

УДК 621.311.68

DOI 10.46960/2658-6754\_2023\_3\_23

## СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ С ГИБРИДНЫМ ДЕЛЬТА-ТРАНСФОРМАТОРОМ

**Д.А. Ульянов**

ORCID: 0000-0002-3328-8675 e-mail: [klinkswww@mail.ru](mailto:klinkswww@mail.ru)

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева  
*Нижний Новгород, Россия*

**Н.Н. Вихорев**

ORCID: 0000-0003-0145-4437 e-mail: [nvikhorev@gmail.com](mailto:nvikhorev@gmail.com)

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева  
*Нижний Новгород, Россия*

Предложена структурно-функциональная схема источника бесперебойного питания (ИБП) с применением гибридного сетевого трансформатора, способного функционировать как в серийном включении в режиме стабилизации, так и в шунтовом (параллельном) включении в режиме автономного электропитания. Проанализированы режимы стабилизации параметров электроэнергии в линиях низкого напряжения, а также переходные процессы при нарушении питания от электросети и переходе к работе от аккумуляторной батареи. Приведены поясняющие диаграммы для опционального режима компенсации реактивной мощности. Исследования выполнены с применением имитационной компьютерной модели, разработанной в *Matlab Simulink*. Получены зависимости динамики переходного процесса при переключении на автономное электропитание от параметров нагрузки, зависимость отклонения напряжения на выходе устройства в режиме стабилизации от параметров сетевого напряжения и нагрузки, а также временные диаграммы распределения составляющих потока мощности в режиме компенсации. Проанализировано быстрое действие ИБП при сбое электропитания, а также в режиме стабилизации сетевого напряжения.

**Ключевые слова:** автономное электропитание, гибридный контактор, гибридный трансформатор, дельта преобразование, источник бесперебойного питания, компенсация реактивной мощности, корректор коэффициента мощности, ответственный потребитель, стабилизация напряжения.

**Для цитирования:** Ульянов Д.А., Вихорев Н.Н. Стабилизированный источник бесперебойного питания с гибридным дельта-трансформатором // Интеллектуальная Электротехника. 2023. № 3. С. 23-37. DOI: 10.46960/2658-6754\_2023\_3\_23

## STABILIZED UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY WITH HYBRID DELTA TRANSFORMER

**D.A. Ulyanov**

ORCID: **0000-0002-3328-8675** e-mail: **klinkswwww@mail.ru**  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**N.N. Vikhorev**

ORCID: **0000-0003-0145-4437** e-mail: **nnvikhorev@gmail.com**  
Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** A structural and functional scheme of an uninterruptible power supply (UPS) with a hybrid network transformer was developed. It is able to operate as a voltage-boosting transformer in stabilization mode, and as a parallel transformer in autonomous mode. The possibility of electricity parameters stabilization in low-voltage networks, as well as the transient in the event of a power failure from the mains and the transition to battery operation were analyzed. Diagrams are provided for the optional reactive power compensation mode. The studies have been carried out using a Matlab Simulink model. The dependences of the dynamics of the transient on the load parameters, the voltage deviation at the output of the device on the parameters of the mains voltage and load were obtained. The analysis of the UPS performance in two modes was carried out: compensation and autonomous.

**Keywords:** autonomous power supply, delta conversion, hybrid contactor, hybrid transformer, power factor corrector, reactive power compensation, responsible consumer, uninterruptible power supply, voltage stabilization.

**For citation:** D.A. Ulyanov and N.N. Vikhorev, “Stabilized uninterruptible power supply with hybrid delta transformer”, *Smart Electrical Engineering*, no. 3, pp. 23-37, 2023. DOI: 10.46960/2658-6754\_2023\_3\_23

### I. Введение

Электропитание ответственных потребителей в настоящее время содержит, помимо систем внешнего электроснабжения, системы гарантированного электропитания (СГЭ). СГЭ предназначена для автономного питания ответственных потребителей при сбоях электроснабжения от основных источников или отклонения показателей качества электрической энергии за пределы допустимых значений. В качестве подсистемы СГЭ выступает система бесперебойного электроснабжения (СБЭ), способная обеспечивать электропитание ответственных потребителей в случаях возникновения сбоев в электрической сети (прерываний, провалов напряжений и т.д.) на

время, определяемое количеством запасенной энергии в резервных накопителях (аккумуляторы, конденсаторы и т.д.) [1]. Наиболее распространенным типом источников бесперебойного питания (ИБП) является резервный, который отличается низкими динамическими свойствами и отсутствием функции стабилизации питающего напряжения, однако имеет достаточно высокий КПД (более 90 %) и низкую стоимость. Область применения данного типа ИБП в основном ограничена приборами малой мощности (до 500 Вт) и не позволяет использовать его для питания ответственных потребителей, требовая к качеству питающего напряжения которых могут быть выше, чем обеспечивает ГОСТ 32144-2013. Схемотехника резервных ИБП не предусматривает стабилизацию выходного напряжения, однако возможно последовательное включение с дополнительным стабилизатором в ущерб массогабаритным показателям конструкции и КПД [2, 3].

Для питания ответственных потребителей мощностью более 3 кВт подходят ИБП линейно-интерактивного типа с сетевым трансформатором с регулировочными отводами. Линейно-интерактивная схема отличается высокой скоростью переключения на автономное питание, наличием только одного преобразователя, работающего как в режиме зарядного устройства аккумуляторной батареи (АКБ) от сети, так и в режиме инвертора от АКБ при сбое электросети. Данный тип ИБП обеспечивает стабилизацию сетевого напряжения путем переключения регулировочных отводов трансформатора с помощью тиристорных ключей, однако такой способ стабилизации является дискретным, а также отрицательно влияет на форму выходного напряжения и потребляемого тока [4-6].

Перечисленных выше недостатков лишена схема ИБП с двойным преобразованием электроэнергии, которая позволяет стабилизировать напряжение на нагрузке за счет формирования инвертором выходного напряжения с заданными параметрами действующей величины, частоты и формы [7]. Таким образом, напряжение на нагрузке стабилизируется при отклонениях действующей величины и частоты, а форма выходного напряжения максимально приближена к синусоидальной вне зависимости от формы питающего напряжения, в спектре которого могут присутствовать гармонические составляющие. Поскольку между сетью и нагрузкой последовательно включен выпрямитель, рассчитанный на полную мощность нагрузки, его выполнение по схемотехнике активного выпрямителя позволяет формировать кривую входного тока устройства таким образом, что при любом типе нагрузки ток, потребляемый ИБП, будет синусоидальным и квази-активным, что улучшает электромагнитную совместимость устройства с питающей сетью и автономными источниками питания, в частности, дизель-генераторными установками [8]. Однако при перечисленных преимуществах данный тип ИБП имеет существенный недостаток, заключаю-

щийся в протекании полного потока мощности через выпрямитель и инвертор в режиме стабилизации, что сопровождается повышенными тепловыми потерями на полупроводниковых элементах, повышенными габаритными показателями охлаждающего оборудования, и, соответственно, пониженной эффективностью преобразователя в целом [9].

Таким образом, разработка ИБП, контур стабилизации которого работает только на мощность регулирования, обладает высокими динамическими свойствами и позволяет корректировать коэффициент мощности сети, является актуальной задачей.

## II. Разработка структурно-функциональной схемы

Известно схемотехническое решение ИБП на базе дельта-преобразователя, позволяющее в режиме стабилизации сетевого напряжения работать только на мощность регулирования [10]. Данный тип ИБП представляет собой линейно-интерактивную схему, контур стабилизации которой построен на базе дельта-преобразователя, представляющем собой четырехквadrантный инвертор и вольтодобавочный трансформатор, рассчитанные на мощность регулирования [11]. При использовании низковольтной батареи данная конструкция будет включать, помимо вольтодобавочного, сетевой согласующий трансформатор, подключенный к выходу основного силового инвертора, что увеличивает массогабаритные показатели устройства.

Путем гибридизации вольтодобавочного и сетевого трансформаторов получена новая схемотехника ИБП (рис. 1). Она включает зарядное устройство, выполненное на 20 % мощности нагрузки по схемотехнике импульсного блока питания с корректором коэффициента мощности (ККМ) [12], АКБ напряжением 48 В [13], мостовой силовой инвертор напряжения, гибридный дельта-трансформатор, рассчитанный на полную мощность нагрузки и имеющий отвод на стороне высокого напряжения, два гибридных контактора, размещенных во входной и выходной цепях. Предложенная топология устройства отличается от приведенных выше аналогов уменьшенной металлоемкостью, повышенной энергоэффективностью при сохранении широкого спектра функциональных возможностей.

Номинальный режим работы устройства заключается в формировании на нагрузке напряжения с действующей величиной  $220 \text{ В} \pm 1,5 \%$  путем стабилизации сетевого напряжения с допустимым отклонением в диапазоне  $\pm 10 \%$ . Компенсация отклонений сетевого напряжения происходит за счет формирования на регулировочной ступени обмотки трансформатора электродвижущей силы (ЭДС) заданной величины, синфазно при повышении и в противофазе при понижении напряжения. Дополнительная ЭДС, введенная последовательно в контур (сеть – ключ  $S1$  – регулировочная ступень – нагрузка), создается за счет протекания тока в первичной обмотке трансформатора от питающей сети через двойное преобразование, работающее на мощность регулирования. Динамические свойства контура стабилизации

ограничены частотой работы полупроводниковых ключей основного силового инвертора, постоянной времени выходного фильтра и индуктивностью регулировочной ступени трансформатора.

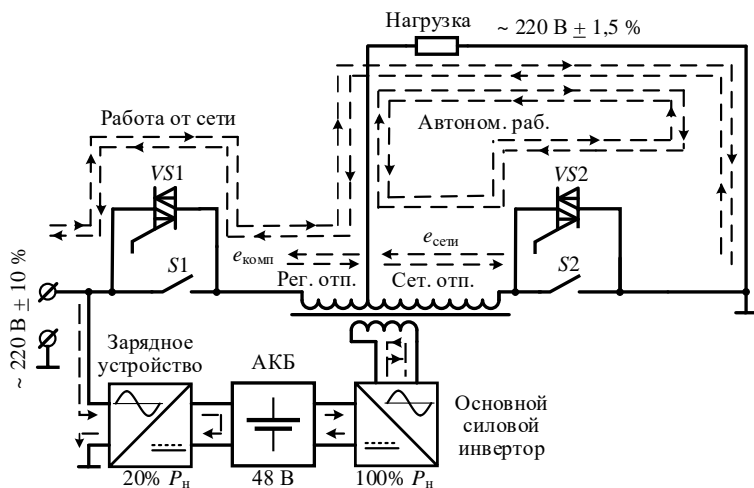


Рис. 1. Гибридная схемотехника ИБП на базе дельта-трансформатора

Fig. 1. Hybrid UPS circuitry based on a delta transformer

При выходе мгновенного значения питающего напряжения из зоны регулирования устройство переходит в режим работы от батареи. При этом ключ  $S1$  размыкается, и вступает в работу симистор  $VS2$ . Основной поток мощности продолжает протекать уже по контуру: АКБ – основной силовой инвертор – первичная обмотка трансформатора – сетевая часть вторичной обмотки гибридного дельта-трансформатора – симистор  $VS2$  – нагрузка. Как только ключ  $S1$  разомкнется, ключ  $S2$  шунтирует симистор  $VS2$  при минимальной величине напряжения, и устройство входит в установившийся режим работы. Если напряжение сети исчезло не полностью, а просело по величине ниже допустимых отклонений, зарядное устройство может продолжать работать на основной силовой инвертор совместно с АКБ [14]. При достижении действующего значения сетевого напряжения за заданное время (например, за период сетевого напряжения) до диапазона стабилизации система управления возвращает преобразователь в исходное состояние. При этом ключ  $S2$  размыкается, и вступает в работу симистор  $VS1$ . Основной поток мощности продолжает протекать в нагрузку от электросети через регулировочную ступень вторичной обмотки дельта-трансформатора. Как только ключ  $S2$  разомкнется, ключ  $S1$  шунтирует симистор  $VS1$  при мини-

мальной величине напряжения, и устройство входит в установившийся режим работы, потребляя мощность от сети. Работа по действующей величине позволяет исключить многократные срабатывания при кратковременных бросках напряжения. Условие возвращения ИБП в режим работы от сети при минимальной величине напряжения позволяет осуществить переключение контакторов в менее нагруженных условиях, исключив перенапряжения. Поясняющая режимы работы диаграмма изображена на рис. 2.

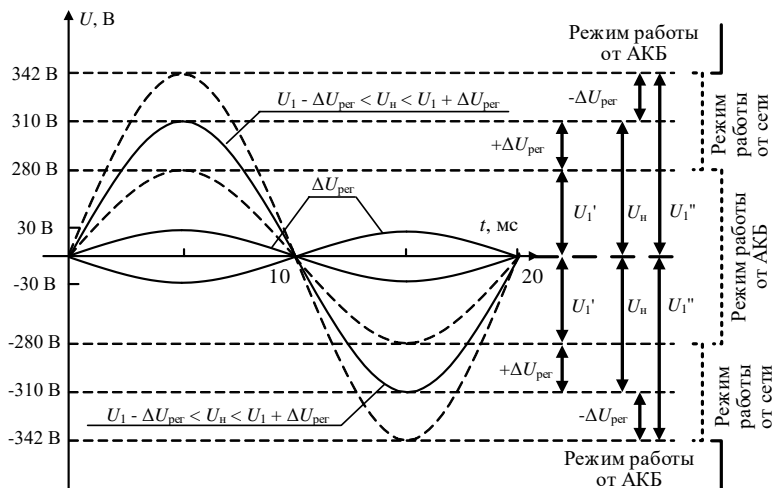


Рис. 2. Диапазоны напряжений, при которых производится переход между режимами работы ИБП

Fig. 2. Voltage ranges at which the transition between UPS operation modes is performed

Также данная схемотехника позволяет реализовать коррекцию коэффициента мощности сети при работе на реактивную нагрузку за счет регулирования вводимой ЭДС не только по амплитуде, но и по фазовому смещению относительно сетевого напряжения [15]. При этом реактивная мощность сети замыкается в контуре между нагрузкой и силовым инвертором напряжения. Таким образом, область регулирования ограничена в пределах, зависящих от мощности основного силового инвертора и максимальной амплитуды ЭДС, вводимой в контур регулирования. Так как основной силовой инвертор выполняется на полную мощность нагрузки, главным ограничением, накладываемым на величину угла компенсации реактивной мощности, является амплитуда вводимой ЭДС, которая зависит от напряжения АКБ или соотношения витков вольтодобавочной части вторичной и первичной обмотки. Поясняющая диаграмма представлена на рис. 3.

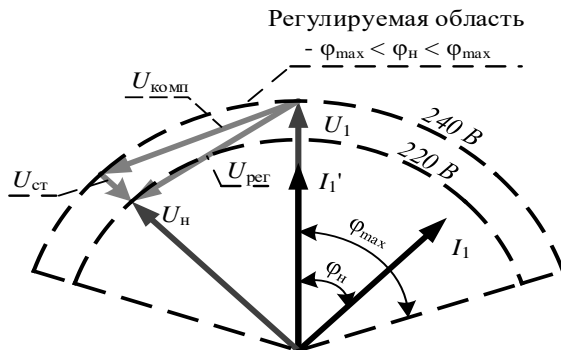


Рис. 3. Векторная диаграмма, поясняющая режим компенсации реактивной мощности

Fig. 3. Vector diagram explaining the reactive power compensation mode

Предлагаемая схемотехника ИБП позволяет дополнительно реализовать режим компенсации высших гармонических составляющих напряжения сети. Принцип работы корректора напряжения заключается в формировании и передаче в систему электроснабжения напряжения вольтодобавки, которое находится в противофазе с высшими гармониками напряжения сети. Таким образом, форма напряжения на нагрузке может не зависеть от формы питающего напряжения [16, 17]. Данное устройство может быть выполнено по однофазной топологии на мощность до 10 кВт, по трехфазной топологии до 100 кВт, и дальнейшее увеличение мощности возможно за счет построения модульной конструкции. Далее представлены результаты исследования работы данного типа ИБП на мощность нагрузки 5 кВт.

### III. Определение параметров

#### статических и динамических режимов работы ИБП

В среде *Matlab Simulink* разработана имитационная модель предлагаемого ИБП (рис. 4). Она позволяет оценить параметры переходных и статических процессов для основных режимов работы устройства:

- переключение питания с электросети на АКБ и обратно;
- стабилизация сетевого напряжения;
- компенсация реактивной мощности сети.

Модель содержит следующие основные блоки:

- модель однофазного источника напряжения, действующее значение которого отклоняется в пределах 10 %, а также искусственно формируется провал напряжения до величины 50 % от номинальной;

- модель ИБП, в состав которого входят модели: сетевого трансформатора с демпфирующими RC-цепями, подключенными параллельно вторичным обмоткам; гибридных контакторов; выходного Г-образного фильтра; АКБ и инвертора; при этом зарядное устройство не моделируется для сокращения времени моделирования; измерительные приборы;
- модель системы управления;
- модель нагрузки.

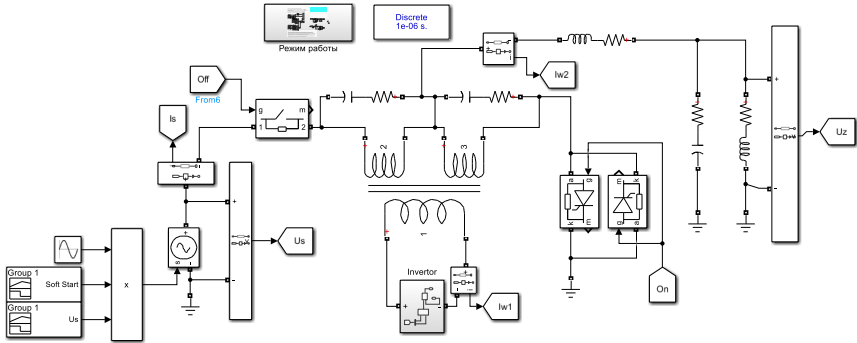


Рис. 4. Модель ИБП на базе гибридного трансформатора в *Simulink*

Fig. 4. UPS model based on hybrid transformer in *Simulink*

Модель системы управления представлена на рис. 5.

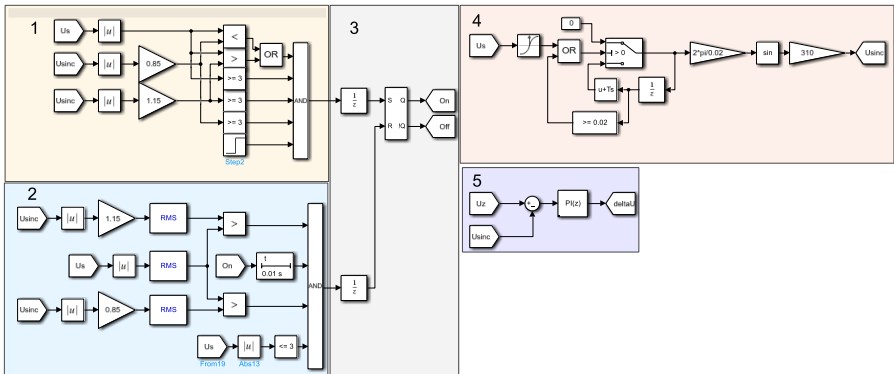


Рис. 5. Имитационная модель системы управления режимами работы

Fig. 5. Simulation model of the control system



*Блок 1* системы управления контролирует мгновенное значение сетевого напряжения и следит за тем, чтобы напряжение сети было не меньше, чем пониженное на 10 % опорное напряжение, и не больше, чем повышенное на 10 % опорное напряжение. В случае невыполнения хотя бы одного из этих условий блок 1 формирует сигнал на переход в автономный режим работы в момент времени, когда напряжение на контакторах имеет низкое значение.

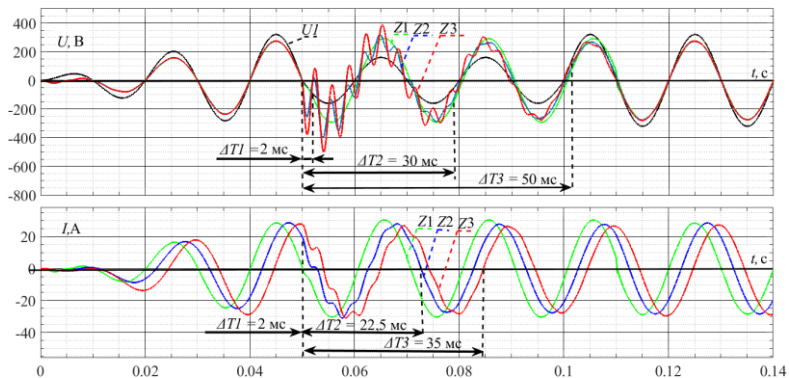
*Блок 2* контролирует действующее значение сетевого напряжения и следит за тем, чтобы напряжение сети находилось в диапазоне между повышенным и пониженным на 10 % опорным напряжением. В случае выполнения условия блок 2 формирует сигнал на возврат устройства в режим работы от сети в момент времени, когда напряжение на контакторах минимально. Возврат в режим работы от сети после перехода в автономный режим выполняется по истечении минимального заданного промежутка времени работы.

*Блок 3* представляет собой триггер, выходной сигнал которого определяет режим работы устройства и, соответственно, состояние входного и выходного гибридных контакторов. Сигнал на установку триггера подает блок 1 в случае сбоя электросети, а сигнал на сброс триггера подает блок 2 в случае восстановления напряжения электросети до допустимых значений.

Цепь формирования опорного напряжения представлена в блоке 4 и содержит генератор синусоиды частотой 50 Гц с заданной величиной выходного напряжения 220 В. Формируемый синус синхронизирован с сетью при наличии напряжения в сети за счет внешнего сигнала сброса внутреннего счетчика. При сбое питающего напряжения внутренний счетчик сбрасывается по цепи обратной связи. Алгоритм стабилизации напряжения на нагрузке представлен в блоке 5. Он состоит из сумматора, на вход которого поступают опорное напряжение со знаком плюс и напряжение на нагрузке со знаком минус. Затем сигнал ошибки усиливается пропорционально-интегральным регулятором, коэффициенты которого  $K_{пр} = 5$ ,  $K_{инт} = 2$ . Моделирование переходных процессов при сбое электросети и питания ИБП от АКБ, а также возврата устройства в исходное состояние происходит для активно-индуктивной нагрузки. Семейство временных диаграмм токов и напряжений нагрузки для данного режима приведены на рис. 6.

В момент спада питающего напряжения в 2 раза напряжение на нагрузке не пропадает, но имеет некие гармонические искажения в течение переходного процесса. При активно-индуктивной нагрузке с преобладающей активной частью переходный процесс длится 2 мс и сопровождается отклонением напряжения от номинального на 5 %, что допустимо для питания чувствительной критической нагрузки. При равных активных и индуктивных составляющих переходный процесс длится 30 мс и сопровождается отклонениями в 50 %. При преобладании индуктивной составляющей над

активной переходный процесс длится 50 мс и сопровождается отклонениями в 100 %.

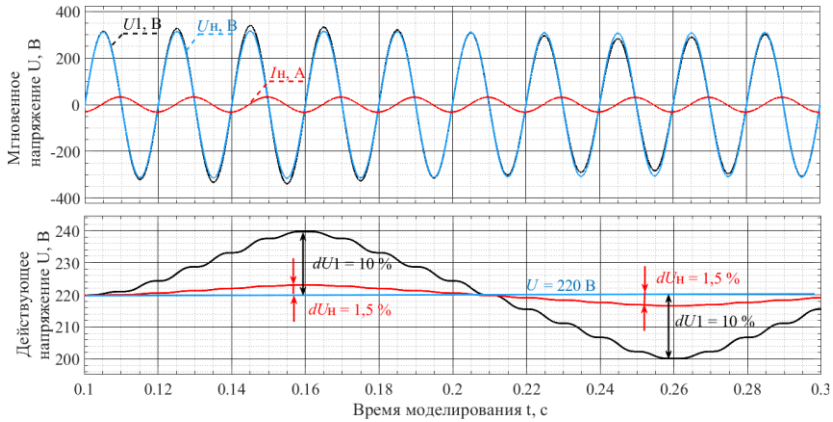


**Рис. 6. Временные диаграммы переходных процессов токов и напряжений на нагрузке для сопротивлений:**  
**Z1 – 10 Ом, 2 эл. гр.; Z2 – 10 Ом, 45 эл. гр.; Z3 – 10 Ом, 88 эл. гр.**

**Fig. 6. Timing diagrams of transient currents and voltages on the load for resistances: Z1 – 10 Ohm, 2°; Z2 – 10 Ohm, 45°; Z3 – 10 Ohm, 88°**

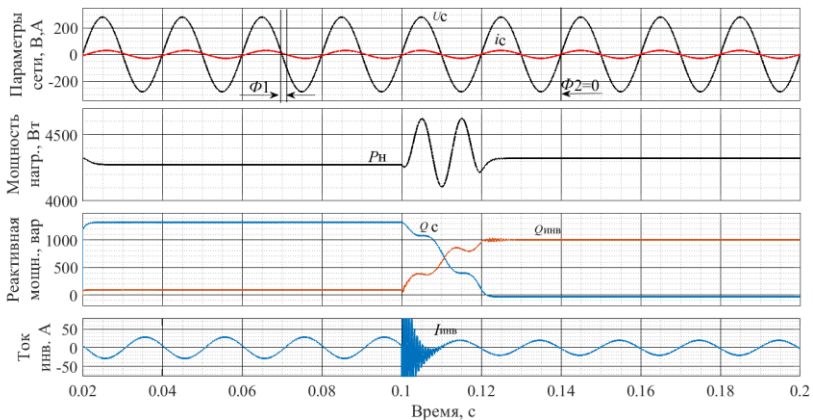
Согласно полученным результатам, устройство позволяет питать нагрузку особого назначения активно-индуктивного характера с преобладающей активной составляющей, а также нагрузку общего назначения активно-индуктивного характера с выраженной индуктивной составляющей. Данный режим является наиболее тяжелым для большинства источников бесперебойного питания, однако, несмотря на это, предлагаемое решение справляется с процессом переключения. Процесс стабилизации сетевого напряжения проводится для нагрузки активно-индуктивного характера, номинальное значение которой 10 Ом и угол 88 эл. гр. На рис. 7 представлены временные диаграммы напряжения нагрузки, сети, а также тока сети/нагрузки. На интервале времени моделирования действующее значение сетевого напряжения изменяется от 0 до +10 % и затем в обратную сторону от 0 до –10 %.

ИБП следит за мгновенным значением сетевого напряжения и формирует реакцию на отклонения от заданной формы, тем самым стабилизируя напряжение на нагрузке так, что максимальное отклонение составляет не более 1,5 % действующего значения напряжения сети при 10 % отклонении номинального значения сетевого напряжения. Таким образом, ИБП, помимо стабилизации действующего значения напряжения, также выполняет роль фильтра гармонических составляющих и обеспечивает защиту ответственного потребителя от высокочастотных флуктуаций в сети.



**Рис. 7. Временные диаграммы установившегося режима работы ИБП от сети**

**Fig. 7. Timing diagrams of the steady state operation of the UPS from the network**



**Рис. 8. Временные диаграммы режима работы компенсации реактивной мощности**

**Fig. 8. Time diagrams of the operation mode of reactive power compensation**

Режим компенсации реактивной мощности сети исследуется для нагрузки активно-индуктивного характера, номинальное сопротивление которой 10 Ом и фазовый угол сдвига 5 эл. гр. Малый фазовый угол сдвига нагрузки объясняется ограничением напряжения АКБ до 48 В. Диапазон может быть расширен за счет увеличения напряжения АКБ. Временные диаграммы приведены на рис. 8.

Быстрый процесс перехода из режима стабилизации сетевого напряжения в режим компенсации реактивной мощности сопровождается переходным процессом тока в цепи инвертора. Длительность переходного процесса, а также амплитуда колебаний могут быть снижены за счет снижения скорости перехода из одного режима в другой путем плавного изменения как амплитуды, так и фазового угла вводимой ЭДС. При установившемся режиме реактивная составляющая тока, потребляемого из сети, снижается посредством замыкания контура ее протекания в основном силовом инверторе.

#### IV. Заключение

Анализ тематической литературы показывает, что проблема построения ИБП, контур стабилизации которого работает только на мощность регулирования, рассматривалась достаточно широко. В то же время ряд вопросов повышенной металлоемкости аналогов ИБП на базе дельта-преобразователя в связи с применением двух сетевых трансформаторов в одном устройстве остается малоизученным. Построение ИБП на базе гибридного дельта-трансформатора является перспективным решением, позволяющим уменьшить металлоемкость, а также реализовать ряд режимов работы, при которых напряжение на нагрузке стабилизируется с высокой динамикой и низким расходом энергии, реактивная мощность замыкается в основном силовом инверторе, дополнительно не нагружая сеть, а в случае сбоя электросети происходит динамическое переключение на резервное питание от АКБ. Результаты имитационного моделирования показывают, что ИБП на базе гибридного дельта-трансформатора позволяет питать нагрузку особого назначения активно-индуктивного характера с сохранением высоких динамических и энергетических показателей. Компенсация реактивной мощности ограничена в некоторых пределах и может быть расширена за счет применения вместо низковольтной АКБ накопителя электроэнергии с большим значением напряжения.

© Ульянов Д.А., 2023

© Вихорев Н.Н., 2023

*Поступила в редакцию 17.01.2023*

*Принята к публикации 28.04.2023*

*Received 17.01.2023*

*Accepted 28.04.2023*

#### Библиографический список

- [1] Карагодин В.В., Полянский К.А. Методика построения системы гарантированного электроснабжения специального объекта на базе статических источников бесперебойного питания // Труды Военно-Космической Академии имени А.Ф. Можайского. 2018. № 663. С 115-120.

- [2] Карагодин В.В., Полянский К.А., Ревяков Б.А. Оптимизация параметров дизель-генераторных установок и источников бесперебойного питания в системах гарантированного электроснабжения // Труды Военно-Космической Академии имени А.Ф. Можайского. 2019. № 669. С. 246-253.
- [3] Коробко Г.И., Лебедев В.В., Ахлестин П.В. Использование принципа вольтодобавки для компенсации нелинейных искажений напряжения // Вестник ВГАВТ. 2015. № 43. С. 305-309.
- [4] Носков Д.Д., Аверин С.В. Модульный принцип построения ИБП // Сб. тезисов докладов XLIV Межд. молод. науч. конф. «Гагаринские чтения – 2018», Апрель 17–20, 2018, Москва-Байконур-Ахтубинск, Россия. М.-Байконур-Ахтубинск: МАИ, 2018. Т.2. С. 313.
- [5] Сироткин Д. Как российское решение на базе AR-технологий помогает «ТА-НЕКО» обеспечить надежность источников бесперебойного питания на заводе // Энергетическая Политика. 2022. № 12(178). С. 35-39.  
DOI: 10.46920/2409-5516\_2022\_12178\_35
- [6] Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А. Преобразовательная техника. Челябинск: ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
- [7] Яцынин П.В., Дьяченко Р.А., Чалов Р.В., Серeda А.Л. Анализ промышленных источников бесперебойного питания // Сб. науч. статей VI Межд. науч.-практ. конф. «Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского», Декабрь 17–18, 2015, Краснодар, Россия. Краснодар: ООО «Издательский Дом – Юг», 2016. С. 118-120.
- [8] Самсыгин В.К., Соколов Д.В., Улитовский Д.И., Сергеев М.Ю., Мартынов А.А. Разработка и создание источников бесперебойного питания систем энергообеспечения морского исполнения // Труды Крыловского Государственного Научного Центра. 2019. № 2 (388). С. 101-111.  
DOI: 10.24937/2542-2324-2019-2-388-101-111.
- [9] Сажнев А.М., Рогулина Л.Г. Источники бесперебойного электропитания переменного тока. Новосибирск: СибГУТИ, 2015. – 312 с.
- [10] Understanding delta conversion online “Power Balance” – Part 4, American Power Conversion, 2004. – 5 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.apc.com/us/en/download/document/SPD\\_TDOY-5UQVDB\\_EN/](https://www.apc.com/us/en/download/document/SPD_TDOY-5UQVDB_EN/) (дата обращения 10.01.2023).
- [11] Rasmussen N. The Different Types of UPS Systems, Schneider Electric, 2011. – 10 с. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.memorybank.ie/wp-content/uploads/2020/02/SADE-5TNM3Y\\_R7\\_EN.pdf](https://www.memorybank.ie/wp-content/uploads/2020/02/SADE-5TNM3Y_R7_EN.pdf) (дата обращения 10.01.2023).
- [12] Дудкин М.М. Однофазные обратимые преобразователи напряжения для улучшения качества электрической энергии в сетях ограниченной мощности // Практическая Силовая Электроника. 2012. № 2 (46). С. 19-27.
- [13] Vikhorev N., Kurkin A., Aleshin D., Ulyanov D., Konstantinov M., Shalukho A. Battery dynamic balancing method based on calculation of cell voltage reference value // Energies. 2023. № 16(9). 3733. DOI: 10.3390/en16093733
- [14] Аббасова Т.С. Методика выбора и подключения источника бесперебойного питания в компьютерных сетях // Электротехнические и Информационные Комплексы и Системы. 2007. Т.3. № 3. С. 27-29.

- [15] Ульянов Д.А., Вихорев Н.Н. Анализ коммутационных процессов в гибридном источнике бесперебойного питания // Актуальные проблемы электроэнергетики, Декабрь 22, 2022, Нижний Новгород, Россия: НГТУ, 2022. С. 50-56. DOI: 10.46960/47355565\_2022\_50
- [16] Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатов О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия Высших Учебных Заведений. Проблемы Энергетики. 2018. Т. 20. № 11-12. С 99-106. DOI: 10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-99-106
- [17] Сугаков В.Г., Варламов Н.С., Малышев Ю.С. Вольтодобавочный корректор напряжения с использованием эталонной формы напряжения // Вестник государственного университета морского и речного флота им. Адмирала С.О. Макарова. 2018. Т. 10. № 6. С 1264-1276. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1264-1276

### References

- [1] V.V. Karagodin and K.A. Polyanskiy, "Constructing method of a guaranteed power supply system of a special object on the basis of a static uninterruptible power supply", *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*, no. 663, pp. 115-120, 2018.
- [2] V.V. Karagodin, K.A. Polyansky and B.A. Revyakov, "Optimization of parameters of diesel-driven generators and uninterrupted power systems in continuous power systems", *Proceedings of the Military Space Academy*, no. 669, pp. 246-253, 2019.
- [3] G.I. Korobko, V.V. Lebedev and P.V. Akhlestin, "Using of the voltage boost principle for nonlinear voltage distortion compensation", *Bulletin of VSAWT*, no. 43, pp. 305-309, 2015.
- [4] Noskov D.D and S.V. Averin, "Modul'nyy princip postroeniya IBP [Modular principle of UPS construction]", in proc. *XLIV Int. young scient. conf. "Gagarinskie chteniya – 2018 [Gagarin Readings – 2018]"*, Apr. 17-20, 2018, Moscow-Baikonur-Akh-tubinsk, Russia, vol. 2, pp. 313 (in Russian).
- [5] D. Sirotkin, "How a Russian solution based on AR technologies helps TANECO ensure the reliability of uninterruptible power supplies at the plant", *Energy Policy*, no. 12. pp. 35-39, Dec. 2022. DOI: 10.46920/2409-5516\_2022\_12178\_35
- [6] M.V. Gel'man, M.M. Dudkin and K.A. Preobrazhensky, *Preobrazovatel'naya tekhnika [Converting technology]*. Chelyabinsk: SUSU, 2009 (in Russian).
- [7] P.V. Yatsynin, R.A. Dyachenko, R.V. Chalov and A.L. Sereda, "Analiz promyshlennykh istochnikov bescerbojnogo pitaniya [Analysis of industrial uninterruptible power supplies]", in proc. *VI Int. scient.-pract. conf. "Nauchnye chteniya imeni professora N.E. Zhukovskogo [Scientific readings named after Professor N.E. Zhukovskiy]"*, Dec. 17-18, 2015, Krasnodar, Russia, pp. 118-120 (in Russian).
- [8] V.K. Samsygin, D.V. Sokolov, D.I. Ulitovsky, M.Yu. Sergeev and A.A. Martynov, "Design and development of ups for marine power systems", *Transactions of the Krylov State Research Centre*, no. 2 (388). pp. 101-111, 2019. DOI: 10.24937/2542-2324-2019-2-388-101-111
- [9] A.M. Sazhnev and L.G. Rogulina, *Istochniki bescerbojnogo elektropitaniya peremennogo toka [AC uninterruptible power supplies]*. Novosibirsk: SibGUTI, 2015 (in Russian).

- [10] *Understanding delta conversion online “Power Balance” – Part 4*, American Power Conversion, 2004. [Online]. Available at: [https://www.apc.com/us/en/download/document/SPD\\_TDOY-5UQVDB\\_EN/](https://www.apc.com/us/en/download/document/SPD_TDOY-5UQVDB_EN/) [Accessed: Jan. 10, 2023].
- [11] N. Rasmussen, *The different types of UPS Systems*, Schneider Electric, 2011. [Online]. Available at: [https://www.memorybank.ie/wp-content/uploads/2020/02/SADE\\_5TNM3Y\\_R7\\_EN.pdf](https://www.memorybank.ie/wp-content/uploads/2020/02/SADE_5TNM3Y_R7_EN.pdf) [Accessed: Jan. 10, 2023].
- [12] M.M. Dudkin, “Reversible single-phase converters for electric power quality improvement in restricted power electric mains”, *Practicheskaya Silovaya Electronica*, vol. 2, no. 46, pp. 19-27, 2012.
- [13] N. Vikhorev, A. Kurkin, D. Alyoshin, D. Ulyanov, M. Konstantinov and A. Shalukho, “Battery dynamic balancing method based on calculation of cell voltage reference value”, *Energies*, no 16 (9), 3733, 2023. DOI: 10.3390/en16093733
- [14] T.S. Abbasova, “Metodika vybora i podklyucheniya istochnika besperebojnogo pitaniya v kompyuternyh setyah [Methodology for selecting and connecting an uninterruptible power supply in computer networks]”, *Electrical and Data Processing Facilities and Systems*, vol. 3, no. 3, pp. 27-29, 2007 (in Russian).
- [15] D.A. Ulyanov and N.N. Vikhorev, “Analysis of switching processes in a hybrid uninterruptible power supply”, in proc. *Actual problems of the electric power industry*, Dec. 22, 2022, Nizhny Novgorod, Russia, pp. 50-56. DOI: 10.46960/47355565\_2022\_50
- [16] L.V. Fetisov, N.V. Rozhentsova and O.A. Bulatov, “Improving the quality of electric power in low voltage networks”, *Izvestia of Higher Educational Institutions. Energy Problems*, vol. 20, no. 11-12, pp. 99-106, 2018. DOI: 10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-99-106
- [17] V.G. Sugakov, N.S. Varlamov and Yu.S. Malyshev, “Booster voltage corrector with use of standard voltage form”, *Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo i Rechnogo Flota imeni Admirala S. O. Makarova*, vol. 10, no. 6, pp. 1264-1276, 2018. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1264-1276

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Ульянов Данил Александрович**, магистрант Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексея, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

**Danil A. Ulyanov**, master student of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation

**Вихорев Николай Николаевич**, кандидат технических наук, доцент Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексея, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

**Nikolay N. Vikhorev**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation