.5. Изменяя  $U_{25}$  (фиг.3, 4) от 0 до  $U_{\pi}$ , (где  $U_{\pi}$  -  
50 амплитуда пилообразного напряжения) напряжение  $U_{(11+12)}$ , подаваемое на колебательный контур, будет изменяться от 0 до  $2U_m$  плавно, с помощью широтно-импульсной модуляции. На фиг.5 показано это напряжение  $U_{(11+12)2}$  при

$\alpha=\alpha_2$  и  $\beta=\beta_2$ . Сигнал  $U_{2,5}$ , на выходе усилительно-корректирующего звена 25, величина которого определяет алгоритм работы ключей К1, К4 обоих инверторов 3 и 6, определяется отрицательной обратной связью. Эта связь организована с помощью устройства сравнения 24, на второй (неинвертирующий) вход которого поступает задающий сигнал  $I_3$  тока, а на первый вход - сигнал обратной связи по току с датчика 16, преобразованный в постоянную величину, пропорциональную току колебательного контура в звене обратной связи 26. При отклонении тока колебательного контура от заданного значения (например, уменьшении за счет изменения параметров индуктора) увеличивается сигнал на входе усилительно-корректирующего звена 25, что приводит к увеличению суммарного напряжения  $U_{(11+12)}$  вторичных обмоток 11 и 12 трансформаторов 7 и 8, которое прикладывается к колебательному контуру 15-4-16. Под действием этого возросшего напряжения ток в колебательном контуре восстанавливается до своего заданного значения.

Приведенный пример выполнения заявляемого преобразователя переменного тока для питания индуктора не ограничивает другие возможные примеры реализации данного преобразователя и его блоков.

Полезная модель промышленно применима и может быть многократно реализована различными общеизвестными в электронной технике схемными решениями и выполнена на известной элементной базе (например, IGBT - транзисторах, микросхемах любой степени интеграции). Заявляемая полезная модель может быть использована в других технологических процессах, когда параметры нагрузки изменяются в широких пределах.

#### (57) Реферат

Полезная модель относится к преобразовательной технике и может быть использована в качестве источника питания для электротехнологических установок, например при производстве авторемонтных работ с использованием нескольких сменных индукторов. Преобразователь содержит сетевой выпрямитель, фильтр, два однофазных мостовых транзисторных инвертора с обратными диодами, имеющими силовой вход, силовой выход, а также первый и второй управляющие входы; два трансформатора; два разделительных конденсатора, резонансный конденсатор колебательного контура; датчик тока; индуктор и систему управления. При этом силовые входы инверторов подключены к выходу фильтра. Силовые выходы первого и второго инверторов подключены соответственно к первичным обмоткам трансформаторов через первый и второй разделительные конденсаторы. Вторичные обмотки трансформаторов соединены согласно и последовательно с резонансным конденсатором колебательного контура, индуктором и датчиком тока, выход которого подключен к информационному входу системы управления. При этом второй управляющий вход первого инвертора связан со вторым управляющим выходом системы управления. Первые управляющие входы первого и второго инверторов объединены и подключены к первому управляющему выходу системы управления, а второй управляющий вход второго инвертора подключен к третьему управляющему выходу системы управления. Кроме того, система управления имеет два задающих входа и один информационный вход, образованный выходом датчика тока и входом согласующего звена и звена обратной связи. Технический результат заключается в расширении диапазона регулирования мощности нагрузки при использовании сменных индукторов без завышения габаритной мощности

транзисторов.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

## Реферат

### Преобразователь переменного тока для питания индуктора

Полезная модель относится к преобразовательной технике и может быть использована в качестве источника питания для электротехнологических установок, например при производстве авторемонтных работ с использованием нескольких сменных индукторов.

Преобразователь содержит сетевой выпрямитель, фильтр, два однофазных мостовых транзисторных инвертора с обратными диодами, имеющими силовой вход, силовой выход, а также первый и второй управляющие входы; два трансформатора; два разделительных конденсатора, резонансный конденсатор колебательного контура; датчик тока; индуктор и систему управления. При этом силовые входы инверторов подключены к выходу фильтра. Силовые выходы первого и второго инверторов подключены соответственно к первичным обмоткам трансформаторов через первый и второй разделительные конденсаторы. Вторичные обмотки трансформаторов соединены согласно и последовательно с резонансным конденсатором колебательного контура, индуктором и датчиком тока, выход которого подключен к информационному входу системы управления. При этом второй управляющий вход первого инвертора связан со вторым управляющим выходом системы управления. Первые управляющие входы первого и второго инверторов объединены и подключены к первому управляющему выходу системы управления, а второй управляющий вход второго инвертора подключен к третьему управляющему выходу системы управления. Кроме того, система управления имеет два задающих входа и один информационный вход, образованный выходом датчика тока и входом согласующего звена и звена обратной связи.

Технический результат заключается в расширении диапазона регулирования мощности нагрузки при использовании сменных индукторов без превышения габаритной мощности транзисторов.

2006107275



МПК 7 H02M5/45

### **Преобразователь переменного тока для питания индуктора**

Полезная модель относится к преобразовательной технике и может быть использована в качестве источника питания для электротехнологических установок, например при производстве авторемонтных работ с использованием нескольких сменных индукторов.

Известен преобразователь переменного тока, выполненный в виде двух инверторных мостов со встречно-параллельными диодами и удвоением частоты, соединенных параллельно и работающих на общую нагрузку, [1. Тиристорные преобразователи частоты для индукционного нагрева металлов. Труды УАИ, вып. 48, 1973. с. 5-20.]. Этот преобразователь позволяет регулировать выходную мощность источника питания повышенной частоты в зависимости от изменения параметров нагрузки, путем введения фазового сдвига одного инвертора относительно другого.

Недостатком этого преобразователя является то, что параметры колебательного контура плохо согласуются с нагрузкой, изменяющейся в широких пределах, а инверторы при этом загружены неравномерно.

Известен преобразователь переменного тока для питания индуктора [2. RU, патент № 2040105, МПК 6 H02M 7/5387, опубликован 1995.07.20], содержащий сетевой выпрямитель, фильтр, транзисторный инвертор, входом подключенный к сетевому выпрямителю, а выходом – к инвертору; и блок управления, выходные выводы которого соединены с управляющими входами транзисторов, а входные (синхронизирующие) входы блока управления образованы датчиками напряжения, подключенными к коллекторам транзисторов одноименной группы. Этот преобразователь позволяет регулировать выходную мощность за счет введения паузы в алгоритм работы транзисторов.

Недостатком этого преобразователя является то, что он не обеспечивает необходимого диапазона регулирования мощности в индукторе, что осо-

бенно важно при использовании нескольких сменных индукторов с различными параметрами (индуктивность индуктора  $L_n$ , сопротивление нагрузки  $R_n$ , добротность колебательного контура  $Q$ ). Кроме того, величина напряжения на транзисторах инвертора определяется добротностью  $Q$  колебательного контура (сменного индуктора) и чем выше эта добротность, тем выше будет рабочее напряжение транзисторов, и тем выше будет их габаритная мощность, а значит и стоимость.

Наиболее близким по технической сути к заявляемой полезной модели является преобразователь переменного тока для питания индуктора [З. RU, патент № 2031534, МПК 6 H02M5/45, опубликован 1995.03.20], взятый за прототип. Этот преобразователь переменного тока содержит выпрямитель с фильтром, мостовой однофазный транзисторный инвертор с индуктором в диагонали переменного тока. При этом транзисторы инвертора зашунтированы конденсаторами и встречными диодами. Кроме того, преобразователь содержит блок управления, включающий последовательно соединенные задающий генератор, триггер со счетным входом, при этом прямой и инверсный выходы триггера соединены с первыми входами двух логических элементов «И», а выходы элементов «И» подключены к управляющим электродам транзисторов через выходные каскады. Блок управления содержит также соединенные с задающим генератором, логический элемент «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ», логический элемент «НЕ», постоянный и переменный резисторы и конденсатор. При этом вторые входы логического элемента «И» соединены с выходом логического элемента «НЕ», а между первым и вторым входами элемента «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» включена последовательная цепь из постоянного и переменного резисторов, второй вход элемента «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ» соединен с корпусом блока управления через конденсатор.

Известный преобразователь (прототип) позволяет расширить диапазон регулирования выходных электрических параметров для питания индуктора

за счет реализации блока управления, путем введения в него новых элементов и связей.

Недостатком прототипа является то, что он не обеспечивает необходимого изменения диапазона мощности в индукторе, особенно при использовании нескольких сменных индукторов, когда их параметры изменяются в широких пределах. Кроме того, габаритная мощность преобразователя увеличена в  $Q$  раз из-за того, что элементы колебательного контура (емкость резонансного конденсатора и индуктивность индуктора) включены соответственно на входе и выходе преобразователя. Величина добротности  $Q$  сменного индуктора может достигать значений  $2 \div 10$ , что увеличивает ток транзисторов, а значит и их габаритную мощность в  $Q$  раз и как следствие увеличивает стоимость транзисторов преобразователя.

Задачей полезной модели является создание преобразователя переменного тока, работающего на индуктор, параметры которого изменяются в широких пределах.

При решении этой задачи достигается технический результат, заключающийся в расширении диапазона регулирования мощности нагрузки без завышения габаритной мощности транзисторов при использовании сменных индукторов.

Для достижения технического результата полезная модель, как и прототип, содержит сетевой выпрямитель, фильтр, однофазный мостовой транзисторный инвертор с обратными диодами (первый инвертор), имеющий силовой вход, силовой выход и первый управляющий вход; индуктор и систему управления, имеющую первый задающий вход и первый управляющий выход, связанный с первым управляющим входом однофазного мостового транзисторного инвертора. При этом силовой вход выпрямителя соединен с зажимами сети переменного напряжения, а его выход подключен к входу фильтра, выход которого подключен к силовому входу первого инвертора.

В отличие от прототипа преобразователь переменного тока, заявляемый в качестве полезной модели, дополнительно содержит второй однофаз-

ный мостовой транзисторный инвертор с обратными диодами (второй инвертор), имеющий силовой вход, силовой выход, первый и второй управляющие входы. Преобразователь также содержит первый и второй трансформаторы с первичной и вторичной обмотками; первый и второй разделительный конденсаторы; резонансный конденсатор колебательного контура, датчик тока. При этом силовой вход второго инвертора подключен к выходу фильтра. Силовые выходы первого и второго инверторов подключены соответственно к первичным обмоткам первого и второго трансформаторов через первый и второй разделительные конденсаторы. Вторичные обмотки первого и второго трансформаторов соединены согласно и последовательно с резонансным конденсатором колебательного контура, индуктором и датчиком тока, выход которого подключен к информационному входу системы управления. При этом первый инвертор дополнительно снабжен вторым управляющим входом, связанным со вторым управляющим выходом системы управления. Первые управляющие входы первого и второго инверторов объединены и подключены к первому управляющему выходу системы управления, а второй управляющий вход второго инвертора подключен к третьему управляющему выходу системы управления.

Кроме того, система управления содержит фазовый детектор, имеющий первый и второй входы, фильтр фазового детектора, сумматор с первым и вторым входами и выходом, генератор управляемый напряжением; синхронизированный генератор, первое и второе фазосдвигающие устройства, имеющие первый и второй входы соответственно. При этом выход первого фазосдвигающего устройства образует второй выход системы управления, а выход второго фазосдвигающего устройства образует третий выход системы управления. Система управления содержит также устройство сравнения с первым и вторым входами и одним выходом; усилительно-корректирующее звено и звено обратной связи, вход которого подключен к информационному входу системы управления, а выход подключен к первому входу устройства сравнения, второй вход которого образует первый задающий вход системы

управления, а выход устройства сравнения подключен к входу усилительно-корректирующего звена, выходом подключенного к объединенным вторым входам первого и второго фазосдвигающих устройств. При этом выход фазового детектора соединен с входом фильтра фазового детектора, выход которого подключен к первому входу сумматора, второй вход которого образует второй задающий вход системы управления, а его выход подключен к входу генератора управляемого напряжением, выход которого, в свою очередь, подключен к синхронизированному генератору, выход которого соединен с первыми входами первого и второго фазосдвигающих устройств и первым входом фазового детектора и образует первый выход системы управления. При этом ко второму входу фазового детектора подключен выход согласующего звена, вход которого образует информационный вход системы управления.

Кроме того, первое фазосдвигающее устройство содержит генератор пилообразного нарастающего напряжения, выходом подключенный к инвертирующему входу компаратора, выход которого соединен с первым входом логического элемента «Сумма по модулю 2», второй вход которого соединен с входом генератора пилообразного напряжения с линейно нарастающим напряжением. При этом вход генератора пилообразного напряжения образует первый вход фазосдвигающего устройства, а второй (неинвертирующий) вход компаратора образует второй вход фазосдвигающего устройства. Противотактный выход фазосдвигающего устройства образован выходом логического элемента «Сумма по модулю 2» и его инверсией, полученной с помощью логического элемента «НЕ».

Кроме того, второе фазосдвигающее устройство выполнено аналогично первому фазосдвигающему устройству. Отличительной его особенностью является генератор пилообразного напряжения, с линейно падающим напряжением. При этом сдвиг фаз управляющих импульсов будет осуществляться в сторону опережения на угол  $\beta$ , относительно напряжения синхронизированного генератора.

Совокупность существенных признаков преобразователя переменного тока для питания индуктора, заявляемого в качестве полезной модели, не известна заявителю из уровня техники, что позволяет сделать вывод о соответствии критерию «новизна» полезной модели.

Отличительные признаки полезной модели в совокупности с известными признаками обеспечивают технический результат, заключающийся в расширении диапазона регулирования мощности нагрузки при использовании сменных индукторов без завышения габаритной мощности транзисторов. Это достигается введением второго инвертора 6 и двух согласующих трансформаторов 7 и 8 с разделительными конденсаторами 13, 14, а также наличием двух управляющих входов в первом 3 и втором 6 инверторах, что позволяет осуществить регулирование напряжения на нагрузке при фазовом сдвиге управляющих сигналов вторых входов инверторов относительно первых. Фазовые сдвиги обеспечиваются введенными первым 22 и вторым 23 фазосдвигающими устройствами. При этом фазовый сдвиг осуществляется на частоте, близкой к частоте резонансного контура, что обеспечивается подстройкой частоты управляющих импульсов с помощью введенного фазового детектора 17. При этом входное напряжение колебательного контура, снимаемое с вторичных обмоток 11, 12 трансформаторов 7, 8, плавно изменяется, примерно, в пределах от 5 до 100 %, обеспечивая тем самым регулирование тока индуктора при широком изменении его параметров. При этом через преобразователь проходит только активная мощность нагрузки, т. к. реактивная мощность нагрузки скомпенсирована введенным резонансным конденсатором 15, установленным на вторичной стороне трансформаторов 7, 8. Это позволяет уменьшить габаритную мощность транзисторов преобразователя.

Сущность полезной модели поясняется чертежами, где на фиг. 1 приведена структурно-функциональная схема преобразователя переменного тока для питания индуктора; на фиг. 2 показан пример выполнения первого и второго фазосдвигающих устройств 22 и 23; на фиг. 3 и 4 приведены временные диаграммы, поясняющие принцип работы фазосдвигающих устройств 22 и 23

соответственно; на фиг. 5 приведены временные диаграммы, поясняющие принцип регулирования выходной мощности преобразователя.

Преобразователь переменного тока на фиг. 1 содержит входной сетевой выпрямитель 1, фильтр 2, однофазный мостовой транзисторный инвертор 3 с обратными диодами (первый инвертор), имеющий силовой вход, силовой выход и первый управляющий вход; индуктор 4 и систему управления 5, имеющую первый задающий вход  $I_3$  и первый управляющий выход, связанный с первым управляющим входом однофазного мостового транзисторного инвертора 3. При этом силовой вход выпрямителя 1 соединен с зажимами сети переменного напряжения  $U_c$ , а его выход подключен к входу фильтра 2, выход которого подключен к силовому входу первого инвертора 3. Второй однофазный мостовой транзисторный инвертор 6 с обратными диодами (второй инвертор), имеет силовой вход, силовой выход первый и второй управляющие входы. Преобразователь содержит также первый 7 и второй 8 трансформаторы, имеющие первичные 9, 10 и вторичные 11, 12 обмотки соответственно. Кроме того, преобразователь переменного тока содержит первый 13 и второй 14 разделительные конденсаторы; резонансный конденсатор 15 колебательного контура, датчик тока 16. При этом силовой вход второго инвертора 6 подключен к выходу фильтра 2. Силовые выходы первого 3 и второго 6 инверторов подключены соответственно к первичным обмоткам 9, 10 первого 7 и второго 8 трансформаторов через первый 13 и второй 14 разделительные конденсаторы. Вторичные обмотки 11, 12 первого 7 и второго 8 трансформаторов соединены согласно и последовательно с резонансным конденсатором 15 колебательного контура, индуктором 4 и датчиком тока 16, выход которого подключен к информационному входу системы управления 5. При этом первый инвертор 3 дополнительно снабжен вторым управляющим входом, связанным со вторым управляющим выходом системы управления 5. Первые управляющие входы первого 3 и второго 6 инверторов объединены и подключены к первому управляющему выходу системы управле-

ния 5, а второй управляющий вход второго инвертора 6 подключен к третьему управляющему выходу системы управления 5.

Кроме того, система управления 5 содержит фазовый детектор 17, имеющий первый и второй входы и выход, фильтр фазового детектора 18; сумматор 19 с первым и вторым входами и выходом, генератор управляемый напряжением 20; синхронизированный генератор 21; первое 22 и второе 23 фазосдвигающие устройства, имеющие первый и второй входы и выход соответственно. При этом выход первого фазосдвигающего устройства 22 образует второй выход системы управления 5, а выход второго фазосдвигающего устройства 23 образует третий выход системы управления 5. Система управления 5 содержит также устройство сравнения 24 с первым и вторым входами и одним выходом; усилительно-корректирующее звено 25 и звено обратной связи 26, вход которого подключен к информационному входу системы управления 5, а выход подключен к первому входу устройства сравнения 24, второй вход устройства сравнения образует первый задающий вход системы управления 5, а его выход подключен к входу усилительно-корректирующего звена 25, выход которого подключен к объединенным вторым входам первого 22 и второго 23 фазосдвигающих устройств. При этом выход фазового детектора 17 соединен с входом фильтра фазового детектора 18, выход которого подключен к первому входу сумматора 19, второй вход которого образует второй задающий вход  $U_{\varphi 0}$  системы управления 5, а выход сумматора 19 подключен к входу генератора 20 управляемого напряжением, выход которого, в свою очередь, подключен к синхронизированному генератору 21, выход которого соединен с первыми входами первого 22 и второго 23 фазосдвигающих устройств и первым входом фазового детектора 17 и образует первый выход системы управления 5. При этом ко второму входу фазового детектора 17 подключен выход согласующего звена 27, вход которого образует информационный вход системы управления 5.

На фиг. 2, 3, 4 использованы следующие обозначения: 28 – генератор пилообразного напряжения, 29 – компаратор, 30 – логический элемент

«Сумма по модулю 2», 31 – логический элемент «НЕ»;  $U_{21}$  – напряжение на выходе синхронизированного генератора,  $U_{25}$  – напряжение на выходе усилительно-корректирующего звена,  $U_{28(1)}$  – линейно нарастающее напряжение генератора пилообразного напряжения 28;  $U_{28(2)}$  – линейно падающее напряжение генератора пилообразного напряжения 28;  $U_{29}$  – напряжение на выходе компаратора 29;  $U_{30}$  – напряжение на выходе логического элемента 30 «Сумма по модулю 2»,  $U_{31}$  – напряжение на выходе логического элемента 31 «НЕ»;  $\alpha$  – угол фазового сдвига в сторону отставания фазы,  $\beta$  – угол фазового сдвига в сторону опережения фазы.

Фазосдвигающее устройство 22 (фиг.1) выполнено, например, как показано на фиг. 2 и содержит генератор пилообразного нарастающего напряжения 28 (фиг. 2), выходом подключенный к инвертирующему входу компаратора 29, выход которого соединен с первым входом логического элемента 30 «Сумма по модулю 2», второй вход которого соединен с входом генератора пилообразного напряжения 28 с линейно нарастающим напряжением. При этом вход генератора пилообразного напряжения 28 образует первый вход фазосдвигающего устройства 22, а второй (неинвертирующий) вход компаратора 29 образует второй вход фазосдвигающего устройства 22. Противотактный выход фазосдвигающего устройства 22 образован выходом логического элемента 30 «Сумма по модулю 2» -  $U_{30}$  и его инверсией  $U_{31}$ , полученной с помощью логического элемента 31 «НЕ». Фазосдвигающее устройство 23 (фиг.1) выполнено аналогично фазосдвигающему устройству 22, как показано на фиг.2. Отличительной его особенностью является генератор пилообразного напряжения 28 (фиг.2), с линейно падающим напряжением  $U_{28(2)}$ , как показано на фиг.4. При этом сдвиг фаз управляющих импульсов будет осуществляться в сторону опережения на угол  $\beta$ , относительно напряжения  $U_{21}$  синхронизированного генератора 21.

На фиг. 5 использованы обозначения:  $i_{и}$  – ток индуктора 4;  $\phi_0$  – фазовый сдвиг между управляющим сигналом  $U_{21}$  и током  $i_{и}$  индуктора 4;  $3\{K1, K2, K3, K4$  – управляющие сигналы на ключах первого инвертора 3;  $U_{11}$  – напря-

жение на вторичной обмотке 11 трансформатора 7;  $U_m$  – амплитуда напряжения на вторичной обмотке 11 трансформатора 7;  $6\{K1, K2, K3, K4$  - управляющие сигналы на ключах второго инвертора 6;  $U_{12}$  – напряжение на вторичной обмотке 12 трансформатора 8;  $U_{(11+12)1}$  – суммарное напряжение на обмотках 11 и 12 трансформаторов 7 и 8 при  $\alpha_1$  и  $\beta_1$ , указанных на фиг. 5;  $U_{(11+12)2}$  – суммарное напряжение на обмотках 11 и 12 трансформаторов 7 и 8 при  $\alpha_2$  и  $\beta_2$ , указанных на фиг. 5.

Работа преобразователя переменного тока для питания индуктора рассмотрена на конкретном примере, в котором сетевой выпрямитель 1 выполнен по мостовой схеме на вентилях В1 - В4; фильтр 2 выполнен в виде Г-образного LC – фильтра. Инверторы 3 и 6 выполнены по классической схеме автономного транзисторного инвертора напряжения с обратными диодами (на фиг. 1 условно изображенными в виде ключей К1-К4). Управляющие входы ключей К1 и К2 первого 3 и второго 6 инверторов образуют первые входы инверторов и подключены к первому управляющему выходу системы управления 5. Ключи К1 и К2 обоих инверторов 3 и 6 управляются противотактно импульсной последовательностью, поступающей с первого управляющего выхода системы управления 5. Управляющие входы ключей К3 и К4 обоих инверторов 3 и 6 образуют вторые входы инверторов 3 и 6. При этом ключи К3 и К4 первого инвертора управляются противотактно импульсной последовательностью, поступающей со второго управляющего выхода системы управления 5, сдвинутой относительно импульсной последовательности первого выхода системы управления 5 на регулируемый угол задержки  $\alpha$ . А ключи К3 и К4 второго инвертора управляются противотактно импульсной последовательностью, поступающей с третьего управляющего выхода системы управления 5, сдвинутой относительно импульсной последовательности первого выхода системы управления 5 на регулируемый угол опережения  $\beta$ . Фазовый детектор 17 выполнен по классической схеме синхронного выпрямителя. Фильтр фазового детектора 18 выполнен в виде апериодического звена, определяющего быстродействие фазовой автоподстрой-

ки. Сумматор 19 и генератор управляемый напряжением 20 выполнены по классической схеме. Синхронизированный генератор 21 выполнен в виде счетного триггера. Фазосдвигающие устройства 22 и 23 выполнены, например, по схеме, представленной на фиг. 2. Устройство сравнения 24 выполнено в виде сумматора с прямым и инверсным входами. Усилительно-корректирующее звено 25 выполнено в виде усилителя постоянного тока и последовательно включенного корректирующего звена, например, апериодического, обеспечивающего необходимый характер переходного процесса при регулировании тока индуктора. Звено обратной связи 26 выполнено, например, в виде детектора амплитуды. Согласующее звено 27 выполнено в виде усилителя переменного тока с ограничением.

Преобразователь переменного тока для питания индуктора работает следующим образом. Переменное напряжение  $U_c$  поступает на вход сетевого выпрямителя 1, выпрямляется, сглаживается и поступает на входы первого 3 и второго 6 инверторов, выходная частота которых зависит от системы управления 5, причем начальная частота задается сигналом  $U_{\phi_0}$  на втором задающем входе системы управления 5. Сигнал  $U_{\phi_0}$  через сумматор 19 поступает на вход генератора управляемого напряжением (ГУН) 20, на выходе которого возникает частота  $f_0$ , которая должна быть выше резонансной частоты  $f_p$  колебательного контура, состоящего из резонансного конденсатора 15, индуктора 4 и датчика тока 16. Эта частота  $f_0$  поступает на вход синхронизированного генератора 21, с выхода которого поступает на первые управляющие входы первого инвертора 3 и второго инвертора 6. Одновременно частота  $f_0$  поступает на входы фазосдвигающих устройств (ФСУ) – 22, 23 и на первый вход фазового детектора 17. С выхода ФСУ 22 и 23 сигнал с частотой  $f_0$  поступает на вторые входы инверторов, соответственно с ФСУ 22 - на второй вход первого инвертора 3, а с ФСУ 23 – на второй вход второго инвертора 6. На выходах трансформаторов 7 и 8 первого 3 и второго 6 инверторов формируется прямоугольное напряжение  $U_{11}$  и  $U_{12}$  (фиг.5) соответственно. Эти напряжения, в сумме равные напряжению  $U_{(11+12)1}$  или  $U_{(11+12)2}$  (фиг. 5),

возбуждают в колебательном контуре вынужденные колебания тока, которые через датчик тока 16 и согласующее звено 27 поступают на второй вход фазового детектора 17. Выходной сигнал фазового детектора 17, пропорциональный разности фаз, через фильтр 18 и сумматор 19 воздействует на ГУН – 20, изменяя его частоту и фазу так, что частота становится равной резонансной частоте  $f_p$  колебательного контура, а фаза тока сдвинута относительно напряжения на величину  $\varphi_0$  (фиг.5). Таким образом, по рассмотренному контуру происходит подстройка частоты работы инверторов 3 и 6 к частоте колебательного контура - резонансный конденсатор 15, индуктор 4 и датчик тока 16. При изменении параметров индуктора 4, которое происходит под воздействием мощности, температуры или смены самого индуктора 4, частота работы инверторов подстраивается под изменяющуюся частоту контура.

Дальнейшая работа преобразователя рассмотрена при условии, что частота работы инверторов 3 и 6 совпадает с частотой колебательного контура. Пусть частота синхронизированного генератора 21 совпадает с резонансной частотой колебательного контура, что на фиг. 5 представлено временными диаграммами  $U_{21}$  и  $i_n$ , причем фаза тока  $i_n$  отстает от сигнала  $U_{21}$  на некоторый угол  $\varphi_0$ . Соответственно на ключи К1 и К2 обоих инверторов 3 и 6 поступает противотактный управляющий сигнал  $3\{K1, K2$  и  $6\{K1, K2$ , а управляющий сигнал на ключи К3 и К4 инвертора 3 определяется противотактным сигналом  $3\{K3, K4$ , который зависит от сигнала  $U_{25}$  (фиг.3) на выходе усилительно-корректирующего звена 25. Если сигнал  $U_{25} = 0$ , то угол  $\alpha$  сдвига фаз равен нулю и ключи инвертора 3 работают по алгоритму: на первом полупериоде замкнуты ключи К1, К3, а на втором - К2, К4. При таком алгоритме замыкания ключей К1-К4 на выходе инвертора 3 выходное напряжение будет равно нулю, а первичная обмотка 9 первого трансформатора 7 будет все время закороченной. Во втором инверторе 6 ключи К1, К2 управляются по сигналу  $6\{K1, K2$  с противотактного выхода синхронизированного генератора 21. Ключи К3, К4 управляются противотактным сигналом  $6\{K3, K4$ , сдвиг фаз  $\beta$ , которого (фиг.4) зависит также от сигнала  $U_{25}$  с выхода усилительно-

корректирующего звена 25. Если сигнал  $U_{25} = 0$ , то алгоритм работы ключей второго инвертора 6 будет следующим: на первом полупериоде замкнуты ключи К1, К3, а на втором – К2, К4. При этом на выходе инвертора 6 будет выходное напряжение равное нулю, а первичная обмотка 12 второго трансформатора 8 будет все время закорочена. При увеличении сигнала  $U_{25}$  (фиг.3) фазовый сдвиг  $\alpha$  противотактных сигналов  $U_{30}$ ,  $U_{31}$  на выходе первого ФСУ 22 будет увеличиваться в сторону отставания от сигнала  $U_{21}$ , синхронизированного генератора 21. При этом алгоритм работы ключей К1-К4 первого инвертора 3 будет изменяться. На первом полупериоде будут одновременно замкнуты ключи К1, К4 в течение  $\alpha_1$  (фиг.5), формируя на выходе трансформатора 7 напряжение, амплитуда которого равна  $U_m = E \cdot W_2 / W_1$ , где  $E$  – напряжение на входе инвертора,  $W_1$  – число витков первичной обмотки 9,  $W_2$  – число витков вторичной обмотки 11. В оставшуюся часть полупериода будут замкнуты ключи К1, К3 и напряжение на выходе трансформатора 7 будет равно нулю (обмотка 9 закорочена). Во второй полупериод в течение угла сдвига фаз  $\alpha_1$  будут замкнуты ключи К2, К3, формируя на выходе трансформатора 7 (обмотка 11) отрицательное напряжение с амплитудой  $U_m = E \cdot W_2 / W_1$ , а в оставшуюся часть второго полупериода будут включены ключи К2, К4 и первичная обмотка 9 опять будет закорочена и напряжение на обмотке 11 будет равно нулю. Изменяя сигнал  $U_{25}$ , можно регулировать на полупериоде среднее значение напряжения на обмотке от 0 до  $U_m$ , по закону  $U_{cp} = U_m \cdot \gamma$ , где  $\gamma = \alpha_1 / \pi$  – относительная длительность импульса.

Аналогичные процессы будут происходить и во втором инверторе 6. При увеличении того же сигнала  $U_{25}$  (фиг.4) фазовый сдвиг  $\beta$  противотактных сигналов  $U_{30}$ ,  $U_{31}$  на выходе второго ФСУ 23 будет увеличиваться в сторону опережения от сигнала  $U_{21}$  синхронизированного генератора 21. При этом алгоритм работы ключей К1-К4 второго инвертора 6 будет изменяться. На первом полупериоде (фиг.5) будут одновременно замкнуты ключи К1, К3, замыкая первичную обмотку 10 трансформатора 8. Соответственно на обмотке 12 напряжение будет равно нулю. В оставшуюся часть  $\beta_1$  первого по-

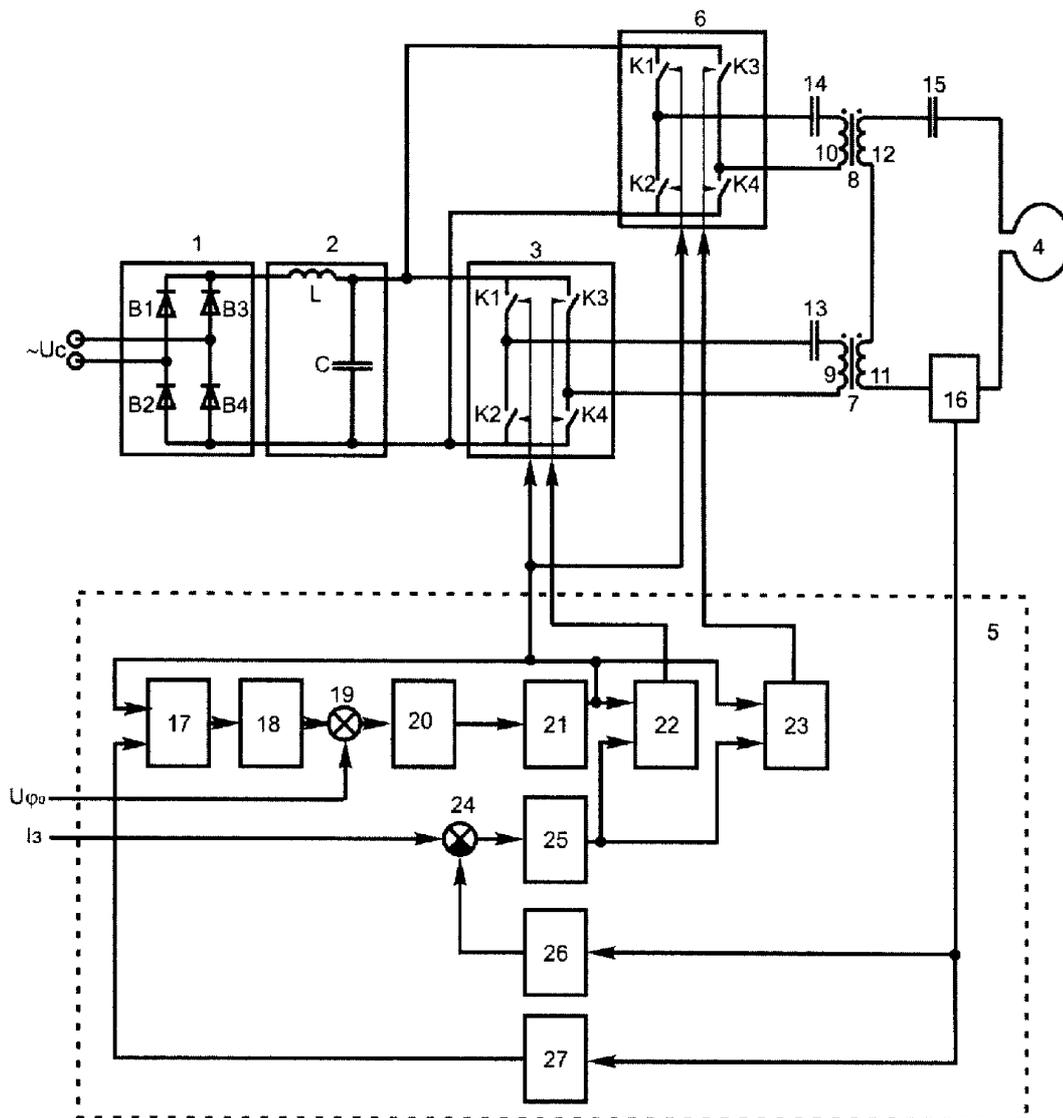
лупериода будут замкнуты ключи К1, К4, и на вторичной обмотке будет формироваться напряжение, амплитуда которого будет равна  $U_m = E \cdot W_2 / W_1$ . Во второй полупериод аналогично, сначала будут замкнуты ключи К2, К4 второго инвертора 6, формируя на выходе трансформатора 8 напряжение, равное нулю, а в оставшуюся часть второго полупериода  $\beta_1$  будут замкнуты ключи К2, К3 второго инвертора 6, формируя на выходе трансформатора 8, напряжение, амплитуда которого будет равна  $U_m$ .

Напряжение на выходе трансформаторов 7 и 8, соответственно  $U_{11}$ ,  $U_{12}$  при  $\alpha = \alpha_1$ ,  $\beta = \beta_1$  показано на фиг. 5. Их сумма  $U_{(11+12)1}$ , которая подается на колебательный контур, также показана на фиг.5. Изменяя  $U_{25}$  (фиг.3, 4) от 0 до  $U_n$ , (где  $U_n$  – амплитуда пилообразного напряжения) напряжение  $U_{(11+12)}$ , подаваемое на колебательный контур, будет изменяться от 0 до  $2U_m$  плавно, с помощью широтно-импульсной модуляции. На фиг.5 показано это напряжение  $U_{(11+12)2}$  при  $\alpha = \alpha_2$  и  $\beta = \beta_2$ . Сигнал  $U_{25}$ , на выходе усилительно-корректирующего звена 25, величина которого определяет алгоритм работы ключей К1, К4 обоих инверторов 3 и 6, определяется отрицательной обратной связью. Эта связь организована с помощью устройства сравнения 24, на второй (неинвертирующий) вход которого поступает задающий сигнал  $I_s$  тока, а на первый вход - сигнал обратной связи по току с датчика 16, преобразованный в постоянную величину, пропорциональную току колебательного контура в звене обратной связи 26. При отклонении тока колебательного контура от заданного значения (например, уменьшении за счет изменения параметров индуктора) увеличивается сигнал на входе усилительно-корректирующего звена 25, что приводит к увеличению суммарного напряжения  $U_{(11+12)}$  вторичных обмоток 11 и 12 трансформаторов 7 и 8, которое прикладывается к колебательному контуру 15-4-16. Под действием этого возросшего напряжения ток в колебательном контуре восстанавливается до своего заданного значения.

Приведенный пример выполнения заявляемого преобразователя переменного тока для питания индуктора не ограничивает другие возможные примеры реализации данного преобразователя и его блоков.

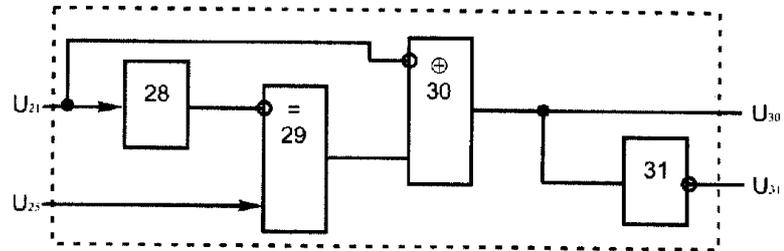
Полезная модель промышленно применима и может быть многократно реализована различными общеизвестными в электронной технике схемными решениями и выполнена на известной элементной базе (например, IGBT – транзисторах, микросхемах любой степени интеграции). Заявляемая полезная модель может быть использована в других технологических процессах, когда параметры нагрузки изменяются в широких пределах.

**Преобразователь переменного тока для питания индуктора**

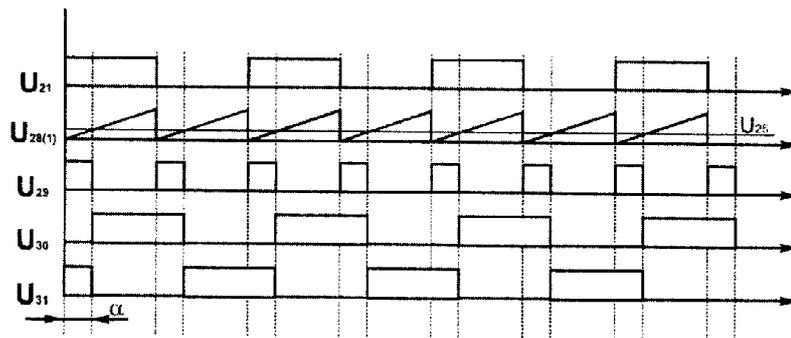


**Фиг. 1.**

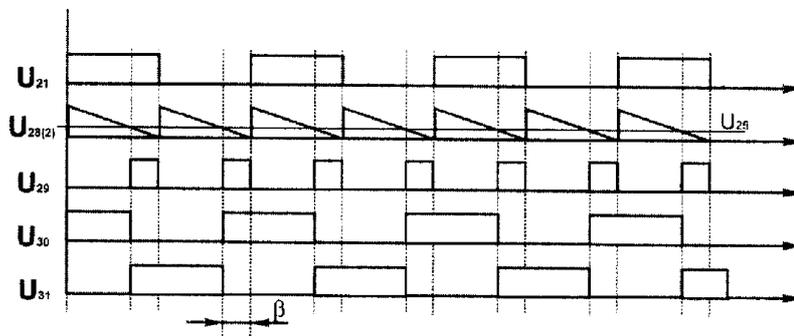
**Преобразователь переменного  
тока для питания индуктора**



**Фиг. 2.**

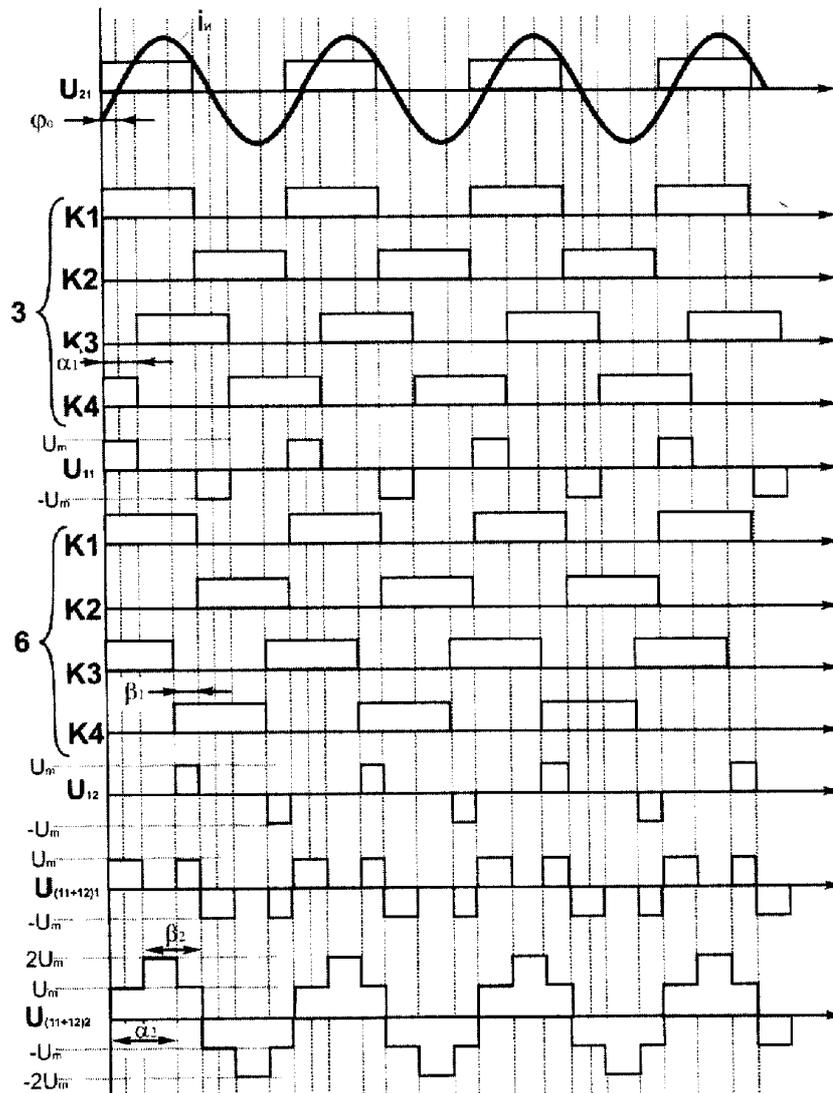


**Фиг. 3.**



**Фиг. 4.**

**Преобразователь переменного  
тока для питания индуктора**



**Фиг 5.**