

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОВЕРКИ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДУГОВЫХ ПРОБОЕВ И ИСКРОВЫХ ПРОМЕЖУТКОВ

Ю. Н. Ерашова^{1✉}, А. Н. Тюрин², Н. А. Гарифуллина¹, Л. Ф. Мусина¹

*Кафедра «Теоретические основы электротехники» (1), yuliya.kostina@mail.ru;
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;
АО «Татэлектромонтаж» (2), Казань, Россия*

Ключевые слова: дуговой пробой; дуговой разряд; искрение; короткое замыкание; пожарная безопасность; устройство защиты от дуговых пробоев.

Аннотация: На основе требований по монтажу и эксплуатации устройств защиты от дуговых пробоев (УЗДП) предложено проводить их испытания на эффективность срабатывания. Проанализированы виды дуговых пробоев, модели установок для испытаний УЗДП. Представлено устройство для проверки аппаратов защиты от всех видов пробоев, в котором были устранены недостатки существующих подобных устройств. Для подтверждения работоспособности устройства проведены эксперименты, включающие в себя создание контролируемой ситуации дугового пробоя. Отмечено, что с помощью устройства для проверки аппаратов защиты от дуговых пробоев возможно создать условия, близкие к реальным. Представлены результаты, подтверждающие работоспособность предлагаемого устройства и сделаны выводы.

Введение

Среди основных причин возникновения возгорания электрооборудования следует отметить искрение и дуговые пробой. Для обнаружения и предотвращения пожаров в современных условиях привлекаются новейшие разработки и инновационные технологии, в соответствии с документом [1]. Для предупреждения пожаров, связанных с возникновением опасных искрений и дуговых пробоев, в соответствии с приказом Министра России №1005/пр от 28.12.2023 г., в электроустановках жилых и общественных зданий должно быть использовано специальное устройство защиты от дуговых пробоев (УЗДП), которое при обнаружении пробоя отключает поврежденную цепь. Необходимые требования, предъявляемые к УЗДП, и процедуру испытаний для таких устройств устанавливает ГОСТ IEC 62606–2016 [2]. В ходе эксплуатации УЗДП выявлен ряд сложностей, связанных с выбором и настройкой алгоритма обнаружения опасного искрения, а также отсутствием практики применения УЗДП в России, установки их в реальные электрические щиты. В этой связи появилась необходимость проведения испытаний, перечень которых устанавливает ГОСТ IEC 62606–2016. Процедуру этих испытаний практически подтверждают требования положений «Рекомендации по применению устройств защиты от дугового пробоя в электроустановках жилых и общественных зданий» СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» [3, 4]. Проведем анализ имеющегося оборудования, которое может быть использовано для испытания УЗДП

на своевременное срабатывание при возникновении опасного искрения, переходящего в дуговой пробой. Для этого необходимо разобраться, какие виды пробоев существуют и как при этом отрабатывают средства защиты, имеющиеся в арсенале энергетиков.

Литературный обзор

На рисунке 1 представлены виды существующих дуговых пробоев. Подробно виды пробоев и вероятность срабатывания устройств защиты рассмотрены в работе [5].

Например, при последовательном дуговом пробое ни одно устройство защиты не срабатывает из-за значительного сопротивления в месте плохого контакта, где и происходит горение дуги. Значение тока в такой цепи не превышает номинальное, а для большинства автоматов защиты данный режим не считается аварийным, следовательно, отключения не произойдет. Параллельный дуговой разряд представляет собой короткое замыкание в цепи «питание – нагрузка». Такое замыкание встречается достаточно часто. Причинами возникновения параллельной дуги могут быть: перелом кабеля, повреждение кабеля фиксатором, нарушение изоляционного слоя из-за высокой влажности в помещении или длительного воздействия ультрафиолетового излучения, оголение и пережатие провода. Ток при параллельном дуговом разряде определяется только сопротивлением проводов системы электроснабжения. Если на ток параллельной дуги автомат защиты от токов коротких замыканий, вероятно, сработает, то на значение тока при последовательном дуговом разряде автоматический выключатель не сработает, что приведет к возгоранию провода.

Устройство защиты от дуговых пробоев относится к микропроцессорной технике. В состав УЗДП входит микроконтроллер, который выполняет цифровую обработку сигнала, поступающего из сети. Алгоритм расчета, заложенный производителем, на 80 % предназначен для определения последовательных дуговых пробоев. Оставшиеся 20 % отведены на определение параллельной дуги. Следовательно, в случае параллельного дугового пробоя УЗДП повышает надежность защиты, в случае последовательного пробоя УЗДП является единственным устройством защиты.

Стандартом [2] устанавливается предельное время срабатывания УЗДП. В ходе испытаний измеряемое время не должно превышать времени отключения по табл. 1.

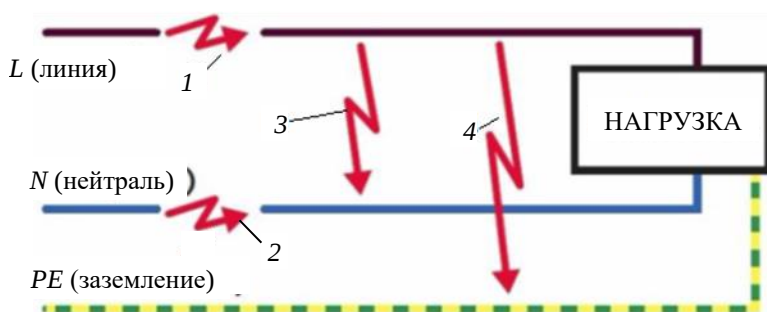


Рис. 1. Виды повреждений в электрических сетях до 1 кВ:

1, 2 – последовательный дуговой пробой «плохой контакт»;
3 – параллельный дуговой пробой; 4 – параллельный дуговой пробой на землю

Таблица 1

Предельные значения времени отключения для УЗДП на $U_{ном} = 230\text{ В}$

Испытательный ток дуги, А (действительное значение)	2,5	5,0	10,0	6,0	32,0	63,0
Максимальное время отключения, с	1,00	0,50	0,25	0,15	0,12	0,12

Авторы работы [6] предлагают модель для испытаний УЗДП на эффективность срабатывания при последовательном пробое. В качестве основного звена испытательной цепи используется дуговой генератор, который создает дуговой пробой, по своим характеристикам наиболее близкий к реальным. Существует генератор дуги для проведения эмиссионного спектрального анализа вещества в режиме дуги постоянного тока. Для решения поставленной задачи у известного генератора дуги есть существенный недостаток – он работает только в режиме дуги постоянного тока. Данный недостаток устранен в модели генератора электрической дуги [7], позволяющего генерировать электрическую дугу в электроустановках переменного тока, с последующим применением его для диагностики аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков (рис. 2). Генератор электрической дуги подключен к источнику переменного напряжения и нагрузке. При разведении электродов с помощью регулировочного привода между подвижным латунным и неподвижным угольно-графитовым электродами возникает устойчивая электрическая дуга. На рисунке 3 представлены осциллограммы, полученные при работе дугового генератора. Характер дугового процесса, на который ориентируются производители УЗДП при настройке алгоритма работы микроконтроллера (рис. 4), полностью совпадает с полученными графическими данными. Подробно устройство и работа генератора дуги рассмотрены в работе [8].

Ранее создан испытательный стенд для проверки аппаратов защиты от дуговых пробоев и искровых промежутков [9]. Предлагаемое устройство должно обеспечить безопасную проверку на заявленные характеристики всех типов аппаратов защиты от последовательного дугового пробоя. В рассматриваемом устройстве опасная дуга создается с помощью генератора дуги (см. рис. 2). Недостатком этого устройства является отсутствие возможности испытывать УЗДП на эффективность срабатывания при параллельном пробое. Недостатки существующего устройства учтены и устранены в модели, представленной на рис. 5.

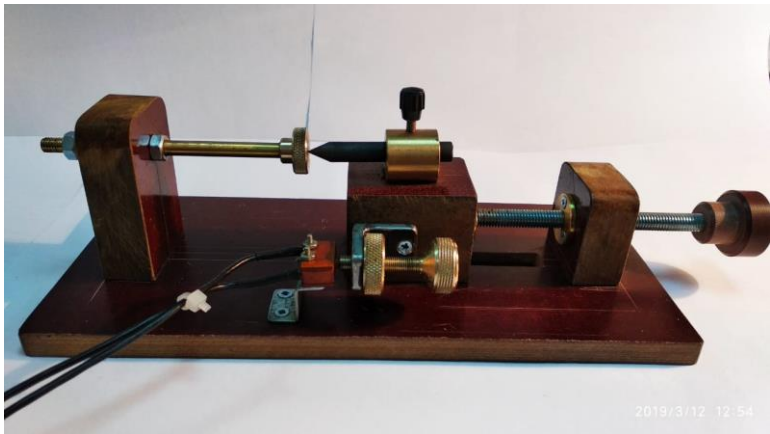


Рис. 2. Генератор электрической дуги

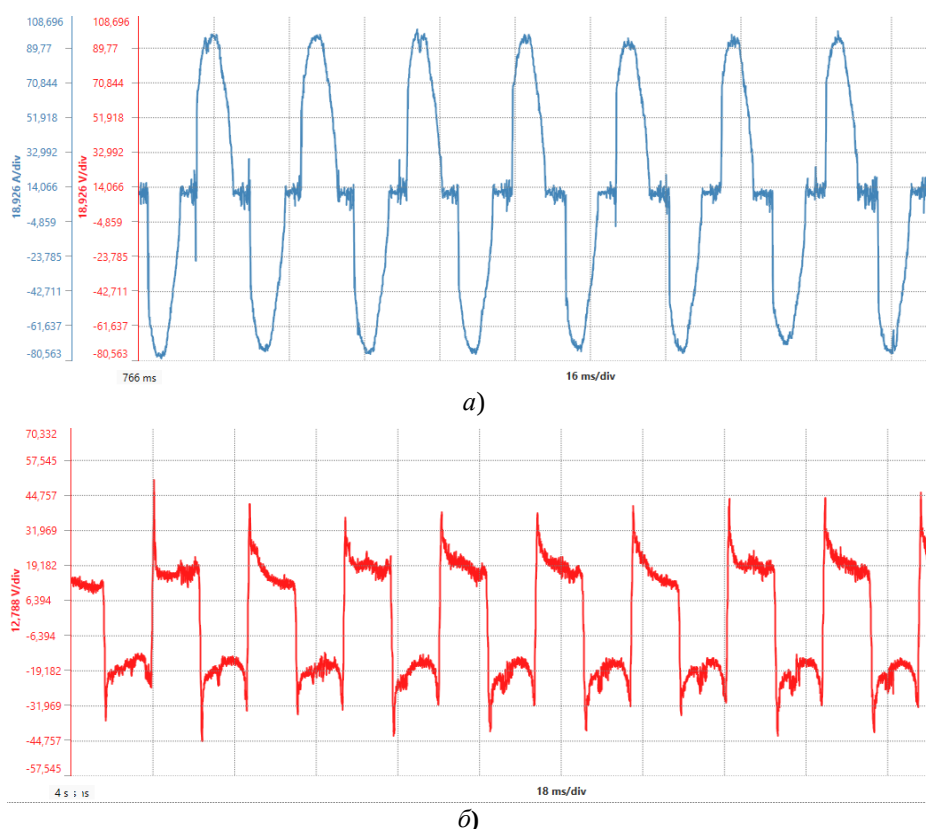


Рис. 3. Осциллограммы тока в искровом промежутке (а) и напряжения генератора дуги (б)

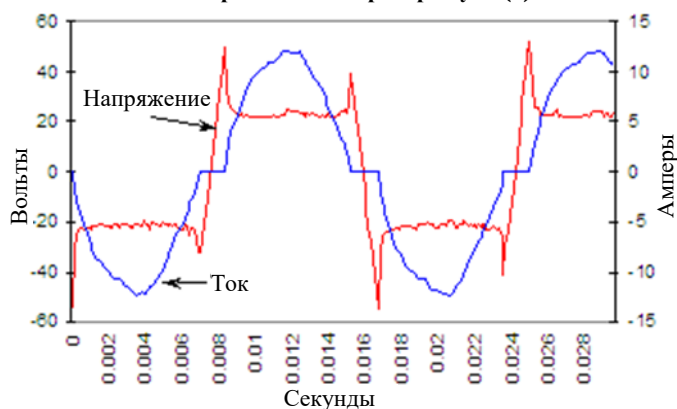


Рис. 4. Общий характер процесса при возникновении дуги в цепи переменного тока низкого напряжения

Эффект от внедрения устройства для проверки УЗДП достигается тем, что помимо источника электрической дуги, включенного последовательно в цепь, добавляется источник для параллельного дугового пробоя в виде образца кабеля с параллельными проводниками (см. рис. 5). В поврежденном образце кабеля при протекании тока формируется карбонизированный проводящий путь через изоляцию между двумя его проводниками. Ток короткого замыкания зависит от характера нагрузки и ее величины. Схема предлагаемого устройства представлена на рис. 6.



Рис. 5. Устройство для проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков

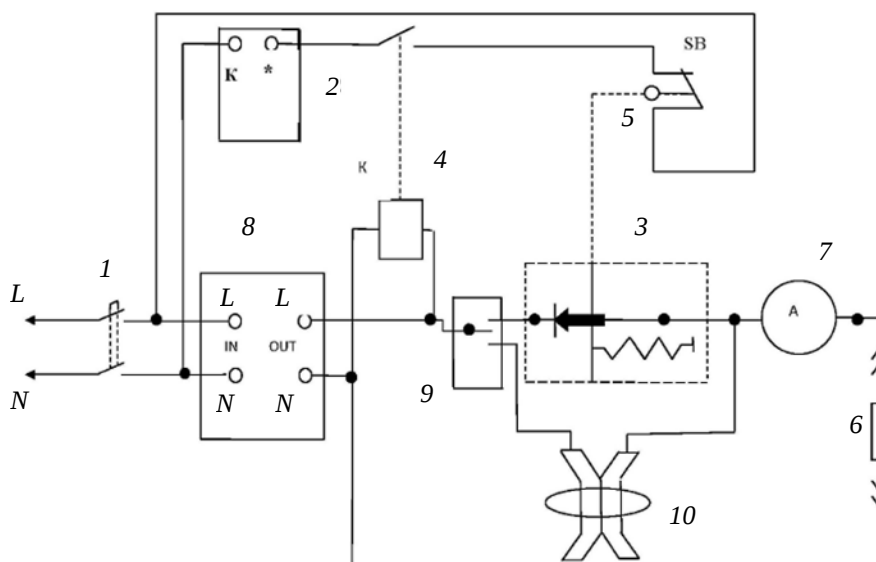


Рис. 6. Схема устройства для проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков

Устройство для проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков

Устройство для проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев и искровых промежутков работает следующим образом. При включении автоматического выключателя 1 на вход устройства подается напряжение сети. С помощью переключателя 9, работающего в ручном режиме, выбирается вид пробоя. При выборе последовательного дугового пробоя срабатывает пускатель 4, подготавливая цепь секундомера 2 и генератора дуги 3. Ток, протекающий через замкнутый генератор дуги 3 и подключенную нагрузку 6, измеряется амперметром 7. После того как замеры тока сделаны, электроды размыкают при помощи регулировочного винта генератора дуги, создавая искровой промежуток с последующим возникновением устойчивой электрической дуги. Одновременно с этим замыкается концевой выключатель 5 и запускается се-

кундомер 2. Под воздействием дуги на исправном аппарате защиты происходит его срабатывание с отключением секундомера и прекращение горения дуги, при этом секундомер фиксирует время срабатывания аппарата.

В случае параллельного дугового пробоя переключатель 9 переводит питание сети с генератора дуги на кабель с параллельными проводниками 10. В образце кабеля формируется дуговой пробой, ток которого определяется величиной и характером регулируемой нагрузкой 6. Одновременно с этим запускается секундомер. Значение протекающего тока контролируется амперметром 7. Исправный аппарат защиты под воздействием параллельного дугового пробоя срабатывает, что приводит к прекращению горения дуги. Секундомер фиксирует время, в течение которого сработал аппарат защиты. В случае неисправности аппарата защиты, независимо какой выбран дуговой пробой – параллельный или последовательный, отключение не происходит и цепь размыкается принудительно.

Результаты эксперимента

Проводились испытания стенда в двух режимах – последовательном и параллельном дуговых пробоях. При проверке УЗДП на эффективность срабатывания от последовательного дугового пробоя использовалась активная нагрузка 3 А при напряжении сети 230 В. Секундомер зафиксировал время срабатывания испытуемого аппарата защиты $t_{сраб} = 0,66$ с, когда максимальное время срабатывания по табл. 1 при токе дуги $I = 2,5$ А составляет $t_{max} = 1$ с. Измеряемое время не превышает предела, установленного стандартом.

Для производителя УЗДП проводились испытания на параллельный дуговой пробой. При этом использовали образец кабеля с повреждением, включенный параллельно с нагрузкой на 100 А и 75 А (рис. 7). Время срабатывания при нагрузке 100 А $t_{сраб} = 0,1$ с, а при нагрузке 75 А $t_{сраб} = 0,12$ с, что также не превышает максимального значения по ГОСТу.



Рис. 7. Испытательная установка для тестирования УЗДП на эффективность срабатывания при параллельном дуговом пробое

Заключение

Таким образом, преимущество предлагаемого устройства для проверки аппаратов защиты от последовательного и параллельного дуговых пробоев является то, что устройство позволяет проверить на заявленные характеристики УЗДП как при последовательном, так и параллельном дуговых пробоях. Следует отметить, что для обеспечения безопасной проверки УЗДП в устройстве присутствуют защита от токов короткого замыкания и перегрузки. В устройстве предусмотрена возможность регулирования значения и характера тока нагрузки, что позволяет повысить точность проверки на заявленные характеристики для всех типов УЗДП.

Список литературы

1. Основы государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года : Указ Президента Российской Федерации от 01.01.2018 № 2 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2018. № 2. Ст. 411.
2. ГОСТ ИЕС 62606–2016. Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое. Общие требования. – Введ. 25–10–1916. – М. : Стандартинформ, 2017. – 30 с.
3. Об утверждении изменения № 6 к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» от 29 августа 2016 г. № 602/пр : приказ Минстрой России от 28 декабря 2023 г. № 1005/пр // Офиц. сайт Минстрой России. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/361147/> (дата обращения: 10.10.2024).
4. Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ (последняя редакция) : постановление Правительства Российской Федерации от 28.05.2021 г. № 815 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2021. № 23. Ст. 4060.
5. Испытания устройства защиты от дугового пробоя и искровых промежутков на срабатывание / Ю. Н. Ерашова, И. В. Ившин, И. И. Ившин, А. Н. Тюрин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – № 3(23). – С. 168 – 180.
6. Королев, И. В. Моделирование срабатывания УЗДП в электрических сетях 0,4 кВ / И. В. Королев, П. В. Валуев, Д. А. Бурдюков // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2019. – № 6(57). – С. 124 – 127.
7. Пат. 199462 U1 РФ, МПК H02H 7/00 G01R 31/12 G01R 31/08. Генератор электрической дуги / Тюрин А. Н., Солуянов Ю. И., Шмуклер М. И., Ившин И. В.; заявл. 25.05.2020; опубл. 02.09.2020, Бюл. № 25. 5 с.
8. Генератор электрической дуги для диагностики аппаратов защиты от дугового пробоя / Ю. Н. Ерашова, А. И. Вассунова, И. И. Ившин, А. Н. Тюрин // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация». В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника : матер. Междунар. молод. науч. конф. (Казань, 28 – 30 апр. 2021) / под общ. ред. Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань, 2021. – С. 104 – 108.
9. Пат. на полезную модель RU200084U1. Генератор электрической дуги: / Тюрин А. Н., Солуянов Ю. И., Шмуклер М. И., Ившин И. В.; заявл. 22.05.2020 ; опубл. 05.10.2020, Бюл. № 28. 5 с.

Arc-Fault Protection Devices against Sequential and Parallel Arc Breakdowns and Arc Gaps

Yu. N. Erashova¹✉, A. N. Tyurin², N. A. Garifullina¹, L. F. Musina¹

*Department of Theoretical Bases of Electrical Engineering (1),
yuliya.kostina@mail.ru; Kazan State Power Engineering University;
JSC "Tatelektromontazh" (2), Kazan, Russia*

Keywords: arc breakdown; arc discharge; sparking; short-circuit; fire safety; protection device against arc breakdown.

Abstract: Using the requirements for installation and operation of arc-fault protection devices it is suggested to test them for efficient operation. The types of arc faults, models of installations for testing of arc fault protection devices are analyzed. A device for testing protection devices against all kinds of breakdowns is presented, in which the disadvantages of existing similar devices have been eliminated. To confirm the performance of the device, experiments including the creation of a controlled situation of arc breakdown are carried out. It is noted that it is possible to create conditions close to real conditions with the help of the device for testing of arc-fault protection devices. The results confirming the operability of the proposed device are presented and conclusions are drawn.

References

1. [Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of fire safety for the period up to 2030: Decree of the President of the Russian Federation dated 01.01.2018 No. 2], *Sobranie zakonodatel'stva RF* [Collection of Legislation of the Russian Federation], 2018, no. 2, art. 411. (In Russ.)
2. GOST IEC 62606-2016. *Ustroystva zashchity bytovogo i analogichnogo naznacheniya pri dugovom proboye. Obshchiye trebovaniya* [Arc fault protection devices for household and similar purposes. General requirements], Moscow: Standartinform, 2017, 30 p. (In Russ.)
3. available at: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/361147/> (accessed 10 October 2024).
4. [On approval of the list of national standards and codes of practice (parts of such standards and codes of practice), the application of which ensures mandatory compliance with the requirements of the Federal Law "Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures" dated December 30, 2009 No. 384-FZ (latest revision): Resolution of the Government of the Russian Federation dated May 28, 2021 No. 815], *Sobranie zakonodatel'stva RF* [Collection of Legislation of the Russian Federation], 2021, no. 23, art. 4060. (In Russ.)
5. Yerashova Yu.N., Ivshin I.V., Ivshin I.I., Tyurin A.N. [Testing the operation of an arc flashover and spark gap protection device] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki* [News of higher educational institutions. Problems of power engineering], 2021, no. 3(23), pp. 168-180. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Korolev I.V., Valuyev P.V., Burdyukov D.A. [Modeling the operation of an arc flashover and spark gap protection device in 0.4 kV electrical networks], *Elektroenergiya. Peredacha i raspredeleniye* [Electric power. Transmission and distribution], 2019, no. 6(57), pp. 124-127. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Tyurin A.N., Soluyanov Yu.I., Shmukler M.I., Ivshin I.V. *Generator elektricheskoy dugi* [Electric arc generator], Russian Federation, 2020, Pat. 199462. (In Russ.)
8. Yerashova Yu.N., Vassunova A.I., Ivshin I.I., Tyurin A.N. *Tinchurinskiye chteniya - 2021 "Energetika i tsifrovaya transformatsiya", in 3 vols., vol. 1.*

Elektroenergetika i elektronika : mater. Mezhdunar. molod. nauch. konf. [Tinchurin Readings - 2021 "Power Engineering and Digital Transformation". In 3 vols. Vol. 1. Electric Power Industry and Electronics: Proc. Int. Youth Sci. Conf] (Kazan', 28-30 April 2021), Kazan', 2021, pp. 104-108. (In Russ.)

9. Tyurin A.N., Soluyanov Yu.I., Shmukler M.I., Ivshin I.V. *Generator elektricheskoy dugi* [Electric arc generator], Russian Federation, 2020, Pat. RU200084U1. (In Russ.)

Gerät zur Prüfung von Schutzeinrichtungen gegen Serien- und Parallelfehler der Störlichtbögen und Funkenstrecken

Zusammenfassung: Basierend auf den Anforderungen an die Installation und den Betrieb von Störlichtbogenschutzgeräten (AFPD) ist vorgeschlagen, diese auf ihre Ansprecheffizienz zu testen. Es sind Arten von Lichtbogendurchschlägen und Modelle von Installationen zum Testen von AFDCs analysiert. Es ist ein Gerät zur Prüfung von Schutzgeräten gegen Störungen aller Art vorgestellt, bei dem die Mängel bestehender gleichartiger Geräte beseitigt wurden. Um die Funktionsfähigkeit des Geräts zu bestätigen, sind Experimente durchgeführt, einschließlich der Schaffung einer kontrollierten Lichtbogendurchschlagssituation. Es ist darauf hingewiesen, dass mit einem Gerät zum Testen von Lichtbogenschutzgeräten realitätsnahe Bedingungen geschaffen werden können. Die Ergebnisse, die die Leistung des vorgeschlagenen Geräts bestätigen, sind vorgestellt und Schlussfolgerungen sind gezogen.

Dispositif de contrôle des appareils de protection contre les pannes d'arcs et les étincelles en série et en parallèle

Résumé: A la base des prescriptions relatives à l'installation et à l'utilisation des dispositifs de protection contre les défauts des arcs, est proposé d'effectuer des essais d'efficacité. Sont analysés les types de pannes d'arc, les modèles d'installations pour les tests. Est présenté le dispositif de vérification des dispositifs de protection contre tous les types de pannes, dans lequel sont éliminés les défauts des dispositifs similaires existants. Pour confirmer le fonctionnement de l'appareil, sont menées des expériences, notamment la création d'une situation de rupture d'arc contrôlée. Il est à noter qu'avec l'aide d'un dispositif de vérification des dispositifs de protection contre les pannes d'arc, il est possible de créer des conditions proches à la réalité. Sont présentés les résultats qui confirment l'efficacité du dispositif proposé et sont tirées des conclusions.

Авторы: *Ерашова Юлия Николаевна* – старший преподаватель кафедры «Теоретические основы электротехники», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»; *Тюрин Александр Николаевич* – кандидат технических наук, главный технолог, АО «Татэлектромонтаж»; *Гарифуллина Надежда Александровна* – старший преподаватель кафедры «Теоретические основы электротехники»; *Мусина Лилия Фаритовна* – преподаватель кафедры «Теоретические основы электротехники», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Россия.