



Nochiziqli sxemalarni kontaktsiz kommutatsiyalovchi qurilmalarda ishlatish

Eldar G. Usmanov¹, Maxsud K. Bobojanov^{1,a)}, Raxmatillo Ch. Karimov^{1,b)},
Dilmurod Sh. Xushvaktov^{1,d)}

¹ t.f.n., dotsent, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; eusmonov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5145-8124>

^{1,a)} t.f.d., professor, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; mbobojanov@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-0244-2932>

^{1,b)} PhD., dotsent, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; raxmatillo82@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0129-5643>

^{1,d)} assistent, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston; xushvaktov91@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0002-1278-4124>

Dolzarbli: maqolada iste'molchiga uzatiladigan energiya sifatini yaxshilash uchun tez va oddiy qurilma yaratish, ya'ni ta'minot tarmog'idagi kuchlanishning sinusoidallichi va barqarorligini maqbul qiymatlar doirasida saqlash, uch fazali elektr ta'minoti tizimi kuchlanishi va tokining nosimetriyasini qisman qisqartirish masalalari muhokama qilinadi. Nochiziqli sxemalar asosida yaratilgan kontaktsiz kuchlanish relesi parametrlari va diagrammalari berilgan. Nochiziqli elektr zanjirining olingan differensial tenglamalarini nazariy o'rganish uchun Eylerning sonli usuli va Lagranj erkin konstantalarini o'zgartirish usuli qo'llanildi. Maqolada o'rganilgan nochiziqli sxemalar yordamida voltqo'shuvchi transformatorning chulg'amlarini tartibga solish masalalari ko'rib chiqiladi. Elektr energiyasi sifatini yaxshilaydigan qurilmaning sxemasi, uning "kirish-chiqish" kuchlanishining o'zgarishi xususiyatlari va voltqo'shuvchi kuchlanish stabilizatorining eksperimental kuchlanish o'zgarishi egri shakli berilgan.

Maqsad: ushbu maqolaning maqsadi iste'molchiga uzatiladigan elektr energiyasining sifatini yaxshilashda voltqo'shuvchi transformatorning samarali ishlashi uchun ishonchli, tez va oddiy sxemani yaratishdir. Elektr ta'minoti tamog'idagi kuchlanishning sinusoidallichi va barqarorligini maqbul qiymatlar doirasida saqlab turish, uch fazali ta'minot tamog'ida kuchlanish va tok nosimetriyasini qisman kamaytirish bilan birga, 6-10; 0,4 kV tarmoqlarda kuchlanish va quvvat yo'qotishlarini kamaytiradi.

Usullari: ushbu ishda nochiziqli rezistiv zanjirlarining olingan differensial tenglamalarini nazariy tahlil qilish uchun Eylerning son usuli va Lagranj erkin doimiy o'zgarishlar usuli qo'llaniladi.

Natijalar: kontaktsiz kuchlanish rele ishlatadigan tartibga solish tizimida voltqo'shuvchi transformatori seriyali ishlab chiqarish ularni 6-10, 0,4 kV kuchlanishli tarmoqlarni rekonstruksiya qilishda, shu jumladan transformator punktlarida yoki kesish liniyalarida foydalanishga imkon beradi hamda elektr energiyasi iste'molchilarining kuchlanish darajasini avtomatik ravishda tartibga solishda samarali va tez (0,01 sek) ishlash imkonini beradi. Voltqo'shuvchi transformatorlarining bunday ulanishi yuqorida qayd etilgan tarmoqlarni to'liq rekonstruksiya qilishdan ko'ra arzonroqdir.

Kalit so'zlar: voltqo'shuvchi transformator, tiristorlar, diodlar, sig'im, normal ochiq kontakli optorele, normal yopiq kontakli optorele, sinusoidallichi, nochiziqli rezistiv zanjir.

Бесконтактные коммутационные устройства с использованием нелинейных цепей

Элдар Г. Усманов¹, Махсуд К. Бобожанов^{1,a)}, Рахматилло Ч. Каримов^{1,b)},

Дилмурод Ш. Хушвактов^{1,d)}

¹ к.т.н., доцент, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; eusmonov@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5145-8124>

^{1,a)} д.т.н., профессор, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; mbobojanov@yahoo.com <https://orcid.org/0000-0002-0244-2932>

^{1,b)} PhD., доцент, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; raxmatillo82@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-0129-5643>

^{1,d)} ассистент, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; xushvaktov91@inbox.ru <https://orcid.org/0009-0002-1278-4124>

Актуальность: в статье рассмотрены вопросы создания быстродействующего и простого устройства для улучшения качества энергии, передаваемой потребителю, а именно поддержании синусоидальности и стабильности величины напряжения питающей сети в пределах допустимых значений, при этом частично уменьшая несимметрию напряжения и тока в трехфазной системе электроснабжения. Приводятся пара-

For citation: E.G. Usmanov, M.K. Bobojanov, R.Ch. Karimov, D.Sh. Xushvaktov. Contactless switching devices using nonlinear circuits. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2024, no. 4, pp. 36-47.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14564448>

Received: 13.10.2024

Revised: 8.11.2024

Accepted: 15.12.2024

Published: 27.12.2024

Copyright: © Eldar G. Usmanov, Maxsud K. Bobojanov, Raxmatillo Ch. Karimov, Dilmurod Sh. Xushvaktov, 2024. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



метры и схемы созданных бесконтактных реле напряжения выполненных на базе нелинейных цепей. Для теоретического исследования полученных дифференциальных уравнений нелинейной электрической цепи использованы численный метод Эйлера и метод вариации свободных постоянных Лагранжа. Рассматриваются вопросы регулирования обмоток вольтодобавочного трансформатора с помощью изученных в статье нелинейных цепей. Дается схемное решение устройства улучшающего качество электроэнергии, его характеристики изменения напряжения “вход-выход” и форма экспериментальных кривых изменения напряжения вольтодобавочного стабилизатора напряжения.

Цель: целью настоящей статьи является создание надежной, быстродействующей и простой схемы для эффективной работы вольтодобавочного трансформатора при улучшении качества электроэнергии, передаваемой потребителю. Поддержание синусоидальности и стабильности величины напряжения питающей сети в пределах допустимых значений, при частичном уменьшении несимметрии напряжения и тока в трехфазной питающей сети позволит уменьшить потери напряжения и мощности в сетях 6-10; 0,4 кВ.

Методы: в данной работе для теоретического анализа полученных дифференциальных уравнений нелинейных резистивных цепей, используются численный метод Эйлера и метод вариации свободных постоянных Лагранжа.

Результаты: серийный выпуск вольтодобавочного трансформатора в системе регулирования, которого используются бесконтактные реле напряжения, позволяют использовать их во время реконструкции сетей напряжением 6-10, 0,4 кВ, включая их на шины ТП или расщетки линий, что позволяет эффективно и быстро (0,01 сек) автоматически регулировать величину напряжения у потребителей электроэнергии. Такое подключение вольтодобавочных трансформаторов обходится дешевле, чем полная реконструкция выше указанных сетей.

Ключевые слова: вольтодобавочный трансформатор, тиристоры, диоды, емкость, оптореле с нормально открытыми контактами, оптореле с нормально закрытыми контактами, синусоидальность, нелинейная резистивная цепь.

Contactless switching devices using nonlinear circuits

Eldar G. Usmanov¹, Maxsud K. Bobojanov^{1,a)}, Raxmatillo Ch. Karimov^{1,b)},
Dilmurod Sh. Xushvaktov^{1,d)}

¹ PhD, associate professor, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; eusmonov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5145-8124>

^{1,a)} DSc, professor, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; mbobojanov@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0002-0244-2932>

^{1,b)} PhD, associate professor, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; raxmatillo82@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0129-5643>

^{1,d)} assistant, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; xushvaktov91@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0002-1278-4124>

Relevance: the article examines the issues of creating a fast-acting and simple device for improving the quality of energy transmitted to the consumer, namely maintaining the sinusoidality and stability of the supply network voltage within acceptable values, while partially reducing the asymmetry of voltage and current in a three-phase power supply system. The parameters and diagrams of the created contactless voltage relays based on nonlinear circuits are given. For the theoretical study of the obtained differential equations of the nonlinear electric circuit, the numerical Euler method and the method of variation of the free Lagrange constants were used. The issues of regulation of windings of a booster transformer using nonlinear circuits studied in the article are considered. A circuit solution is given for a device that improves the quality of electrical energy, its characteristics of changing the “input-output” voltage, and the shape of the experimental curves of changing the voltage of a booster voltage stabilizer.

Aim: the purpose of this paper is to create a reliable, fast and simple circuit for efficient operation of a step-up transformer while improving the quality of electrical energy transmitted to the consumer. Maintaining the sinusoidality and stability of the supply network voltage within the permissible values, with a partial reduction in the asymmetry of voltage and current in a three-phase supply network will reduce voltage and power losses in 6-10; 0.4 kV networks.

Methods: in this paper, the numerical Euler method and the method of variation of free Lagrange constants are used for the theoretical analysis of the obtained differential equations of nonlinear resistive circuits.

Results: serial production of a step-up transformer in the control system, which uses contactless voltage relays,

allows them to be used during the reconstruction of networks with a voltage of 6-10, 0.4 kV, including them on the TP buses or line cuts, which allows for efficient and fast (0.01 sec) automatic regulation of the voltage value at electricity consumers. This type of connection of booster transformers is cheaper than a complete reconstruction of the above networks.

Key words: booster transformer, thyristors, diodes, capacitance, opt orelay with normally open contacts, optorelay with normally closed contacts, sinusoidality, nonlinear resistive circuit.

1. Введение (Introduction)

В условиях рынка основным фактором, определяющим конкурентоспособность реализуемой продукции, является качество и цена. Обеспечение качества - одна из самых сложных задач, с которой приходится сталкиваться при передаче электрической энергии от производителя до потребителя [1-3].

Основными причинами снижения качества электрической энергии в четырехпроводных сетях 0,4 кВ являются несинусоидальность кривой напряжения, несимметричность, колебания и отклонения напряжения. Эти свойства оказывают существенное воздействие на надежность и эффективность работы потребителей электрической энергии, а также потери энергии в питающих потребителей сетях [2-4].

Рассмотрим возможность улучшения некоторых показателей качества электроэнергии путем использования вольтодобавочного трансформатора (ВДТ), с использованием в цепи подмагничивания его коммутационных схем выполненных на основе нелинейных цепей [2-6].

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Ранее для управления обмоток вольтодобавочного трансформатора использовались схемы с электромеханическими коммутационными устройствами, которые приводили к уменьшению быстродействия устройства в целом. В настоящее время с развитием цифровой технологии начали использовать быстродействующие и дорогостоящие цифровые контроллеры, которые в свою очередь приводят к удорожанию всего устройства в целом.

Для уменьшения стоимости и увеличения быстродействия коммутационных устройств вольтодобавочного трансформатора была рассмотрена простая нелинейная резистивная цепь, показанная на рис.1. Данная цепь состоит из последовательно соединенного в сеть VD диода, активного сопротивления R_1 , емкости C и параллельно соединенного к этому контуру сопротивления R_2 ; со стороны нагрузки соединены оптотиристор, диодный мост и активное сопротивление R_n .

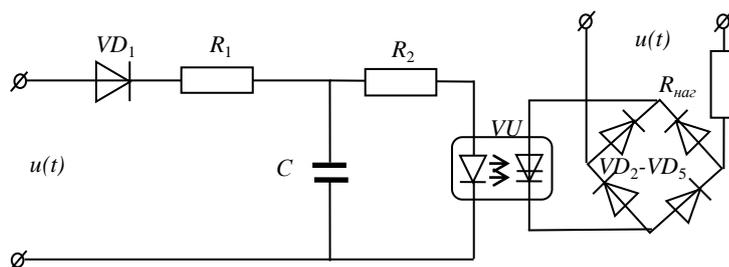


Рис.1. Схема нелинейной электрической цепи

Fig.1. Nonlinear electrical circuit diagram

Напряжение цепи изменится по синусоидальному закону:

$$u = U_m \sin \omega t \quad (1)$$

Принимаем, что угол включения цепи в сеть φ , равен нулю. Рассмотрим переходные процессы для каждого открытия диода. При этом напряжение на емкости описывается следующим уравнением:

$$u_c = U_m \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(1 - e^{-\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2 \cdot C} t} \right); \quad (2)$$

здесь, U_m – максимальное значение напряжение сети; R_1 , R_2 и C элементы цепи.

Принимаем характеристику диода идеальной и допускаем, что $U_{ex} = U_m \sin \omega t$. Тогда от момента $t=0$ до t_1 диод открыт, и при выполнении условия $0 \leq t \leq t_1$ уравнение цепи имеет следующий вид:

$$U_m \sin \omega t = R_1 i + U_c; \quad (3)$$

цепи на элементах емкости C и сопротивления R_2 описывается такими зависимостями [2-10]:

$$C \frac{du_C}{dt} = -\frac{u_C}{R_2};$$

или

$$\frac{du_C}{dt} = -\frac{u_C}{CR_2}. \quad (17)$$

Уравнение (17) также решается численным методом Эйлера:

$$u_{C(k+1)} = u_{Ck} + f(u_{Ck}, t_k) \cdot h \quad (18)$$

здесь вводимое изменение принимаем:

$$f(u_{Ck}, t) = -\frac{u_C}{CR_2} \quad (19)$$

3. Результаты (Results)

Рассмотрим практическое применение предложенного метода для исследования нелинейной электрической цепи приведенный на рис.2. Анализируем динамические процессы происходящие в нелинейной электрической цепи при включении к источнику питания синусоидального напряжения. На основе классического метода анализа решения дифференциального уравнения цепи выражением (6), описывающего динамические процессы (18), определим значение изменения величины напряжение на емкости.

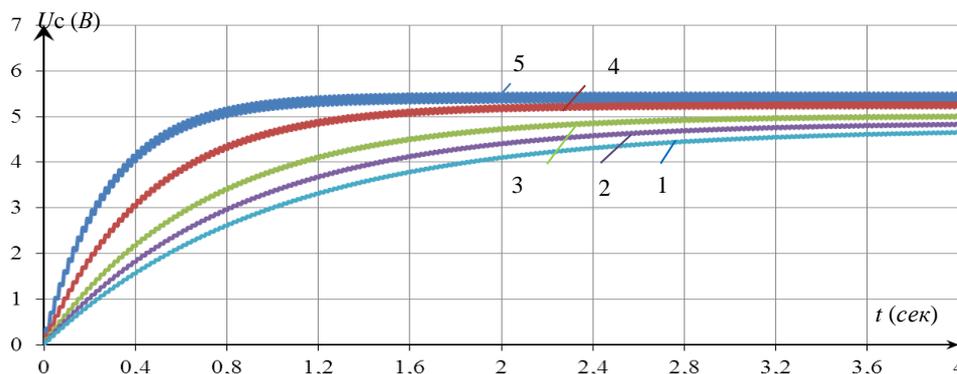


Рис.2. Семейство кривых изменения напряжения на емкости $U_C=f(t)$ при постоянстве C , R_2 и изменении параметров R_1

Fig.2. A family of curves of voltage change on a capacitor $U_C=f(t)$ with constant C , R_2 and changing parameters R_1

На рис.2 приведено семейство кривых напряжения на емкости при напряжении сети $U_m=18$ В, емкости $C=1$ мкФ, сопротивлении $R_2=3,0$ кОм, шаг интегрирования $h=0,001$ и при изменении сопротивления R_1 (1 – $R_1=0,3$ кОм; 2 – $R_1=0,5$ кОм; 3 – $R_1=0,8$ кОм; 4 – $R_1=1,0$ кОм; 5 – $R_1=1,2$ кОм).

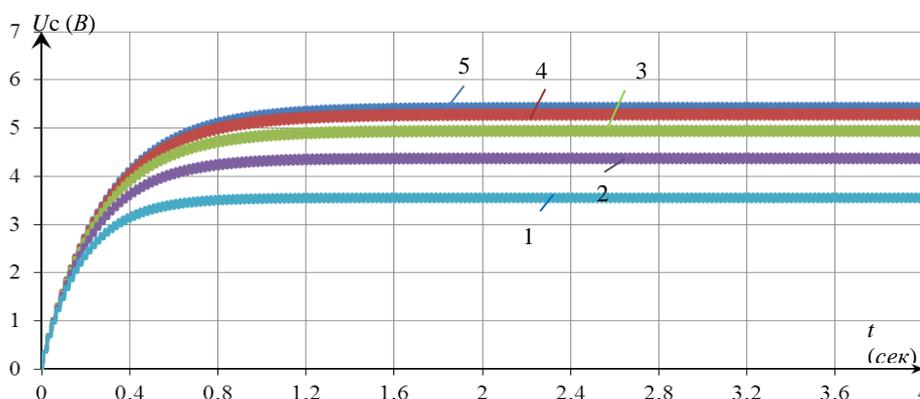


Рис.3. Семейство кривых изменения напряжения на емкости $U_C=f(t)$ при постоянстве C , R_1 и изменении параметров R_2

Fig.3. A family of curves of voltage change on a capacitor $U_C=f(t)$ with constant C , R_1 and changing parameters R_2

На рис.3 приведено семейство кривых напряжения на емкости при напряжении сети $U_m=18$ В, емкости $C=1$ мкФ, сопротивление $R_1=0,3$ кОм, шаг интегрирования $h=0,001$ и при из-

менение сопротивления R_2 (1 – $R_2=3,0$ кОм; 2 – $R_2=2,0$ кОм; 3 – $R_2=1,0$ кОм; 4 – $R_2=0,5$ кОм; 5 – $R_2=0,25$ кОм).

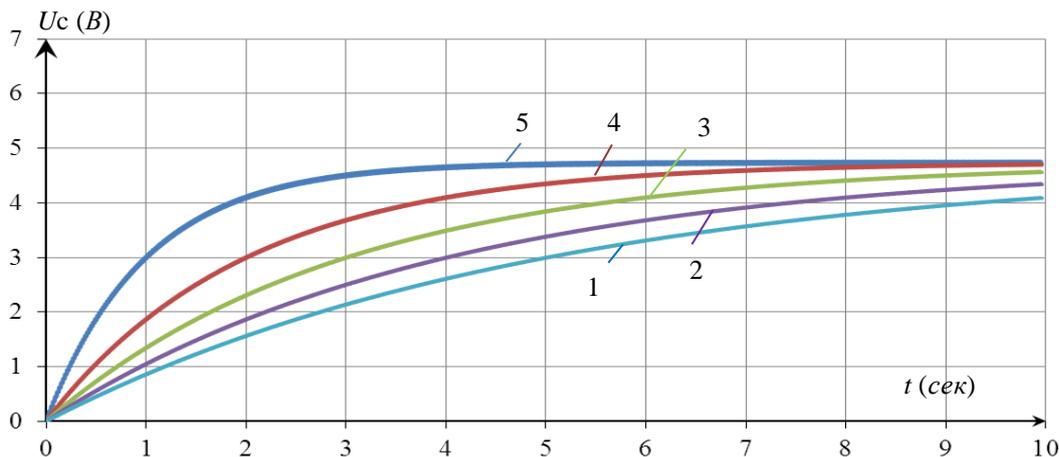


Рис.4. Семейство кривых изменения напряжения на емкости $U_c=f(t)$ при постоянстве R_1 , R_2 и изменении параметров C

Fig.4. A family of curves of change in voltage on a capacitor $U_c=f(t)$ with constant R_1 , R_2 and change in parameters C

На рис.4 приведено семейство кривых напряжения на емкости при напряжении сети $U_m=18$ В, сопротивлении $R_1=1,2$ кОм и $R_2=3,0$ кОм, шаг интегрирования $h=0,001$ при изменении емкости C (1 – $C=1,0$ мкФ; 2 – $C=2,0$ мкФ; 3 – $C=3,0$ мкФ; 4 – $C=4,0$ мкФ; 5 – $C=5,0$ мкФ).

Для моделирования рассматриваемой схемы была использована программа программного обеспечения моделирования на ЭВМ Electronics Workbench.

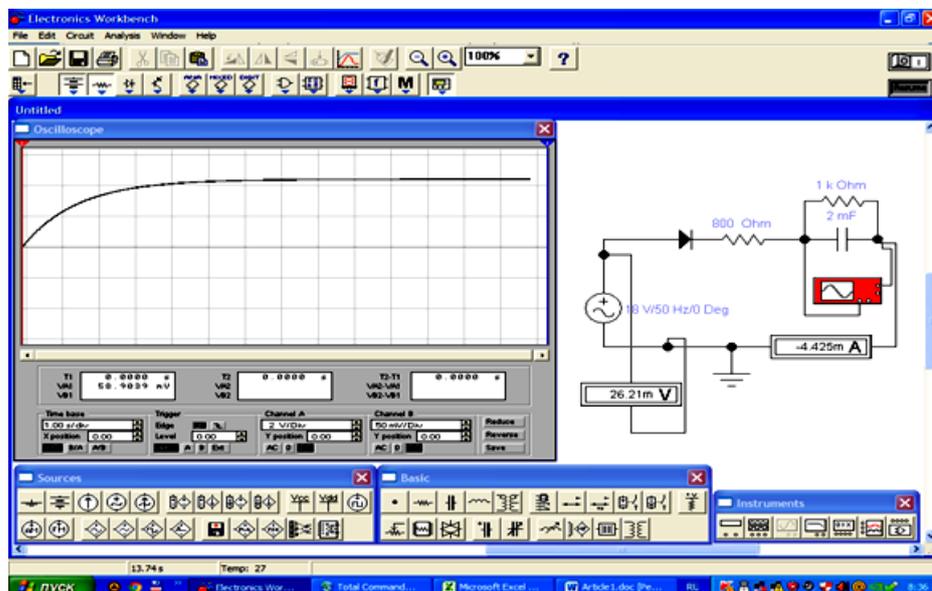


Рис.5. Процесс моделирования при помощи программы Electronics Workbench

Fig.5. The modeling of process using the Electronics Workbench program

На рис.5. показан смоделированный график изменения напряжения на емкости $U_c=f(t)$, рассматриваемый на рис.2. нелинейной электрической цепи с применением пакета Electronics Workbench [6-12].

Во время моделирования при помощи программа Electronics Workbench нелинейной электрической цепи при частоте 50 Гц приведенный на рис.2., приведен анализ изменение процесса по времени. Также пакет дает возможность анализа численно-аналоговых и аналоговых устройств.

Приведенные характеристики показывают, что изменяя сопротивление R_1 и емкость C , можно регулировать время полного заряда конденсатора необходимого для открытия управляемых полупроводниковых приборов.

На основании вышеизложенных теоритических исследований была разработана схема коммутационного устройства, выполненная на базе нелинейных цепей, работающего в зависимо-

сти от величины питающей сети рис.6 [5-10].

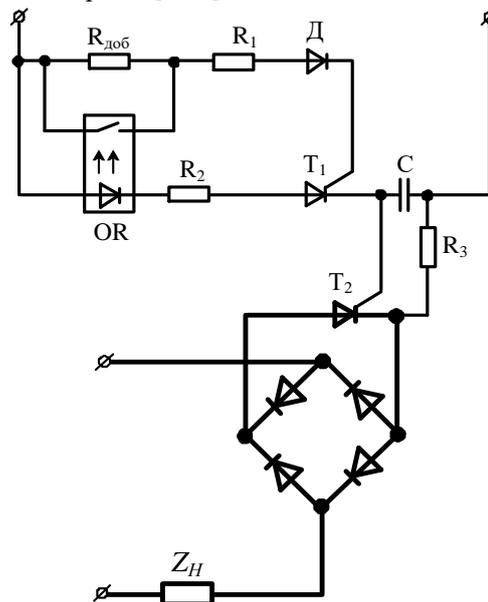


Рис.6. Схема коммутационного устройства
Fig.6. Switching device diagram

Рассматриваемая схема состоит из системы управления и силовой части; система управления, выполненная на базе нелинейных цепей, состоит из: трех резисторов, диода, тиристора, конденсатора и оптореле с нормально открытым контактом. Силовая часть имеет силовой диодный мост в диагональ которого включен силовой тиристор. Нагрузка подключается к питающей сети последовательно с силовым диодным мостом. Сигналы на открытие силового тиристора T_2 поступают с обкладок конденсатора C [12-16].

Данное устройство работает следующим образом: При снижении номинального напряжения ниже допустимого значения по цепи управления маломощного тиристора T_1 будет протекать ток управления $i_{упр.}$ определяемый из выражения:

$$i_{упр} = \frac{U_{ax}}{R_{доб} + R_1} \quad (20)$$

После открытия тиристора T_1 по его цепи протекает ток, тем самым включая светодиод оптореле, который своим нормально замкнутым контактом шунтирует добавочный резистор $R_{доб}$. В этом случае управляющий ток $i_{упр.}$ определяется как:

$$i_{упр} = \frac{U_{ax}}{R_1} \quad (21)$$

Таким образом, это устройство включается при значении напряжении питающей сети меньшем допустимого значения отклонения напряжения, и отключается при дальнейшем уменьшении значения напряжения питающей сети [2-5].

При открытии тиристора T_1 конденсатор заряжается и на управляющие электроды тиристора T_2 поступает постоянный сигнал, форма которого показана на рис.7.

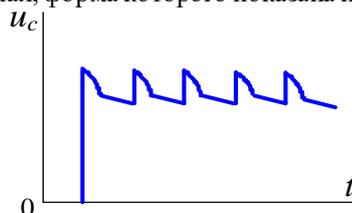


Рис.7. Форма напряжения на конденсаторе
Fig.7. Voltage waveform across a capacitor

После открытия тиристора T_2 по нагрузке будет протекать ток синусоидальной формы.

На рис.8 показана характеристика «вход-выход» бесконтактного коммутационного устройства, показанного на рис.6.

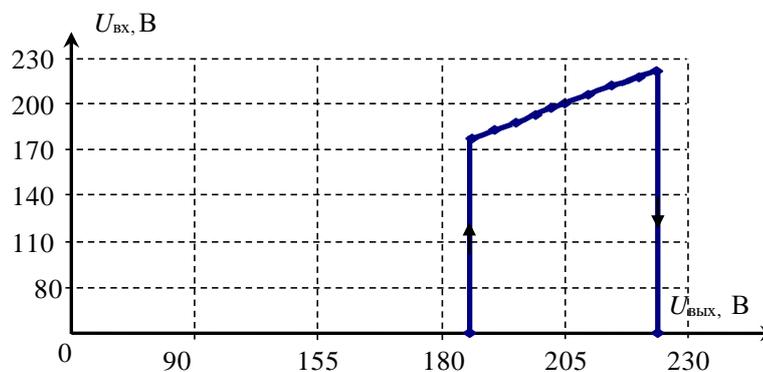


Рис. 8. Характеристика напряжение “вход-выход”
Fig. 8. Input-output voltage characteristic

Данное бесконтактное устройство, испытано на кафедре «Электротехника» факультета энергетической инженерии Ташкентского государственного технического университета. При этом использованы тиристоры типа: *KY202Ж, KY201К, KY202Н, KY202Е*; диоды *VD₁, VD₂* – Д226Б, активные сопротивления на 820 Ом, 5,1 кОм, 1,3 кОм, 6,8 кОм, 22 кОм, 24 кОм, 6,8 кОм, 20 кОм, конденсаторы переменного напряжения на 500 В, емкостью 2 мкФ, тиристорные оптотары *МОП*, диодный мост КЦ402В. Эксперимент показал, что вольтдобавочная обмотка трансформатора 3 включается в сеть при величине напряжении 190 В и отключается при напряжении 220 В.

На рис.9 показана однолинейная однофазная схема регулятора напряжения, выполненная на базе ВДТ с использованием в системе управления нелинейных цепей (рис.6).

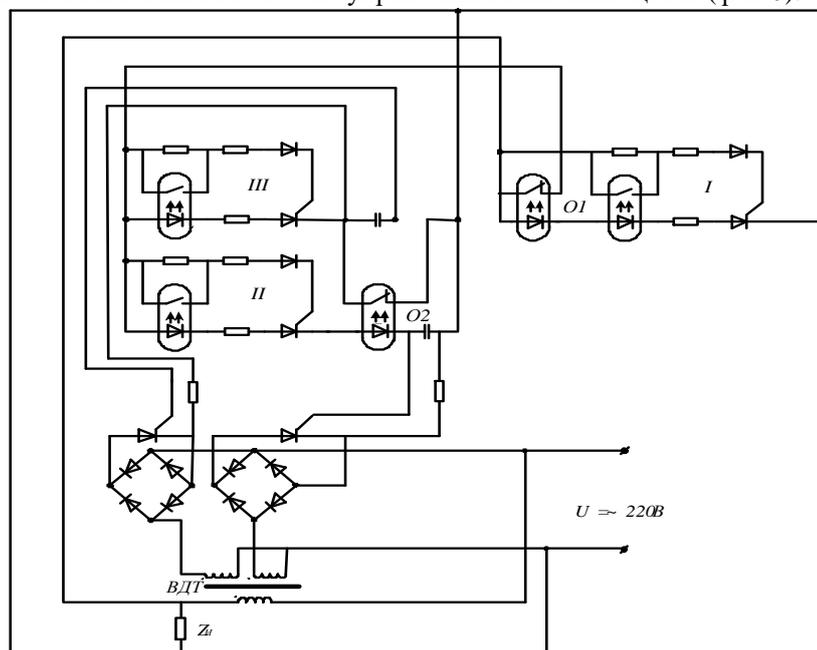


Рис.9. Однолинейная однофазная схема регулятора напряжения
Fig.9. Single-line single-phase voltage regulator circuit

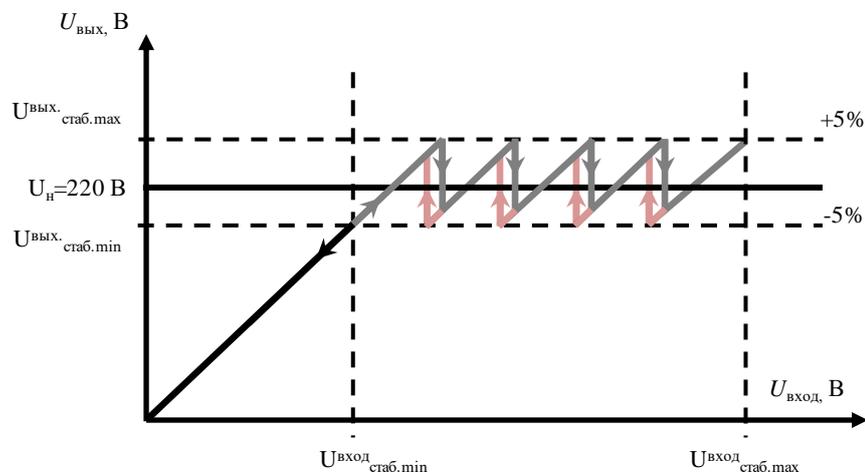
Данное устройство предназначено для поддержания номинального напряжения питающей сети во время уменьшения напряжения питающей сети ниже номинального. Предлагаемое устройство состоит из трех коммутирующих устройств I, II, III. При этом коммутационные устройства I и II дополнительно имеют в цепях тиристоров оптотреле с нормально замкнутым контактом.

При величине напряжения питающей сети равной номинальной начинает свою работу устройство I, при этом прерывая цепь источника питания бесконтактных устройств II и III. При снижении напряжения сети ниже допустимой бесконтактное устройство I отключится и замкнет цепь источника питания бесконтактных устройств II и III. Работа бесконтактного коммутационного устройства II приводит к включению своего оптотреле, тем самым отключая цепь управления силовым тиристором бесконтактного коммутационного устройства III и включая силовой тиристор в цепи своей подмагничивающей обмотки. Если в питающей сети продол-

жит уменьшаться напряжение, то бесконтактное коммутационное устройство II отключится, тем самым включая цепь управления силового тиристора, подключая к работе вторую обмотку подмагничивания вольтодобавочного трансформатора.

Экспериментальные исследования показали, что вольтодобавочный трансформатор с использованием в системе управления вышерассмотренной схемы бесконтактной коммутации, при изменении напряжения от 175 В до 235 В, обеспечивает напряжение на клеммах приемника в допустимых пределах, предусмотренных стандартом, т.е. $\pm 5\%$ от номинального значения питающей сети.

На рис.10 показана характеристика изменения напряжения “вход-выход”.



Замечание: ----- Границы рабочего диапазона стабилизации

Рис.10. Характеристика изменения напряжения “вход-выход” вольтодобавочного стабилизатора напряжения

Fig.10. Characteristics of the change in voltage “input-output” of a step-up voltage stabilizer

На рис.11 показаны экспериментальная форма кривых изменения напряжения бесконтактного автотрансформаторного стабилизатора напряжения на нагрузке и характеристика изменения напряжения “вход-выход”.

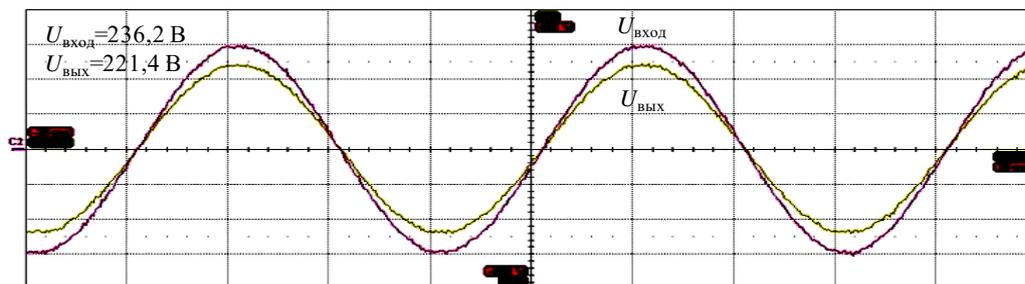


Рис.11. Экспериментальная форма кривых изменения напряжения вольтодобавочного стабилизатора напряжения

Fig.11. Experimental form of voltage change curves of a booster voltage stabilizer

Хотелось бы отметить, что данный аппарат компенсирует изменения напряжения не только в низкую сторону от допустимых значений, но ее изменения и в большую сторону; для этого необходимо предусмотреть дополнительные обмотки подмагничивания соединенные встречно основной обмотке.

Таким образом, используя нелинейные цепи в системе управления вольтодобавочного трансформатора можно ступенчато компенсировать падение и потери напряжения в питающей сети; не влияя при этом, как видно из осциллограммы, на показатели формы кривой напряжения питающей сети.

На рис.12 показана однолинейная схема трехфазного вольтодобавочного трансформатора с применением бесконтактных коммутационных устройств с использованием нелинейных цепей.

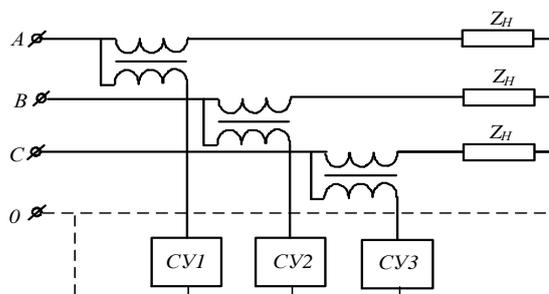


Рис.12. Схема вольтодобавочного трансформатора с применением бесконтактных коммутационных устройств

Fig.12. Schematic diagram of a step-up transformer using contactless switching devices

Рассматриваемый аппарат состоит из трех однофазных вольтодобавочных трансформаторов и трех систем управления ими. Обмотки подмагничивания вольтодобавочных трансформаторов могут быть соединены как в звезду, так и в треугольник. Установка данных аппаратов в расщелку питающей сети позволяет поддерживать у дальних потребителей электрической энергии напряжение в допустимых значениях [12-18].

На рис.13 показаны векторные диаграммы регулирования напряжения с помощью продольного регулирования с помощью вольтодобавочного трансформатора.

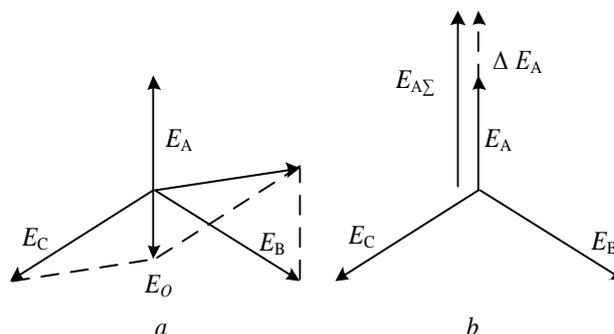


Рис.13. Векторные диаграммы регулирования напряжения с помощью продольного регулирования с помощью вольтодобавочного трансформатора

Fig.13. Vector diagrams of voltage regulation using longitudinal regulation with the help of a step-up transformer

На рис.13,а показана векторная диаграмма трехфазной цепи, когда в фазе А напряжение меньше номинального значения. В этом случае в нейтральной точке питающей сети относительно земли появляется потенциал E_O .

На рис.13,б показана векторная диаграмма трехфазной цепи, когда напряжение фазы А скомпенсировано вольтодобавочным трансформатором до значений номинального значения.

При использовании предложенных схем включения подмагничивающих обмоток вольтодобавочного трансформатора приводит к уменьшению несимметрии напряжения на нагрузке за счет уравнивания величины напряжения всех трех фаз не в зависимости друг от друга, а следовательно и к уменьшению дополнительных потерь и тока протекающего по нулевому проводу.

4. Заключение (Conclusion)

Коммутационные устройства, выполненные на базе нелинейных цепей, позволяют создать простой и дешевый аппарат стабилизирующий величину напряжения и улучшающий показатели качества электрической энергии у потребителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.К. Bobojanov, R.Ch. Karimov and others. "Development and experimental study of circuits of contactless device for automation of compensation of reactive power of capacitor batteries", E3S Web of Conferences, 289, 07012, (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128907012>.
2. Государственный стандарт Узбекистана О'zDSt 1044:2003. «Методы измерений и анализа показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (протокол №05-19 от 18 июля 2003. -С.27).



3. Государственный стандарт Узбекистана O'zDSt 1050:2004. «Установки бесперебойного электропитания на напряжение до 1 кВ. Общие технические условия» (протокол №05-02 от 30 января 2004. -С.53).
4. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Нелинейная динамическая цепь с тиристором // Журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент, 2006. - № 2-3. – С.37-41.
5. Кадыров Т.М., Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х. Бесконтактное реле напряжения переменного тока /Патент РУз № IAP 03954. 23.11.2006.
6. Абдураимов Э.Х. Нелинейные резистивные цепи бесконтактных коммутирующих устройств / Диссертация к.т.н., 05.09.05: – Ташкент.: 2009, – С.167.
7. Постановление Президента Республики Узбекистан от 13 июля 2016 года № ПП-2559 «О мерах по дальнейшему совершенствованию научно-технической деятельности в сфере электроэнергетики».
8. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Использование бесконтактных реле для улучшения качества электроэнергии // Журнал «Вестник ТашГТУ». 2013 -№3-4. – С.48-51.
9. Усманов Э.Г., Хусанов Б.М. Устройство для автоматического изменения коэффициента трансформации у трансформаторов 6-10/0,4 кВ, //Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Т.: Специальный выпуск. 2021. –С. 115-118.
10. Bobjanov M.K., Usmanov E.G., Abduraimov E.H., Karimov R.Ch. “Resistive time delay switches”, Scientific journal «European Science Review» Austria, Vienna, 2018. - №1-2. January–February. – PP.210-212.
11. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Халманов Д.Х., Каримов Р.Ч. «Оптоэлектронное бесконтактное реле напряжения с выдержкой времени», Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве Юстиции Республики Узбекистан. Патент на изобретение №IAP 06122. 28.12.2019.
12. Каримов Р.Ч. Повышение качества электроэнергии на базе бесконтактных коммутирующих устройств / Диссертация к.т.н., 05.05.02: – Ташкент.: 2019, –110 с.
13. Каримов Р.Ч., Бобожанов М.К. Стабилизаторы напряжения на базе бесконтактных устройств / Монография. – Ташкент.: ТашГТУ. 2020, –113 с
14. Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч., Рузиназаров М.Р. Программа расчета параметров бустерных трансформаторов // Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. /Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №DGU 05850. 06.11.2018.
15. Е.Н. Соснина, А.А. Асабин, А.А. Карлин, Е.В. Крюков. Тиристорный регулятор величины и фазы вольтодобавочного напряжения в распределительных электрических сетях 6-10 кВ /Актуальные проблемы электроэнергетики: Сборник научно-технических статей. – Нижний Новгород, 2017. – С. 132-136.
16. А.А. Асабин, А.А. Кралин, Е.В. Крюков, Е.А.Чернов, Г.Б. Онищенко. Способы плавного регулирования величины выходного напряжения тиристорного регулятора вольтодобавки /Энергетические системы и комплексы. Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева, №4(123), 2018. - С.69-75.
17. Каримов Р.Ч. Обзор стабилизатора напряжения на основе тиристоров в системах электроснабжения // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2021. 9(90). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12285>.
18. Икромов М.М., Ибайдуллаев М.Я., Каримов Р.Ч. Обзор стабилизатора напряжения на основе транзисторов в системах электроснабжения // Universum: технические науки: электронный научный журнал. 2021. 4(85). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11595>.

REFERENCES

1. M.K.Bobjanov, R.Ch.Karimov, and others. “Development and experimental study of circuits of contactless device for automation of compensation of reactive power of capacitor batteries”, E3S Web of Conferences, 289, 07012, (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128907012>.
2. State standard of Uzbekistan O'zDSt 1044:2003. «Methods of measurement and analysis of electrical energy quality indicators in general-purpose power supply systems» (Protocol №05-19 of July 18, 2003. – P.27).
3. State standard of Uzbekistan O'zDSt 1050:2004. «Uninterruptible power supply systems with voltage up to 1 kV. General technical conditions» (Protocol №05-02 of January 30, 2004. – P.53).
4. E.G.Usmanov, E.Kh.Abduraimov, R.Ch.Karimov. Nonlinear dynamic circuit with thyristor // Journal "Problems of Informatics and Energy". Tashkent, 2006. - № 2-3. – P.37-41.
5. T.M.Kadyrov, E.G.Usmanov, E.Kh.Abduraimov. Non-contact AC voltage relay // Patent of the Republic of Uzbekistan № IAP 03954. 23.11.2006.



6. Abduraimov E.H. Nonlinear resistive circuits of contactless switching devices // Dissertation of candidate of technical sciences, 05.09.05: – Tashkent.: 2009, – Pp.167.
7. Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated July 13, 2016 № PP-2559. «On measures for further improvement of scientific and technical activities in the field of electric power engineering».
8. E.G.Usmanov, E.Kh.Abduraimov, R.Ch.Karimov. Using contactless relays to improve power quality // Journal «Vestnik of TashSTU». – Tashkent.: №3-4. 2013, – P.48-51.
9. E.G.Usmanov, B.M.Khusanov. “A device for automatic change of transformation ratio in 6-10/0.4 kV transformers”, Journal "Problems of Informatics and Energy". – Tashkent.: Special edition. 2021; – P.115-118.
10. M.K.Bobojanov, E.G.Usmanov, E.H.Abduraimov, R.Ch.Karimov. “Resistive time delay switches”, Scientific journal «European Science Review» Austria, Vienna, 2018. - №1-2. January–February. – PP.210-212.
11. E.G.Usmanov, E.Kh.Abduraimov, D.Kh.Khalmanov, R.Ch.Karimov. “Optoelectronic contactless voltage relay with time delay”, Agency for Intellectual Property under the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan. Patent for invention №IAP 06122. 28.12.2019.
12. R.Ch. Karimov. Improving the quality of electric power based on contactless switching devices // Dissertation of candidate of technical sciences, 05.05.02: – Tashkent.: 2019, – P.110.
13. R.Ch. Karimov, M.K. Bobojanov. Voltage stabilizers based on contactless devices // Monograph. – Tashkent.: TashSTU. 2020, – P.113.
14. E.Kh. Abduraimov, R.Ch. Karimov, M.R. Ruzinazarov. Program for calculating parameters of booster transformers // Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan. Certificate of official registration of a computer program №DGU 05850. 06.11.2018.
15. E.N. Sosnina, A.A. Asabin, A.A. Karlin, E.V. Kryukov. Thyristor regulator of the magnitude and phase of booster voltage in 6-10 kV distribution electrical networks /Current issues in electric power industry: Collection of scientific and technical articles. – Nizhny Novgorod, 2017. – P.132-136.
16. A.A. Asabin, A.A. Kralin, E.V. Kryukov, E.A. Chernov, G.B. Onishchenko. Methods of smooth regulation of the output voltage of a thyristor booster regulator /Energy systems and complexes. Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseev, №4(123), 2018. - P.69-75.
17. R.Ch. Karimov. Review of thyristor-based voltage stabilizer in power supply systems //Universum: technical sciences: electronic scientific journal. 2021. 9(90). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12285>.
18. M.M. Ikromov, M.Ya. Ibaidullaev, R.Ch. Karimov. Overview of transistor-based voltage stabilizer in power supply systems //Universum: technical sciences: electronic scientific journal. 2021. 4(85). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11595>.