

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОВЕРКИ КИЛОВОЛЬТМЕТРОВ

А. С. Ильин

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
Научно-исследовательский институт электронно-механических приборов, Пенза, Россия
aalexii@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность разрабатываемой информационно-измерительной системы для поверки киловольтметров определяется постоянно растущими требованиями к модернизации и совершенствованию метрологического обеспечения новых средств измерений высоких напряжений. Однако, кроме обеспечения требуемых метрологических характеристик, возникает необходимость обеспечения работоспособности системы при возникновении электрических пробоев изоляции цепей высокого напряжения, а также защиты персонала от поражения электрическим током. Рассмотрены технические мероприятия, касающиеся надежности и безопасности информационно-измерительной системы для поверки киловольтметров. Целью работы является ознакомление с результатами разработки установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ, а также описание функционирования защиты от разрушения при возникновении электрических пробоев и персонала от поражения электрическим током. *Материалы и методы.* Для решения данной задачи использовались требования нормативно-технических документов ГОСТ 12.3.019-80. *Результаты.* В ходе работы разработана система защиты персонала от поражения электрическим током информационно-измерительной системы для поверки киловольтметров УПК-30ПТ и повышена надежность при работе на высоком напряжении. *Выводы.* Положительные результаты работы открывают перспективу создания системы защиты для малогабаритных и автоматизированных информационно-измерительных систем с рабочими напряжениями до 100 кВ и более.

Ключевые слова: высокое напряжение, электроустановка, надежность, защита, управление, электрическая блокировка

Для цитирования: Ильин А. С. Технические средства защиты информационно-измерительной системы поверки киловольтметров // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 2. С. 70–77. doi:10.21685/2307-4205-2021-2-7

TECHNICAL MEANS OF PROTECTION INFORMATION-MEASURING SYSTEM CALIBRATION OF KILOVOLT METERS

A.S. Ilin

Penza State University, Penza, Russia
Scientific and Research Institute of Electronic Mechanic Instruments, Penza, Russia
aalexii@mail.ru

Abstract. *Background.* The relevance of the developed information and measuring system for calibrating kilovoltmeters is determined by the constantly growing requirements for the modernization and improvement of the metrological support of new high voltage measuring instruments. However, in addition to ensuring the required metrological characteristics, it becomes necessary to ensure the reliability of the system in the event of electrical breakdowns in the insulation of high voltage circuits, as well as to protect personnel from electric shock. This article discusses technical measures regarding the reliability and safety of the information-measuring system for checking the kilovoltmeters. *Materials and methods.* To solve this problem, the requirements of the normative technical documents GOST 12.3.019-80 were used. *Results.* In the course of the work, a system for protecting personnel from electric shock was developed for the information-measuring system for checking the UPK-30PT kilovoltmeters and the reliability was increased when operating at high voltage. *Conclusions.* The positive results of the work open up the prospect of creating a protection system for small-sized and automated information-measuring systems with operating voltages up to 100 kV and more.

Keywords: high voltage, electrical installation, reliability, security, management, electrical interlocking

For citation: Ilin A.S. Technical means of protection information-measuring system calibration of kilovoltmeters. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2021;2:70–77. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2021-2-7

Создание и широкое применение в последние годы новых средств измерений высоких (до 30 кВ) напряжений классов 1, 0,5 % вызвало настоятельную необходимость модернизации и совершенствования не только их метрологического обеспечения, но и повышения надежности работы при возникновении аварийных ситуаций (пробоях изоляции и цепях высокого напряжения), а также совершенствование системы защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током.

Анализ нормативно-технической литературы позволил выделить ряд технических решений, которые были реализованы в информационно-измерительной системе для поверки киловольтметров УПК-30ПТ (ИИС). Структура комплексной защиты ИИС поверки киловольтметров изображена на рис. 1.

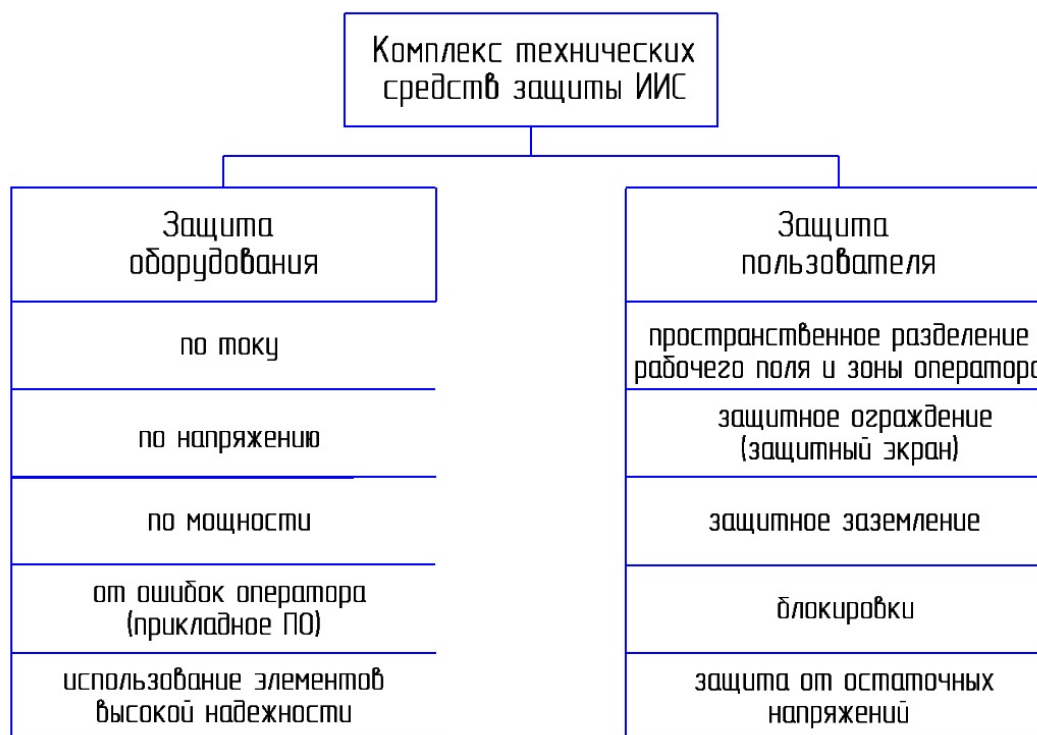


Рис. 1. Структура комплексной защиты ИИС поверки киловольтметров

Комплекс технических средств защиты ИИС подразделяется на средства защиты оборудования (столбец 1), обеспечивающие работоспособность ИИС, и средства защиты пользователя (столбец 2), обеспечивающие безопасность работы пользователя [1].

Защита оборудования включает защиту: по току, напряжению, мощности, от ошибок оператора (в прикладном ПО), а также благодаря использованию элементов высокой надежности.

Защита по току, напряжению и мощности

В соответствии с требованиями ГОСТ IEC 61010-2014 защита должна [2, 3]:

- при КЗ исключить переход в режим ограничения тока и обязана производить отключение высокого напряжения;
- при возникновении перенапряжений по высоковольтному выходу осуществлять выключением регулирующих элементов. При этом может быть дополнительно установлен разрядник, который включается между высоковольтным выходом и корпусом блока;
- при выделении в высоковольтной цепи энергии более 10–100 Дж производить отключение высокого напряжения.

Для защиты системы по току, напряжению и мощности выбран малогабаритный высоковольтный источник напряжения фирмы Spellman, который имеет защиту по указанным параметрам, но и возможность подключения блокировки.

Токовая защита выполнена с использованием контура стабилизации по току (режим стабилизации тока). Ограничение тока или его стабилизация на заданном уровне осуществляется путем сравнения сигнала ОС с управляющим токовым сигналом. В режиме стабилизации тока выходной

ток источника ограничивается до заданного уровня даже в случае продолжительного короткого замыкания на выходе. В данном режиме блок питания работает на максимально допустимой для него мощности [4].

Дополнительно реализована защита по входному опорному напряжению. При возникновении перегрузок с помощью транзисторной оптопары происходит замыкание вывода на нулевую шину питания 0 В. Благодаря чему превышение опорного напряжения производит блокировку источника и отключение высокого напряжения.

Если мощность нагрузки превышает выходную мощность источника питания (обычно на 5–15 %), то срабатывает защита по мощности.

Защита в прикладном программном обеспечении

В качестве одной из мер по обеспечению безопасности системы служит программное обеспечение, являющееся управляющей программой.

ГОСТ Р МЭК 61508-3-2012 требует блокировать процессы выполнения задач (остановка выполнения программы) в случае ошибочных действий оператора [5, 6].

При использовании ПК в программе управления реализованы блокировки от ошибочных действий оператора, а также аварийное ручное и автоматическое отключение высокого напряжения. В качестве ручного отключения высокого напряжения в ПО имеется кнопка аварийного выключения высокого напряжения «ОСТАНОВИТЬ».

ПО предусматривает защиту в случае неверно заданного управляющего напряжения для источника высокого напряжения. Для обеспечения безопасности при работе с высоким напряжением после каждой контрольной точки предусмотрено отключение высокого напряжения переход установки в режим ожидания.

Элементы надежности

Наличие острых выступов на поверхности электродов, высоковольтной шине и болтов подключения могут создавать местные искажения электрического поля. Вследствие чего существует большая вероятность преждевременного коронирования и потери энергии. Для предотвращения повышения напряженности электрического поля и возникновения коронного разряда на рабочем поле, шина высокого напряжения, электроды образцового ДНВ, а также болты подключения высоковольтных проводов имеют цилиндрическую форму с большим радиусом закругления.

Изоляция токоведущих частей электрического оборудования увеличивает безопасность, а также надежность работы электроустановок. Обеспечение надежности изоляции достигается правильным выбором ее материала и геометрии (толщина, форма), обусловленной в первую очередь значением рабочего напряжения и конструкцией оборудования.

Токоведущая шина или шина высокого напряжения предназначена для подключения источника высокого напряжения и объектов нагрузки. Шина выполнена в виде медного металлического прутка, находящегося внутри диэлектрической трубы, концы которой закреплены к внутренним поверхностям боковых стенок камеры. В качестве материала диэлектрической трубы выбран полимер. Для повышения надежности конструкции между трубой и верхней стенкой камеры установлены две диэлектрические растяжки.

Источник высокого напряжения, являющийся частью системы, имеет изолированный высоковольтный провод для подключения к токоведущей шине. Высоковольтный провод источника представляет собой жилу (гибкая луженая медная проволока), полупроводящий слой и внешнюю основную изоляцию (силиконовая резина).

Также к токоведущей шине крепятся концы двух высоковольтных проводов, соединяющих шину с высоковольтными вводами образцового делителя напряжения высоковольтного и поверяемого делителя напряжения высоковольтного. В процессе работы выбраны силиконовые высоковольтные провода, применяемые в высоковольтных испытательных установках и позволяющие выдерживать напряжения до 100 кВ.

Защита пользователя представляет комплекс технических средств защиты при работе с высоким напряжением и относится непосредственно к безопасности системы. Учитывая правила по охране труда при эксплуатации электроустановок и требования ГОСТ 12.3.019-80, работа с напря-

жением выше 1000 В должна проводиться при наличии защитных ограждений рабочего поля с использованием защитного заземления, электрических блокировок, изоляции токоведущих частей, световой и звуковой индикации.

Защита пользователя включает в себя: пространственное разделение рабочего поля и зоны оператора, защитное ограждение, защитное заземление, блокировку, защиту от остаточных зарядов внутри ограждения.

Пространственное разделение рабочего поля и зоны оператора

В целях безопасности система делится на низковольтную (зона оператора) и высоковольтную (рабочее поле) части.

Зона оператора представляет собой рабочее место персонала и состоит из четырех блоков: ПК, образцового цифрового вольтметра, цифрового вольтметра поверяемого делителя напряжения высоковольтного и регулируемого источника опорного напряжения.

Высоковольтная часть устанавливается на рабочем поле и состоит из двух блоков: управляемого источника высокого напряжения, образцового делителя напряжений и поверяемого делителя напряжений высоковольтного.

Защитное ограждение

Защитные ограждения применяются для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям или приближения к ним на опасное расстояние. Ограждения могут быть выполнены в виде оболочек, барьеров, камер или отдельных помещений.

Для рассматриваемой ИИС разработана и выполнена экранированная измерительная камера, предназначенная для отделения электрических цепей и/или проводников от опасных токоведущих частей с помощью электрического защитного экрана, присоединенного к системе защитного уравновешивания потенциалов и предназначенного для обеспечения защиты от поражения электрическим током. Камера выполнена в настольном исполнении и представляет собой электрический защитный экран.

С лицевой стороны камеры (для удобства эксплуатации) имеются двери, изготовленные из металлической сетки, для установки и наблюдения за поверяемым устройством¹.

В соответствии с п. 5.6 ГОСТ 12.3.019-80 расположение шины высокого напряжения выбрано так, что расстояние между шиной и металлическими частями корпуса и других заземленных элементов – не менее 0,5 м для испытательного напряжения постоянного тока 30 кВ².

Источник расположен на недосягаемом для прикосновения оператором уровне в процессе эксплуатации установки. В центре камеры с учетом безопасного расстояния 0,5 м устанавливаются образцовый и поверяемый ДНВ.

Все низковольтные сигнальные и заземляющие провода, расположенные в экранированной измерительной камере, уложены в кабель-каналы.

Защитное заземление

Заземлением электроустановки называют преднамеренное электрическое соединение ее с заземляющим устройством. Заземляющее устройство состоит из заземлителя и заземляющих проводов. Заземлителем называются металлический стержень, провод, лист, полоса или металлический предмет другой формы, соединяющий заземленную часть электроустановки с землей. Заземляющим проводником называются металлические проводники, которыми заземляемые части электроустановки соединяются с заземлителем или контуром заземления.

Защитное заземление снижает до безопасной величины напряжение относительно земли на металлических частях оборудования, которые не находятся под напряжением, но могут оказаться

¹ ГОСТ ИЕС 61010-1-2014 Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования.

² ГОСТ 12.3.019-80 Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности.

под напряжением вследствие нарушения изоляции электроустановок. В результате замыкания на корпус заземленного оборудования снижается напряжение прикосновения и, как следствие, ток, проходящий через тело человека, при его прикосновении к оборудованию.

Все оборудование, расположенное на рабочем поле, имеет одно общее защитное заземление благодаря клеммам заземления (рис. 2).

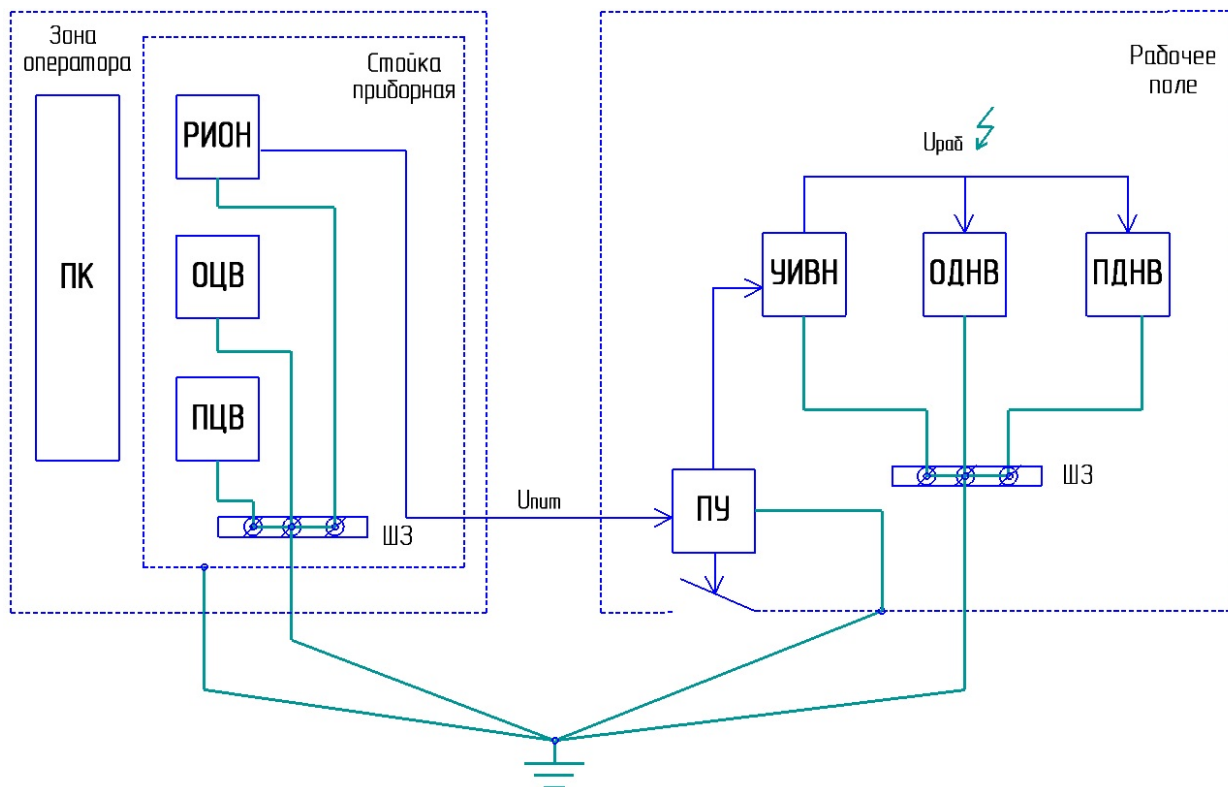


Рис. 2. Защитное заземление ИИС: ПК – персональный компьютер; РИОН – регулируемый источник опорного напряжения; ОЦВ – образцовый цифровой вольтметр; ПЦВ – поверяемый цифровой вольтметр; ПУ – панель управления; ШЗ – шина заземления; УИВН – управляемый источник высокого напряжения; ОДНВ – образцовый делитель напряжения высоковольтный; ПДНВ – поверяемый делитель напряжения высоковольтный

Каждый блок, расположенный в измерительной камере, присоединен к медной шине заземления с помощью отдельного ответвления. Последовательное включение нескольких заземляемых объектов в заземляющий проводник запрещено. Низковольтное оборудование, расположенное на приборной стойке в зоне оператора, также отдельными проводниками подключено к медной шине заземления. Защитное заземление имеют непосредственно сама экранированная измерительная камера, а также приборная стойка. Все оборудование ИИС поверки киловольтметров заземляется в одну точку.

Блокировка

Для увеличения безопасности и предотвращения аварийных ситуаций применяются электрические блокировки, способные разрывать цепь питания и подачу высокого напряжения на рабочее поле.

Электрическая блокировка воздействует только на контакты электрической цепи. Она может применяться при любых расстояниях от защищаемого объекта. Принцип действия электрической блокировки состоит в том, что открытие дверей ограждения электроустановки сопровождается разрывом блокировочных контактов электрической цепи и автоматическим отключением электроустановки. В другом случае блокировка дает возможность открыть двери ограждения электроустановки только после предварительного отключения источника высокого напряжения.

Часто блокировки применяют совместно со звуковыми или световыми сигнальными устройствами предупреждения о наличии напряжения на электроустановке. При **световой** сигнализации зеленый свет ламп показывает, что напряжение с установки снято, красный свет – что установка находится под опасным напряжением. К **звуковой** сигнализации относятся звонок и сирена, предупреждающие работающих о появлении напряжения на установке.

Блокировка выполнена в виде отдельного блока управления камерой, к которому подключаются контакты цепи питания, контакты дверей, кнопки управления и световая сигнализация.

Блокировочные контакты дверей включены в цепь управления высоковольтным источником напряжения. Блокировочные контакты при открывании двери размыкают цепь питания высоковольтного источника, и высокое напряжение отключается. Во избежание произвольного размыкания цепи двери снабжены затворами и рукояткой с затвором.

На рис. 3 представлена схема блока управления камерой (см. рис. 2).

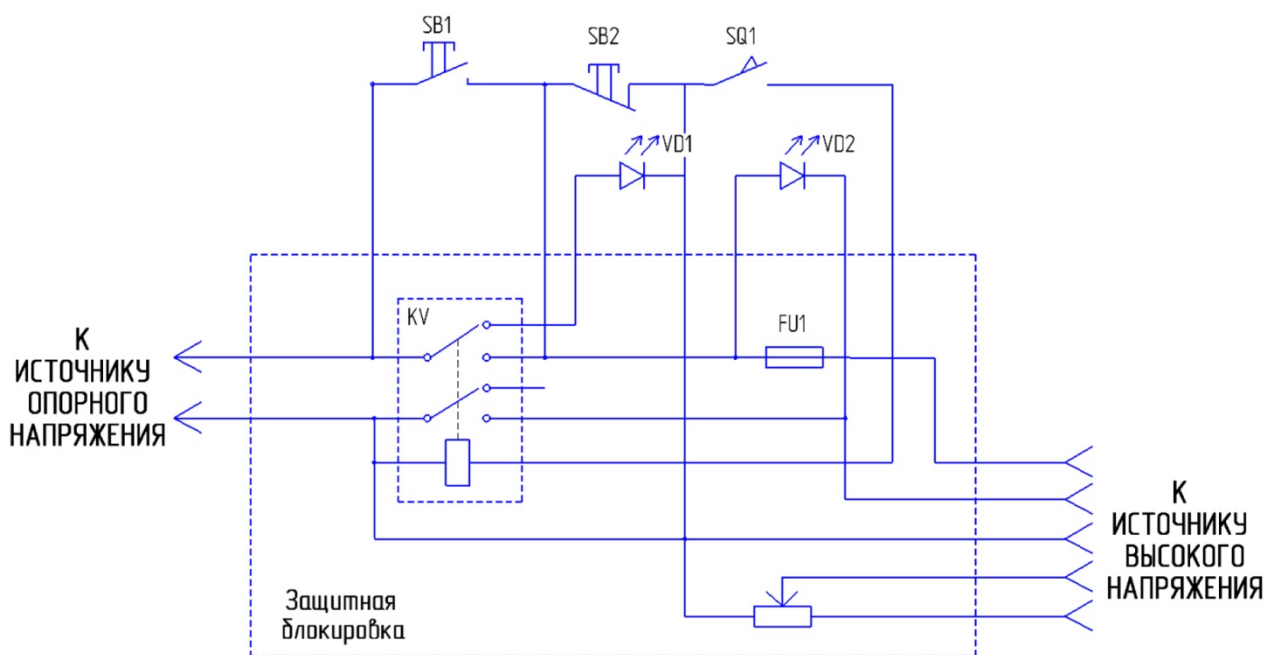


Рис. 3. Схема блока управления камерой

Защита от остаточных зарядов внутри ограждения

Остаточный заряд остается на определенное время на элементах цепей высокого напряжения, образующих емкость относительно «земли». Согласно ГОСТ Р 58698-2019 (МЭК 61140 2016) для выравнивания потенциала элемента с потенциалом «земли» должна использоваться специальная разрядная штанга, которая посредством гибкого провода заданного сечения крепится к контуру заземления¹. Штанга представляет собой диэлектрическую трубку, на одном конце которой расположена изолированная накладная рукоятка, а на другом – щуп, обеспечивающий контакт при прикосновении к токоведущим частям после отключения высокого напряжения².

После отключения напряжения и открытия двери камеры с помощью штанги путем касания свободного конца штанги к элементам высоковольтной цепи и другим предметам, находящимся в камере, производится выравнивание в экранированной камере потенциалов элементов электрической цепи относительно потенциала земли. Контакт обслуживающего персонала с высоковольтной частью системы запрещен без предварительного выравнивания потенциалов элементов относительно земли.

¹ ГОСТ Р 58698-2019 (МЭК 61140 2016) Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования.

² ГОСТ ИЕС 61140-2012 Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования (с поправкой).

Управление защитной экранированной камерой ИИС

Для управления экранированной камерой и получения информации о состоянии высокого напряжения установлена панель управления. Панель включает в себя кнопку «Вкл.», включающую питание источника высокого напряжения и кнопку аварийного выключения «Выкл.». Сигнальная лампа красного цвета сигнализирует о включении источника высокого напряжения, замкнутых контактах дверей и о подаче напряжения на рабочее поле. Сигнальная лампа зеленого цвета сигнализирует о подаче напряжения на пульт управления при отключенном источнике высокого напряжения и разомкнутых контактах дверей. В соответствии с ГОСТ 12.4.026-76 кнопка аварийного выключения имеет красный цвет. Все элементы панели управления и блокировочные контакты подключены к управляемому реле. Блок управления камерой показан на рис. 4.

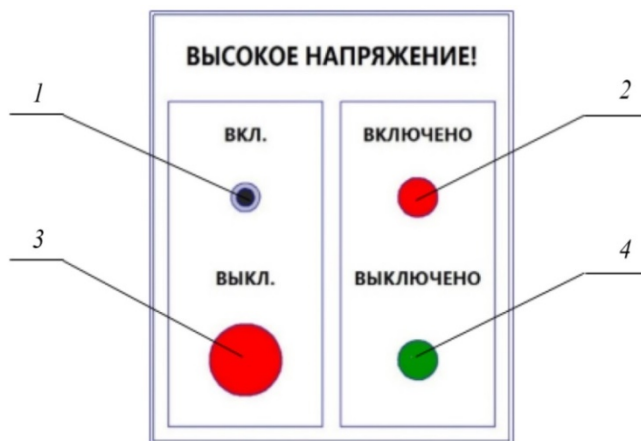


Рис. 4. Блок управления камерой:

1 – кнопка включения питания источника высокого напряжения;
2 – красная сигнальная лампа; 3 – кнопка аварийного выключения; 4 – зеленая сигнальная лампа

Перед включением высокого напряжения в измерительной камере убедиться, что источник высокого напряжения, образцовый и контролируемый ДНВ заземлены и подключены к токоведущей шине, а блокировочные контакты дверей замкнуты. При этом **на лицевой панели блока управления** сигнальная лампа зеленого цвета указывает, что напряжение с установки снято. Кнопкой «Вкл.» включается питание высоковольтного источника. При этом на лицевой панели блока управления включится сигнальная лампа красного цвета, сигнализирующая о наличии высокого напряжения в камере¹.

Срабатывание защиты происходит при размыкании цепи путем открытия двери, нажатия кнопки аварийного отключения, а также включения блокировки источника высокого напряжения.

Система не может быть включена после срабатывания защиты, так как цепь будет полностью разомкнута благодаря установленному реле (см. рис. 3). Для включения необходимо повторно замкнуть цепь защиты, нажав кнопку «Вкл.».

Для автоматического управления подключить ИИС к ПК. В ПО управления задать параметры измерения и управляющие напряжения для источника высокого напряжения. При необходимости включить автозапуск следующего управляющего напряжения. Для включения высокого напряжения в окне «управление измерением» нажать кнопку «ЗАПУСТИТЬ»². Для отключения высокого напряжения в ПО рядом расположена кнопка «ОСТАНОВИТЬ»³.

В случае превышения максимального значения управляющего напряжения в первой контрольной точке ПО не включит высокое напряжение и выдаст информационное сообщение об ошибке. В процессе работы, при превышении управляющего напряжения в конкретной контрольной точке, программа производит отключение высокого напряжения и системы в целом. Для повторного запуска необходимо заново повторить все операции в ПО управления ИИС.

¹ ГОСТ 12.3.019-80 Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности.

² ГОСТ 12.4.026-76 Цвета сигнальные и знаки безопасности.

³ ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с изменением N 1).

Заключение

В ходе работы были рассмотрены технические средства защиты ИИС для поверки киловольтметров.

Реализованы технические средства защиты ИИС, позволяющие обеспечить: надежность работы, ограничение доступа обслуживающего персонала к высоковольтной части, безопасную работу после снятия высокого напряжения, контроль и управление установкой.

Разработанная комплексная защита установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ обеспечивает надежность работы при возникновении электрических пробоев изоляции и защиту персонала от поражения электрическим током.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок. М. : Кнорус, 2015.
2. Ильин А. С., Кострикина И. А., Воронов А. П. Установка для поверки киловольтметров УПК-30ПТ // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2020. № 4. С. 44–50. doi: 10.21685/2307-5538-2020-4-5
3. Ильин А. С., Юрков Н. К., Баннов В. Я. [и др.]. Алгоритм работы установки для поверки киловольтметров УПК-30ПТ // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2020. Т. 2. С. 303–305.
4. Инструкция по эксплуатации оперативных блокировок безопасности в распределительных устройствах высокого напряжения РД 34.35.512 / сост. Б. С. Гельман. М., 1979.
5. Средства защиты в электроустановках. URL: <https://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/zashchita-elektrostanovok.html>
6. Высоковольтные источники питания. URL: <https://www.spellmanhv.com>

References

1. *Pravila ustroystva elektroustanovok = Rules for the installation of electrical installations*. Moscow: Knorus, 2015. (In Russ.)
2. Il'in A.S., Kostrikina I.A., Voronov A.P. Installation for verification of kilovoltmeters UPK-30PT. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2020;(4) 44–50. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2020-4-5
3. Il'in A.S., Yurkov N.K., Bannov V.Ya. [et al.]. The algorithm of the installation for checking kilovoltmeters UPK-30PT. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality*. 2020;2:303–305. (In Russ.)
4. Gel'man B.S. (comp.). *Instruktsiya po ekspluatatsii operativnykh blokirovok bezopasnosti v raspredelitel'nykh ustroystvakh vysokogo napryazheniya RD 34.35.512 = Operating instructions for operational safety locks in high-voltage switchgears RD 34.35.512*. Moscow, 1979. (In Russ.)
5. *Sredstva zashchity v elektroustanovkakh = Protective equipment in electrical installations*. (In Russ.). Available at: <https://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/zashchita-elektrostanovok.html>
6. *Vysokovol'tnye istochniki pitaniya = High-voltage power supplies*. (In Russ.). Available at: <https://www.spellmanhv.com>

Информация об авторах / Information about the authors

Алексей Сергеевич Ильин

аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40);
инженер-электроник,
Научно-исследовательский институт
электронно-механических приборов
(Россия, г. Пенза, ул. Каракозова, 44)
E-mail: aalexexil@mail.ru

Alexey S. Ilin

postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia);
electronics engineer,
Scientific and Research Institute
of Electronic Mechanic Instruments
(44 Karakozova street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 14.04.2021

Поступила после рецензирования/Revised 25.04.2021

Принята к публикации/Accepted 30.04.2021