

УДК 621.3.015

Экспериментальные исследования устройств защиты от импульсных перенапряжений

Р.К. Борисов, Исам М.А. Абдельшафи, Е.В. Коломиец

Сведения об авторах

Борисов Руслан Константинович — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры техники и электрофизики высоких напряжений НИУ «МЭИ», e-mail: borisovrk@mail.ru

Исам М. А. Абдельшафи — аспирант кафедры техники и электрофизики высоких напряжений НИУ «МЭИ», Республика Судан

Коломиец Евгений Владимирович — инженер кафедры техники и электрофизики высоких напряжений НИУ «МЭИ»

Импульсные помехи в системах электропитания постоянного и переменного тока, в цепях управления и сигнализации приводят к повреждению оборудования, сбоям в работе устройств автоматизированных систем управления технологическим процессом и других систем, ответственных за надежную работу объектов, возникновению аварийных ситуаций. Для ограничения импульсных помех требуются специальные устройства защиты (диоды, варисторы, фильтры), которые не всегда работают надежно.

Приведены типичные случаи, когда устройства различных типов не обеспечивали защиту оборудования. Для выяснения причин ненадежной работы были проведены экспериментальные исследования при воздействии импульсных перенапряжений.

Характеристики исследовали с помощью комбинированного генератора, формирующего импульсы напряжения 1,2/50 мкс; при срабатывании защитного устройства через него протекает импульс тока 8/20 мкс. Максимальная амплитуда тока может достигать 30 кА, переносимый заряд — 0,51 Кл, а удельная энергия — 25,5 кДж/Ом. В экспериментах применялся генератор затухающих колебательных импульсов с амплитудой от сотен вольт до 20 кВ и частотой генерируемого импульса в диапазоне от 10 кГц до 1 МГц.

В результате экспериментальных исследований характеристик устройств защиты от импульсных перенапряжений для электроустановок напряжением до 1 кВ и (6—10) кВ было установлено, что для эффективной и надежной работы необходимо учитывать амплитудно-частотные характеристики импульсных перенапряжений и правильно выбирать место установки приборов. При невозможности реализации защиты с помощью одного типа устройств следует применять их комбинацию. Совместное применение ОПН и диодов требует координации их защитных характеристик. Для этого используется соединение диодов и ОПН через развязывающую катушку индуктивности. Подключение устройств должно осуществляться проводниками минимальной длины. Даже относительно небольшая (несколько мкГн) индуктивность может существенно снизить возможности по ограничению импульсных перенапряжений.

Ключевые слова: импульсные перенапряжения, устройства защиты, вольт-амперные характеристики.

Experimental investigations of surge protection devices

R.K. Borisov, Isam M.A. Abdelshafi, E.V. Kolomiets

Information about authors

Borisov Ruslan K. — Ph.D. (Techn.), leading researcher of high voltage engineering and electrical physics dept., MPEI, e-mail: borisovrk@mail.ru

Isam M. A. Abdelshafi — Ph.D.-student of high voltage engineering and electrical physics dept., MPEI, Republic of the Sudan

Kolomiets Evgeniy V. — engineer of high voltage engineering and electrical physics dept., MPEI

Impulse interferences in AC and DC power supply systems, as well as in control and indication circuits may cause equipment damage or malfunctions of automated process control systems and other systems essential for ensuring reliable operation of facilities; they may also give rise to emergencies. To limit impulse interferences, special protection devices (diodes, varistors, and filters) are used. However, these devices do not always show sufficiently reliable performance.

Typical cases in which protection devices of various types failed to protect the equipment are pointed out. To clarify why these devices showed unreliable operation, their experimental investigations were carried out by applying impulse overvoltages to them.

The performance characteristics of different surge protection devices (SPDs) were studied using a combined generator producing standard 1.2/50 μ s voltage impulses. When the SPD comes in action, an 8/20 μ s current impulse flows through it. The maximum current amplitude may reach 30 kA, the transferred charge is 0.51 C, and the specific energy is 25.5 kJ/ Ω . A damped oscillatory wave generator was used in the experiments, which produced voltage impulses with the amplitude ranging from a few hundred volt to 20 kV and frequency from 10 kHz to 1 MHz.

It has been found from the experimental investigations of SPDs for electrical installations with rated voltage levels up to 1 kV and 6—10 kV that, in order to ensure efficient and reliable performance of SPDs, the amplitude-frequency characteristics of surge overvoltages shall be

taken into consideration, and the protection device installation places shall be properly selected. If an SPD of a certain type is unable to ensure proper protection, a combination of different SPDs should be used. Combined application of a gapless surge arresters and diodes implies the need to coordinate their characteristics. This is achieved by connecting the diodes and the gapless surge arrester through a decoupling induction coil. In so doing, the length of connecting conductors shall be kept to a minimum. Even a relatively low inductance (a few μH) may significantly degrade the SPD surge limiting capability.

Key words: surges, surge protection devices, current-voltage characteristics.

Введение

На объектах электроэнергетической, нефтяной и газовой отраслей в настоящее время применяются современные системы управления, контроля и сигнализации на базе микропроцессорных и электронных устройств. Коммутации силового оборудования, короткие замыкания в электроустановках различного класса напряжения, удары молнии вызывают появление импульсных помех в системах электропитания постоянного и переменного токов, в цепях управления и сигнализации, которые могут приводить к повреждению оборудования, сбоям в работе устройств автоматизированных систем управления технологическим процессом и других систем, ответственных за надежную работу объектов, к возникновению аварийных ситуаций [1].

Для ограничения импульсных помех применяются специальные устройства защиты: диоды, разрядники, варисторы, специальные фильтры. Опыт эксплуатации показал, что их применение не всегда приводит к надежной защите от опасных воздействий импульсных перенапряжений.

Примеры неправильной работы устройств защиты от импульсных перенапряжений

Приведем несколько типичных случаев, когда устройства ограничений импульсных перенапряжений (УЗИП) не обеспечивали защиту оборудования.

Так, из-за импульсных перенапряжений произошло перекрытие проходных изоляторов в ячейке КРУ-6кВ с последующим трехфазным коротким замыканием (рис. 1). Установленные на общих щитах ОПН (в другой ячейке) не выполнили функцию защиты.



Рис. 1. Повреждение проходных изоляторов в ячейке КРУ: а — повреждение проходных изоляторов; б — ячейка с ОПН

При коммутациях на стороне 500 кВ на генераторном напряжении 13,8 кВ в цепи реактора и ТСН возникают импульсные высокочастотные перенапряжения, которые приводят к повреждению реакторов и ТСН. С обеих сторон реактора установлены ОПН (уровень срабатывания 35 кВ). Проведенные натурные эксперименты показали (рис. 2), что ограничение перенапряжений до уровня срабатывания ОПН не происходит.

Наиболее распространенный случай повреждения самого УЗИП при воздействии импульсных перенапряжений приведен на рис. 3

Для поиска причин ненадежной работы устройств различных типов УЗИП были проведены экспериментальные исследования их характеристик при различных импульсных перенапряжениях.

Испытательные установки

Лабораторные исследования характеристик различных типов УЗИП проводились с помощью комби-

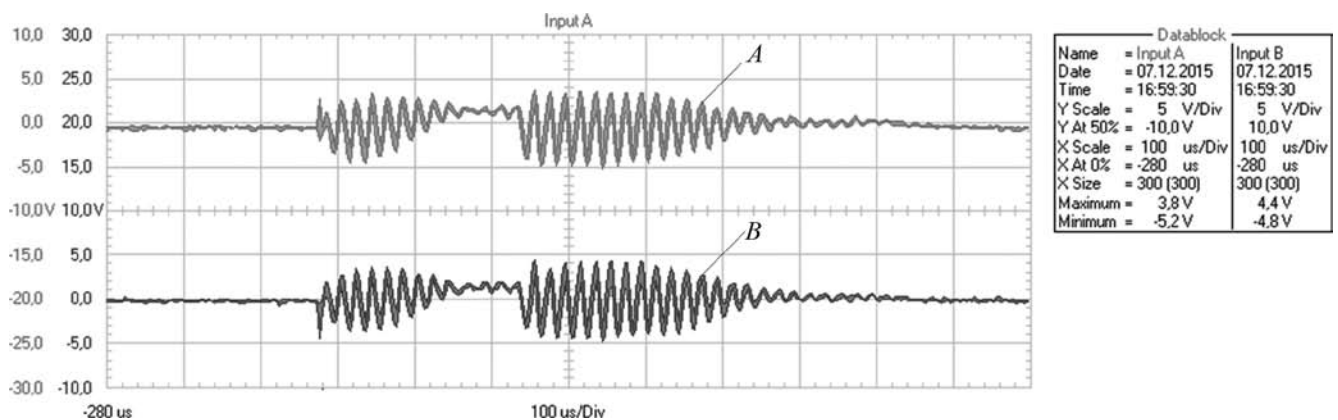


Рис. 2. Осциллограммы импульсных напряжений (делитель с $K=10000$): вход А — 13,8 кВ до реактора; вход В — 13,8 кВ со стороны реактора



Рис. 3. Повреждение УЗИП

нированного генератора и генератора колебательных импульсов.

Генератор затухающих колебательных импульсов вырабатывает импульсы напряжения с амплитудой от сотен вольт до 20 кВ, частоты генерируемого импульса в диапазоне от 10 кГц до 1 МГц.

Принципиальная схема комбинированного генератора представлена на рис. 4 [2]. Основным элементом генератора является емкостный накопитель энергии — блок конденсаторов с зарядным напряжением до 100 кВ. Конденсаторы через зарядные резисторы R_{ch} заряжаются напряжением положительной или отрицательной полярности.

Генератор содержит управляемый искровой разрядник (SG) и сменные катушки индуктивности (L) для формирования испытательных импульсов.

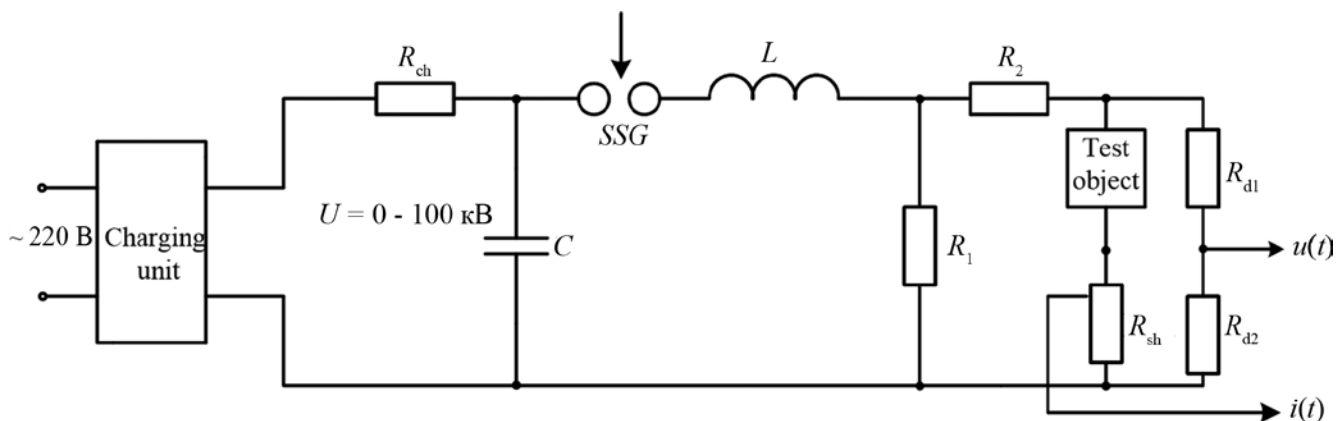


Рис. 4. Схема комбинированного генератора:

Charging unit — зарядное устройство; R_{ch} — зарядное сопротивление; C — конденсаторная батарея ($C = 5,1$ мкФ); SG — разрядник; L — катушка индуктивности; R_1, R_2 — разрядные сопротивления; $test\ object$ — объект испытаний; R_{sh} — измерительный шунт; R_{d1}, R_{d2} — омические делители

В режиме холостого хода генератор формирует импульс напряжения 1,2/50 мкс, а при срабатывании УЗИП через него протекает импульс тока 8/20 мкс. Максимальная амплитуда тока может достигать 30 кА, переносимый заряд — 0,51 Кл, а удельная энергия — 25,5 кДж/Ом

Испытания устройств защиты от импульсных перенапряжений проводились по схеме подключения рис. 5. Импульсное напряжение подавалось от генератора $KГ$ с формирующей индуктивностью L . Нагрузкой являлась цепочка последовательно включенных: дополнительная переменная индуктивность $L_{доп}$, нагрузочное сопротивление R_n , ОПН (или УЗИП) и токовый шунт $R_{шунт}$. С помощью осциллографа регистрировались на выходе генератора и непосредственно на УЗИП напряжение и ток через шунт.

Типичные осциллограммы тока и напряжения приведены на рис. 6.

Результаты экспериментов

По результатам проведенных экспериментов было установлено, что диоды (ДЛ-161-200-12) работают нестабильно. Эксперименты показали, что одиночно включенный диод не может самостоятельно обеспечить защиту оборудования при воздействии затухающих колебательных помех с частотой выше 100 кГц или при воздействии аperiodических импульсов. Защитное действие диода не проявляется при высоких частотах воздействующего импульса напряжения (диод не ограничивает перенапряжения из-за своего относительно большого времени срабатывания). Кроме того, во многих случаях диод повреждается из-за большой скорости нарастания воздействующего на него импульса напряжения.

Преимущество диодов в том, что они ограничивают перенапряжения в несколько киловольт до десятков вольт и пропускают импульсы длительные с большой энергией.

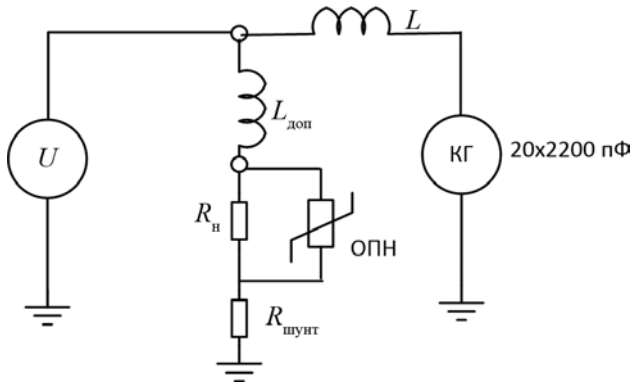


Рис. 5. Схема подключения испытуемых устройств

ОПН и УЗИП эффективно ограничивают импульсы напряжения до некоторого уровня в соответствии с их паспортными характеристиками. Кроме того, ОПН имеют меньшее время срабатывания и поэтому достаточно стабильно ограничивают высокочастотные составляющие перенапряжений, но при импульсах большой амплитуды и энергии могут повреждаться.

При включении последовательно с ОПН или УЗИП индуктивности напряжение на защищаемом объекте зависит от частоты колебаний в импульсе и величины индуктивности и может достигать практически 100% от амплитуды подаваемого импульса напряжения (рис. 7).

Таким образом, если не регистрировать ток через ОПН, то по осциллограмме напряжения можно не увидеть работу ОПН.

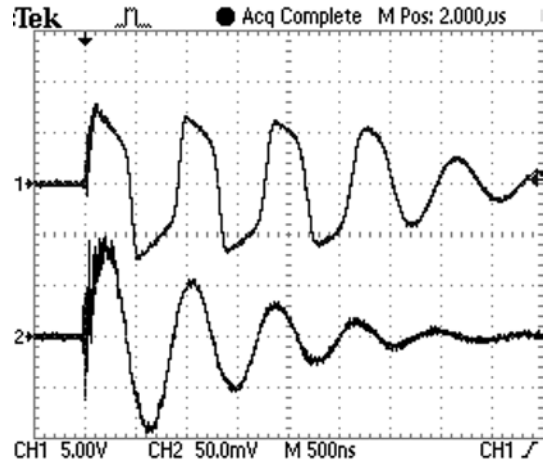


Рис. 6. Остающееся напряжение (1) и ток через ОПН (2) при воздействии колебательного импульса:
 $m_U = 500$ В/дел. (CH1); $m_I = 1$ кА/дел. (CH2); $m_t = 500$ нс/дел.; $f = 1$ МГц

Заключение

Проведенные исследования показали, что надежная работа устройств защиты от импульсных перенапряжений возможна лишь при выполнении следующих условий.

При выборе типа устройства необходимо учитывать амплитудно-частотные характеристики возможных перенапряжений. При невозможности реализации

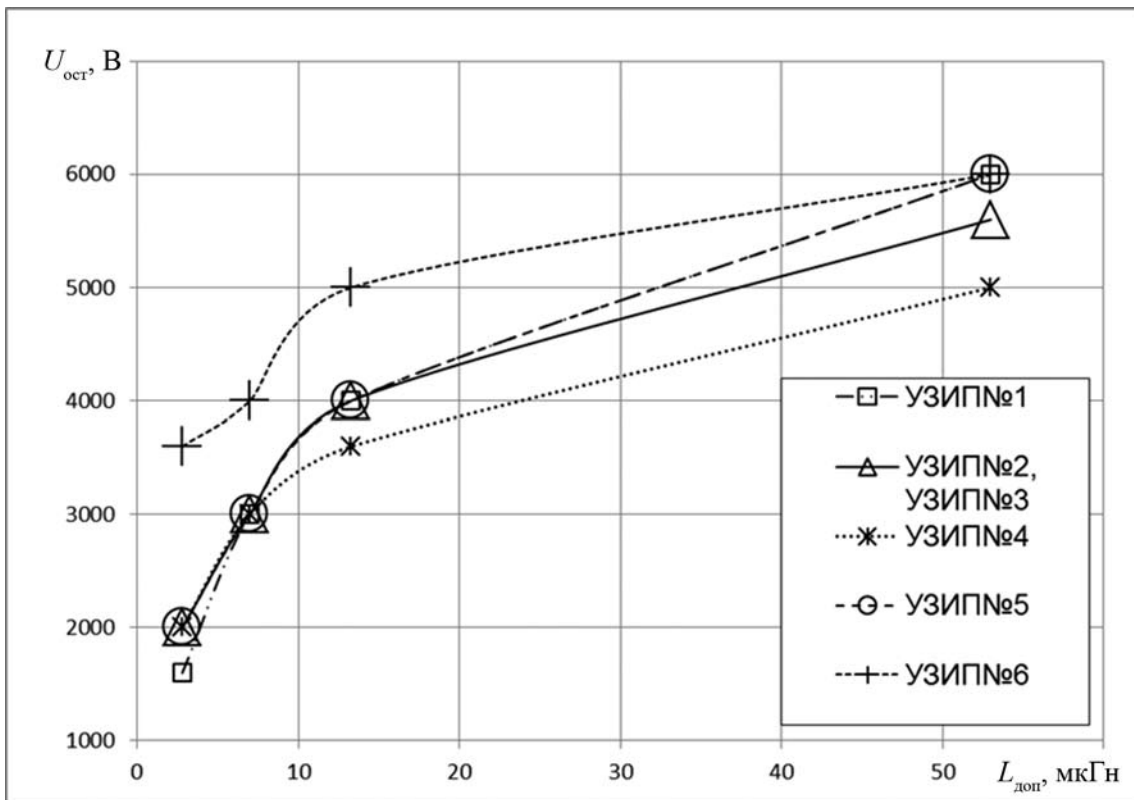


Рис. 7. Зависимость $U_{ост}$ от дополнительной индуктивности при подаче импульса с амплитудой 6 кВ

защиты с помощью одного типа устройств необходимо применять комбинацию таких устройств.

Совместное применение ОПН и диодов требует координации их защитных характеристик. Для этого применяется соединение УЗИП через развязывающую катушку индуктивности. Данная схема обеспечивает стабильную и надежную работу УЗИП в широком диапазоне частот воздействующих импульсных помех.

Подключение устройств должно осуществляться проводниками минимальной длины. Даже относительно небольшая (несколько мкГн) индуктивность может существенно снизить возможности по ограничению импульсных перенапряжений.

Литература

1. **Дьяков А.Ф. и др.** Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / под ред. А.Ф. Дьякова. М.: Энергоатомиздат, 2003.

2. **Бородулин А.Н., Молочников А.В., Кужекин И.П.** Исследование характеристик нелинейных ограничителей перенапряжения класса напряжения 10 кВ // Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем ЭНЕРГО-2010: Тезисы Всерос. науч.-практ. конф. Москва, 2010.

Статья поступила в редакцию 28.04.2016