



ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВОГО ПРОБОЯ И ИСКРОВЫХ ПРОМЕЖУТКОВ НА СРАБАТЫВАНИЕ

Ю.Н. Ерашова¹, И.В. Ившин¹, И.И. Ившин¹, А.Н. Тюрин².

¹Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

²АО «ТАТЭЛЕКТРОМОНТАЖ», г. Казань, Россия

ivshini@mail.ru, turinal@rambler.ru., yuliya.kostina@mail.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* На основе анализа причин дугового пробоя, принципа работы устройства защиты от дугового пробоя и искровых промежутков (УЗДП) обосновать требования к ним, разработать устройство для проверки УЗДП и провести испытания на условия срабатывания. *МЕТОДЫ.* Для решения проблем, связанных с особенностями протекания дуговых процессов в различных электрических цепях и отсутствием критериев по многим ключевым параметрам в части требований и применимости УЗДП, проведены ряд испытаний под конкретные параметры сети, проверены корректность работы УЗДП. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Разработано устройство для проверки УЗДП, проведены испытания на эффективность срабатывания под конкретные условия сети, даны указания по его эксплуатации. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Разработанное Устройство для проверки аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков (УП УЗДП) позволяет контролировать факт обязательного срабатывания УЗДП за определенное время и сформулировать требования необходимые при проектировании электрических сетей. Установлено, что последовательный дуговой пробой способен отключить, лишь устройство защиты от дуговых пробоев (УЗДП) и соответственно повысить безопасность эксплуатации электрических сетей до 0,4 кВ с целью уменьшения пожаров, вызванных нарушением правил устройства и эксплуатации электрооборудования.

Ключевые слова: *дуговой пробой; УЗДП; пожарная безопасность; устройства защиты; искрение.*

Для цитирования: Ерашова Ю.Н., Ившин И.В., Ившин И.И., Тюрин А.Н. Испытания устройства защиты от дугового пробоя и искровых промежутков на срабатывание // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 3. С. 168-180. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-168-180.

DEVICE FOR TESTING ARC BREAKDOWN AND SPARK GAP PROTECTION DEVICES

YuN. Erashova¹, IV. Ivshin¹, II. Ivshin¹, AN. Tyurin²,

¹Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

²JSC "TATELEKTROMONTAZH", Kazan, Russia

ivshini@mail.ru, turinal@rambler.ru, yuliya.kostina@mail.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* To justify the need to use an arc breakdown protection device (ABPD) in electrical networks up to 0.4 kV, in order to reduce the number of fires. To analyze the existing

types of damage, compare the protection devices against various types of damage in electrical networks up to 0.4 kV. To consider the requirements for ABPD, as well as the main characteristics of protection devices and types of execution. To determine the area of application of the ABPD in electrical installations for various purposes. **METHODS.** To solve the problems associated with the peculiarities of the arc processes in various electrical circuits and the lack of criteria for many key parameters in terms of the requirements and applicability of the ABPD, it was proposed to conduct a series of tests for specific network parameters in order to understand whether a case can really take place in the current power system when ABPD will not work properly. **RESULTS.** A test bench has been developed for testing the protection devices against arc breakdown and spark gaps for the effectiveness of operation for specific network conditions, instructions for its operation are given. **CONCLUSION.** It has been established that a sequential arc breakdown can only switch off an arc breakdown protection device (ABPD) and, accordingly, increase the safety of operation of electrical networks up to 0.4 kV in order to reduce fires caused by violation of the rules for the design and operation of electrical equipment. The proposed device for testing protection devices against arc breakdown and spark gaps allows you to control the fact of mandatory operation of the ultrasonic detector for a certain time and formulate the requirements necessary for the design of power grids.

Key words: arc breakdown; ABPD; fire safety; protection devices; sparking.

For citation: Erashova YuN, Ivshin IV, Ivshin II, Tyurin AN. Device for testing arc breakdown and spark gap protection devices. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021;23(3):168-180. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-3-168-180.

Введение

Наиболее часто возникающая причина воспламенения электрооборудования – это дуговые пробои. Зачастую такое явление влечет за собой большой экономический ущерб, человеческий травматизм, а в некоторых случаях и человеческие потери. Подобных пожаров довольно много, судя по статистике МЧС за 2018 год [1].

Дуговые пробои имеют свойство появляться на трудноопределимых участках или зонах, то есть там, где весьма затруднительно определить отказ электросети: повреждение кабеля, находящегося внутри перегородки, спрятанные в стене распределительные коробки с плохими контактами, проблемные соединения в розетках и пр.

Причин, по которым возможно возникновение дугового пробоя, несколько: перелом кабеля при его перегибе на повороте, неплотно прижатые разъемы, повреждение кабеля фиксатором, нарушение изоляционного слоя, оголение и пережатие провода, незакрепленный должным образом контакт, повреждение грызунами, мебелью. Изоляция может повреждаться из-за высокой влажности в помещении или длительного воздействия ультрафиолетового излучения.

Дуговые пробои, которые не удалось обнаружить, приводят к почти мгновенному возгоранию бытовых приборов и электрического оборудования, влекущих за собой образование масштабного пожара.

Дуговой пробой может быть последовательным и параллельным.

Последовательный дуговой пробой (рис. 1) возникает в результате повреждения проводника питающей сети (плохой контакт). Такой вид пробоя трудно обнаружить и поэтому он вызывает большую опасность.

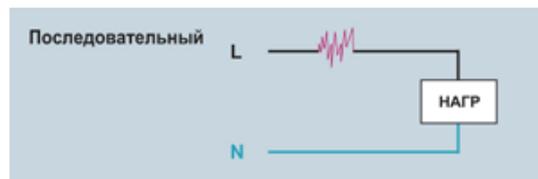


Рис. 1. Последовательный дуговой пробой

Fig. 1. Sequential arc breakdown

Если искрение появляется между двумя контактами электрической цепи, то есть между фазой и нулем или фазой и землей, тогда имеет место параллельный дуговой пробой (рис. 2).

При последовательном пробое можно наблюдать уменьшение тока в цепи и защитный автомат, который срабатывает на повышение тока, не поможет. Параллельный пробой вызывает увеличение тока, но время до возгорания может быть таким коротким, что окажется не достаточным для срабатывания обычного защитного автомата.

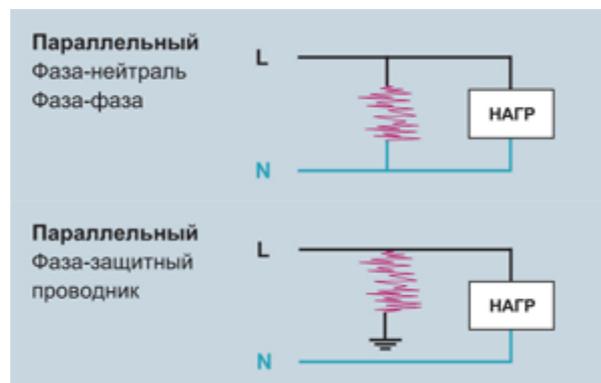


Рис. 2. Параллельный дуговой пробой

Fig. 2. Parallel arc breakdown

Кроме искрения в месте пробоя возникает электромагнитная помеха (рис. 3), которая распространяется по электросетям, кроме того при искрении, напряжение далеко от синусоидальной формы, особенно при реактивной нагрузке (рис. 4). Все это дает сбои в работе различного слаботочного оборудования.

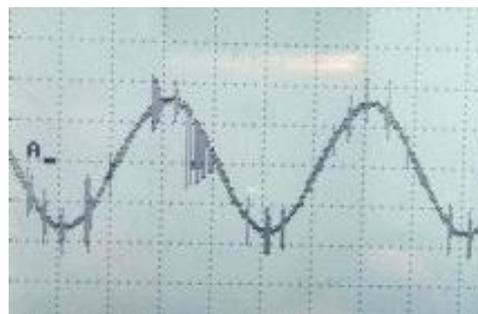


Рис. 3. Искрение в цепи с активной нагрузкой

Fig. 3. Sparking in a circuit with an active load

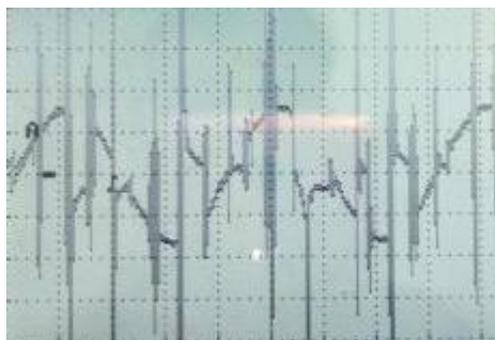


Рис. 4. Искрение в цепи с индуктивной нагрузкой ($\cos\varphi < 0.2$)

Fig. 4. Sparking in a circuit with an inductive load ($\cos\varphi 0.2$)

Сейчас применяется достаточно средств защиты электрооборудования от негативных воздействий и аварийных ситуаций [2].

Автоматический выключатель самое распространенное средство. Размыкает электрическую цепь при повышенном токе и в случае короткого замыкания.

Устройство защитного отключения УЗО служит для защиты от тока утечки на землю и прямого прикосновения к токоведущим частям

Дифференциальный автомат предназначен для защиты и от повышенного тока, и от коротких замыканий, и от утечки на землю.

Реле напряжения служит для защиты электрооборудования от пониженного и повышенного напряжения.

Устройство защиты от импульсного перенапряжения УЗИП защищает от скачков в питающей сети, связанных с включением мощных потребителей и с возникновением грозовых разрядов.

При этом искрение и дуговой пробой ни одним из перечисленных аппаратов защиты не определяются и соответственно развиваются, пока не произойдет критический нагрев, приводящий к повреждениям оборудования и в последующем к пожарам. Например, при последовательном дуговом пробое автоматический выключатель не сработает вследствие большого переходного сопротивления в месте плохого контакта, где и происходит горение дуги. Поэтому значение тока в цепи падает, а для автоматического выключателя данный режим считается номинальным, следовательно, отключения не произойдет. По этой же причине не сработает УЗО, ток утечки при дуговых процессах меньше установленного производителем УЗО.

Основной государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности является развитие пожарной охраны, для эффективного функционирования которой необходимо использовать новейшую технику и инновационные технологий [3].

Для предотвращения пробоев в виде дуги разработано и успешно применяется специальное устройство защиты от дуговых пробоев (УЗДП), которое при обнаружении пробоя отключает поврежденную схему [4]. Вероятность срабатывания для различных устройств защиты приведена в таблице 1. Устройство защиты от дуговых пробоев представляет собой микропроцессорный модульный релейный аппарат, предназначенный для электрической цепи класса до 0,4 кВ. В русскоязычной терминологии устройство может называться УЗИс (устройство защиты от искрения), УЗДР (устройство защиты от дуговых разрядов), РИЗ (реле искровой защиты). В США устройства с аналогичным принципом действия *AFDI* (*ArcFaultDetectionandInterruption*), а в Европе *AFDD* (*ArcFaultDetectionDevices*). С момента выхода в РФ документа *IEC 62606-2016*¹ наиболее верным названием является УЗДП.

¹ ГОСТ IEC 62606-2016. Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое. Общие требования.

Вероятность срабатывания для различных устройств защиты

Вид пробоя	Вероятность срабатывания, устройства защиты			
	Автоматический выключатель	УЗО	Диф.автомат	УЗДП
Параллельный между фазой и землей	вероятно	срабатывает	вероятно	срабатывает
Параллельный между фазой и нулем	вероятно	не срабатывает	вероятно	срабатывает
Последовательный	не срабатывает	не срабатывает	не срабатывает	срабатывает

Литературный обзор

Первые УЗДП появились на рынке США в 1999 году, в Западной Европе в 2012 году. При проектировании и эксплуатации УЗДП остались не решенными полностью проблемы, вызванные ложными срабатываниями из-за электромагнитных помех не связанных с аварийным искрением.

Устройство защиты от дуговых пробоев относится к микропроцессорной технике. Встроенный микроконтроллер делает спектральный анализ тока и напряжения в нагрузке, и по завершению, в случае обнаружения, ошибки цепь отключается. Устройство чувствительно к помехам от искрения на его выходе [5]. УЗДП состоит (рис.5) из силового разъединителя, который обычно имеет два модуля: в первый помещается блок обнаружения дугового пробоя (БОДП), во второй – механизм автоматического выключателя с тепловым и электромагнитным расцепителями [6]. Силовой разъединитель отключает только фазный провод.

По команде БОДП третий расцепитель, управляемый теристорным ключом, отключает нагрузку. Трансформаторы тока контролируют ток в фазном проводе. Мгновенное значение тока с частотой сети считывает трансформатор низкочастотного канала, затем ток выпрямляется диодным мостом и сигнал усиливается. Трансформатор высокочастотного канала считывает сигнал, лежащий в диапазоне от 5 до 50 МГц. Высокочастотный сигнал выпрямляется детектором среднеквадратического значения. Встроенный микроконтроллер оцифровывает и анализирует оба аналоговых сигнала. Блок питания микроконтроллера устанавливается между фазой и нейтральным проводом [7].

Характерная особенность тока дугового пробоя – широкий спектр распределения частот, простирающийся примерно до 1 ГГц. Этот широкополосный сигнал естественным образом модулируется. Дуга прерывается при переходе напряжения сети через ноль и загорается вновь с ростом мгновенного значения напряжения. УЗДП анализируют амплитуду, и скорость изменения огибающей на выходе высокочастотного канала с учетом фазы низкочастотного сигнала [8].

Если и амплитуда, и скорость изменения огибающей высокочастотного сигнала превосходят заданные производителем значения, то при ближайшем переходе напряжения сети через ноль программа пытается распознать признаки аварийного состояния и по достижению установленного значения микроконтроллер выдаёт тиристорному ключу команду на отключение нагрузки. Если программа не распознает признаки аварийного искрения, то поиск ошибки сбрасывается. После срабатывания защиты повторное автоматическое подключение нагрузки может сделать только человек

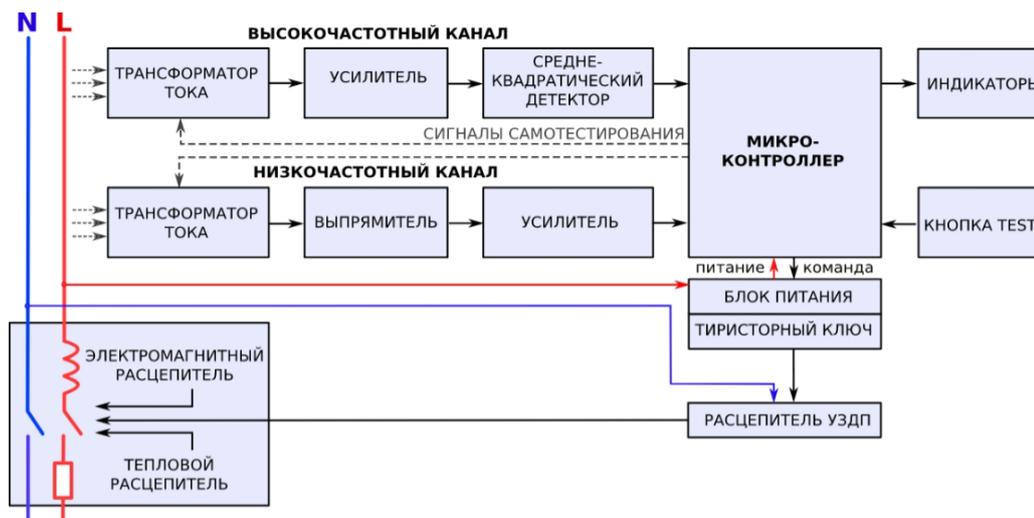


Рис. 5. Блок-схема УЗДП

Fig. 5. Block diagram of the UZDP

Подобрать, и настроить алгоритм нужно так, чтобы УЗДП надёжно распознавал аварийные, пожароопасные искрения и исключал ложные срабатывания от неопасных помех. Для этого необходимо учесть следующие условия: мощность помех должна превосходить фоновый уровень на 15дБ; длительность регистрируемой помехи должна составлять не менее 60 % от предельного времени отключения, установленного ИЕС 62606-2016; в течение как минимум 95 % этой длительности должна наблюдаться модуляция помехи удвоенной сетевой частотой; в течение как минимум 80 % этой длительности мощность помехи должна быть стабильной; ток в контролируемой цепи должен составлять не менее 1,5 А [9].

Схема подключения УЗДП приведена на рисунке 6. Перед УЗДП, для защиты предусмотрен автоматический выключатель (АВ).

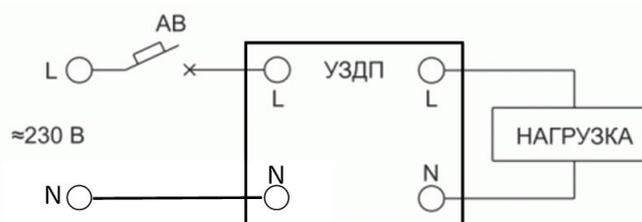


Рис. 6. Схема подключения УЗДП

Fig. 6. USIP connection diagram

Для обеспечения надежного срабатывания УЗДП лучше устанавливать ближе к потребителям. Вместе с этим нужно учесть, что опасное искрение до места установки УЗДП не обнаружит, а также наличие приборов, которые сильно «фонят» при работе могут мешать УЗДП правильно распознавать дуговой пробой [10]. На сегодняшний день не сформулированы четкие требования регламентирующие количество УЗДП в щитах, места установки УЗДП, характер нагрузки защищаемой УЗДП [11].

УЗДП могут быть разработаны изготовителем в качестве единого устройства, имеющего размыкающее устройство для отключения защищаемой цепи, или включающего в свой состав защитное устройство (рис. 7). Встроенное защитное устройство является либо автоматическим выключателем (АВ) или устройством дифференциального тока (УДТ). УЗДП должно быть защищено от коротких замыканий с помощью автоматических выключателей или плавких предохранителей в случае отсутствия встроенного АВ.

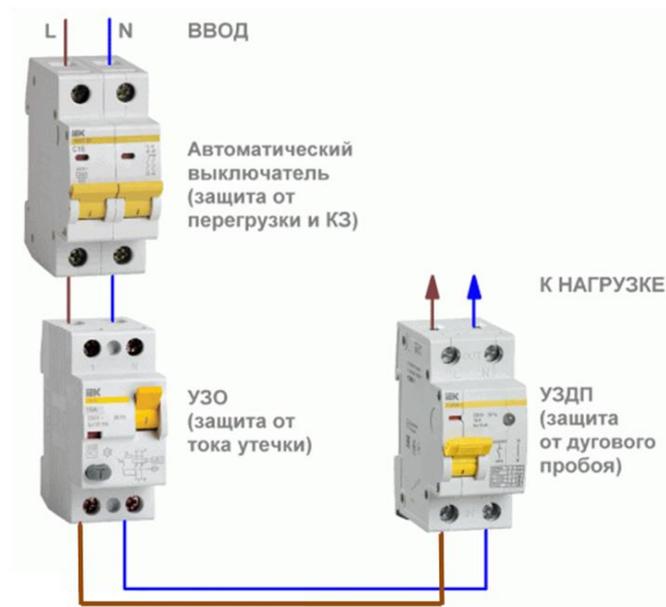


Рис.7. Включение УЗДП в схему совместно с защитным автоматом и УЗО

Fig. 7. Inclusion of UZDP in the scheme together with the protective automatic machine and RCD

Устройство защиты от дуговых пробоев начали применять в конце 90-х прошлого века. Вследствие сложной природы дугового процесса отсутствует идеально подобранный алгоритм работы УЗДП, в котором были бы учтены все случаи в электрических сетях. Сложность конструирования УЗДП в выборе и настройке алгоритма, способного надёжно распознавать аварийные, пожароопасные пробои и одновременно исключать ложные срабатывания от неопасных помех.

Каждая электрическая цепь обладает своими параметрами, такими как: характер нагрузки, коэффициент мощности, параметрами качества энергосетей, а значит, дуговые процессы могут протекать иначе и не соответствовать установленным фирмой-производителем УЗДП шаблонам [12]. Для решения этих проблем необходимо провести ряд испытаний под конкретные параметры сети, чтобы понять действительно ли в текущей энергосистеме может иметь место случай, когда УЗДП не будет срабатывать должным образом [12].

В России введен ГОСТ IEC 62606-2016 «Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое» с 1 июля 2018 г., который идентичен международному стандарту IEC 62606:2013* "Устройства обнаружения короткого замыкания через дугу. Общие требования". Цель настоящего стандарта - установление необходимых требований и процедур испытаний для устройств, устанавливаемых квалифицированным персоналом в местах бытового и аналогичного назначения, предназначенных для снижения опасности электрического возгорания после устройства.

Устройство определения дугового пробоя согласно ГОСТ IEC 62606-2016 рекомендовано применять в следующих местах:

- в помещениях со спальными местами: таких как гостиницы и общежития, детсады, ясли, интернаты, дома престарелых, больницы, школы, жилые дома и квартиры;
- в местах повышенной пожарной опасности в связи с характером обрабатываемых хранящихся материалов: таких как амбары, деревообрабатывающие цехи, склады горючих материалов, бумажные и текстильные производства, сельскохозяйственные помещения;
- в местах, где есть горючие материалы: таких как деревянные дома, здания, где большинство строительных материалов горючие;

- в конструкциях, проводящих пламя: таких как здания повышенной этажности, системы принудительной вентиляции;

- в местах присутствия подверженных опасности или невозможных предметов: таких как музеи, национальные памятники, общественные здания и важные объекты инфраструктуры, например аэропорты и железнодорожные вокзалы.

Устанавливать УЗДТ производители рекомендуют на вводе той линии, которую он должен защищать.

Согласно ГОСТ ИЕС 62606-2016, УЗДП должно устранить дуговой пробой в течение времени, указанного в таблице 2.

Таблица 2

Предельные значения времени отключения для УЗДП на $U_n=230$ 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

ГОСТ ИЕС 62606-2016 устанавливает необходимый перечень испытаний (или проверок) и число образцов изготовителям для сертификации устройств. После проведения вышеуказанных процедур изготовителем (либо третьей стороной, например, независимой лабораторией) сертифицированные УЗДП монтируются на объектах. Согласно п.1.8.1 «Правил устройства электроустановок (ПУЭ)» [13]: «Электрооборудование до 500 кВ, вновь вводимое в эксплуатацию, должно быть подвергнуто приемно-сдаточным испытаниям...».

Материалы и методы

Для проведения подобных испытаний необходимо оборудование, провоцирующее аварийные ситуации, что в итоге приводит к тепловому дуговому пробую и возгоранию на участках конкретной энергосистемы. С помощью таких устройств можно оценить, когда УЗДП не будет срабатывать должным образом.

Устройство для проверки УЗДП (УП УЗДП) относится к области измерительной и противопожарной техники, в частности к испытательному оборудованию, которое предназначено для проверки устройств защиты от дугового пробоя и искровых промежутков. Известно устройство для проверки защитных аппаратов, основанное на принципе нагружения их током [14]. Недостатком данного оборудования является то, что в нем отсутствует возможность проверки устройств защиты от дугового пробоя и дуговых промежутков.

Предлагаемое устройство должно обеспечить безопасную проверку на заявленные характеристики ($t_{срабатывания} = f(I_{дуги})$) всех типов аппаратов защиты от дугового пробоя и дуговых промежутков отечественных и зарубежных производителей.

Техническим результатом является УП УЗДП, в котором устранены недостатки аналога [15]. Технический результат достигается тем, что УП УЗДП содержит автоматический выключатель, секундомер, генератор дуги, пускатель, концевой выключатель, регулирующую нагрузку и амперметр. Схема предлагаемого устройства приведена на рисунке 8.

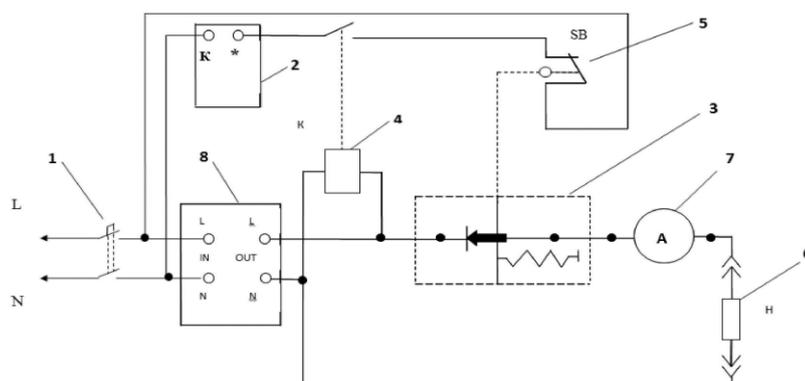


Рис. 8. УП УЗДП, где 1 – автоматический выключатель; 2 – секундомер; 3 – генератор дуги; 4 – пускатель; 5 – концевой выключатель; 6 – регулируемая нагрузка; 7 – амперметр; 8 – аппарат защиты

Fig. 8. UP UZDP, where 1 – automatic switch; 2 – stopwatch; 3 – arc generator; 4 – starter; 5 – limit switch; 6 – adjustable load; 7 – ammeter; 8 – protection device.

УП УЗДП работает следующим образом. При включении автоматического выключателя 1 на ввод 8 устройства защиты подается напряжение сети. При включении устройства защиты 8, срабатывает пускатель 4, подготавливая цепь секундомера 2 (путем замыкания контактов), и через замкнутый генератор дуги 3 и подключенную нагрузку 6 протекает ток, измеряемый амперметром 7. Регулировочным винтом генератора дуги (на чертеже регулировочный винт условно не показан) размыкают электроды, создавая искровой промежуток с последующим возникновением устойчивой электрической дуги. Одновременно с этим замыкают концевой выключатель 5 и запускают секундомер 2. Под воздействием дуги на исправном устройстве защиты происходит его срабатывание с отключением секундомера и прекращением горения дуги. При этом секундомер фиксирует время срабатывания устройства защиты (УЗДП, УЗИС). Таким образом, преимущество предлагаемого УП УЗДП состоит в том, что в устройстве присутствуют: защита от токов короткого замыкания и перегрузки при проверке УЗДП, УЗИС; возможность регулирования значений тока дуги и изменения характера нагрузки для обеспечения безопасной и высокоточной проверки на заявленные характеристики для всех типов УЗДП и УЗИС отечественных и зарубежных производителей. Основным элементом всей испытательной установки является генератор дуги. Испытания можно проводить при наличии дугового разряда в воздушной среде (подобие плохого контакта) или дугового разряда теплового характера (поврежденный кабель). В данном случае происходит моделирование воздушного дугового пробоя при помощи генератора дуги [16]. Генератор спроектирован согласно ГОСТ ИЕС 62606-2016, что позволяет моделировать процесс, приближенный к реальной электрической дуге или искрению в бытовых условиях. Устройство генератора показано на рисунке 9. Генератор электрической дуги подключен к источнику переменного напряжения и нагрузке.

Генератор электрической дуги работает следующим образом. В исходном положении регулировочный привод находится в положении, при котором угольно-графитовый электрод 7 примыкает непосредственно к насадке неподвижного электрода 4. При разведении электродов с помощью регулировочного привода между подвижным и неподвижным электродом возникает устойчивая электрическая дуга (последовательный дуговой пробой), под воздействием которой происходит проверка устройства защиты от дугового пробоя и искровых промежутков. Конструкция дугового генератора обеспечивает плавность сближения электродов, оно реализовано поступательным движением без их прокручивания. Все элементы, кроме электродов изолированы. Угольно-графитовый электрод обладает наилучшими показателями проводимости, не плавится, вместе с этим сохраняет свои свойства и критерии, в отличие от металлических аналогов.

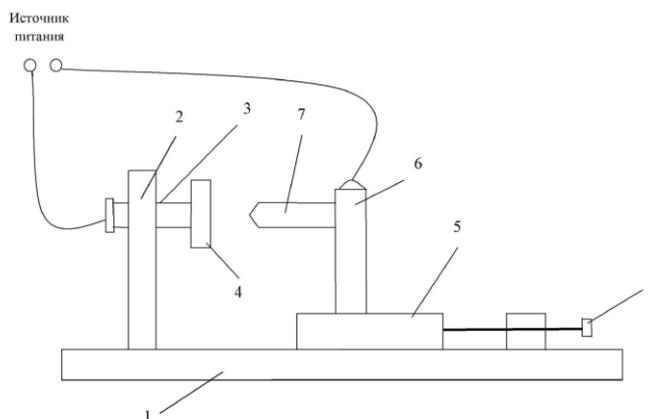


Рис.9. Устройство генератора электрической дуги, где 1– основание, 2– неподвижный элемент, 3– латунный электрод, 4 – насадка электрода, 5 – суппорт, 6 – контактный элемент, 7 – угольно-графитовый электрод, 8 – регулировочный привод

Fig. 9. The device of the electric arc generator, where 1– the base, 2–the fixed element, 3–the brass electrode, 4–the electrode nozzle, 5–the caliper, 6 – the contact element, 7–the carbon-graphite electrode, 8–the adjusting drive

Результаты

Данный подход позволяет определить время срабатывания УЗДП и сравнить его с нормативами, указанными в ИЕС 62606-2016 и понять какие модели, в каких условиях лучше срабатывают. На предлагаемое УП УЗДП получен патент на полезную модель [15].

Предлагаемое Устройство для проверки аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков позволяет контролировать факт обязательного срабатывания УЗДП за определенное время и сформулировать требования необходимые при проектировании, а именно:

- места установки УЗДП в щитах;
- количество УЗДП в щитах;
- характер нагрузки защищаемой УЗДП;
- предельная мощность защищаемой нагрузки УЗДП;
- наибольшая удаленность защищаемой нагрузки от УЗДП.

Обсуждение

Для получения большего количества данных необходимо тестирование нагрузок различного характера при различных токах. К испытательной установке можно добавить электронный осциллограф для исследования колебаний тока при дуговом разряде, что могло бы давать более полное понимание того, почему устройство в каждом конкретном случае срабатывает или нет [17]. По осциллограммам подключенных различных нагрузок, можно видеть изменения присущие дуге, регистрировать время срабатывания УЗДП, сравнивать это с нормативами ИЕС 62606-2016, указанными в таблице 2.

Заключение или Выводы

Проведен анализ причин дугового пробоя, рассмотрены принципы работы устройства защиты от дугового пробоя и искровых промежутков (УЗДП), обоснованы требования к ним. Разработано устройство для проверки УЗДП и проведены испытания на условия срабатывания под конкретные параметры сети, проверена корректность работы УЗДП. Полученные результаты позволяют судить об эффективности срабатывания различных моделей УЗДП в различных условиях эксплуатации.

Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2018 г. Статистический сборник // Москва: ВНИИПО МЧС РФ, 2019.

2. Грачева Е.И., Наумов О.В., Садыков Р.Р. Некоторые особенности исследования основных показателей надежности низковольтных аппаратов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2016. № 1 (29). С. 105–115.

3. Основы государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года. Утверждены Указом Президента Российской Федерации от 01.01.2018 № 2.

4. Королёв И.В., Кондратьев О.Е., Валуев П.В., и др. Анализ целесообразности применения устройств обнаружения дугового пробоя для комплексной защиты от пожаров, вызванных неисправностями электрооборудования // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 2(47). С. 128–131.

5. George. D. Gregory., K. Wong., and Dvorak R. F. More About Arc-Fault Circuit Interrupters // IEEE Transactions on Industry Applications. 2004;40:1006-1011.

6. AFDD Technical Guide. Arc fault phenomena and functioning of AFDDs. ABB, 2018.

7. Монаков В.К., Кудрявцев Д.Ю., Козырев А.А. Принцип работы устройства защиты электроустановок от дуговых замыканий // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая политика. 2014. № 1. С. 28-30.

8. Kang C.S. The Operation Characteristics of Circuit Design in Arc Fault Current Interruption // Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Heat and Mass Transfer (HMT'09). 2009. pp. 85-88.

9. 5SM6 AFDUnit. Technology Primer. Siemens, 2012.

10. Смелков Г.И., Пехотиков В.А., Рябиков А.И., и др. Исследование эффективности применения устройства защиты от дугового пробоя // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 102-107.

11. Ившин И.В., Тюрин А.Н., Ерашова Ю.Н. Особенности внедрения устройств защиты от дугового пробоя электрических сетях до 1 кВ // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. VI Национальной науч.-практ. конф. 10–11 декабря 2020 г., Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. Т. 1. С. 370–374.

12. Королев И.В., Валуев П.В., Бурдюков Д.А. Моделирование срабатывания УЗДП в электрических сетях 0,4 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 6(57). С. 124–127.

13. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. 2002. №204. С. 44–45.

14. Черников Г.Б. Устройство для проверки защитных аппаратов. Патент на полезную модель № 2148835 от 10.05.2000 г. Заявка № 97120460/09 от 12.08.1997 г.

15. Тюрин А.Н., Солюянов Ю.И., Шмуклер М.И., и др. Устройство для проверки аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков. Патент на полезную модель № 200084 от 05.10.2020 г. Заявка № 2020116982 от 22.05.2020 г.

16. Тюрин А.Н., Солюянов Ю.И., Шмуклер М.И., и др. Генератор электрической дуги. Патент на полезную модель № 198462 от 02.09.2020 г. Заявка № 20200116974 от 22.05.2020

17. Наумов А.А. Обеспечение требуемого качества электрической энергии. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020;22(1):85-92. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-1-85-92>.

Авторы публикации

Ившин Игорь Владимирович – д-р техн. наук., профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

Тюрин Александр Николаевич – канд. техн. наук, главный технолог, АО «ТАТЭЛЕКТРОМОНТАЖ».

Ерашова Юлия Николаевна – старший преподаватель кафедры «Теоретические основы электротехники», Казанский государственный энергетический университет.

Ившин Игорь Игоревич – студент, Казанский государственный энергетический университет.

References

1. *Fires and fire safety 2018*. Statistical collection. Moscow: VNIPO EMERCOM of the Russian Federation, 2019.
2. Gracheva EI, Naumov OV, Sadykov RR. Some features of the study of the main indicators of the reliability of low-voltage devices. *Vestnik Kazan State Power Engineering University*. 2016;1 (29):105-115.
3. *Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of fire safety for the period up to 2030*. Approved by the Decree of the President of the Russian Federation dated 01.01.2018 No. 2.
4. Korolev IV, Kondrat'ev OE, Valuev PV, et al. Analysis of the feasibility of using arc breakdown detection devices for comprehensive protection against fires caused by electrical equipment malfunctions. *Transmission and distribution*. 2018;2 (47):128-131.
5. George DG, Wong K, and Dvorak RF. *More About Arc-Fault Circuit Interrupters*. IEEE Transactions on Industry Applications. 2004;40:1006-1011.
6. *AFDD Technical Guide. Arc fault phenomena and functioning of AFDDs*. ABB, 2018.
7. Monakov VK, Kudryavtsev DYu, Kozyrev AA. The principle of operation of the device for the protection of electrical installations from arc faults. *Electro. Electrical engineering, power engineering, electrical policy*. 2014;1:28 - 30.
8. Kang CS. *The Operation Characteristics of Circuit Design in Arc Fault Current Interruption*. Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Heat and Mass Transfer (HMT'09), pp. 85-88, 2009.
9. 5SM6 AFD Unit. Technology Primer. *Siemens*, 2012.
10. Smelkov GI, Pekhotikov VA, Ryabikov AI, et al. *Investigation of the effectiveness of the use of an arc breakdown protection device*. In the collection: *Actual problems of fire safety and protection from emergencies*. Collection of materials of the All-Russian scientific-practical conference. 2020. pp. 102-107.
11. Ivshin IV, Tyurin AN, Erashova YuN. Features of the introduction of protection devices against arc breakdown in electrical networks up to 1 kV. *Instrument making and automated electric drive in the fuel and energy complex and housing and communal services: mater*. 6 National scientific-practical.conf. December 10-11, 2020, Kazan: Kazan. energ. Univ., 2020;1:370–374.
12. Korolev IV, Valuev PV, Burdyukov DA. Modeling of triggering of ultrasonic detectors in electrical networks about, 4 kV. *Elektroenergiya. Transmission and Distribution*. 2019;6 (57):124-127.
13. *Rules for the device of electrical installations*. 7th edition. 200;204:44–45.
14. Chernikov GB. *Device for testing protective devices*. Utility model patent No. 2148835 dated 05.10.2000. Application No. 97120460/09 dated 08.12.1997.
15. Tyurin AN, Soluyanov YuI, Shmukler MI, et al. *A device for testing protection devices against arc breakdown and spark gaps*. Utility model patent No. 200084 dated 05.10.2020. Application No. 2020116982 dated 22.05.2020.
16. Tyurin AN, Soluyanov YuI, Shmukler MI, et al. *Electric arc generator*. Utility model patent No. 198462 dated 09/02/2020. Application No. 20200116974 dated 05/22/2020

17. Naumov AA. The required quality of electrical energy provision. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020;22(1):85-92. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-1-85-92>.

Authors of the publication

Igor V. Ivshin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.
Email:ivshini@mail.ru.

Alexander N. Tyurin – Chief Technologist, TATELEKTROMONTAZH JSC.
Email:turinal@rambler.ru.

Yulia N. Erashova – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.
Email:yuliya.kostina@mail.ru.

Igor I. Ivshin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Получено **21.05.2021 г.**

Отредактировано **01.06.2021 г.**

Принято **11.06.2021 г.**