

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОВЫШЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

В статье авторы исследовали устройство для испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением. Изоляция в электротехнических устройствах является важнейшим элементом конструкции. Электрическая прочность изоляции определяется ее способностью выдерживать длительное номинальное напряжение, на которое рассчитана установка. Но в ряде случаев прочность изоляции может ухудшаться по причине ее увлажнения или в связи с появлением дефектов. Дефектами могут быть воздушные включения в твердом или жидком диэлектрике, которые в дальнейшем создают условия для возникновения частичных разрядов. Рассмотрена существующая на сегодняшний день схема испытаний для определения запаса электрической прочности изоляции. Представлена схема разработанного устройства установки для испытания изоляции на основе единого конструкторско-технологического компонента. Целью работы является исследование зависимости коэффициентов усиления по напряжению от изменения частоты для односекционного и двухсекционного многофункционального интегрированного электромагнитного компонента (МИЭК). Была выдвинута гипотеза, что использование двухсекционного многофункционального интегрированного электромагнитного компонента позволит значительно повысить коэффициент усиления по напряжению по сравнению с использованием односекционного единого конструкторско-технологического компонента. В процессе научного исследования установки для испытания изоляции электрооборудования использовались методы математического моделирования. Представленное устройство обладает меньшими массогабаритными показателями и более эффективными показателями коэффициента усиления по напряжению. В результате математического моделирования показано, что использование двухсекционного многофункционального интегрированного электромагнитного компонента позволяет повысить коэффициент усиления по напряжению до 90, тогда как при использовании односекционного компонента коэффициент усиления по напряжению равен 9. Результаты проведенных исследований подтверждают актуальность и значимость интеграции компонентов с целью снижения массы и габаритов известных устройств.

Ключевые слова: испытание повышенным напряжением, единый конструкторско-технологический компонент, индуктивность, емкость, резонансный контур, интеграция компонентов

ВВЕДЕНИЕ

Изоляция токопроводящих частей играет одну из важных ролей в эксплуатации электрооборудования. Она защищает человека от поражения электрическим током и необходима для нормальной работы электроустановок. Первоочередной задачей является своевременное и качественное определение запаса электрической прочности изоляции [1-4].

Определение запаса прочности изоляции производят путем электрических испытаний повышенным напряжением. Испытания проводятся специальными установками. Эти установки реализуют повышение напряжения выше рабочего в несколько раз. Испытательное напряжение прикладывается к испытываемой установке на время, достаточное для развития разрядов в местных дефектах, вплоть до пробоя [5, 6].

Испытанию изоляции повышенным переменным напряжением должны предшествовать осмотр и оценка состояния изоляции и испытанию подлежит только та изоляция установки, которая прошла визуальный осмотр и испытание выпрямленным напряжением [7-9].

Зачастую установки, которые используются для повышения напряжения, состоят из переносного пульта управления и источника испытательного напряжения. Источник испытательного напряжения включает

в себя высоковольтный трансформатор, резисторы и выпрямительные столбы, помещенные в бак, заполненный маслом. Недостатками таких установок являются недостаточная мощность, большие масса и габариты. Также они имеют недостаточную мощность для испытания объектов большой емкости (например, электродвигатели) и невозможностью испытаний на сверхнизкой частоте [10-13]. В **таблице** приведено наиболее широко применяемое на практике электрооборудование с указанием требований по испытанию.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе научного исследования установки для испытания изоляции электрооборудования использовались методы математического моделирования.

Таблица
Нормы испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок потребителей

Наименование аппарата	Испытательное напряжение и время	Мощность испытательной установки
Электрические машины до 1 кВ	от 1 до 1,7 кВ, 1 мин	300 ВА
Электрические машины выше 1 кВ	от 4 до 16 кВ, 1 мин	600 ВА
Кабели до 1 кВ	2,5 кВ, 5 мин	300 ВА
Кабели выше 1 кВ	от 2,5 до 60 кВ, 5 мин	600 ВА

Авторами предлагается разработать устройство испытательной установки на основе двухсекционной структуры единого конструкторско-технологического компонента [14-18]. Эта структура позволит получить большее напряжение, чем при использовании односекционной структуры. Уровень напряжения определяется добротностью резонансного контура. Повышение уровня напряжения разрабатываемой испытательной установки достигается следующими техническими средствами [19-21]:

- работой в резонансном режиме с высокой добротностью колебательного контура;
- трансформацией напряжения;
- каскадным умножением напряжения путем повышения коэффициента усиления по напряжению за счет использования двухсекционной структуры единого конструкторско-технологического компонента.

Снижение массы и габаритов, повышение компактности устройства достигается за счет следующих факторов [22-25]:

- уменьшения емкостного и индуктивного сопротивлений электромагнитных элементов (единого конструкторско-технологического компонента), так как требуемый уровень испытательного напряжения достигается при меньших значениях индуктивности проводящих обкладок и емкости единого конструкторско-технологического компонента;
- исключения из схемы одного из элементов (проволочной обмотки).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 1 приведена традиционная схема испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением переменного тока. Недостатком устройств, схема которых идентична представленной на рис. 1, как было сказано ранее, является недостаточность мощности установки при испытании изоляции повышенным напряжением объектов большой емкости и большие масса и габариты [21, 22].

Известно изобретение, которое устраняет вышеуказанные недостатки установки для испытания изоляции повышенным напряжением [15]. Высоковольтная испытательная установка на основе единого конструкторско-технологического компонента состоит из генераторного блока, резонансного контура, повышающего трансформатора и демодулятора [16]. В указанном устройстве достигается снижение массы и габаритов за счет интеграции резонансного контура и повышающего трансформатора в единый блок с использованием односекционной структуры единого конструкторско-технологического компонента [17]. Для данного схематического решения коэффициент усиления по напряжению (отношение выходного напряжения к входному) будет определяться следующим образом:

$$k_{U1sec} = \frac{1 + \alpha^2}{\sqrt{(1 - \alpha^2)^2 + \left(4\alpha \frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{C_1} R_{in}}\right)^2}},$$

где α – частота в относительных единицах (отношение рабочей частоты (текущей) к резонансной); L_1 – индуктивность проводящей обкладки единого конструкторско-технологического компонента; C_1 – емкость еди-

ного конструкторско-технологического компонента; R_{in} – сопротивление нагрузки.

На рис. 2 представлена структурная схема разрабатываемого авторами устройства для проведения испытаний повышенным напряжением изоляции электрооборудования на основе двухсекционной структуры единого конструкторско-технологического компонента [15].

Предлагаемое устройство состоит из блока с инвертором и системой управления, двухсекционного единого конструкторско-технологического компонента и демодулятора.

Работает устройство следующим образом. Переменное напряжение питающей сети поступает на выпрямитель. Выпрямленное напряжение сглаживается фильтром и поступает на вход инвертора. Далее сигнал с инвертора усиливается в резонансном контуре. Резонансный контур образован проводящими обкладками единого конструкторско-технологического компонента. Далее в демодуляторе происходит выдерживание сигнала по амплитуде и времени в соответствии с нормами испытаний.

Для расчета коэффициента усиления по напряжению двухсекционного единого конструкторско-технологического компонента справедливо выражение

$$k_{U2sec} = \frac{A}{\sqrt{B}}.$$

$$A = 4 \cdot 2,845\alpha R_{in} \sqrt{\frac{C_1}{0,5L_1}} \left[4 + (2,845\alpha)^2\right];$$

$$B = \left[8 - (2,845\alpha)^2\right]^2 4(2,845\alpha)^2 R_{in}^2 \frac{C_1}{0,5L_1} + 24(2,845\alpha)^4.$$

Расчет и исследование свойств МИЭКа в качестве повышающего напряжения элемента проводились в программном комплексе *MathCad*. По результатам моделирования был получен график зависимостей коэффициента усиления по напряжению от изменения частоты в относительных единицах (рис. 3) для односекционного (график 1) и двухсекционного (график 2) единого конструкторско-технологического компонента.

Из графиков на рис. 3 видно, что двухсекционный единый конструкторско-технологический компонент обладает наибольшим коэффициентом усиления по напряжению:

$$k_{U2sec} = 90 > k_{U1sec} = 9.$$

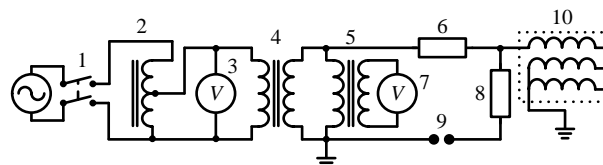


Рис. 1. Схема испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением переменного тока: 1 – автоматический выключатель; 2 – регулировочная колонка; 3, 7 – вольтметр; 4 – трансформатор испытательный; 5 – трансформатор напряжения; 6 – резистор; 8 – резистор для ограничения коммутационных перенапряжений на испытываемой изоляции при пробое разрядника; 9 – разрядник; 10 – испытуемый объект

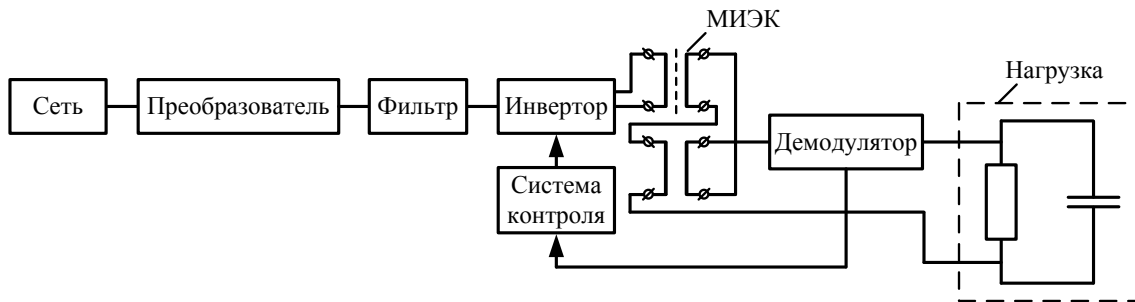


Рис. 2. Структурная схема разрабатываемого устройства для испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением

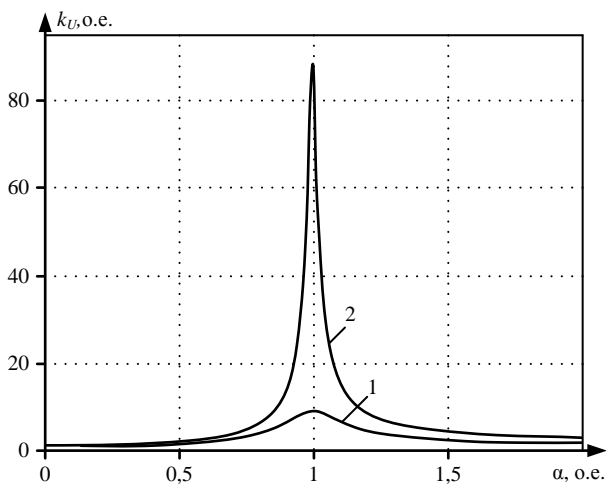


Рис. 3. Зависимости коэффициентов усиления по напряжению от изменения частоты для односекционного (1) и двухсекционного (2) многофункционального интегрированного электромагнитного компонента

Авторами представлена эффективная схема устройства разрабатываемой установки для испытания изоляции электроустановок повышенным напряжением, которая обладает более высоким коэффициентом усиления по напряжению и позволяет снизить массу и габариты известных установок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате научных исследований было разработано схемотехническое решение установки для испытания изоляции повышенным напряжением. В результате авторами были доказаны эффективность и целесообразность использования двухсекционной структуры единого конструкторско-технологического компонента испытательной установки в качестве повышающего напряжение элемента. Результаты проведенных исследований подтверждают актуальность и значимость интеграции компонентов с целью снижения массы и габаритов известных устройств.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации для молодых учёных–кандидатов наук СП-1132.2022.1.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Козлов В.К., Киржацких Е.Р. Автономный емкостной источник питания для устройств измерения параметров воздушной линии электропередачи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 3-4. С. 61-68.

2. Методика диагностики и идентификации неисправностей обмоток асинхронного двигателя в режиме его функционирования / Р.Г. Мугалимов, А.Р. Мугалимова, Ю.А. Калугин, К.Э. Одинцов // Электротехнические системы и комплексы. 2018. №3(40). С. 70-78. doi: 10.18503/2311-8318-2018-3(40)-70-78
3. Экспериментально-аналитическая идентификация математической модели электромеханического преобразователя постоянного тока с применением метода наименьших квадратов / Н.А. Малёв, А.И. Мухаметшин, О.В. Погодицкий, А.Г. Городнов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 4. С. 113-122. doi: 10.30724/1998-9903-2019-21-4-113-122
4. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks; German version EN 50160:2010/A1:2015. URL: <https://www.en-standard.eu/din-en-50160-a3-merkmale-der-spannung-in-offentlichelektrizitaetsversorgungsnetzen-deutsche-und-englische-fassung-n-50160-2010-pra3-2017/>. (дата обращения 21.07.2022)
5. Сулов К.В., Солонина Н.Н., Герасимов Д.О. Современные подходы к оценке качества электрической энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 7-8. С. 85-93.
6. Конесев С.Г., Мухаметшин А.В., Кириллов Р.В. Выбор схемы ВИУ для работы в резонансном режиме // I Международ. науч.-техн. конф.: сб. науч. тр. Уфа: УГНТУ, 2013. С. 209-215.
7. IEC 61000-2-2: Electromagnetic Compatibility (EMC); Pt 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signaling in public low-voltage power supply systems. URL: <https://www.vde-verlag.de/standards/0800580/din-en-61000-2-2-vde-0839-2-2-2019-06.html>. (дата обращения 21.07.2022)
8. Новые схемотехнические решения резонансной высоковольтной испытательной установки / С.Г. Конесев, А.В. Мухаметшин, Р.Т. Хазиева, Д.А. Стрижев // Инновационные направления развития электропривода, электротехнологий и электрооборудования: межвуз. сб. науч. тр. Уфа: УГНТУ, 2012. С. 178-183.
9. Конесев С.Г., Мухаметшин А.В. Оценка влияния параметров изоляции высоковольтного оборудования на режимы работы испытательной установки // Современные проблемы науки и образования. Электронный научный журнал. 2015. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=20794>. (дата обращения 21.07.2022)
10. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Стриелковски В. Инновации в области хранения энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 4. С. 41-47. doi: 10.30724/1998-9903-2019-21-4-33-40.
11. Конесев С.Г., Мухаметшин А.В. Математическое моделирование резонансных режимов испытательной установки // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2015. №3. С. 51-55.
12. Performance of Natural Ester as a Transformer Oil in Moisture-Rich Environments / K. Bandara, C. Ekanayake, T. Saha, H. Ma // Energies. 2016. No. 9(4). 258. doi: 10.3390/en9040258.

13. Patsch R. Dielectric Diagnostics of Power Transformers and Cables - Return Voltage Measurements, Theory and Practical Results. VDE High Voltage Technology 2018; ETG-Symposium. URL: <https://www.vde-verlag.de/proceedings-de/454807130.html>. (дата обращения 21.07.2022)
14. Конесев С.Г., Мухаметшин А.В., Конев А.А. Исследование режимов работы дросселя резонансной испытательной установки // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. Т. 12. № 3. С. 5-10.
15. Пат. 132213 Российская Федерация, МПК G01R. Компактная испытательная установка для испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением / Конесев С.Г., Мухаметшин А.В.; заявитель Конесев С.Г. № 20131108529; заявл. 26.02.2013, опубл. 10.09.2013.
16. Пат. 108856 Российская Федерация, МПК G01R 31/06. Компактное устройство для испытания изоляции повышенным напряжением / Конесев С.Г., Хазиева Р.Т., Стрижев Д.А.; заявитель Конесев С.Г. № 2011113264/28; заявл. 06.04.2011, опубл. 27.09.2011.
17. Пат. 2662952 Российская Федерация, МПК G01R. Установка для испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением / Конесев С.Г., Мухаметшин А.В., Конев А.А., Гайнутдинов И.З.; заявитель ООО Научно-инженерный центр «Энергодиагностика». № 2017130067; заявл. 24.08.2017, опубл. 31.08.2018.
18. Конесев С.Г., Хазиева Р.Т. Анализ стабилизационных свойств индуктивно-емкостных преобразователей при различных способах подключения гибридных электромагнитных элементов // Электротехнические системы и комплексы. 2017. №1(34). С. 49-55. doi: 10.18503/2311-8318-2017-1(34)-49-55
19. Данилов А. Современные промышленные датчики тока // Современная электроника. 2004. № 1. С. 26-28.
20. Пат. 156457 Российская Федерация, МПК G01R. Установка для испытания средств защиты / Мухаметшин А.В., Мухаметшин Е.В.; заявитель Мухаметшин А.В.; № 201524718; заявл. 23.06.2015, опубл. 10.11.2015.
21. Shahmaev I.Z., Gaisin B.M., Shiryayev O.V. A new method of taking management decisions at designing and developing electric power systems // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE, 2016. doi: 10.1109/ICIEAM.2016.7911000
22. Mudiraj A.N. Improvement of Power Quality by mitigating harmonics in single phase AC distribution // International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). IEEE, 2016. Pp. 83-88. doi: 10.1109/ICACDOT.2016.7877556
23. Антонов А.И. Исследование уровня электромагнитных помех в сети 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами различной мощности при несимметричном характере нагрузки // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 65-76.
24. Rajasekhar N.V., Babu M.N. Harmonics reduction and power quality improvement by using DPFC // International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). IEEE, 2016. Pp. 1754-1758. doi: 10.1109/ICEEOT.2016.7754987
25. Akdeniz E., Bagriyanik M. A knowledge-based decision support algorithm to reduce the impact of transmission system vulnerabilities // International Journal of Electric Power and Energy Systems. 2016. No. 78. Pp. 436-444. doi: 10.1016/j.ijepes.2015.11.041

Поступила в редакцию 02 июня 2022 г.

INFORMATION IN ENGLISH

INSTALLATION FOR TESTING INSULATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT WITH INCREASED VOLTAGE

Regina T. Khazieva

Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Enterprises, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia, khazievar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7075-0363>

Petr I. Vasilyev

Teaching Assistant, Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Enterprises, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia, Petrvasilyev17@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4961-9149>

Radmir R. Aflyatunov

Teaching Assistant, Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Enterprises, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia, Radmir.afl@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0772-2519>

In the article, the authors investigated a device for testing the insulation of electrical equipment with increased voltage. Insulation in electrical devices is an essential structural element. The electrical strength of the insulation is determined by its ability to withstand the continuous rated voltage for which the installation is designed. But in some cases, the strength of the insulation may deteriorate due to its moisture or due to defect development. Defects can be air inclusions in a solid or liquid dielectric, which further create conditions for the occurrence of partial discharges. The current test scheme for determining the insulation electrical strength margin is considered. A diagram of the developed installation for testing insulation based on a single design and technological component is presented. The aim of the work is to study the dependence of the voltage gain on the frequency change for a single-section and two-section multifunctional integrated electromagnetic component (MIEK). A hypothesis was put forward that the use of a two-section multifunctional integrated electromagnetic component will significantly increase the voltage gain compared to the use of a single-section single design-technological component. In the process of scientific research of the installation for testing the electrical equipment insulation,

methods of mathematical modeling were used. The presented device has smaller weight and size indicators and more effective voltage gain indicators. As a result of mathematical modeling, it is shown that the use of a two-section multifunctional integrated electromagnetic component makes it possible to increase the voltage gain to 90, while when using a single-section component, the voltage gain is 9. The results of the studies confirm the relevance and significance of component integration in order to reduce the weight and dimensions of the known devices.

Keywords: high voltage testing, single design and technological component, inductance, capacitance, resonant circuit, integration of components

REFERENCES

1. Kozlov V.K., Kirzhatskikh E.R. Autonomous capacitive power supply for devices for measuring parameters of an overhead power transmission line. *Izvestiya bysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [Power engineering: research, equipment, technology], 2017, vol. 19, no. 3-4, pp. 63. (In Russian)

2. Mugalimov R.G., Mugalimova A.R., Kalugin Y.A., Odintsov K.E. Methodology for diagnostics and identification of malfunctions of windings of an induction motor in the mode of its operation. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2018, no. 3(40), pp. 70-78. (In Russian) doi: 10.18503/2311-8318-2018-3(40)-70-78
3. Malev N.A., Mukhametshin A.I., Pogoditsky O.V., Gorodnov A.G. Experimental and analytical identification of a mathematical model of an electromechanical DC converter using the method of least squares. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [Power engineering: research, equipment, technology], 2019, vol. 21, no. 4, pp. 113-122. (In Russian) doi: 10.30724/1998-9903-2019-21-4-113-122
4. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks; German version EN 50160:2010/A1:2015. URL <https://www.en-standard.eu/din-en-50160-a3-merkmale-der-spannung-in-offentlicherelektrizitätsversorgungsnetzen-deutsche-und-englische-fassung-en-50160-2010-pra3-2017/> (accessed 20 December 2018)
5. Suslov K.V., Solonina N.N., Gerasimov D.O. Modern approaches to the assessment of the quality of electrical energy. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [Power engineering: research, equipment, technology], 2017, vol. 19, no. 7-8, pp. 85-93. (In Russian)
6. Konesev S.G. The choice of the VIA circuit for operation in the resonant mode. *I Mezhdunar. Nauch.-tekhn. Konf.: sb. Nauch. Tr.* [1st Intern. scientific and technical Conf. Collection of scientific papers]. Ufa, USPTU Publ., 2013, pp. 209-215. (In Russian)
7. IEC 61000-2-2: Electromagnetic Compatibility (EMC); Pt 2-2: Environment – Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signaling in public low-voltage power supply systems. 2000. 29 p.]. URL: <https://www.vde-verlag.de/standards/0800580/din-en-61000-2-2-vde-0839-2-2-2019-06.html> (accessed 20 December 2018)
8. Konesev S.G., Mukhametshin A.V., Khazieva R.T., Strizhev D.A. New circuit solutions of the resonant high-voltage test facility. *Innovatsionnye napravleniya razvitiya elektroprivoda, elektrotekhnologii i elektrooborudovaniya: mezhvuz* [Innovative directions of development of electric drive, electrical technologies and electrical equipment]. Ufa, USPTU Publ., 2012, pp. 178-183. (In Russian)
9. Konesev S.G. Assessment of the influence of insulation parameters of high-voltage equipment on the operating modes of the test facility. *Modern problems of science and education. Electronic scientific journal*. 2015. No. 2. URL: www.science-education.ru/122-20794 - 07.08.2015. (accessed 21 July 2022) (In Russian)
10. Mukhametov L.R., Akhmetova I.G., Strielkowski V. Innovations in the field of energy storage. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*. [Power engineering: research, equipment, technology], 2019, vol. 21, no. 4, pp. 41-47. (In Russian) doi: 10.30724/1998-9903-2019-21-4-33-40
11. Konesev S.G., Mukhametshin A.V. Mathematical modeling of resonance modes of the test setup. *Vesti vysshikh uchebnykh zavedeniy Chernozemya* [News of higher educational institutions of the Chernozem region], 2015, no. 3, pp. 51-55. (In Russian)
12. Bandara K., Ekanayake C., Saha T., Ma H. Performance of Natural Ester as a Transformer Oil in Moisture-Rich Environments. *Energies*, 2016, no. 9(4), p. 258. doi: 10.3390/en9040258
13. Patsch, R. Dielectric Diagnostics of Power Transformers and Cables - Return Voltage Measurements, Theory and Practical Results. VDE High Voltage Technology 2018; ETG-Symposium. URL:<https://www.vde-verlag.de/proceedings-de/454807130.html> (accessed 21 July 2022)
14. Konesev S.G., Mukhametshin A.V., Konev A.A. Investigation of the operating modes of the resonant test facility choke. *Elektrotehnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy* [Electrical and information complexes and systems], 2016, vol. 12, no. 3. (In Russian)
15. Konesev S.G., Mukhametshin A.V. *Kompaktnaya ispytatelnaya ustanovka dlya ispytaniya izolyatsii elektrooborudovaniya povyshennym napryazheniem* [Compact test setup for testing insulation of electrical equipment with increased voltage]. Patent RF no. 2013108529, 2013.
16. Konesev S.G., Khazieva R.T., Strizhev D.A. *Kompaktnoe ustroystvo dlya ispytaniya izolyatsii povyshennym napryazheniem* [Compact high voltage insulation tester]. Patent RF no. 2011113264/28, 2011.
17. Konesev S.G., Mukhametshin A.V., Konev A.A., Gainutdinov I.Z. *Ustanovka dlya ispytaniya izolyatsii elektrooborudovaniya povyshennym napryazheniem* [Installation for testing insulation of electrical equipment with increased voltage]. Patent RF no. 2017130067, 2017.
18. Konesev S.G., Khazieva R.T. Analysis of the stabilization properties of inductive-capacitive converters for various methods of connecting hybrid electromagnetic elements. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2017, no. 1(34), pp. 49-55. (In Russian) doi: 10.18503/2311-8318-2017-1(34)-49-55
19. Danilov A. Modern industrial current sensors. *Sovremennaya elektronika* [Modern electronics], 2004, no. 1, pp. 26-28. (In Russian)
20. Mukhametshin A.V., Mukhametshin E.V. *Ustanovka dlya ispytaniya sredstv zashchity* [Installation for testing protection means]. Patent RF no. 201524718, 2015.
21. Shahmaev I.Z., Gaisin B.M., Shiryaev O.V. A new method of taking management decisions at designing and developing electric power systems. 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). IEEE, 2016, pp. 1-3. doi: 10.1109/ICIEAM.2016.7911000
22. Mudiraj A.N. Improvement of Power Quality by mitigating harmonics in single phase AC distribution. 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT). IEEE, 2016, pp. 83-88. doi: 10.1109/ICACDOT.2016.7877556
23. Antonov A.I. Investigation of the level of electromagnetic interference in a 10/0.4 kV network with power transformers of various capacities with an asymmetric nature of the load. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [Power engineering: research, equipment, technology], 2017, vol. 19, no. 9-10, pp. 65-76. (In Russian)
24. Rajasekhar N.V., Babu M.N. Harmonics reduction and power quality improvement by using DPFC. 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT). IEEE, 2016, pp. 1754-1758. doi: 10.1109/ICEEOT.2016.7754987
25. Akdeniz E, Bagriyanik M. A knowledge-based decision support algorithm to reduce the impact of transmission system vulnerabilities. *International Journal of Electric Power and Energy Systems*, 2016, no. 78, pp. 436-444. doi: 10.1016/j.ijepes.2015.11.041

Хазиева Р.Т., Васильев П.И., Афлятунов Р.Р. Исследование установки для испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением // *Электротехнические системы и комплексы*. 2022. № 3(56). С. 65-69. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2022-3\(56\)-65-69](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2022-3(56)-65-69)

Khazieva R.T., Vasilyev P.I., Aflyatunov R.R. Installation for Testing Insulation of Electrical Equipment with Increased Voltage. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2022, no. 3(56), pp. 65-69. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2022-3\(56\)-65-69](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2022-3(56)-65-69)